

Doctoral Thesis

Advancement in fire safety in multistorey timber constructions in Vienna

submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Doctoral studies of science in engineering sciences
of the Vienna University of Technologie,
Faculty of Architecture and Planing

Dissertation

Sicherheitskonzept für mehrgeschossige Gebäude aus Holz am Beispiel von Wien

- für Wohn- und Büronutzungen

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor der technischen Wissenschaft,
eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Architektur und Raumplanung
von

DI Michael Kist
Matr.Nr.: 0631707
Wallensteinstraße 9/3, 1200 Wien

Gutachter: o.Prof. DDI Wolfgang Winter
Institut für Architekturwissenschaften, 259/2
Fachbereich für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau
Technische Universität Wien
Karlplatz 13, 1040 Wien

Gutachter: Prof. Dr. Andrea Frangi
Departement Bau, Umwelt und Geomatik
Institut für Baustatik und Konstruktion, HIL D 37.1
Eidgenössische Technische Hochschule, ETH
Wolfgang- Pauli- Str. 15, 8093 Zürich

Wien, im Oktober 2013

INHALTSVERZEICHNIS

VORWORT.....	7
KURZFASSUNG.....	8
ABSTRACT.....	9
1 EINLEITUNG.....	10
1.1 Klimarahmenkonvention.....	10
1.2 Der ökologische Baustoff Holz.....	10
1.3 Gegenwärtige Bauweise am Beispiel von Wien.....	13
1.4 Problemstellung.....	14
1.5 Wissenschaftliche Vorgehensweise.....	14
2 DER MEHRGESCHOSSIGE HOLZBAU IN DER BAUGESCHICHTE.....	15
2.1 Urbaner Wohnbau im antiken Rom.....	15
2.1.1 Mischbauweise im mehrgeschossigen Mietswohnungsbau.....	16
2.1.2 Brandauslöser und Brandbekämpfung.....	17
2.1.3 Mangelhafte Bauweise.....	18
2.2 Urbaner Wohnbau im Mittelalter und der frühen Neuzeit.....	19
2.2.1 Fachwerkbau.....	19
2.2.2 Brandauslöser und Brandbekämpfung.....	21
2.2.3 Verdrängung des Fachwerkbaus durch mineralische Bauweisen.....	22
2.2.4 Der rebuilding Act und die nichtbrennbare Stadt.....	23
2.3 Urbaner Wohnbau in Stadtgründungen Nordamerikas im 18. und 19.Jhd.....	25
2.3.1 Chicago Constuction und Western Framing.....	25
2.3.2 Brandauslöser und Brandbekämpfung.....	26
2.3.3 Verdrängung des Rahmenbaus durch mineralische Bauweisen.....	26
2.4 Zusammenfassung mehrgeschossiger Holzbau in der Baugeschichte.....	28
3 DER NATURBRAND IM RAUM.....	29
3.1 Beschreibung der Naturbrandentstehung und -entwicklung in Räumen.....	29
3.1.1 Raumabschließende Bauteile.....	31
3.1.2 Flashover und Rollover.....	32
3.1.3 Vollbrand.....	33
3.1.4 Zellenbruch.....	33
3.1.5 Zeitliche Begrenzung des Vollbrandes.....	33
3.1.8 Abklingender Brand.....	33
3.1.9 Naturbrandphasen.....	33
3.2 Beeinflussung des Brandverlaufs.....	34
3.2.1 Naturbrand im Raum, Beispiel 1.....	34
3.2.1.1 Ergebnis des Naturbrandes.....	37
3.2.1.2 Ergänzende Berechnungen.....	37
3.2.1.3 Zusammenfassung.....	38
3.2.2 Naturbrand im Raum, Beispiel 1.1.....	39
3.2.2.1 Ergebnis des Naturbrandes.....	39
3.3.2.2 Zusammenfassung.....	39

INHALTSVERZEICHNIS

3.2.3 Naturbrand im Raum, Beispiel 2.....	40
3.2.3.1 Ergebnis des Naturbrandes.....	40
3.2.3.2 Ergänzende Berechnungen.....	41
3.2.3.3 Zusammenfassung.....	41
3.2.4 Naturbrand im Raum, Beispiel 3.....	42
3.2.4.1 Ergebnis des Naturbrandes.....	42
3.2.4.2 Ergänzende Berechnungen.....	43
3.2.4.3 Zusammenfassung.....	43
3.2.5 Naturbrand im Raum, Beispiel 4.....	44
3.2.5.1 Ergebnis des Naturbrandes.....	44
3.2.5.2 Ergänzende Berechnungen.....	45
3.2.5.3 Zusammenfassung.....	45
3.2.6 Naturbrand im Raum, Beispiel 5.....	46
3.2.6.1 Ergebnis des Naturbrandes.....	46
3.2.6.2 Ergänzende Berechnungen.....	47
3.2.6.3 Zusammenfassung.....	47
3.2.7 Naturbrandversuche mit Brandausbreitung über Ventilationsöffnungen.....	48
3.2.7.1 Zusammenfassung.....	49
3.2.8 Beeinflussung des natürlichen Brandverlaufes durch Löschmaßnahmen.....	50
3.2.8.1 Abwehrender Brandschutz.....	50
3.2.8.1.01 Brandszenario.....	50
3.2.8.1.02 Beginn der Löschmaßnahmen.....	50
3.2.8.1.03 Zeitraum für Rettungs- und Löschmaßnahmen.....	50
3.2.8.1.04 Branddetektierung/ Detection Time + Call Time.....	51
3.2.8.1.05 Hilfsfrist/ Dispatch Time + Turnout Time.....	52
3.2.8.1.06 Erreichungsgrad der Hilfsfrist.....	52
3.2.8.1.07 Einsatzstärke der Feuerwehr am Einsatzort.....	52
3.2.8.1.08 Such- und Rettungszeit/ Setup Time.....	52
3.2.8.1.09 Definition des notwendigen Löschbeginns in Wien.....	53
3.2.8.1.10 Löschdauer manueller Brandbekämpfung.....	54
3.2.8.2 Anlagentechnische Brandschutzmaßnahmen.....	58
3.2.8.2.1 Löschmaßnahmen durch Sprinkler.....	58
3.2.8.2.2 Rauch- und Wärmeabzugsanlagen.....	59
3.3 Zusammenfassung.....	59
4 BEMESSUNGSKONZEPTE FÜR DEN LASTFALL BRAND.....	62
4.1 Naturbrand in geschlossenen Räumen definiert als Bemessungsbrand.....	62
4.1.1 Bemessungsbrandphasen.....	62
4.1.2 Ausbreitung der Brandleistung.....	63
4.2 Brandmodelle nach EUROCODE 1: ÖNORM EN 1991- 1- 2.....	66
4.2.1 Ermittlung der ingenieurmäßigen Grundlagen.....	67
4.2.2 Möglichkeiten zur Bestimmung der Brandeinwirkung.....	67
4.2.3 Numerische Brandmodelle.....	68
4.2.4 Nominelle Temperatur- Zeitkurven.....	69
4.2.4.1 Entwicklung der ETK.....	69
4.2.4.2 Anwendungsgrenzen.....	69
4.2.5 Äquivalente Branddauer.....	72
4.2.5.1 Entwicklung der äquivalenten Branddauer.....	72
4.2.5.2 Anwendungsgrenzen.....	72
4.2.5.3 Basisvariablen.....	72

INHALTSVERZEICHNIS

4.2.5.3.1 Brandlast.....	73
4.2.5.3.1.1 charakteristische Brandlastdichte.....	73
4.2.5.3.1.2 charakteristische Brandlastdichte nach TRVB A 126.....	74
4.2.5.3.1.3 charakteristische Brandlastdichte im Einzelfall.....	74
4.2.5.3.2 Umfassungsbauteile.....	78
4.2.5.3.3 Berücksichtigung des Baustoffs.....	79
4.2.5.3.4 Ventilation.....	79
4.2.5.3.5 Globales Sicherheitskonzept.....	80
4.2.6 Parametrische Brandkurven.....	85
4.2.6.1 Entwicklung der Parametrische Brandkurven.....	85
4.2.6.2 Anwendungsgrenzen.....	85
4.2.6.3 Basisvariablen.....	85
4.2.6.4 Energiefreisetzungsrates pro Zeit.....	87
4.3 Alternative Brandmodelle.....	90
4.3.1 Probabilistisches Sicherheitskonzept nach ÖNORM EN 1990, Anhang B, C, D....	90
4.3.1.1 Normative Vorgaben zur Zuverlässigkeit des Tragwerkes.....	93
4.3.1.2 Definieren des erforderlichen Sicherheitsindex β_n im Brandfall.....	95
4.3.1.2.1 Abschätzen der Teilsicherheitsbeiwerte für die maßgebene Einwirkung....	97
4.3.1.2.2 Kalibrieren der Teilsicherheitsbeiwerte für die maßgebende Einwirkung..	100
4.3.2 Sicherheitskonzept nach DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang BB.5.....	102
4.3.2.1 Entwicklung des Sicherheitskonzeptes.....	102
4.3.2.2 Anwendungsgrenzen.....	103
4.3.3 Zusammenfassung.....	105
4.3.4 Parametrische Temperaturzeitkurve nach DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang AA... 106	106
4.3.4.1 Entwicklung der Parametrische Brandkurven.....	106
4.3.4.2 Anwendungsgrenzen.....	106
4.3.4.3 Basisvariablen.....	106
4.3.4.4 Energiefreisetzungsrates pro Zeit.....	109
4.3.5 Ergänzung zu den parametrischen Brandkurven.....	112
4.3.5.1 Quantitative Darstellung von Brandbekämpfungsmaßnahmen.....	112
4.4 Zusammenfassung.....	115
5 BEMESSUNGSBRANDSZENARIO FÜR DEN MEHRGESCHOSSIGEN HOLZBAU.116	116
5.1 Kategorisierung der Einwirkungsgröße.....	116
5.1.1 Kategorie geringe Brandleistung < 20 MW.....	116
5.1.2 Kategorie mittlere bis hohe Brandleistung > 20 MW.....	116
5.1.3 Kategorie Sprinklerkonzept.....	117
5.2 Bauteilverhalten und Baustoffverhalten der Bauprodukte.....	117
5.2.1 Klassifizierung.....	117
5.2.2 Brandverhalten.....	118
5.2.3 Feuerwiderstandsdauer.....	118
5.3 Beispielberechnung: Bemessungsbrandszenario < 20 MW.....	120
5.3.1 Basisvariablen zur Berechnung parametrischer Brandkurven.....	120
5.3.2 Basisvariablen im Sicherheitskonzept.....	121
5.3.3 Ermittlung des Bemessungsbrandverlaufs im gesamten Brandabschnitt.....	121
5.3.3.1 Ergebnis.....	124
5.3.3.2 Maßnahmen für den Holzmassivbau.....	125
5.3.3.3 Maßnahmen für den Holzskelettbau	125

INHALTSVERZEICHNIS

5.3.4 Mehrgeschossiger Holzbau in der Kategorie geringe Brandleistung.....	126
5.3.5 Mehrgeschossiger Holzbau in der Kategorie Sprinklerkonzept.....	126
5.3.6 Zusammenstellung der Ergebnisse.....	126
5.3.7 Flussdiagramm für das Bemessungsbrandszenario < 20 MW.....	127
5.4 Zusammenfassung.....	128
5.5 Projekt: „Bad Aibling“	129
5.5.1 Brandschutzkonzept.....	133
5.5.2 Fallstudie A.....	136
5.5.2.1 Basisvariablen im Sicherheitskonzept.....	136
5.5.2.2 Basisvariablen zur Berechnung parametrischer Brandkurven.....	136
5.5.2.3 Ermittlung des Bemessungsbrandverlaufs im gesamten Brandabschnitt.....	137
5.5.2.3.1 Ergebnis.....	138
5.5.2.3.2 Zusammenfassung Fallstudie A.....	139
5.6 Projekt: „Life Cycle Tower“	140
5.6.1 Brandschutzkonzept.....	145
5.6.2 Fallstudie B.....	146
5.6.2.1 Basisvariablen im Sicherheitskonzept.....	146
5.6.2.2 Basisvariablen zur Berechnung parametrischer Brandkurven.....	146
5.6.2.3 Ermittlung des Bemessungsbrandverlaufs im gesamten Brandabschnitt.....	146
5.6.2.3.1 Ergebnis.....	149
5.6.2.3.2 Zusammenfassung Fallstudie B.....	150
5.7 Projekt: „Sihlbogen“	151
5.7.1 Brandschutzkonzept.....	157
5.7.2 Fallstudie C.....	161
5.7.2.1 Basisvariablen im Sicherheitskonzept.....	161
5.7.2.2 Basisvariablen zur Berechnung parametrischer Brandkurven.....	161
5.7.2.3 Ermittlung des Bemessungsbrandverlaufs im gesamten Brandabschnitt.....	162
5.7.2.3.1 Ergebnis.....	163
5.7.2.3.2 Zusammenfassung Fallstudie C.....	164
5.8 Zusammenfassung der Fallstudien	165
6 MEHRGESCHOSSIGER HOLZBAU IN DER OIB RL 2.....	166
6.1 Ordnung und Zusammenhang der Brandschutzmaßnahmen.....	166
6.2 Vorbeugender Brandschutz nach den OIB- Richtlinien 2 „Brandschutz“	168
6.2.1 Schutzziele.....	168
6.2.2 Schutzniveau.....	168
6.2.3 Anforderungen.....	168
6.2.4 Gebäudeklassen.....	169
6.2.5 Abweichungen 1.....	171
6.2.6 Abweichungen 2.....	173
6.3 Vorschlag zur Ergänzung der OIB RL 2 „Brandschutz“	174
6.3.1 Entwurf Tabelle 1b' „mehrgeschossiger Holzbau“	174
6.3.1.1 Qualitäten.....	174
6.3.1.2 Bezug zur OIB RL 2 „Brandschutz“.....	174
6.4 Zusammenfassung.....	175

INHALTSVERZEICHNIS

7 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	176
7.1 Zusammenfassung.....	176
7.2 Ausblick.....	177
Literaturnachweis.....	178
Normen.....	187
Abbildungsnachweis.....	190
Tabellenverzeichnis.....	194
Anhang 1 Qualitätssicherung der Überwachung	196
Lebenslauf.....	199

Symbolverzeichnis und Abkürzungen

1	Brandausbreitungsphase im Naturbrand
2	Vollbrandphase im Naturbrand
3	Abklingphase im Naturbrand
A 2	kein Beitrag zum Brand, Klassifizierung des Brandverhaltens nach ÖNORM EN 13501- 1
A	außergewöhnlichen Einwirkung nach ÖNORM EN 1990
A_{Brand}	Brandfläche [m ²]
A_d	Bemessungswert der außergewöhnlichen Einwirkung nach ÖNORM EN 1990
A_f	die Grundfläche des Brandabschnittes in [m ²]
A_h	die Fläche der horizontalen Öffnungen im Dach in [m ²]
A_k	charakteristischer Wert der außergewöhnlichen Einwirkung nach ÖNORM EN 1990
A_R	Rauminnenfläche mit Öffnungsflächen [m ²]
A_t	Gesamtfläche der umfassenden Bauteile mit Öffnungsflächen [m ²]
A_v	die Fläche der vertikalen Öffnungen in der Fassade in [m ²]
A_w	Öffnungsfläche [m ²]
BA	Brandabschnitt
D	hinnehmbarer Beitrag zum Brand, Klassifizierung des Brandverhaltens nach ÖNORM EN 13501- 1 (2007)
E	Raumabschluss, Feuerwiderstand nach ÖNORM EN 13501- 2
E	Einwirkung nach ÖNORM EN 1990
E_d	Bemessungswert der Einwirkung nach ÖNORM EN 1990
ETK	Einheitstemperatur- Zeitkurve
EU	Europäische Union
FORM	First Order Reliability Methode
FOSM	First Order Second Methode
H	Höhe [m]
H_u	Netto- Verbrennungswärme eines Stoffes [MJ/kg]
I	Isolation, Feuerwiderstand nach ÖNORM EN 13501- 2
K	Kapselung nach ÖNORM EN 13501- 2
LN	natürlicher Logarythmus
MIN	Der kleinere Wert ist zu verwenden
$M_{k,i}$	Menge der brennbaren Stoffe im Brandraum [kg]
NAD	Nationales Anwenderdokument
O	Öffnungsfaktor [m ^{1/2}]
P_f	Versagenswahrscheinlichkeit
P_{fi}	Auftretenswahrscheinlichkeit eines Brandes
$P_{f,fi}$	bedingte Versagenswahrscheinlichkeit im Brandfall
Q_k	charakteristische Brandlastmenge [MJ]
$Q_{fi,k}$	gesamte charakteristische Brandlastmenge im Brandraum [MJ]
Q_1	Brandlastmenge, die in der Brandentwicklungsphase verbrannt wird [MJ]
Q_2	Brandlastmenge, die in der Vollbrandphase verbrannt wird [MJ]
Q_3	Brandlastmenge, die in der Abklingphase verbrannt wird [MJ]
Q_{ref}	Referenzbrandlastmenge [MJ]
Q_{gesamt}	Gesamte Brandlastmenge im Brandabschnitt [MJ]
QM	Qualitätsmanagement
$\dot{Q}_{\text{max, v}}$	maximale Energiefreisetzungsrate beim ventilationsgesteuerten Brand [MW]
$\dot{Q}_{\text{max, f}}$	maximale Energiefreisetzungsrate beim brandlastgesteuerten Brand [MW]

II

$\dot{Q}_{\max, k}$	maximale charakteristische Energiefreisetzungsrate im Brandabschnitt [MW]
$\dot{Q}_{\max, d}$	maximale Bemessungsenergiefreisetzungsrate im Brandabschnitt [MW]
\dot{Q}_{fo}	benötigte Energiefreisetzungsrate im Brandabschnitt für einen Flashover [MW]
R	Standicherheit, Feuerwiderstand nach ÖNORM EN 13501-2
R	Widerstand nach ÖNORM EN 1990
R_d	Bemessungswert des Widerstandes nach ÖNORM EN 1990
RHR _f	rate of heat release
S	Einwirkung
SORM	Second Order Reliability Methode
V	Variationskoeffizient
Z	Grenzzustand des Tragwerkes
b	Wärmeindringkoeffizient [$J/(m^2s^{1/2} K)$]
g	Grenzzustand des Tragwerkes nach ÖNORM EN 1990
h_w	Höhe der Öffnung [m]
h_{eq}	Gewichtetes Mittel aller Fensterhöhe in den Umfassungsbauteilen [m]
k	Faktor zur Berechnung von Temperaturen brandlastgesteuerter Brände
k_b	Umrechnungsfaktor in Abhängigkeit der thermischen Eigenschaften der Umfassungsbauteile mit [$min * m^2/MJ$]
k_c	Korrekturfaktor für den Baustoff des tragenden Querschnittes
m	Abbrandfaktor in den Grenzen von 0 bis 1
\dot{m}	Spezifischen Abbrandrate eines Stoffe [$in kg/m^2s$]
\dot{m}_{Air}	Sauerstoffverbrauch [$in g/s$]
\dot{m}_p	Massentransport [$in kg/s$]
p_1	Auftretenswahrscheinlichkeit eines Brandes pro Jahr
p_2	Versagenswahrscheinlichkeit der Brandbekämpfung der öffentlichen Feuerwehr
$p_{2,2}$	Versagenswahrscheinlichkeit der Brandbekämpfung der Bewohner/ Nutzer
p_3	Versagenswahrscheinlichkeit der Sprinkleranlage
$q_{f,k}$	charakteristische Brandlastdichte bezogen auf die Grundfläche [MJ/m^2]
$q_{f,d}$	Bemessungsbrandlastdichte bezogen auf die Grundfläche [MJ/m^2]
$q_{t,d}$	Bemessungsbrandlastdichte bezogen auf die Raumhülle A_t [MJ/m^2]
$q_{f,k}$	charakteristische Energiefreisetzungsrate bezogen auf die Grundfläche [MW/m^2]
r	stöchiometrisches Verhältnis der Brandlast [kg Luft/ kg Brennstoff]
t	Zeit [min]
$t_{e,d}$	äquivalente Branddauer [min]
t_0	Ereignis, Brandbeginn [min]
t_1	Ereignis, Beginn Vollbrandphase [min]
t_2	Ereignis, Beginn Abklingphase [min]
t_3	Ereignis, Brandende [min]
$t_{f1,k}$	Dauer bis zur Detektierung des Brandes [min]
$t_{f2,k}$	Dauer bis zum Löschbeginn [min]
$t_{f3,k}$	Dauer bis zur Brandkontrolle [min]
$t_{f4,k}$	charakteristische Löschdauer [min]
$t_{f5,k}$	charakteristische Brandentwicklungszeit bis Beginn der Löschmaßnahmen [min]
$t_{f6,k}$	charakteristischer Zeitbedarf der Brandbekämpfung [min]
t_{act}	Ereignis, Beginn Löschmaßnahmen [min]
t_{fo}	Ereignis, Flashover, Beginn Vollbrandphase [min]
t_{con}	Ereignis, Brandkontrolle und Wirken der Löschmaßnahmen [min]
t_{sub}	Ereignis, Abgelöschter Brand [min]
t_g	Brandentwicklungszeit [min]

III

t_a	Die Zeit die erforderlich ist bis eine Brandleistung von 1 MW erreicht wird [min]
u	standardnormale Zufallsvariable
v_{aus}	Brandausbreitungsgeschwindigkeit auf brennbaren Stoffen [m/min]
w_f	Ventilationsfaktor

Griechische Buchstaben

Θ	Temperatur [°C]
Θ_g	Temperatur im Brandraum zum Zeitpunkt t^* [°C]
$\Theta_{g,E}$	Temperatur in der Erwärmungsphase [°C]
$\Theta_{g,A}$	Temperatur in der Abkühlungsphase [°C]
Θ_{max}	maximale Temperatur [°C]
Φ	Verteilungsfunktion der Gauß- Normalverteilung
Ψ_i	möglicher Beiwert zur Berücksichtigung geschützter Brandlasten.
α_c	konvektiver Wärmeübergang der Grenzschicht [W/(m ² K)]
α_{u1}	Sensitivitätsfaktor einer Zufallsvariable
α_E	globaler Sensitivitätsfaktor der Einwirkung nach ÖNORM EN 1990
α_R	globaler Sensitivitätsfaktor des Widerstandes nach ÖNORM EN 1990
α_v	Ventilationsverhältnis von Öffnung zu Grundfläche
β	Sicherheitsindex nach ÖNORM EN 1990
β_{fi}	Sicherheitsindex im Brandfall
β_0	Abbrandrate der Brandlast [mm/min]
γ_F	Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkung, der die Möglichkeit ungünstiger Größenabweichungen der Einwirkung und Unsicherheiten im Berechnungsmodell berücksichtigt = $\gamma_f * \gamma_{sd}$
γ_f	Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkung, der die Möglichkeit ungünstiger Größenabweichungen der Einwirkung berücksichtigt
γ_{sd}	Teilsicherheitsbeiwert zur Berücksichtigung von Unsicherheiten im Berechnungsmodell
$\gamma_{fi,\alpha}$	Teilsicherheitsbeiwert der Brandausbreitungsgeschwindigkeit
$\gamma_{fi,q}$	Teilsicherheitsbeiwert der Brandlastdichte
$\gamma_{fi,Q}$	Teilsicherheitsbeiwert der Energiefreisetzungsrate
δ_n	Teilsicherheitsbeiwert der Ausfallwahrscheinlichkeit der Brandbekämpfung
δ_{q1}	Brandentstehungsgefahr nach der Größe des Brandabschnittes
δ_{q2}	Brandentstehungsgefahr nach der Art der Nutzung
μ_i	Mittelwert der Zufallsvariable X_i
σ_i	Standardabweichung der Zufallsvariable X_i
σ_E	Standardabweichung der Zufallsvariable der Einwirkung nach ÖNORM EN 1990
σ_R	Standardabweichung der Zufallsvariable des Widerstandes nach ÖNORM EN 1990
λ_1	Häufigkeit gefährlicher Brände in Nutzungen [1/m ² * a]
ρ	Dichte der Raumhülle [kg/m ³]
χ	Verbrennungseffektivität des brennbaren Stoffes $0 < \chi \leq 1$
λ	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]

VORWORT

Meinem Doktorvater O.Univ. Prof. DDI Wolfgang Winter, Leiter der Abteilung für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau am Institut für Architekturwissenschaften der TU Wien gebührt für die Ermöglichung dieser Arbeit und Unterstützung außerordentlicher Dank.

Bedanken möchte ich mich recht herzlich bei Prof. Dr. Andrea Frangi vom Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich für die sehr interessanten fachlichen Diskussionen zum urbanen Holzbau aus schweizer Sicht und der genaue Durchsicht der Arbeit.

Bedanken möchte ich mich recht herzlich bei Prof. Dr. Dietmar Hosser und Prof. Dr. Jochen Zehfuß vom Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, IBMB der TU Braunschweig für zahlreiche fachliche Diskussionen.

Herzlicher Dank gilt insbesondere Herrn DI Dr. Alireza Fadaei von der Abteilung für Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau am Institut für Architekturwissenschaften der TU Wien für die fachliche Unterstützung und Betreuung der Dissertation.

Für die gute Zusammenarbeit und die unzähligen fachlichen Diskussionen der letzten Jahre im Bezug auf den baulichen und abwehrenden Brandschutz in Österreich möchte ich mich ganz herzlich bei DI Frank Peter, M.Eng und DI Martin Tomek bedanken.

Ganz herzlich gedankt sei OBR Ing. Ernst- Georg Klammer von der Berufsfeuerwehr Wien für die Erfahrungsberichte aus Sicht der Berufsfeuerwehr im baulichen Brandschutz und Diskussion.

Ebenfalls ganz herzlich gedankt sei OBR DI Christian Wagner, Sachgebietsleiter für bauliche Angelegenheiten des vorbeugenden Brandschutzes für die fachliche Unterstützung und Diskussion zum vorbeugenden Brandschutz in Wien.

Außerdem möchte ich die gute Zusammenarbeit mit DI (FH) Christoph Meier und DI (FH) Mario Aeppli von der Firma SJB Kempter und Fitze AG in der Schweiz, sowie Architekt DI Arthur Schankula von Schankula Architekten/ Diplomingenieure in München und Ing. Reinhard Wiederkehr von Makiol und Wiederkehr Holzbauingenieure in Beinwil am See hervorheben, die mir Hintergrundmaterial zu aktuellen Holzbau- Projekten zur Verfügung stellten.

KURZFASSUNG

In der Baugeschichte führte die häufige Verwendung brennbarer Konstruktionen und Verkleidungen von z.B. Dächern, Wänden und Decken aus dem leicht verfügbaren und daher günstigen Baustoff Holz bei Bränden zu hohen Gebäudeverlusten, da kein ausreichender abwehrender Brandschutz durch die Feuerwehr vorhanden war und Gebäudebrände daher nicht erfolgreich bekämpft werden konnten. Die Gefahr einer Brandausbreitung von einem auf mehrere Gebäude war dadurch hoch, so dass oft ganze Stadtquartiere den Flammen zum Opfer fielen. Dieses Brandszenario wird anhand der Städte Rom, London und Chicago im Laufe der Geschichte von der Antike bis zur Neuzeit verdeutlicht.

Der bauliche Brandschutz ist aufgrund mangelnder Möglichkeiten zur Brandbekämpfung über viele Jahrhunderte darum eine der wichtigsten Maßnahmen zur Vermeidung von Brandkatastrophen geworden, was zur „nichtbrennbaren Stadt“ durch den Einsatz nichtbrennbarer Konstruktionen -d.h. tragender und raumabschließender Bauteile (Stütze, Wand, Decke, etc.) führte.

Um nun wieder die Freiheit der Materialwahl für tragende und raumabschließende Bauteile im urbanen Raum für den Architekten auf den Holzbau zu erweitern, werden Untersuchungen über den Brandverlauf im Raum, die Brandweiterleitung und Brandbekämpfung angestellt. Dazu werden Naturbrandentstehung, Brandentwicklung-, Vollbrand- und Abklingphase im Brandraum genauer dargestellt.

Es werden Variablen untersucht, die Dauer und Höhe der Brandeinwirkung auf tragende und raumabschließende Bauteile maßgeblich beeinflussen und somit als Entwurfskriterien für den Raum dienen können. Die Skelett- und Schotten- bzw. Massivbauweise, werden aufgrund ihres häufigen Einsatzes beim Bau von Wohn- und Bürogebäuden dabei genauer betrachtet.

Die abgeleiteten Entwurfskriterien für die genannten Bauweisen werden anhand eines Bemessungsbrandszenarios überprüft, dabei lässt sich der Brandverlauf bestimmen und eine Sicherheitsbetrachtung für die maßgebenden Variablen, die am Versagen der Bauteile im Brandfall beteiligt sind, durchführen. Die dazu notwendigen Berechnungsmodelle werden anhand einer Literaturrecherche vorgestellt. Mithilfe der Sicherheitsbetrachtung entsteht ein Vorschlag für eine brandschutztechnische Konstruktion bei Holzskelett- und Holzmassivbauweisen, die eine optimale Kombination von Sicherheit und Wirtschaftlichkeit darstellt. Die Ergebnisse werden anhand von 3 Fallbeispielen überprüft.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist ein Vorschlag für die Einführung bauweisenabhängiger, -brandschutztechnischer Vorgaben für mehrgeschossige Holzgebäude als eine Ergänzung zur bestehenden Bauordnung am Beispiel von Wien bei Büro- und Wohnnutzungen in der Gebäudeklasse 5, also Gebäude mit einem Aufenthaltsniveau des letzten Obergeschosses von 21 m.

ABSTRACT

During the history of construction the frequent use of flammable structures and panelling for e.g. roofs, walls and ceilings made from wood – a then readily available and thus cheap building material – lead to extremely high losses in case of fires because defensive fire protection by the fire brigade was non-existent and fires could thus not be put out successfully. Hence the danger of fires spreading from one building to others was high and often entire city quarters fell victim to the flames. This kind of fire scenario is illustrated using examples of the cities of Rome, London and Chicago in the course of history between ancient and modern times.

During many centuries constructional fire protection was favoured due to the lack of possibilities to extinguish fires successfully, thus becoming the most important method for preventing fire catastrophes which lead to non-combustible cities that were built from non-combustible materials.

Now in order to give architects the freedom of material-choice to include timber constructions for load-bearing and space-enclosing structural components in urban construction, research on the development of fires in rooms, fire expansion and fire-fighting is conducted. For this end the natural development of fires, initial fire development phase, blazing fire phase and dying-down phase in the room are illustrated in detail.

Variables that significantly influence the duration and the intensity of the fire's effect on load-bearing and space-enclosing structural components are studied because they can function as design criteria in construction. Due to their frequent use in residential- and office-constructions, skeleton-, cross-wall- and massive construction methods are examined more closely.

The deducted design criteria for the abovementioned construction methods are verified using a design fire scenario where the fire's course can be determined and a safety assessment for the decisive variables that are involved in the failure of structural elements in case of fire can be made. The necessary calculation models are presented and illustrated using specifically researched literature. Using the safety assessment, a recommendation for fire-safe construction of timber skeleton- and massive timber constructions that represent an optimum combination of safety and efficiency, is made. The results are proven using three case studies of multi-storey-timber constructions.

It is the present paper's goal to provide a suggestion for the introduction of guidelines for multi-storey-timber constructions that are specific to construction methods and technical fire-protection and form an addition to the existing building code for offices and residential buildings in building class 5, i.e. buildings where the top floor is on a level of 21 metres (68.8 ft), always using the example of Vienna.

1 EINLEITUNG

1 Einleitung

„Wir wohnen zu Göttingen auf Scheiterhaufen, die mit Türen und Fenstern versehen sind.“

Lichtenberg (1793–1796)

Was der Schriftsteller Lichtenberg als Zeitzeuge Ende des 18. Jhd verfasste, war der allgemeine Abgesang des mehrgeschossigen Holzbaus in der Stadt, die nichtbrennbare Stadt galt als fortschrittlich und modern. Die Schweizer Holzzeitung führt hingegen aktuell eine Studie zum mehrgeschossigen Holzbau an und stellt einen zunehmenden Marktanteil für Holz fest.

„2011 wurde bei 11 Prozent der Schweizer Neubauten auf Holz als Baumaterial gesetzt. Bei An- und Umbauten lag der Holz-Marktanteil bei 23,9 Prozent...“. „Die technischen Fortschritte erweitern die möglichen Einsatzgebiete beim Holzbau stetig. Zudem erlaubt die Brandschutzverordnung seit 2005 Holzgebäude mit sechs Stockwerken. Es ist daher nicht erstaunlich, dass sich Holz steigender Beliebtheit erfreut.“

Schweizer Holzzeitung (09/2012)

Zwischen den beiden Zitaten liegen 216 Jahre Entwicklung. Einer Entwicklung die in den letzten 125 Jahren eine Erhöhung der Kohlendioxid- Konzentration in der Atmosphäre um 35 Prozent verursacht hat. vgl. 2000- Watt- Gesellschaft Bilanzierungskonzept (2012); vgl. Solomon, Qin, Manning et al. (2007)

1.1 Klimarahmenkonvention

Die Klimarahmenkonvention (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) der vereinten Nationen, bereits 1994 in Kraft getreten, hat zum Ziel den Ausstoß von Treibhausgasen in den Industrieländern zu regeln, d.h. zu reduzieren, um die globale Erwärmung zu verlangsamen. Dazu gehören jährliche treffen der 194 Vertragsstaaten der Klimakonvention auf der UN- Klimakonferenz. Das Kyoto- Protokoll wurde auf der UN- Klimakonferenz 1997 beschlossen und ist seit 2005 in Kraft. Dieses Abkommen legt völkerrechtlich verbindliche Zielwerte für den Ausstoß von Treibhausgasen in den Industrieländern fest, welche die hauptsächliche Ursache der globalen Erwärmung sind. Bis Anfang Dezember 2011 haben 193 Staaten sowie die Europäische Union das Kyoto- Protokoll ratifiziert. vgl. Kyoto Protokoll to the United Nations framework convention on climate change (1998)

Nach Vorgabe durch das Kyoto- Protokoll ist die Verwendung fossiler Energien in der Europäischen Union zu senken, die Nutzung der erneuerbaren Energien auszubauen und die Steigerung der Energieeffizienz in allen Verbrauchsbereichen zu verfolgen, um die Ziele aus dem Protokoll einhalten zu können. **Für den Bausektor bedeutet dies, die Energieeffizienz von Gebäuden zu verbessern.** Dazu hat das Europäische Parlament und der Rat der EU 2002 die EU- Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden beschlossen. vgl. Richtlinie E 2002/ 91/ EG; vgl. Richtlinie 2010/ 31/ EU

1.2 Der ökologische Baustoff Holz

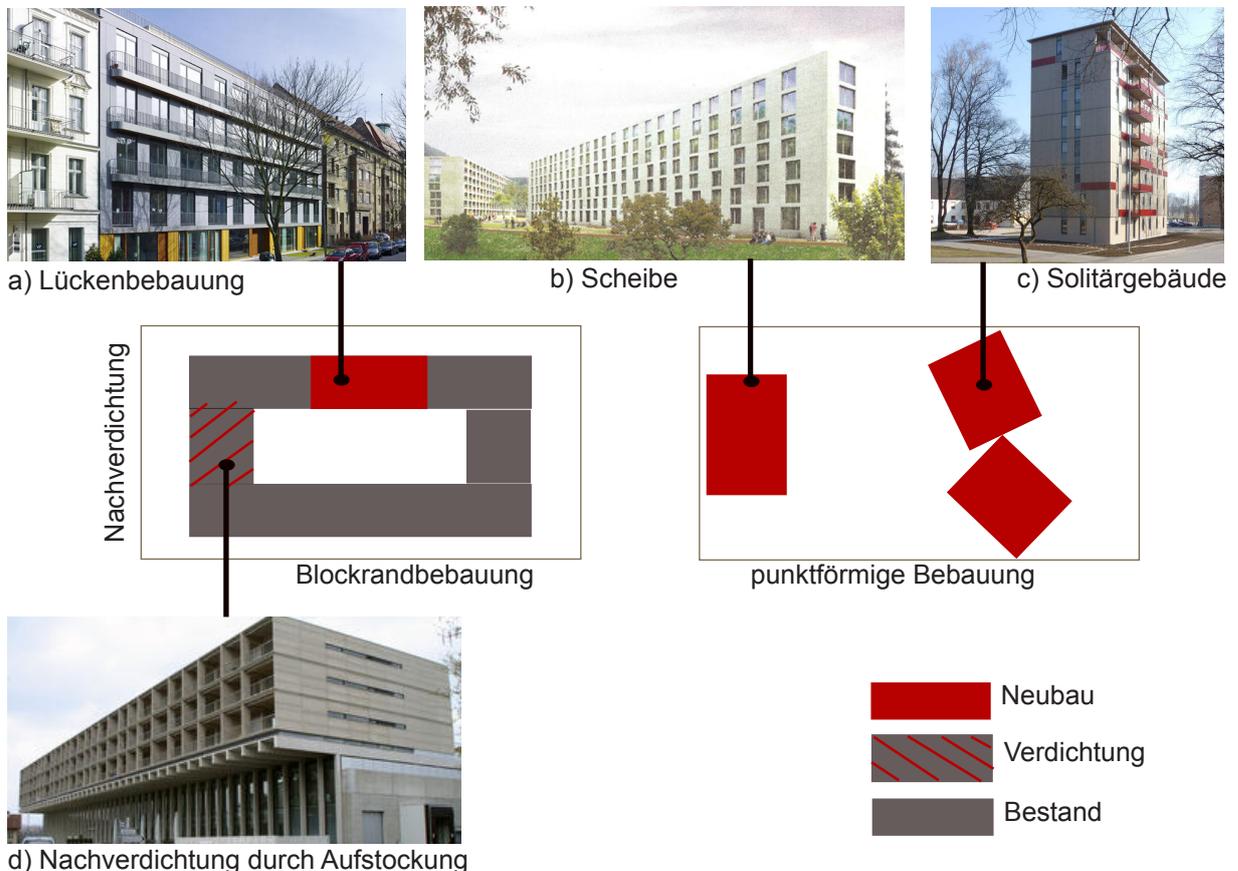
In weiterer Folge wurde für Österreich der „**Klima aktiv Gebäudestandard**“ entwickelt, der über die reine Energie- und Versorgungsbilanz von Gebäuden hinaus geht und auch die Planung und Ausführung, sowie **ökologische Baustoffe in der Konstruktion** mit einbezieht und somit **zu einer verstärkten Verringerung des CO₂- Ausstoßes**, d.h. der Treibhausgas- Emissionen nach dem Kyoto- Protokoll führt.

vgl. klima:aktiv Bauen und Sanieren (2012) „Kriterienkatalog Wohngebäude Neubau“; vgl. Innovative Klimastrategien für die österreichische Wirtschaft (2007)

Das ökologische Bauen versteht sich als Lehre vom Haushalt der Wechselwirkung zwischen vom Menschen erschaffenen Gebäuden und der Natur. Das Haushalten ist dadurch definiert, dass nicht mehr aus der Natur entnommen wird, als diese reproduzieren kann und nicht mehr Belastungen abgegeben werden, als diese verarbeiten kann, dies ist unter dem Begriff **Nachhaltigkeit** zusammengefasst. Holz ist ein ökologischer Baustoff und lebend CO₂ bindend, bei der Verwendung als Baustoff CO₂ speichernd und bei seiner Entsorgung, durch z.B. der Verbrennung CO₂ neutral, somit beim Einsatz als Baustoff im Lebenszyklus von Gebäuden ökologisch. vgl. Kolb (2007), (S.18)

Um nun mit dem ökologischen Baustoff Holz bauen zu können, muss dieser ausreichend vorhanden sein. Dies wird durch eine nachhaltige Forstwirtschaft in Europa gewährleistet. Nach Kolb wurden beispielsweise in Österreich 2001 lediglich 79 % des Holzzuwachses auch geerntet, d.h. dass der österreichische Wald weiter anwächst. Durch eine Waldinventur in bestimmten Zeitabständen, ausgeführt vom Bundesamt und Forschungszentrum für Wald, wird dies auch weiterhin gewährleistet. Nach Höbarth ist der Wald in Österreich dabei seit 1961 um 40 % auf rund 1,1 Milliarden Vorratsfestmeter angewachsen, somit ist Holz im hohen Maße in Österreich **verfügbar** und entspricht im Lebenszyklus von Gebäuden den Vorgaben für einen Einsatz als **ökologischer Baustoff** für tragende und raumabschließende Bauteile nach dem Klima- aktiv Gebäudestandard. vgl. Kolb (2007), (S.18); vgl. Höbarth (2006)

Der mehrgeschossige Holzbau lässt sich im städtebaulichen Kontext als Lückenbebauung in geschlossener oder offener Bauweise, siehe Abb.1.3 a), als Scheibe, siehe Abb.1.3 b) oder als punktförmige Bebauung ausführen, siehe Abb. 1.3 c). Ebenfalls ist eine Nachverdichtung in der Stadt von bereits bestehende, mineralischen Gebäude durch eine Aufstockung in Holzbauweise möglich, siehe Abb.1.3 d), z.B. auch als Dachgeschossausbau. vgl. Böhm (2007), (S.34) „Typologien“; vgl. Schramm (2008)

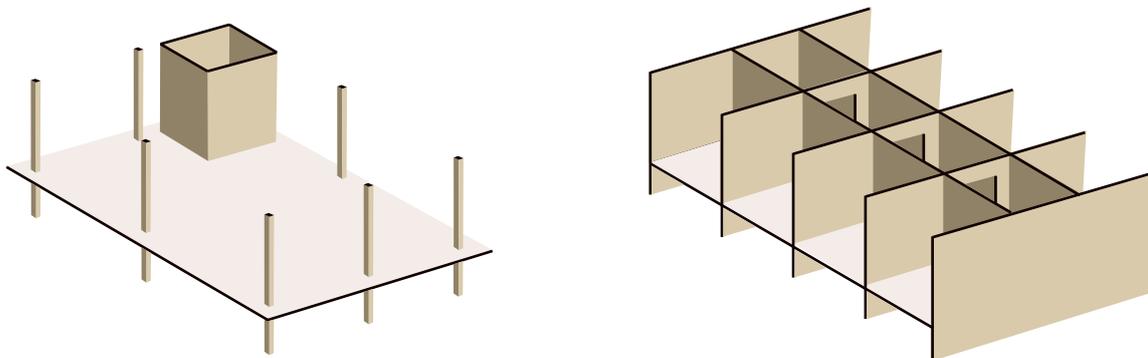


Einbindung der mehrgeschossigen Holzbauweise im urbanen Raum. Abb.1.1

Die oben aufgeführten Gebäudetypologien werden für Wohn- und Büronutzungen in typische nutzungs-spezifische Bauweisen erstellt. Für Gebäude mit Büronutzung ist eine Skelettbauweise vorteilhaft, da so verschiedene Bürokonfigurationen möglich sind, z.B. Großraumbüro oder Kombi- bzw. Zellenbüro, wobei der Erschließungskern aus einem massiven Bauteil besteht, um statische Erfordernisse zu genügen z.B. der Aussteifung gegen horizontallasten wie z.B. Wind. Die Skelettbauweise gewährleistet als Tragstruktur somit eine möglichst hohe Grundrissfreiheit und große Fensteröffnungen an der Fassade, durch wenige vertikale Tragelemente im Raum und der Gebäudeperipherie, somit kann auf unterschiedliche Raumkonfigurationen, verschiedene Mieter, sowie Nachnutzungen reagiert werden.

Für Wohnnutzungen kann ebenfalls die Skelettbauweise angewendet werden, die Schottenbauweise als massive Tragstruktur ist aber seit der Möglichkeit zur Herstellung vorfabrizierter Bauelemente Mitte des 20. Jhd. typischer, um die kleinteiligen, zellenartigen Raumkonfigurationen (Wohneinheiten) wirtschaftlich zu erstellen. vgl. Böhm (2007), (S.46- 58)

Nach Kolb kann der Baustoff Holz zur Erstellung von mehrgeschossigen Gebäuden in Skelett- und Schottenbauweise bzw. Massivbauweise mit bis zu 8 Etagen angewendet werden. Gebaute Beispiele sind unter anderem der Life Cycle Tower One, kurz LCT One in Dornbirn, siehe Kapitel 5, Fallbeispiel 1 oder das „H 8“ in Bad Aibling, siehe Kapitel 5, Fallbeispiel 2. vgl. Kolb (2007), (S. 182- 200)



Skelett- und Schotten- bzw. Massivbauweise als Tragstruktur für unterschiedliche Nutzungen. Abb.1.2

Die Schotten- bzw. Massivbauweise ausgeführt mit Massivholzelementen hat nach Kolb einen hohen Holzeinsatz zur Folge. Nach Untersuchungen von Kampmeier ist der brennbare Anteil der tragenden und raumabschließenden Holzbauteile als immobile Brandlast, im Gegensatz zum normalen brennbaren Inhalt einer Wohnnutzung der mobilen Brandlast, fast viermal so hoch, der Skelettbau ausgeführt in Holz erhöht dagegen den Anteil am brennbaren Inhalt aufgrund der Nutzung nur geringfügig. vgl. Kolb (2007), (S.112 - 135); vgl. Kampmeier (2008), (S.49)

Um den brennbaren Anteil der gesamten Konstruktion zu senken, wird der Holzbau häufig mit mineralischen Baustoffen kombiniert, es entstehen Verbundkonstruktionen, wie z.B. Holz- Betonverbund-Elemente, kurz HBV, ausgeführt als Platten- oder Balkendecke. Eine andere Möglichkeit besteht darin die Holzbauteile brandschutztechnisch zu bekapseln (kapseln), um diese vom Feuer zu schützen z.B. mit Gipskartonfeuerschutzplatten. vgl. Kolb (2007), (S.180f.); Winter et al. (2010)



Skelett- und Schotten- bzw. Massivbauweise als Tragstruktur für unterschiedliche Nutzungen. Abb.1.3

Es entstehen nun Fragen im Bezug zum Sicherheitsniveau (Schutzniveau) von Konstruktionen im Brandfall bei Wohn- und Büronutzungen, über die Dauer des Feuerwiderstandes tragender und raumabschließender Bauteile bei Skelett- und Massivbauweisen und ob diese dabei nichtbrennbar oder brennbar sein können.

1.3 Gegenwärtige Bauweise am Beispiel von Wien

In Österreich ist Wien mit rund 1,7 Millionen Einwohner die größte Stadt und will weiter wachsen. Dazu sind unter anderem das Projekt Aspanggründe- Eurogate (Neubau von Wohnungen auf 5 Baufelder), das Projekt Seestadt Aspern (Neubau von ca. 2.000 Wohnungen, sowie Büro und Einzelhandel), das Projekt Sonnwendviertel (Neubau von 5.000 Wohnungen für rund 13.000 Menschen) und das Quartier Belvedere (Neubebauung für 20.000 Arbeitsplätze, Büro, Einzelhandel, Handwerk) siehe Abb.1.1, durch das Wiener Stadtplanungsressort gewidmet und in der Planungs- und Bauphase.

Die neueste Fassung der Wiener Bautechnikverordnung, kurz WBTV und der darin enthaltenen bautechnische Anforderungen beziehen sich unter anderem auf die OIB RL 2 „Brandschutz“ die eine Verwendung von mineralsichen Baustoffen für tragende und raumabschließende Bauteile ab 6 Etagen vorsieht, mit Ausnahme von Dachgeschossausbauten. Der Einsatz von Holz als tragendes und raumabschließendes Bauteil ist somit für einen Großteil der neu entstehenden Gebäude im urbanen Raum, der oben aufgezählten Projekte der Bauklasse IV (BK IV) lt. Flächenwidmungsplanung baurechtlich nicht definiert, siehe Abb.1.2 Flächenwidmungsplan Aspanggründe- Eurogate.

vgl. Eurogate (2007); vgl. Wohnen im Sonnwendviertel; vgl. Belvedere Quartier; vgl. Aspern + Die Seestadt Wiens; vgl. OIB RL 2 (2011); vgl. Flächenwidmungs- und Bebauungsplan Wien; vgl. WBTV (2012)

Aufgrund dieser vorsichtigen deskriptiven Haltung der OIB RL 2 „Brandschutz“ gegenüber dem Holzbau im urbanen Raum, sollten Untersuchungen über die Sicherheit von Holzskelett- und Holzmassivbauweisen geführt werden, damit in zukünftigen Bauvorhaben in Wien eine optimale Lösung im Umgang mit dem Baustoff Holz in der OIB RL 2 „Brandschutz“ gefunden werden kann.



Übersicht Stadtentwicklung Belvedere Quartier, Wien. Abb.1.4



Flächenwidmungs- und Bebauungsplan Aspanggründe- Eurogate, Wien. Abb.1.5

1.4 Problemstellung

Um nun Büro- und Wohngebäude in Skelett- oder Schottenbauweise mit Holz erstellen zu können, definiert sich eine Problemstellung für den Standort Österreich. Das zur Zeit gültige Anwenderdokument, die OIB RL 2 „Brandschutz“, dass in der Familie der OIB- Regelwerke 1 bis 6 die bautechnische Grundlage der Landesbauordnungen in Österreich bilden soll, erschwert die Anwendung von tragenden und raumabschließenden Bauteilen aus Holz bei mehrgeschossigen Gebäuden ab 5 Etagen. In Wien ist der mehrgeschossige Holzbau ab 5 Etagen baurechtlich nicht definiert. Ausnahmeregelungen in Verbindung mit einem Brandschutzkonzept für die Planung und Erstellung eines Gebäudes mit brennbaren, tragenden und raumabschließenden Bauteilen aus Holz erfordert, reglementiert durch die Baubehörde, ein hohes Schutzniveau, das ein Baustoffverhalten über eine Dauer von 90 Minuten analog mineralischer Baustoffen verlangt und somit keine optimale Konstruktion im Verhältnis von Sicherheit und Wirtschaftlichkeit darstellt, ebenso die Verwendung einer automatischen Sprinkleranlage. vgl. WBTV (2012); vgl. OIB RL2 (2011); vgl. Pöhn (2010), (S.8)

1.5 Wissenschaftliche Vorgehensweise

Das Ergebnis einer umfangreichen Recherche über den mehrgeschossigen Holzbau, im urbanen Raum in der Geschichte, verdeutlicht die notwendige Entwicklung der hohen brandschutztechnischen Anforderungen für Gebäude in der Stadt.

Durch die Analyse der Entstehung eines Naturbrandes und dessen zeitlichen Verlauf in Räumen werden aufgrund von Forschungsergebnissen verschiedener Forschungsgruppen die maßgebenden Variablen, die am Versagen des Tragwerks bei Brandeinwirkung beteiligt sind, sichtbar und auch der Zeitpunkt der Brandweiterleitung über übereinanderliegende Fensteröffnungen verschiedener Brandabschnitte definiert, sowie ein Einfluss am Brandverlauf durch abwehrende Brandschutzmaßnahmen dargestellt. Die Ergebnisse der Analyse fließen als Entwurfsgrundlage in ein Bemessungsbrandszenario für mehrgeschossige Wohn- und Büronutzungen aus Holz ein.

Der EUROCODE 0: ÖNORM EN 1990 und der EUROCODE 1: ÖNORM EN 1991- 1- 2 definieren die ingenieurmäßigen Grundlagen zur Ermittlung der Brandeinwirkung auf Tragwerke und dessen Qualität. Mathematische Berechnungsmodelle liefern Ergebnisse zur Auslegung des optimalen Verhältnisses zwischen Sicherheit und Wirtschaftlichkeit für Bauteile im Brandfall.

Eine vertiefende Darstellung des Brandverlaufes in Büro- und Wohnnutzungen anhand zuvor definierter Entwurfsgrundlagen soll mit ausgewählten Berechnungsmodellen erfolgen und Möglichkeiten von optimalen Konstruktionen für den mehrgeschossigen Holzbau zeigen, hierbei wird der Holzmassiv- und Holzskelettbau gesondert betrachtet.

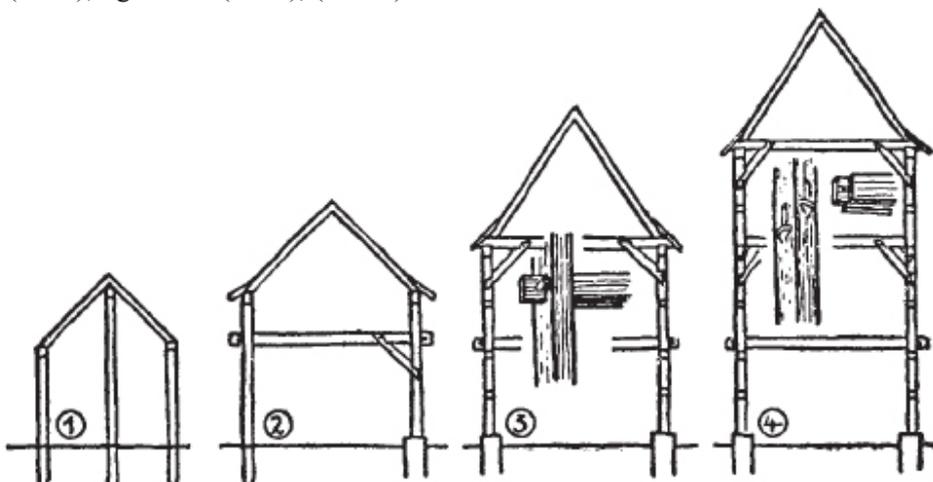
An 3 Fallbeispielen werden die Ergebnisse für optimale brandschutztechnische Konstruktionsweisen im mehrgeschossigen Holzbau überprüft. vgl. ÖNORM EN 1990 (2013); vgl. ÖNORM EN 1991- 1- 2 (2013)

Ziel ist es, in dieser Arbeit einen Vorschlag zu erarbeiten, auf Grundlage der Ergebnisse der brandschutztechnischen Untersuchung, für tragende und raumabschließende Bauteile aus Holz im urbanen Raum für Wohn- und Büronutzungen.

Damit könnte eine bauordnungskonforme und optimale Bauweise in der Gebäudeklasse 5, ohne die Erstellung von Sondergutachten und aufwendigen Brandschutzkonzepten für die standardisierten Gebäudetypologien Wohnen und Büro in Holzbauweise möglich werden. vgl. OIB RL2 (2011)

2 Mehrgeschossiger Holzbau in der Baugeschichte

Die traditionellen Holzbausysteme in Europa sind der Blockbau, sowie der Fachwerkbau, siehe Abb.2.1. Der Blockbau wurde im osteuropäischen und nordeuropäischen, sowie alpenländischen Raum häufiger eingesetzt, um mehrgeschossig zu bauen. Jedoch wurden aufgrund des hohen Holzbedarfes und des Setzungsverhaltens der Konstruktion, größere urbane Strukturen, soweit bekannt, nicht mit dem Blockbau erstellt, so dass der Fachwerkbau, südlich der Alpen, in Form der römischen Mietshäuser im antiken Rom den urbanen Holzbau begründete und darum hier genauer betrachtet wird. vgl. Phleps (1942); vgl. Kolb (2007), (S.50f.)



Entwicklung vom Pfostenhaus ca. 3.000 v. Chr. (1) über den Ständerbau (2), (3) bis zum mehrgeschossigen Stockwerkbau (4). Abb. 2.1

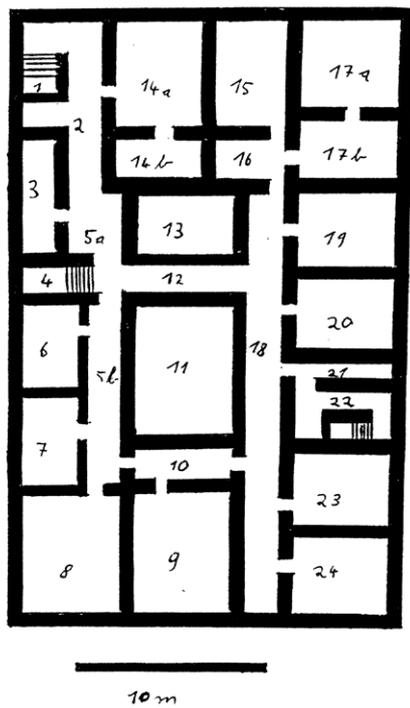
Zeltstangengerüste, wie sie ab 12.000 v. Chr. errichtet werden, bergen bereits die Idee des Fachwerks, ein tragendes Gerüst mit raumabschließenden Füllungen. vgl. Gerner (2007).

2.1 Urbaner Wohnbau im antiken Rom

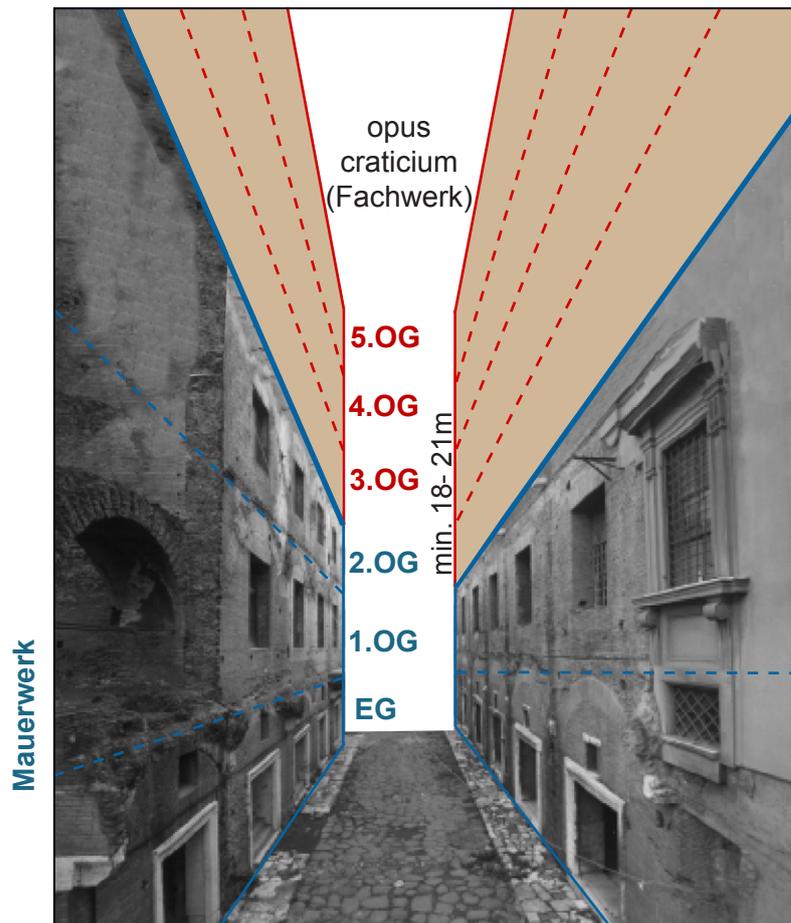
Rom als Zentrum des römischen Reiches hatte zu Zeiten der Republik (ca. 509- 27 v.Chr.) und bis zum Ende der hohen Kaiserzeit (27 v.Chr.- ca. 285 n.Chr.) einen stetigen Wohnungsmangel aufzuweisen, was nach Bottke eine Überbevölkerung in Rom nahelegt. Die Mietwohnungen, *insulae* genannt, waren die häufigst anzutreffene Wohnform. Die *insulae* erstreckten sich, anders als das klassische römische Haus (*domus*) nicht horizontal sondern vertikal. Die Grundfläche betrug ca. 200 m² und es wurden 4- 5 Etagen darauferrichtet. Eine nachträgliche zusätzliche Aufstockungen war ebenfalls üblich. Diese Bauform reihte sich nebeneinander in engen Gassen, siehe Abb.2.2 und Abb.2.3. vgl. Bottke (1999), (S.13), (S.40- 61) Aufgrund der Tatsache, dass in der Antike von den Menschen vieles zu Fuß erledigt werden musste, war es nötig, dicht am Zentrum zu wohnen, so dass eine horizontale Stadtentwicklung ihre Grenzen hatte und eine intensive Bodennutzung in Rom entstand. Die „*Insulae Felicles*“ war ein erstes Hochhaus in der Kaiserzeit im 9. Bezirk, das wahrscheinlich 8- 10 Etagen besaß. vgl. *Geoepoche* (5/ 2001), (S.1)

Die Bauhöhe der *insulae* wird von Bottke mit ca. 60 bis 70 Fuß (21- 18 m) angegeben, da nachweislich unter Kaiser Augustus, Nero und Trajan per kaiserlichen Erlass diese Bauhöhenbegrenzungen festgelegt wurden, um häufige Häusereinstürze zu reduzieren. Nach Untersuchungen von Bottke wurde bis zu diesen Beschränkungen standardmäßig sogar höher gebaut. vgl. Kolb (2002); vgl. *Geoepoche* (5/2001); vgl. Bottke (1999), (S.77f.); vgl. Bottke (1999), (S.115f)

Im Erdgeschoss der *insulae* waren Verkaufsläden und Werkstätten untergebracht, so dass die Erschließung der darüberliegenden Wohnungen über den Hof oder einem Gang an der Seite stattfand. Die Belichtung der Wohnungen geschah über Fenster zur Straßenseite und Hofseite. Eine Wohnung besaß meist 2- 3 Zimmer mit ca. 40 m² Wohnfläche, die aber aufgrund der hohen Mieten mit mehreren Menschen belegt war. Die Ärmsten lebten beengt im zugigen Dachgeschoss. vgl. Bottke (1999), (S.74f.), (S.93)



Grundriss 1. Obergeschoss und Straßenansicht einer insula (Mietshaus). Abb. 2.2



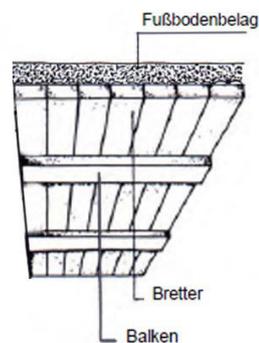
Via Biberatica in Rom, die Obergeschosse der insulae in Holzbauweise sind nicht mehr erhalten, lediglich die unteren 2 bis 3 Etagen aus Mauerwerk. Abb.2.3

2.1.1 Mischbauweise im mehrgeschossigen Mietswohnungsbau

Die unteren Etagen der insulae bestanden aus Mauerwerksschalen, aus Bruchstein, luftgetrockneten, später aus gebrannten Ziegeln (zB. opus testaceum) mit einem Zementkern (caementicium), in Schottenbauweise errichtet. Vitruv führt an, dass nur gebrannte Ziegel für den Hochhausbau benutzt werden sollen, aufgrund deren besserer Qualität. Die Wände durften wegen der beengten Platzverhältnisse in Rom nicht dicker als 1,5 Fuß (60 cm) sein. Aufgrund der hohen Lasten für das Mauerwerk mit zunehmender Geschosshöhe und um ebenfalls Mauerwandstärke einzusparen, konnte darum in den oberen Etagen nur in leichter Holzfachwerkbauweise gebaut werden. Das Fachwerk (opus craticium) mit Schwelle, Stiel, Riegel, Diagonale und Rähm fand darum häufig seine Anwendung. vgl. Bottke (1999), (S.25f)

Das Bauholz (Tannenholz) war kostengünstig zu beschaffen und es konnten in relativ kurzer Zeit (ohne Austrocknungsphasen wie beim Mauerwerk) vollständige Geschosse hergestellt werden. Der Fachwerkbau wurde mit Lehm verputzt, um einerseits das Fachwerk vor der Witterung zu schützen und andererseits eine Entzündung des Fach- und Flechtwerks durch Feuer zu vermeiden.

Die Geschossdecken waren aus Balkenlagen mit einer Bretterschalung und darüberliegendem Estrich hergestellt. Das Gesims und die Dachkonstruktion waren ebenfalls aus Holz konstruiert, sowie die Türen und Treppen. Treppen aus Stein benötigten aufgrund ihres Gewichtes starke Innenwände, die bei Holztreppen nicht ausgeführt werden mussten. Fensterläden, Türen und die Inneneinrichtung waren ebenfalls aus Holz hergestellt. Die Dachdeckung bestand während der Kaiserzeit häufig schon aus gebrannten Ziegeln, anstatt Holzschindeln. vgl. Bottke (1999), (S.19f)



Aufbau einer Zwischendecke, Abb. 2.4

2.1.2 Brandauslöser und Brandbekämpfung

Der unsachgemäße Umgang mit offenen Lichtquellen (Feuer), Öllampen, Kerzen und Kohlebecken, die zum Heizen, Kochen und Trocknen genutzt wurden führte häufig zu Bränden. Im Dachgeschoss war es zu dem sehr beengt, so dass hier häufiger Unfälle mit offenen Feuer geschehen konnten.

Konnte ein Brand in einem Zimmer nicht sofort gelöscht werden breitete sich das Feuer über die Möblierung aus. Über Fensteröffnungen konnte ein Feuerüberschlag auf darüberliegende Etagen und die Dachkonstruktion erfolgen, sowie auf nahe gegenüberstehende Gebäude.

Gebäudeabstände die in den Anfängen Roms noch vorhanden waren, wurden aufgrund der hohen Wohnungsnachfrage und nachfolgender Verdichtung aufgegeben, so dass eng aneinander gebaut wurde. Ebenfalls wurden durch Auskragungen der Stockwerke zur Straße die Gassen (10 Fuß= 2,90 m) enger. Einem Feuerüberschlag auf gegenüberliegende Gebäude konnte so nicht entgegengewirkt werden.

Der Zimmerbrand griff ebenfalls schnell auf die umgrenzenden Fachwerkwände über, da der Lehmputz innen wie außen auf den Fachwerkwänden einem Brandgeschehen nur wenige Minuten vor einem Eindringen des Feuers in die Holzkonstruktion und das Flechtwerk schützen konnte. Vorausgesetzt der Lehmputz wurde im Laufe der Lebensdauer des Gebäudes auch instandgehalten und wies keine Risse oder Abplatzungen auf. vgl. Bottke (1999), (S.25f), (S.73f), (S.115), (S.135f.)

Die Brandbekämpfung erfolgte in erster Linie von den Bewohnern selbst. Wasser zum Löschen von Bränden in den insulae gab es nach Bottke in Rom nur bedingt, ein Brunnen gab es selten im Hof, häufig auf einem Platz, so dass ein Vorrat von Wasser in Wohnungen in der Kaiserzeit vorgeschrieben wurde. So konnten zumindest kleinere Zimmerbrände, wenn diese früh genug bemerkt wurden von den Bewohnern selbst gelöscht werden. vgl. Bottke (1999), (S.62)

Kaiser Augustus führte aufgrund der häufigen Brände in Rom die *vigilis* (Feuerwehr) ein, um eine organisierte Brandbekämpfung zu gewährleisten, mit 7 Kohorten zu je 1000 Mann. Der Abriss von Gebäuden war bei der *vigilis* eine gängige Methode, um Feuerschneisen zu errichten und so die Brandausbreitung über mehrere Häuser zu stoppen. vgl. Jaspers (2009), (S.2); vgl. Bottke (1999), (S.66f.)

2.1.3 Mangelhafte Bauweise

Nach Untersuchungen von Bottke handelten die Baufirmen und Bauherren der *insulae* häufig aus wirtschaftlichen Interessen -d.h. eine kurze Bauzeit wurde angestrebt und geringe Materialkosten, dies stand somit einer qualitativ hochwertigen Bauweise entgegen, auch eine Instandhaltung wurde selten oder gar nicht durchgeführt. Das Mietshaus stand solange, bis ein anderes es in Brand steckte oder es von selbst einstürzte, durch Versagen des Fundamentes infolge von Hochwasser oder Versagen der Tragkonstruktion infolge zu geringer statischer Dimensionierung, bei nachträglichen Aufstockungen oder Überbelegung durch Mieter. Die hohen Gewinne aus den *insulae* machten nach Bottke sogar eine nur kurze Standdauer für die Bauherren profitabel. vgl. Bottke (1999), (S. 65f.); vgl. Bottke (1999), (S.110 - 114)

Die Verwendung von, in der Nähe von Rom vorkommenden günstigen Tannenholz für die Herstellung des Fachwerks, des Gesims, des Dachstuhls, der Treppen und Fensterläden machte lt. Zeitzeugenberichte des Architekten Vitruv eine rasche Brandausbreitung, von den Möbeln auf diese Teile möglich. Vitruv erkannte dabei, dass das Tannenholz schneller brannte als Lärche, aber dies kam in der näheren Umgebung nicht vor. Gerade das Gesims aus Tannenholz war dabei besonders gefährdet, da es bei einem Wohnungsbrand über die Fenster schnell in Brand geraten konnte und somit auch das Dachtragwerk entzündete. War der Lehmverputz der Fachwerkwand nach ein paar Jahren rissig, konnte auch hier das Feuer schnell auf das Flechtwerk innerhalb der Wand übergreifen. vgl. Bottke (1999), (S.17f.), (S.67)

Am 19. Juli 64 n.Chr. ereignet sich der größte Stadtbrand in der Geschichte Roms. Der Brand dauerte 6 Tage und endet am 24. Juli. Von den 14 Stadtbezirken Roms wurden drei völlig zerstört, in sieben Bezirken standen nur noch wenige Gebäude, vier Bezirke blieben dabei unversehrt. Es wurden mehrere 10.000 *insulae* zerstört. vgl. Russel (1998), (S.14); vgl. Lampugnani (1997), (S.133f.)

Es werden nach dem großen Brand Roms unter Kaiser Nero bauliche Maßnahmen gefordert:

- größere Straßenbreiten in den zerstörten Bezirken auszuführen, um ein Feuerübergriff auf die Nachbargebäude zu erschweren, ca 6,50 Meter als Brandschneisen;
- steinerne Kollonaden sollen die flüchtenden Bewohner vor herabfallenden Trümmern schützen;
- jedes Gebäude muss eine eigene Brandwand besitzen, Verbot gemeinsam genutzter Giebelwände;
- das Erdgeschoss muss bei Fachwerkgebäuden aus Stein oder in Mauerwerk hergestellt werden;
- eine maximale Bauhöhe (Traufkante) von 60 Fuß (18 m) wird eingeführt.

Nach Untersuchungen von Bottke sind viele der oben aufgeführten Maßnahmen aber aufgrund der hohen Wohnungsnachfrage nach dem großen Brand und der daraus resultierenden Wohnungsnot und notwendigen schnellen Errichtung der neuen *insulae* nicht möglich gewesen, was aufgrund von Ausgrabungen belegt werden konnte. vgl. Bottke (1999), (S.75)

Das Forum Romanum und die Kaiserforen, das Kolosseum und der Circus Maximus als Zentrum der Stadt wird aber nach dem großen Brand von einer 30 Meter hohen Feuermauer nach Nordosten hin zu den *insulae* abgeschirmt, um diese vor weiteren Bränden zu schützen. vgl. Geoepeche (5/ 2001), (S.4)

Schlussfolgerungen: Der mehrgeschossige Wohnbau im antiken Rom war durch eine jahrhundert lange baupraktische Entwicklung aber auch durch wirtschaftliche Interessen von Bauherr und Baufirma gekennzeichnet. Nach Bottke wurde dabei der Fachwerkbau in Verbindung mit dem Mauerwerksbau eingesetzt um wirtschaftlich zu bauen, wobei nur noch letzterer erhalten geblieben ist. Die Verwendung von Holz als Baumaterial hatte dabei gegenüber dem Mauerwerksbau wesentliche Vorteile in der Bauzeit, war leicht zu transportieren und hatte z.B. leichte und schmale Wandkonstruktionen zur Folge, was eine wirtschaftliche Bauweise bedeutete. Die mangelhafte Qualität der Konstruktion der *insulae* und die kaum vorhandene Wartung der Gebäude förderte im besonderen Maße eine kurze Lebensdauer der Gebäude.

2.2 Urbaner Wohnbau im Mittelalter und der frühen Neuzeit

Nördlich der Alpen war die Fachwerkbauweise im Mittelalter und der frühen Neuzeit gegenüber Bauweisen in Mauerwerk und Stein die wirtschaftlich vorteilhafteste im bürgerlichen Wohnbau.

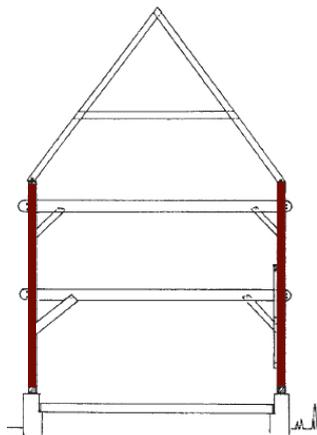
Die Überformung der Stadtkerne durch Wohngebäude aus Steinen und Backstein verlief darum langsamer z.B. in Lübeck seit dem 13.Jhd., in Wien seit dem 14.Jhd. Der Mauerwerksbau im Wohnbau war z.B. im walddreichen deutschsprachigen Raum teuer, schwer zu transportieren und hatte auch bis zum Aufkommen der Backsteingotik in Norddeutschland keine Tradition. Dicht bebaute, organisch gewachsene, enge Straßenzüge aus Fachwerk und zum Teil Mischbauweisen aus Stein und Fachwerk, prägten das Stadtbild, wie z.B. heute noch im Altstadtkern der Stadt Quedlinburg im Harz sichtbar ist. vgl. Legant- Karau (1998); vgl. Koch (2006), (S.175, 402)

Im Erdgeschoss der Wohngebäude in der Stadt z.B. in Marburg oder London waren häufig Werkstätten und Verkaufsläden untergebracht und in den darüberliegenden, auskragenden Geschossen die Wohnungen der Bürger zu ca. 45 m² mit Stube, Küche und Schlafkammer, wobei die Ärmsten im Dachgeschoss gegen einen geringen Mietzins unterkamen.

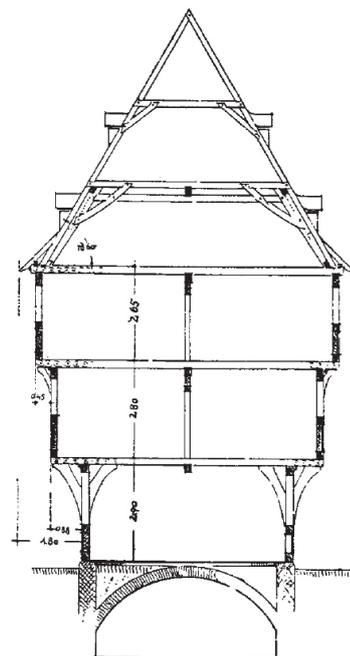
Im Spätmittelalter und der frühen Neuzeit differenzierten sich die Funktionen der Räume weiter (z.B. mit Arbeitszimmer, Kinderzimmer, Dienerzimmer, etc.) und es wurde mehr Wohnraum benötigt. Das Gewerbe im Erdgeschoss erweiterte seine Lagerflächen in den Keller anstatt zuvor in den Dachraum und weitere Etagen im Dachgeschoss, sowie Auskragungen der oberen Geschosse bis zu 2,0 m (z.B. Knochenhaueramtshaus in Hildesheim), erweiterten die Nutzflächen. vgl. Benevolo (1982)

2.2.1 Fachwerkbau

Der Fachwerkbau ist der Vorläufer der heutigen Holzskelettbauweise und besitzt auf Grundlage verschiedener Entwicklungen in der Fügungstechnik der Holzstäbe zueinander, im Laufe der Zeit und regionaltypisch unterschiedliche Bezeichnungen. Die Fachwerkbauweise ist vor allem sehr flexibel im Umgang mit mineralsichen Bauweisen einsetzbar, so dass diese eine weite Verbreitung fand und sehr lange angewendet wurde, siehe Abb.2.12. **Der Ständerbau**, auch Geschossbau genannt, ist eine Art des Fachwerkbaus und zeichnet sich durch nebeneinander stehende, durchlaufende vertikale Ständer von der Schwelle bis zum Dach aus, so dass somit 2 bis 3 geschossige Gebäude herstellbar waren, siehe Abb.2.5. **Der Stockwerkbau**, auch Rähmbauweise genannt, wurde erst mit der Entwicklung des Rähms als oberer Abschluss einer Geschosswand ermöglicht, somit konnten auch kurze Laubholzteile eines Baumes verwendet werden und mehr als 3 Etagen in der Fachwerkbauweise errichtet werden, siehe Abb.2.6. vgl. Kolb (2007), (S.54f.)



Romanik: Ständerbauweise, mit über alle Geschosse durchlaufenden Pfosten, Quedlinburg. Abb.2.5

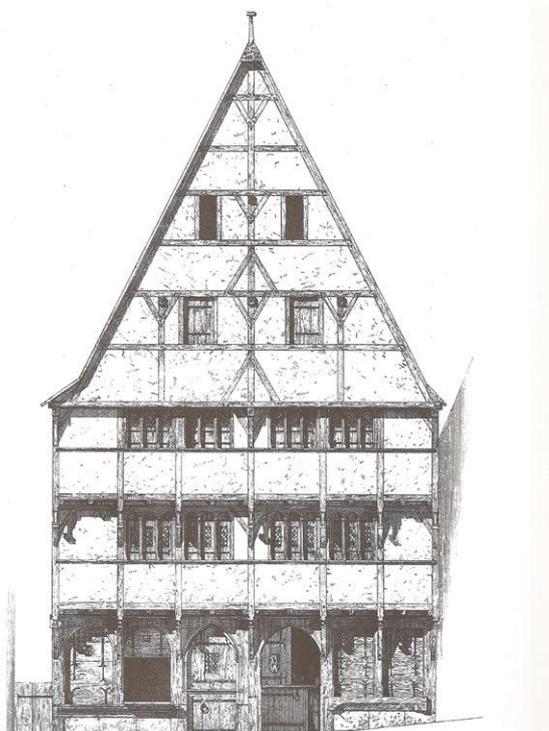


Spätgotik: Stockwerkbau mit Kellergeschoss und geschossweisen Auskragungen, Frankfurt. Abb.2.6

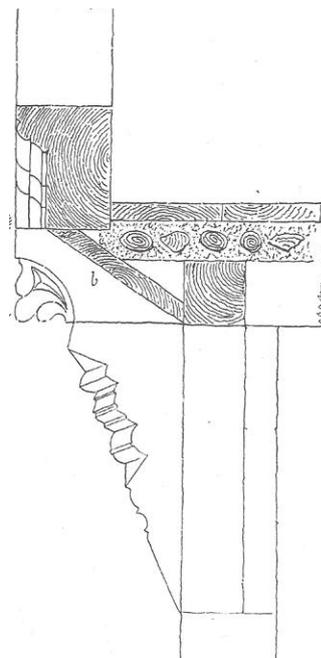
2 MEHRGESCHOSSIGER HOLZBAU IN DER BAUGESCHICHTE

Der Fachwerkbau entwickelt sich vom Ständerbau (Geschossbau) zum Stockwerkbau (Rämbau) weiter und wurde hauptsächlich in Frankreich, England, Deutschland und der Schweiz eingesetzt, mit den jeweiligen typischen regionalen Bauweisen. vgl. Kolb (2007), (S.54f.); vgl. Oltendorf (1908)

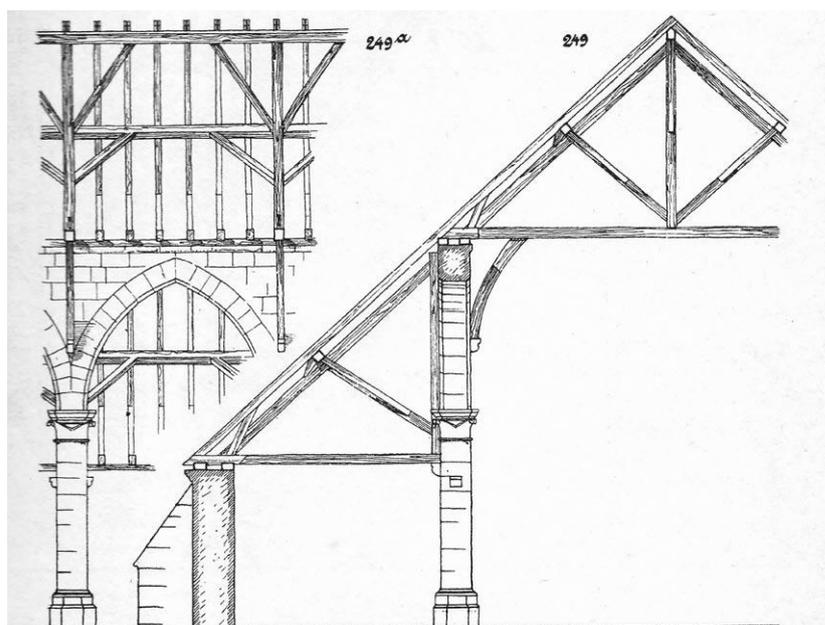
In der Romanik waren die mehrgeschossigen Wohngebäude in Fachwerkbauweise noch schmucklos und die Ausfachungen verputzt. In der Zeit der Gotik ändert sich dies und das Fachwerk, die Ausfachungen, sowie im Innenraum Vertäfelungen an Wand und Decke werden zu dekorativen Zwecken genutzt, mit der höchsten Ausgestaltung in der Zeit der Renaissance, siehe Abb.2.11. vgl. Uhde (1903); vgl. Warth (1900)



Romanik: Fachwerkbau mit mineralischem Erdgeschoss und kleinen Fenstern, Marburg. Abb. 2.7



Gesimsausbildung mit Geschossauskragung in Holz sind Ursachen für eine schnelle geschossweise Brandweiterleitung. Abb. 2.8



Gotik: Die Scheune des Klosters Maubission aus dem 13. Jhd. Das Dachtragwerk aus Holz wird von gotischen Bögen aus Mauerwerk getragen. Abb. 2.9



Spätgotik: englisches Fachwerk, mit willkürlicher Formen-anwendung, Cheshire. Abb. 2.10

Frührenaissance: Unterdrückung der konstruktiven Eigenschaften im Holzbau, Rouen. Abb. 2.11

2.2.2 Brandauslöser und Brandbekämpfung

Die häufigste Brandursache war nach Herden der unsachgemäße Umgang mit offenen Lichtquellen, bestehend aus Öllampen und Kerzen, sowie offene Kohlebecken, die zum Kochen, Heizen und vor allem zum Trocknen von z.B. Flachs dienten. Erst die Einführung des steinernen Kamins im 15. Jhd., mit einer Entrauchung über Dach und Kontrollen der Feuerstelle durch die Behörde reduzierte die Brandereignisse in den Wohnungen. Nach Herden führten ebenfalls Blitzeinschläge zu Brandereignissen.

Ein Brand in einem Raum weitete sich über die Möblierung und Holzvertäfelung der Wände und Decke und über die Fensteröffnungen auf die Holzfassade aus und somit auf darüberliegende Etagen und das Dach. Eine Brandweiterleitung über die eng stehenden Gebäude hinaus erfolgte so durch die mit Holz oder Stroh eingedeckten Dächer und Holzfassaden. Der Funkenflug konnte nun auch weit weg stehende Dächer entzünden und somit viele einzelne Brände auslösen und Fachwerkgebäude beschädigen oder ganz zerstören.

In der Brandbekämpfung stagnierte die Entwicklung im Mittelalter gegenüber römischen Errungenschaften der Antike, da das Feuer als Strafe Gottes galt, (Sodom und Gomorra wurden zur Strafe durch ein Feuer vernichtet. vgl. Offb 20, 9), so dass zu meist in den Brandverlauf von den Bewohnern nicht eingegriffen wurde. Die größte Anzahl von schweren Stadtbränden ist zwischen dem 12. und 14. Jhd. im europäischen Raum nachweisbar.

Die erste Feuerverordnung zur Organisation einer Brandbekämpfung im deutschsprachigen Raum, aufgrund mehrerer Stadtbrände erläßt Wien im Jahr 1221. Sechshundneunzig Jahre später erläßt Frankfurt a. Main 1317 ebenfalls eine Feuerverordnung. Die massenhafte Gründung von freiwilligen Feuerwachen zur Brandbekämpfung setzt erst Mitte des 19. Jhd. ein. vgl. Herden (1982)

2.2.3 Verdrängung des Holzbaus durch mineralische Bauweisen

- Da die wirtschaftlichen Vorteile des Fachwerkbaus gegenüber Bauweisen aus Mauerwerk und Stein überwiegen, erließen die Landesherrn und Bürgermeister staatliche Förderungen auf die Verwendung nichtbrennbarer Materialien, um der häufigen großflächigen Zerstörung von Fachwerkhäusern durch Brände in den Städten vorzubeugen. Wirtschaftsstarke Regionen bauten so eher mineralisch als wirtschaftsschwache Regionen z.B. ländliche Gebiete. vgl. Bürgerhäuser (2009), 8.4.2 Fachwerkhäuser
- Im 12. Jhd. kommt die Stadt London für die Errichtung der Brandmauern bei neu errichteten Gebäuden bis zu einer Höhe von 4,80 m und Breite von 90 cm selbst auf. vgl. Herden (1982), (S.27)
 - Im 13. Jhd. wird in der wirtschaftlich starken Hansestadt Lübeck der Bau von Fachwerkgebäuden nach mehreren Großbränden verboten - d.h. Beginn der Backsteingotik. vgl. Legant- Karau (1998), (S. 87); vgl. Holst (2002), (S.110)
 - Im 14. Jhd. gibt es in Wien auf gebrannte Ziegeleindeckungen Steuererleichterungen, die eine Brandweiterleitung durch Funkenflug eindämmen sollen. vgl. Teibinger (2004)
 - Im 17. und 18. Jhd. werden von den Landesherrn z.B. im Rheinland Förderungen (Vergünstigungsklassen) für die Errichtung teilmassiver Häuser oder verputzter Fachwerkstrukturen z.B. in Koblenz oder Trier gegeben. vgl. Bürgerhäuser (2009), 8.4.2 Fachwerkhäuser

Die bestehenden Fachwerkgebäude und Dachkonstruktionen waren für Belastungen durch Ziegeleindeckungen (anstatt Holzschindeln, oder Stroheckung) häufig aber nicht ausgelegt, so dass die Entwicklung zur nichtbrennbaren Dachhaut lange dauert. Die Stroheckung der Häuser wurde z.B. in Westfalen erst im 17. Jhd. zugunsten der Ziegel gänzlich verboten. Das Verbot der Abdichtung der Ziegel mit Stroh (Strohdocken) galt sogar erst im späten 18. Jhd. auf dem Land. vgl. Weidner (2008)

Feuerversicherungen: Um auch die wirtschaftlichen Folgen einer Brandkatastrophe in einer Region überwinden zu können werden im späten 17. Jhd. Feuerversicherungen gegründet die für Brandschäden aufkommen sollen, wenn diese nicht von den Bewohnern selbst verschuldet sind, z.B. die Hamburger- General- Feuerkasse ab 1676, alle Preußische Gebiete sind ab 1718 feuerversichert.

Im 19. Jhd. wird bei den Feuerversicherungen im Rheinland z.B. der „Rheinische Feuersozietät“ durch Staffelung der Beiträge in die höchste Risikoklasse ein zwangsweises verputzen von Fachwerkgebäuden verlangt. vgl. Weidner (2008); vgl. Herden (1982), (S.60)

Holzverknappung: Aufgrund der absehbaren Verknappung des Rohstoffes Holz im 18. Jhd. durch die intensive Nutzung im z.B. Schiffbau, Bergbau und Hochbau, sowie als Brennholz fordert Carl von Carlowitz als Oberberghauptmann von Sachsen eine kontrollierte Forstbewirtschaftung, die den Rohstoff Holz weiterhin über Generationen sichern soll. vgl. Carlowitz (2013)

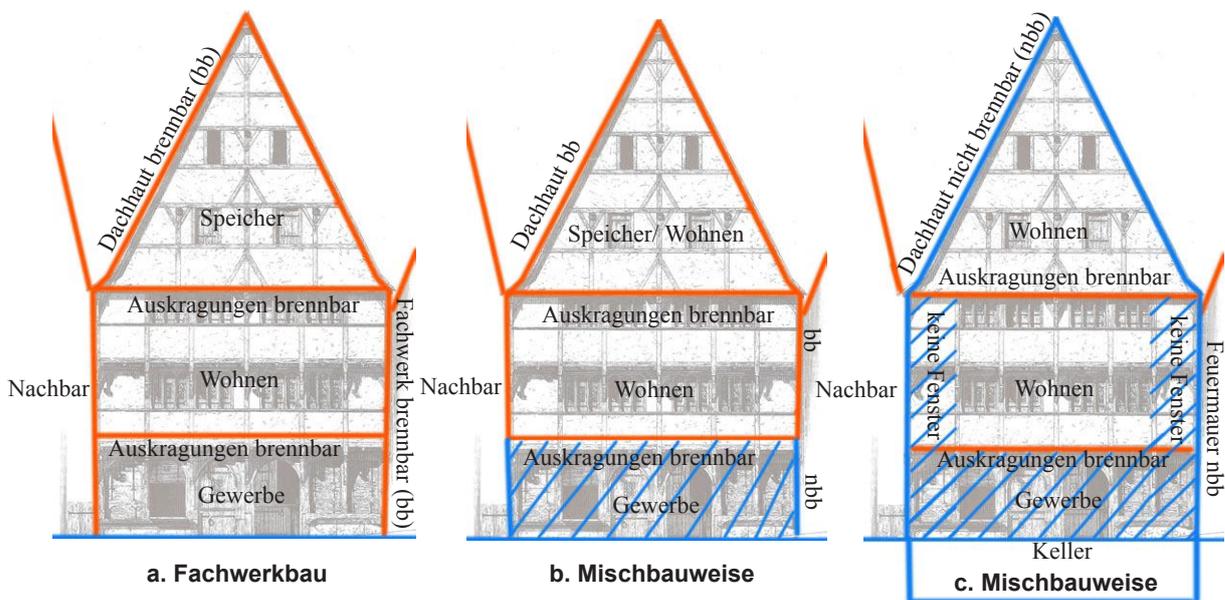
Im 18. Jhd. gibt es durch regionaler Energiekrisen aufgrund fehlender Holzvorräte Preissteigerungen von Holzwaren, vorrangig in Städten z.B. in Zürich aufgrund von langen Wintern (lange Heizperioden) oder Transportschwierigkeiten beim heranschaffen von Brennholz (witterungsbedingt). Dies ist zumindest in der Schweiz nach Untersuchungen von Radkau und Hürlimann nicht grundsätzlich auf den Raubbau der Wälder zurückzuführen. vgl. Hürlimann (2004), (S.6); vgl. Radkaub (1986)

Ebenfalls im 18. Jhd. wird durch das knapper werdende Eichenholz aufgrund fehlender Aufforstung im Rheinland auf das günstigere Nadelholz im Hochbau zurückgegriffen, das dort ausreichend zur Verfügung steht, es werden aber im letzten Drittel des 18. Jhd. deutlich weniger Fachwerkhäuser in der Region errichtet. vgl. Bürgerhäuser (2009), 8.4.2 Fachwerkhäuser

Die nun im Gegensatz zum Bauholz steigende Verfügbarkeit an Backstein, später auch an Ziegelsteinen aufgrund des technischen Fortschrittes, verhalf den Mauerwerksbau, als moderne und dauerhafte Bauweise, die auch von ungelerten Arbeitskräften einfach umzusetzen war, zur Konkurrenzfähigkeit gegenüber dem Fachwerkbau. Im frühen 19. Jhd. ist z.B. Wienerberger ein führender Ziegelhersteller in der beginnenden Gründerzeit.

Schlussfolgerung: Die Bauweise der mittelalterlichen und der frühen neuzeitlichen Wohngebäude in den europäischen Städten unterscheidet sich stark regional durch Bautraditionen, Bauordnungen als Erfahrungswerte von Stadtbränden, politischer Wille sowie der Wirtschaftskraft der Bürger. So gab es reine Fachwerkgebäude mit 5- 6 Etagen noch in der Renaissance (Abb. 2.12a) und Mischbauweisen

aus Stein, Backstein und Fachwerk in Ständer-, oder Stockwerkbauweise aufgrund baulicher Brandschutzvorschriften schon in der Romanik (Abb. 2.12c).



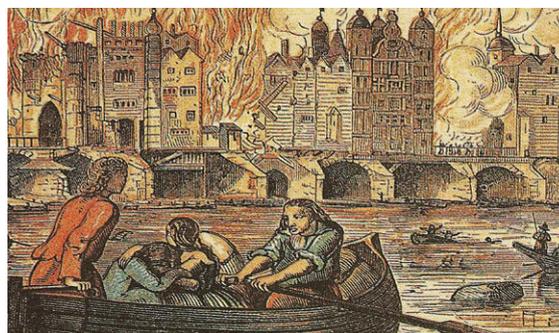
Kombinationen brennbarer (orange) und nichtbrennbarer (blau) Bauteile. Abb.2.12

2.2.4 Der „rebuilding Act“ und die nichtbrennbare Stadt

Der große Brand von London im Jahr 1666 markiert einen entscheidenden Wendepunkt im Bauen mit brennbaren Materialien im urbanen Raum. Die Zerstörung von 13.000 Häusern und 87 Kirchen, in der zweitgrößten Stadt Europas mit ca. 375.000 Einwohner veranlasste Charles II. entscheidende Maßnahmen im „rebuilding Act“ zur Reduzierung der Brandausbreitung zu treffen. vgl. Charles II., 1666: „An Act for rebuilding the City of London“; vgl. Herden (1982); vgl. Russel (1998); vgl. Reddaway (1940)



Das Große Feuer von London. Abb. 2.13



Das Große Feuer von London. Abb. 2.14



Die Zerstörungen Londons (weiß markiert) durch das Feuer 1666. Abb.2.15

Der Rebuilding Act sah vor, nichtbrennbare Materialien für den Wiederaufbau der zerstörten Stadt zu verwenden. Gebäude aus Holz wurden im Stadtraum durch die Einteilung der Gebäude in Klassen und deren Bauweise verboten. Die Einteilung der Gebäude geschah nun in Kategorien nach Geschosszahlen:

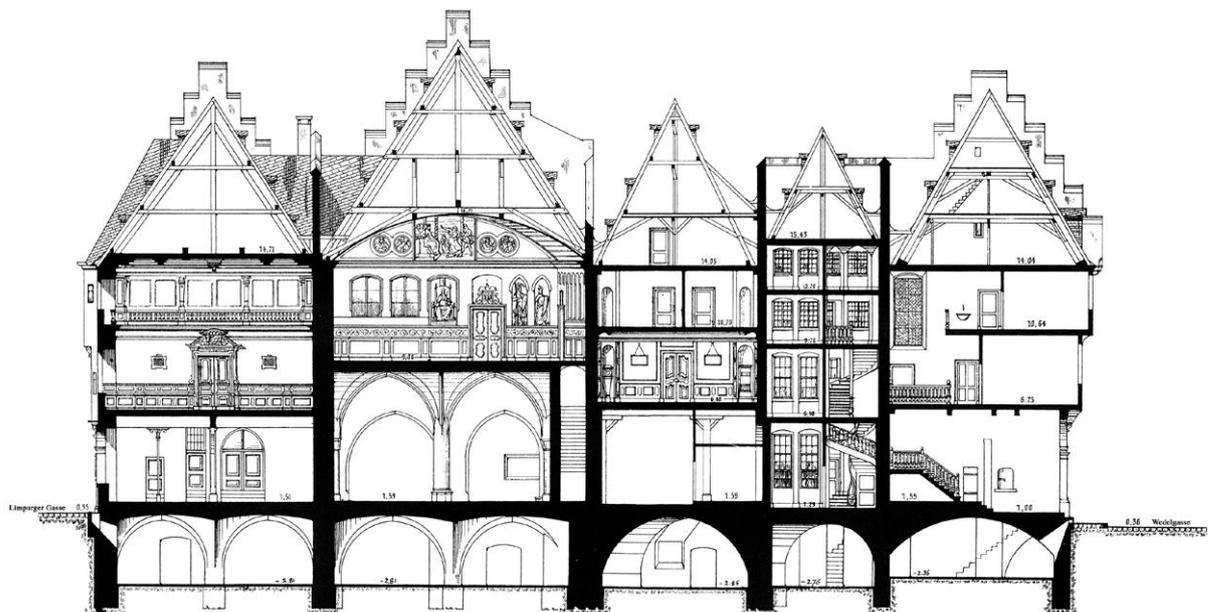
- Gebäude der **Kategorie 3** mit 4 Etagen wurden an den Hauptstraßen errichtet,
- Gebäude der **Kategorie 2** mit 3 Etagen an größeren Nebenstraßen und der
- Gebäude der **Kategorie 1** mit 2 Etagen an kleinen Straßen.

Die Hauptstraßen, Nebenstraßen und kleineren Straßen wurden anhand einer Karte ausgewiesen, so dass die Größe der Häuser und Straßenbreiten eindeutig vorbestimmt war. Weitere Vorgaben im Rebuilding Act waren:

- Mauerwerksstärke definiert anhand der Gebäudekategorie 1- 3.
- Festlegung der max. Höhe der Geschosse, nicht der Gesimshöhe. vgl. Reddaway (1940)
- Geschossdecken und das Dachtragwerk dürfen weiterhin aus Holz bestehen.
- Noch bestehende Häuser aus Holzfachwerk der Kategorie 1- 3 müssen vollständig verputzt werden.
- Die Dielen der Zwischendecken müssen mindestens aus Eiche bestehen.
- Die Fenster und Türstürze müssen aus Mauerwerk oder Stein bestehen.
- Balkone zur Straße mussten aus Eisen (nichtbrennbar) hergestellt werden.
- Die Mindestbreite aller sonstigen Straßen ist 4,20 m. (keine Geschossauskragungen zur Straße)
- Eine einheitliche nichtbrennbare Dachdeckung wird vorgeschrieben.
- Abgebrannte Häuser müssen innerhalb von 3 Jahren wieder errichtet werden.

Schlussfolgerung: Die weitgreifenden Maßnahmen in der Bauordnung in London gegen eine Brandausbreitung, durch eine mineralische Bauweise, reduzierte den urbanen Fachwerkbau nachhaltig und führte unter anderem zum gregorianischen Stil. Stein und Backstein, sowie Ziegelstein ersetzte die brennbaren Holzkonstruktionen und die Dachhaut, bis auf die Zwischendecken, Treppen und Dachkonstruktionen.

Anhand eines Längsschnittes des Rathauses in Frankfurt am Main, des „Römers“, wird der Unterschied zur schweren mineralischen Bauweise (rechts) mit dem zu dieser Zeit notwendigen starken Mauerwerk, im Gegensatz zur schlanken Fachwerkbauweise (links) sichtbar, siehe Abb.2.17. Im reinen Mauerwerksbau ist eine schubsteife Verbindung zwischen Fassade und Holzbalkendecke nicht möglich, so dass das Eigengewicht der aufgehenden Mauerwerkswände für Stabilität sorgen musste.



Schnitt vom Rathaus in Frankfurt am Main zu Beginn des 19. Jhd. Abb.2.16

2.3 Urbaner Wohnbau in Stadtgründungen Nordamerikas im 18. und 19. Jhd.

Die Siedler brachten die Holzbauweisen im 15. Jhd. aus der alten Welt mit in die Neue, somit wurden die ersten Ansiedlungen an der Ostküste Nord- Amerikas in Blockbauweise, Ständer- oder Fachwerkbauweise errichtet. Die Bauweise Neuenglands folgte dabei hauptsächlich der eng stehenden englischen Fachwerkbauweise. Die Konstruktion bestand aus massiven Pfosten und Tragbalken, ausgefüllt mit Weidengerten und Mörtel. Das Rahmenskelett wurde dann wettersicher mit einer keilförmigen 12 cm breiten Stülpchalung verkleidet. vgl. Abram (2001)

In Nordamerika verzögert sich der Niedergang des urbanen Holzbaus gegenüber Europa, durch die hohe Verfügbarkeit von Holz und dessen Bedarf, aufgrund vieler Stadtgründungen im mittleren Westen im 18. und frühen 19. Jhd., so dass die Holzindustrie für den Wohnbau dort sehr bedeutend ist, da sie in den verkehrsunerschlossenen Regionen gegenüber Ziegelbauweisen wirtschaftlich bleibt.

Die Städte im 18. Jhd. und 19. Jhd wurden häufig als Raster Plan Städte über das National Grid System angelegt und gleichmäßige Straßen prägen das Stadtbild westlich Neuenglands, siehe Abb.2.19. Wesentliche Unterschiede zu europäischen Städten sind das Fehlen von Stadtmauern, Burganlagen und Marktplätzen, somit gibt es selten eine zentrale Ausrichtung. Als Zentrum dient häufig das County Gerichtsgebäude und Rathaus. Durch Verdichtung ausgehend vom Zentrum entstehen aufgrund unterschiedlicher Bodenpreise die Bereiche Downtown, Übergangsbereich und Umland. vgl. Fehl (2004)

2- 3 geschossige Wohngebäude in Holzbauweise prägen die Straßenzüge der neu gegründeten amerikanischen Städte z.B. in Chicago im mittleren Westen Anfang des 19. Jhd., siehe Abb. 2.17. Mischbauweisen aus Ziegel und Holz sind selten, erste vollständige Ziegelgebäude mit bis zu 4 Etagen entstehen im mittleren Westen in Chicago, Mitte des 19. Jhd.

Im Erdgeschoss der Wohngebäude befanden sich 3- 4 Räume (Küche, Wohnen, Diele, Schlafen) in den Obergeschossen ebenfalls 3- 4 Zimmer, so dass bis zu 2 oder 3 Familien in einem Reihenhauses lebten. Kellerräume boten zusätzlich Lagerfläche. Kamine aus Stein dienten zum heizen und kochen, Öllampen, Gaslampen und später elektrische Lampen boten Licht.

2.3.1 Chicago Constuction und Western Framing

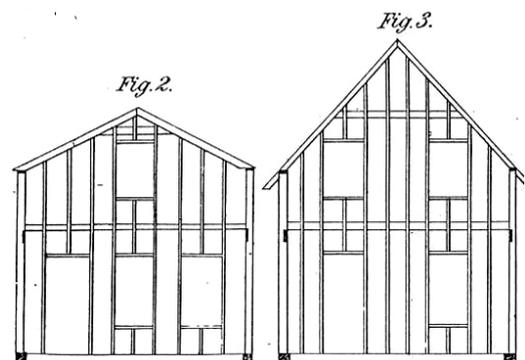
Am Ende des 18. Jhd. konnte die Nagelherstellung durch den technischen Fortschritt beschleunigt werden und Anfang des 19. Jhd. gab es dampfbetriebene Holzsägen, so dass standardisierte Holzquerschnitte massenhaft hergestellt werden konnten. So entwickelte sich die Chicago Construction, auch Ballon Frame genannt, ein auf standardisierte Holzquerschnitte basierender, eng gereihter, stumpf aneinander gefügter und diagonal verschaltes Stockwerk Rahmenbau, wobei die Steher über die Geschosse durchlaufend sind. vgl. Johnson (2007)

Es gab dabei verschiedene Ausführungen, die entweder qualitativ hochwertiger und teurer waren und Ausführungen die schneller und billiger herzustellen waren, siehe Abb.2.21. vgl. Sprague (1981)

Eines der ersten Gebäude, das in der „Chicago Konstruktion“ hergestellt wurde, ist wahrscheinlich ein Warenhaus in Chicago im Jahr 1832 von Georg Washington Snow, sowie die Marienkirche von Augustin D. Taylor 1833 ebenfalls in Chicago. vgl. Heath (1996)



Wohngebäude in Chicago im frühen 19. Jhd. Abb.2.17



Chicago Construction, 19. Jhd. Abb.2.18

1867 wurde der Chicago- style ballon frame im „Illinois Cottage“ auf der Expo in Paris ausgestellt. Es entwickelte sich daraus ein geschossweise aufbauendes System, der „Western Framing“ oder „Platform

Framing“ genannt wurde und heute die vorrangige Bauweise bei ein und zweistöckigen Gebäuden in der Peripherie der Städte darstellt. vgl. Johnson (2007); vgl. Sprague (1983)

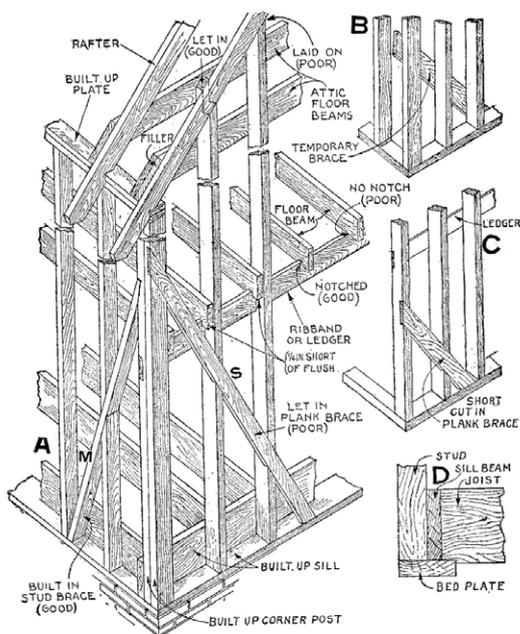
In Europa entwickelte sich daraus der Rahmenbau mit einem Konstruktionsraster von 62,5 cm und die höher vorgefertigte Tafelbauweise. vgl. Kolb (2007), (S.60) „b5 balloon- Frame, Plattform- Frame“



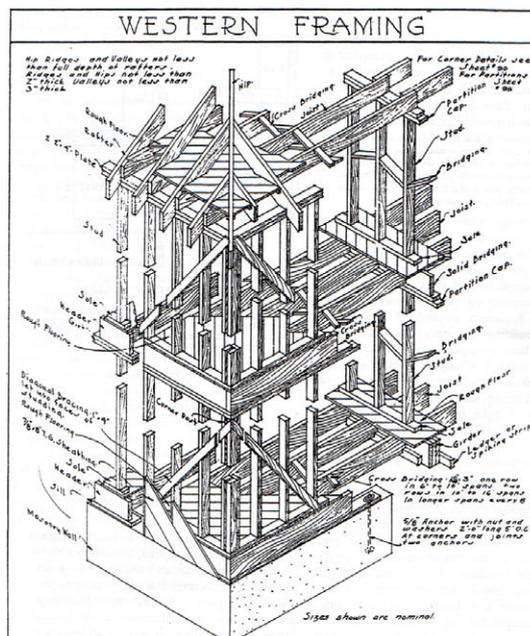
Stadtgründung am National Grid System, 19. Jhd. Canfield, Ohio. Abb.2.19



Reihenhäuser in San Francisco in Balloon Framing. Abb.2.20



Balloon Frame im frühen 19.Jhd. Abb.2.21



Western Framing im 19.Jhd. Abb.2.22

2.3.2 Brandauslöser und Brandbekämpfung

Die häufigste Brandursache im 18. und 19. Jhd. ist weiterhin der unsachgemäße Umgang mit offenen Lichtquellen, bestehend aus Öl-, Kerosinlampen, Kerzen etc. sowie Blitzeinschläge, die einen Brand in einem Gebäude auslösen konnten. Konnte ein Zimmerbrand nicht schnell genug gelöscht werden, breitete sich das Feuer über die Möblierung und die Holzinnenkonstruktion, über Fensteröffnungen auf die Holzfassade und darüberliegende Etagen und nebenstehenden Gebäude weiter aus. Über die brennbare Dachhaut konnten durch den Funkenflug auch weit entfernte Gebäude in Brand geraten.

Das Feuerwehrwesen ist in den neugegründeten Städten des 18. und 19. Jhd. dem schnellen Städte-wachstum häufig nicht angepasst, so dass in Chicago im Jahr 1870 auf 100.000 Einwohner ca. 17 von Pferden gezogene Löschfahrzeuge mit Spritzen und 23 Karren mit Löschschläuchen kommen. vgl. Russel (1998), (S.21)

2.3.3 Verdrängung des Rahmenbaus durch mineralische Bauweisen

Der um 1800 verstärkten Verdichtung der amerikanischen Städte in Holzbauweise folgen Brände und

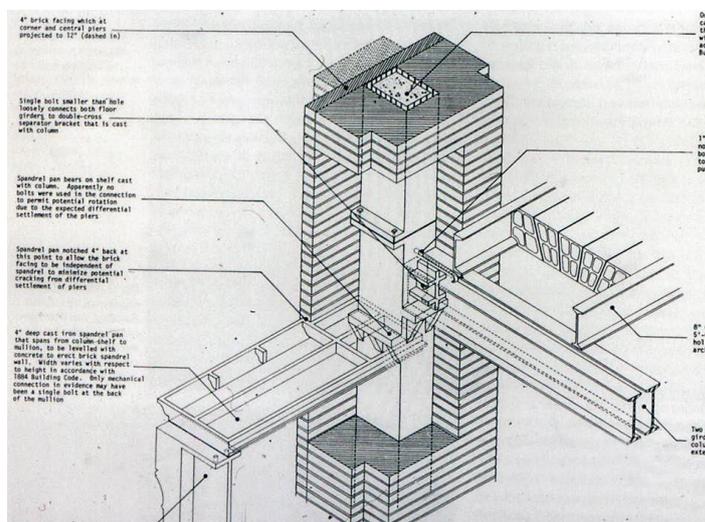
daraus resultierende bauliche Brandschutzvorschriften in jeder größeren Stadt. In Chicago werden diese Vorschriften ab 1837 vom Chicago Health Department erlassen.

Das große Feuer von Chicago 1871 markiert dabei einen Wendepunkt im Bauwesen. Die großflächige Zerstörung der Stadt mit ca. 18.000 Wohnhäusern und dem Geschäftszentrum leitet eine Entwicklung von baulichen Brandschutzvorschriften ein, die aber durch Grundstücksspekulanten zuerst behindert wird. vgl. Russel (1998), (S.20); vgl. Enzyklopädia of Chicago, Building Codes and Standards

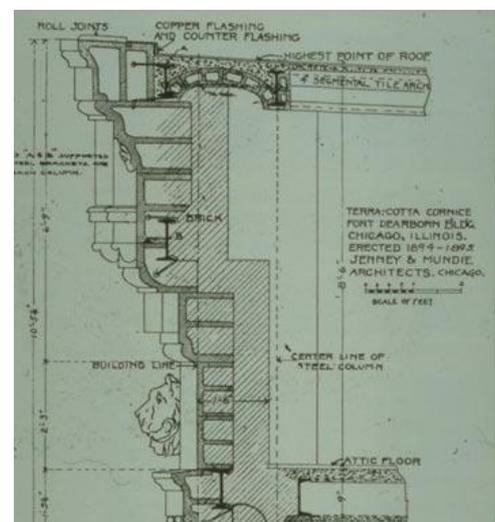


Das grosse Feuer von Chicago 1871. Abb. 2.23

Nach dem 1874 nochmals ein Brand rund 800 Häuser in Chicago zerstört, werden die baulichen Brandschutzbestimmungen aus dem Chicago Health Department ausgelagert und im neuen Building Department verwaltet und überarbeitet. Unter anderem müssen nun alle Gebäude mit mehr als 3 Geschossen eine nichtbrennbare Konstruktion besitzen. Diese kann nun auch in Stahlbauweise erfolgen, denn es wurde in den Brandruinen von 1871 festgestellt, dass Stahlkonstruktionen (z.B. Gusseiserne Stützen), die mit Gipsmörtel ummantelt waren, den Brand widerstanden hatten.



Stahl- Skelettbauweise, Anschlussdetail Fassade und Decke. Abb. 2.24



Fassadenschnitt Stahl- Skelettbauweise. Abb. 2.25

Schlussfolgerung: Somit wird der mehrgeschossige Holzbau aus dem urbanen Raum im mittleren Westen Amerikas verdrängt. Die Chicagoer Innenstadt wird zur neuen, modernen Vorzeigestadt im baulichen Brandschutz, im späten 19. Jhd. vgl. Berger (2004), (S.4)

Die brandsichere Skelettbauweise in Stahl, mit Terracotta oder Gipsmörtel ummantelt ermöglicht im Gegensatz zu den schweren und tiefen reinen Mauerwerkskonstruktionen der vorigen Jahrhunderte, schmale Wände auch im Hochhausbau, durch die Möglichkeit der schubsteifen Verbindung der tragenden und aussteifenden Bauteile in der Fassade, der Deckenkonstruktion im Stahlbau und dem Erschließungskern.

2.4 Zusammenfassung

Als erste Millionenstadt Europas hatte Rom in der Antike schon sehr viele Stadtbrände im Laufe der Geschichte zu verzeichnen, darunter den großen Brand Roms 64. n.Chr. mit einer hohen Anzahl zerstörter Gebäude. Bauhöhenbegrenzungen, um das gewinnorientierte Bauen innerhalb der Stadt und die somit verbundenen Gefahren durch Überlastung des Tragwerks und der mangelhaften Bauweisen einzudämmen und die Sicherheit zu erhöhen, wurden von den Kaisern als Notmaßnahmen erlassen. Reglementierte Gebäudehöhen und die Verwendung von nichtbrennbaren Materialien (Lehmverputz, Ziegeldachdeckung), sowie bauliche (Brandwand) und organisatorische (Feuerwehr) Maßnahmen zur Verhinderung der Brandausbreitung begründen den Brandschutz im urbanen Raum bereits in der Antike.

Die Städte im Mittelalter und der frühen Neuzeit entwickelten sich aufgrund Ihrer Wirtschaftskraft und des Bevölkerungswachstums unterschiedlich schnell, so dass Entwicklungen und Maßnahmen zum baulichen Brandschutz mit der Verwendung von mineralischen Baustoffen, in großen und bedeutenden Städten mit erlebten Brandkatastrophen eher z.B. in Lübeck im 12. Jhd., in London 1212 und 1667, in wirtschaftsschwachen Regionen später einsetzte, häufig erst mit dem Aufkommen der Feuerversicherungen im 18. Jhd. und 19. Jhd und der erhöhten Verfügbarkeit mineralischer Baustoffe wie zB. Ziegel.

Die Städtegründungen im 18. und 19. Jhd. im mittleren Westen Nordamerikas folgten dem Schema der wachsenden Städte Europas im Mittelalter und frühen Neuzeit. Die Geschichte der Brandkatastrophe Chicagos im Jahr 1871 ist mit der in London im Jahr 1666 und Rom im Jahr 64 vergleichbar.

Die häufige Verwendung brennbarer Konstruktionen und Bekleidungen von Dach und Wand zum Bauen von Gebäuden, aufgrund der hohen Verfügbarkeit von Holz und somit günstigen Bauweise führte zu hohen Verlusten bei Bränden. Ein unzureichender abwehrender Brandschutz (Feuerwehr) konnte Gebäudebrände nicht erfolgreich bekämpfen, so dass die Gefahr einer Brandausbreitung hoch war und oft ganze Stadtquartiere den Flammen zum Opfer fielen.

Der mehrgeschossige Holzbau wurde durch bauliche Brandschutzmaßnahmen verdrängt, um die hohen Gebäudeverluste bei Bränden entgegenzuwirken z.B. durch Brandwände in Stein und dem Verbot von Geschossauskragungen in Holz.

An den Beispielen von Stadtbränden in Rom, London und Chicago wurde verdeutlicht wie bauliche Maßnahmen beim Wiederaufbau weitere Brandkatastrophen verhindern sollten z.B. Regeln von Gebäudeabständen auch von gegenüberliegenden Häusern einer Straße als natürliche Brandschneise, Verwendung von nichtbrennbaren Materialien für die Brandwand, Dachhaut, Fassade und Konstruktion. Bevor der Ausbau der Transportwege und die industrielle Revolution die Verfügbarkeit mineralischer Baustoffe begünstigten, wurden diese bereits durch staatliche Förderungen und Brandschutzvorschriften von Landesherrn und Behörden als Ersatz zum Baustoff Holz in der Stadt gefordert.

Der bauliche Brandschutz ist aufgrund mangelnder Möglichkeiten zur Brandbekämpfung über viele Jahrhunderte einer der wichtigsten Maßnahmen zur Vermeidung von Brandkatastrophen geworden, was zur „nichtbrennbaren Stadt“ durch den Einsatz nichtbrennbarer tragender und raumabschließender Bauteile führte.

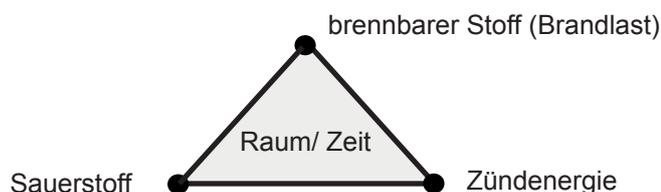
Zur Vermeidung von Bränden hat sich aus der Geschichte des verdichteten Städtebaus über viele Jahrhunderte somit ein Schutzniveau in den Bauordnungen der Länder gebildet, das heute weitgehend auf den Einsatz nichtbrennbarer Materialien für die Herstellung tragender und raumabschließender Bauteile im urbanen Raum beruht. Diese sollen ein Brandereignis überstehen können, auch wenn die Brandbekämpfungsmaßnahmen der Feuerwehr nicht zu einem schnellen Löscherfolg führen.

3 Der Naturbrand im Raum

3.1 Beschreibung der Naturbrandentstehung und -entwicklung in Räumen

Ein Brand ist ein chemischer Prozess in dem entstehende brennbare Gase (Pyrolysegase) von brennbaren flüssigen, festen oder gasförmigen Stoffen, sich unter Sauerstoffmischung entzünden und eine Diffusionsflamme bilden. Die Vermischung der Verbrennungsprodukte und des Sauerstoffes geschieht am Flammenrand über Diffusion und Konvektion, so dass die Verbrennung hin zum Flammenkern unzureichender wird, da die Durchmischung nicht homogen ist. Die Verbrennung beginnt dabei an der Stelle, wo sich die Gase vermischen. vgl. Peters (2006), (S.201)

Der Brand entsteht dabei auf der Grundlage des „**Branddreiecks**“. Dazu muss ein brennbarer Stoff z.B. ein Sessel, eine Zündenergie, z.B. ein Funken und ein Oxidationsmittel, z.B. Luft zeitgleich in ein räumlichen Zusammenhang gebracht werden, siehe Abb.3.1. vgl. Schneider et al. (2008), (S.125f.)



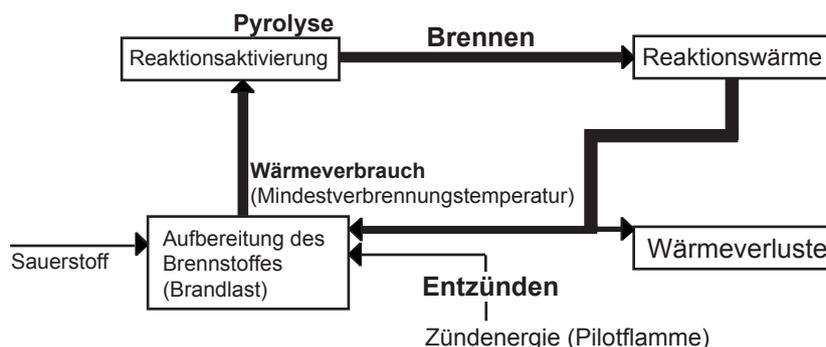
Schematische Darstellung des „Branddreiecks“. Abb.3.1

Für den **Verbrennungsvorgang** muss nun eine Mindestzündenergie gleich oder größer sein als die Zündtemperatur, die niedrigste Entzündungstemperatur eines brennbaren Stoffes (Brandlast) an der Luft siehe Abb.3.1, um einen Verbrennungsvorgang einzuleiten. Bei Brandlasten aus Holz, Kunststoffen, Kohle und Papier laufen auch bereits unter der Zündtemperatur Zersetzungsprozesse ab, bei denen brennbare Gase (Pyrolysegase) entstehen. Für das dann weitere, selbstständige Brennen muss eine Mindestverbrennungstemperatur erreicht werden, damit der Energiekreislauf, siehe Abb.3.2 durch den Wärmeverlust an der Luft selbstständig weiterläuft. Das Endprodukt des Verbrennungsprozesses ist bei Feststoffen die Asche, z.B. bei Holz. vgl. Schneider et al. (2008), (S.124ff.)

Stoff (Brandlast)	flächenspezifische Energie pro Zeit (Wärmestrom) für die Entzündung [q in kW/m ²]	Oberflächentemperatur für die Zündtemperatur [T in °C]
Holz	12	220 - 350
Papier	-	360
PVC	25	220 - 350
PU- weich	16	270

Tab.3.1 Notwendige Oberflächentemperaturen von Stoffen für ihre Entzündung.

Energiekreislauf der Verbrennung:



Der Energiekreislauf der Verbrennung nach Schneider. Abb.3.2

Für die Beschreibung der Naturbrandentstehung und weitere Entwicklung in Räumen sind die Brandlast, deren Energiefreisetzungsrate pro Zeit und die Verbrennungseffektivität häufig verwendete Begriffe, die kurz erläutert werden.

Brandlast: Die Brandlast wird über die Wärmemenge Q [in MJ] angegeben und ist eine Zustandsgröße der vorhandenen thermischen Energiemenge im Brandraum, aus dem Produkt der Masse [in kg] des gesamten brennbaren Inhalts eines Raumes, der relevanten brennbaren Teile eines Tragwerkes (brennbare Teile die sich über die Dauer eines Brandes nicht entzünden oder verkohlen, müssen nicht berücksichtigt werden) und der Energiemenge H_u (Heizwert) [in MJ/kg] der brennbaren Stoffe, die bei einer vollständigen Verbrennung entsteht. Die Brandlastdichte q [in MJ/m²] ist dabei die flächenbezogene Zustandsgröße der vorhandenen thermischen Energiemenge, die bei einem Brandgeschehen bezogen auf die Fläche freigesetzt werden kann. Je höher die Brandlastdichte ist, desto länger ist auch die Branddauer und somit die Dauer der Brandeinwirkung auf raumabschließende Bauteile und das Tragwerk.

Energiefreisetzungsrate pro Zeit: Die Wärmemenge der Brandlast wird im Verbrennungsprozess als Wärmestrom \dot{Q} [in MW] bzw. als Energiefreisetzungsrate pro Zeit (Brandleistung) bezeichnet und somit als Leistung angegeben. Wenn ausreichend Sauerstoff zur optimalen Verbrennung der Brandlast vorhanden ist, wird die Energiefreisetzungsrate pro Zeit \dot{Q} (t) eines Brandgeschehens, aus dem Produkt der spezifischen Abbrandrate \dot{m} [in kg/s] eines brennbaren Stoffes pro Zeit und der Energiemenge der brennbaren Stoffe H_u (Heizwert) [in MJ/kg], dessen Verbrennungseffektivität χ und der Größe der Brandfläche A_{Brand} [in m²] bestimmt. Der Brandverlauf wird dabei als brandlastgesteuert bezeichnet. Ist nicht ausreichend Sauerstoff für eine optimale Verbrennung der Brandlast vorhanden, ist die Energiefreisetzungsrate pro Zeit von der zur Verfügung stehenden Masse an Sauerstoff \dot{m}_{air} [in g/s] pro Zeit abhängig. Der Brandverlauf wird dann als ventilationsgesteuert bezeichnet. Der flächenspezifische Wärmestrom \dot{q} [in kW/m²], auch als Wärmestromdichte bezeichnet, gibt dabei die Energiefreisetzungsrate pro Zeit an, bezogen auf die Brandfläche. vgl. ÖNORM EN 1991-1-2 (2013); vgl. Klein (2009), (S.20ff.); vgl. Vfdb (2009), (S.57ff.); vgl. Zehfuß (2004), (S.43f); vgl. ISO 13943 (2000)

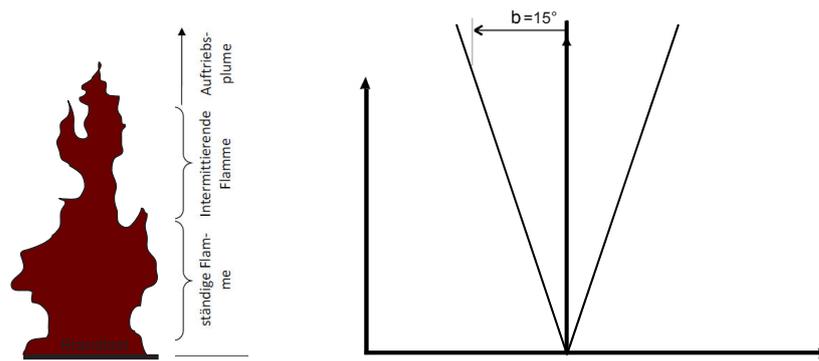
Verbrennungseffektivität: Eine Zersetzung von brennbaren Stoffen kann auch als Glimm- oder Schwelbrand auftreten, wobei keine offene Flamme sichtbar werden muss, jedoch Pyrolysegase erzeugt werden. Dieser Prozess wird Verschwelung genannt. Eine Verschwelung kann bei unzureichenden Ventilationsverhältnissen im Raum stattfinden. Die Verbrennungseffektivität χ ist dabei deutlich reduziert, im Gegensatz zu einer offenen Flamme. Somit hat die Verbrennungseffektivität χ der Brandlast, dem Mischungsverhältnis zwischen Pyrolysegasen und der Luft, einen großen Einfluss auf die Höhe des Energieumsatzes der Brandlast und somit auf die Temperatur im Brandraum.

Verbrennt die Brandlast, auf Grund geringer Sauerstoffzufuhr, nur unzureichend stellt sich nicht ihre maximal mögliche Energiefreisetzungsrate im Brandraum ein. Dies ist der häufigste Fall bei Naturbränden in Räumen, da das Sauerstoffangebot im Raum ohne ausreichende Ventilation im Brandverlauf abnimmt. Es besteht also eine Abhängigkeit der Verbrennungseffektivität von Brandlasten zu den Ventilationsbedingungen im Brandraum, sind diese unzureichend, ist die spezifische Energiefreisetzungsrate des brennbaren Stoffes reduziert. vgl. Blume (2002), (S.13ff.)

Der lokale Brand ist nun in Abb.3.3 als Flamme dargestellt. Das Nahfeld des lokalen Brandes ist die ständige Flamme mit einem beschleunigten Strom brennender Gase. Darüber bewegt sich die intermittierende Flamme mit vorübergehender Flammenbildung und einer nahezu konstanten Strömungsgeschwindigkeit der Pyrolysegase. Der Auftriebsplume ist ein Bereich mit abnehmender Strömungsgeschwindigkeit der Pyrolysegase und hohen Temperaturen. vgl. Schneider et al. (2008), (S.138f.)

Nach der Theorie von Karlsson und Quintiere bildet der ideale Plume einem Radius b mit einem Winkel von ca. 15 ° zwischen Plumeachse und Plumkegel aus, siehe Abb.3.3. Der Brandbereich wird dabei als Punktquelle auf der Oberfläche betrachtet. Nach dem Heskestad-Plume Modell wird die Punktquelle als virtuelle Wärmequelle unterhalb der Brandfläche angenommen, so dass der Plumkegel bereits auf der Oberfläche etwas größer ist, als der Brandbereich nach Karlsson und Quintiere. Bei beiden Plume-Modellen erfolgt jedenfalls eine radiale Brandausbreitung von der Brandquelle ausgehend an der Oberfläche, siehe Abb.3.4. vgl. Klein (2009), (S.15ff.); vgl. Karlsson, Quintiere (2000); vgl. Vfdb (2009), (S.104)

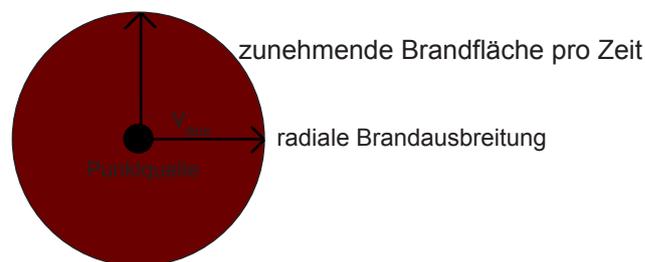
(1) Vertikalschnitt:



Lokaler Brand: ideales Plume- Modell. Abb.3.3

Die im Bereich der Brandquelle erzeugten heißen Rauchgase steigen unter dem Einfluss der Auftriebskraft nach oben, wobei Umgebungsluft eingemischt wird, siehe Abb.3.5. Der Massentransport \dot{m}_p [in kg/s] innerhalb der heißen Rauchgase steigt mit der Höhe an, da kontinuierlich über die Höhe Luft zugefügt wird. Die Masse der Rauchgase besteht aus einer Mischung der Verbrennungsprodukte der Brandlast, auch Pyrolysegase genannt, aus bereits abgebrannten Pyrolysegasen, Brandgase genannt, und der Raumluft. Der Anteil der Masse der eingemischten Luft ist dabei wesentlich größer als der Verbrennungsprodukte. Durch die Verbrennung der Brandlast entstehen schon bei lokalen Brandereignissen hohe Konzentrationen von Kohlendioxid (CO_2), Kohlenmonoxid (CO) und Cyanwasserstoff (HCN), sowie anderer giftiger Stoffe die innerhalb weniger Minuten für Mensch und Tier toxisch sind. vgl. Klein (2009), (S.15ff.); vgl. Karlsson, Quintiere (2000); vgl. Vfdb (2009), (S.104); vgl. Feuerwehrsysteem - O.R.B.I.T. (1978); vgl. Kaiser (2010) „O.R.B.I.T. 2010“

(2) Horizontalschnitt:

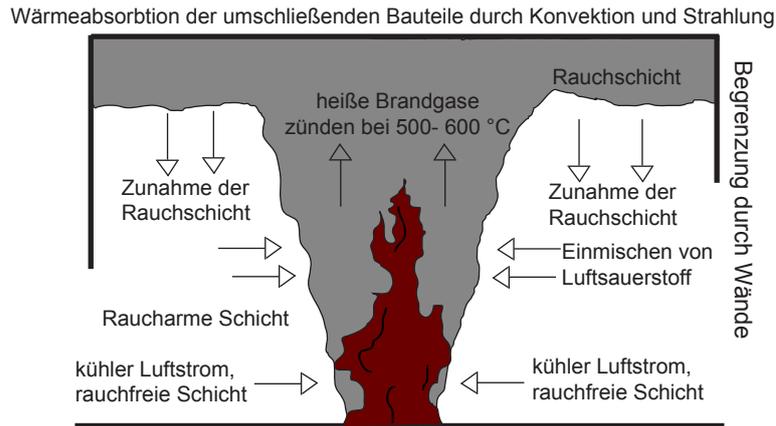


2- dimensionale, radiale Brandausbreitung des lokalen Brandes auf einem brennbaren Stoff. Abb.3.4

Die Brandausbreitung, vom lokalen Brand ausgehend, erfolgt nun über die spezifische Brandausbreitungsgeschwindigkeit v_{aus} [in cm/min] des brennbaren Stoffes gleichmäßig in x- und y- Richtung, siehe Abb.3.4. Wenn die Flamme auf vertikale brennbare Objekte trifft, breitet sich der Brand auch in z- Richtung aus, die vertikale Brandausbreitung kann dabei nach Schneider 3- 20 mal schneller von statten gehen als horizontal. Das Brandgeschehen ist somit 3- dimensional. vgl. Schneider et al. (2008), (S.142)

3.1.1 Raumabschließende Bauteile

Erreicht die Flamme oder die Rauchgassäule die Decke des Raumes, breitet sich dort über dem lokalen Brandereignis eine radiale Gasströmung aus, die als Ceiling Jet bezeichnet wird. Es beginnt nun eine horizontale Rauchgasausbreitung, somit ein Wärmeabtransport unter der Decke und auch eine Wärmeabsorption durch die Umfassungsbauteile, siehe Abb.3.5. Erreichen die Rauchgase nun über den horizontalen Transport unter der Decke abschließende Wände des Raumes, beginnt die Rauchgasschicht dicker zu werden und auch die Temperaturen im Raum steigen schnell weiter an. Es stellt sich beim dicker werden der Rauchgasschicht in größeren Räumen eine kühlere, scharf abgrenzende, rauchfreie Schicht am Boden ein, in der die benötigte Luft (Sauerstoff) für die Verbrennung zum Feuer hin strömt, siehe Abb.3.5 und 3.6. In kleineren Räumen durchmischen sich dagegen, auf Grund der hohen Strömungsgeschwindigkeit der heißen Brandgase (Abprallen der Rauchgase von den Umfassungsbauteilen), die heißen Brandgase und die Raumluft häufig zu einem diffusen Nebel. vgl. Schneider et al. (2008), (S.128f.); Knaust (2010), (S.26f); vgl. Vfdb (2009), (S.104); vgl. Beyler (1986) „Fireplumes and Ceiling Jets“



Lokaler Brand im Raum und Ausbreitung der Rauchgase. Abb.3.5

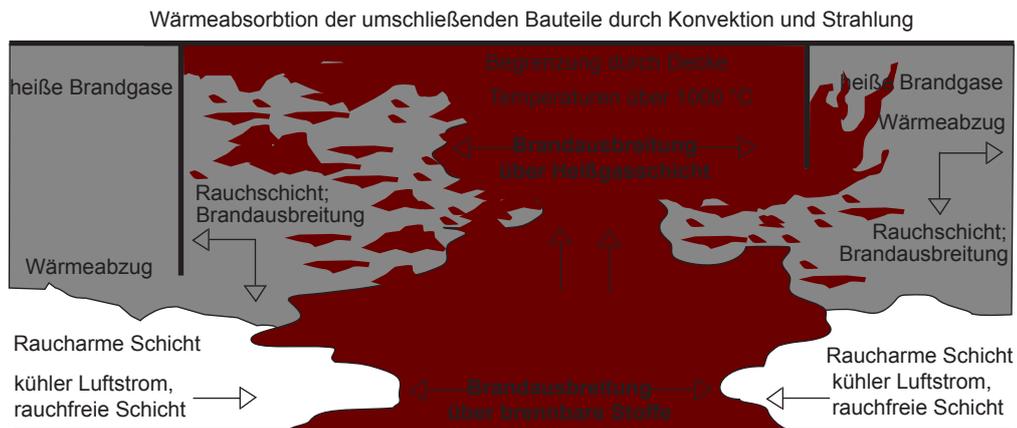
Durch die Begrenzung der Rauchgasschicht von Decke und Wänden, heizt der lokale Brand den Raum und die darin befindlichen brennbaren Stoffe schnell weiter auf. Werden die heißen Rauchgase aus dem Raum kontinuierlich abgeführt, wird dem Brandgeschehen nach Untersuchungen von Rashbash Energie entzogen, was das Aufheizen des Raumes deutlich verlangsamt.

Ab einer Heißgastemperatur von ca. 500- 600 °C im Raum entzünden sich auch die erwärmten, umliegenden, brennbaren Stoffe, die noch nicht vom direkt Feuer erfasst wurden schlagartig, der lokale Brand im Raum wechselt in einen Vollbrand. Ab diesem Zeitpunkt ist das Überleben von Menschen im Brandraum unwahrscheinlich. vgl. Rashbash (1986); vgl. Kohl, Pleß (2007), (S.30); vgl. Schneider et al. (2008), (S.146); vgl. Vfdb (2009), (S.104)

3.1.2 Flashover und Rollover

Die Einleitung des Vollbrandes über die Temperatur der Heißgasschicht wird als Flashover bezeichnet. Dadurch wird der lokale Brand im Raum auf den gesamten Raum ausgedehnt und kann sich nun folgend auf Nachbarräume ausweiten, wenn diese offen miteinander verbunden sind und dort ebenfalls genügend brennbare Stoffe und Sauerstoff vorhanden sind.

Nach dem Übergang vom lokalen Brand zum Vollbrand sind sämtliche Brandlasten im Brandraum entzündet, eine weitere Temperatursteigerung beginnt nun mit dem Abbrand dieser Stoffe in der Post-Flashoverphase bei dem über 1.000 °C entstehen können. Der Flashover kann ausbleiben, wenn die heißen Brandgase durch Ventilationsöffnungen abgeführt werden (z.B. in Atrien über Rauch- und Wärmeabzugsanlagen), so dass sich die Brandgase im Raum nicht über 500 °C erwärmen können. Der Vollbrand stellt sich dann über die Brandausbreitung der brennbaren Stoffe im Brandverlauf im gesamten Raum ein. Das Erreichen von Temperaturen über 500 °C in der Heißgasschicht unter der Decke genügt weiterhin, um auch brennbare Bestandteile im Pyrolysegas zünden zu lassen. Dies geschieht meist gleichzeitig beim auftreten des Flashover und wird als Rollover bezeichnet. Das Durchzünden der Pyrolysegase unter der Decke im Raum kann ausbleiben, wenn nicht genug Sauerstoff in das Pyrolysegas eingemischt worden ist und zur Verbrennung zur Verfügung steht.



Vollbrand: Beginnende Brandausbreitung auf andere Räume Abb.3.6

Erreichen die heißen Pyrolysegase Ventilationsöffnungen (z.B. Fenster) zünden diese dort direkt, da genug Außenluft eingemischt werden kann. Das führt somit bei einer großen Menge an unverbrannten Pyrolysegasen im Brandraum zu hohen Flammen an der Fassade des Gebäudes. vgl. Kothhoff (2012)

3.1.3 Vollbrand

Ist der lokale Brand in einen Vollbrand übergegangen, Abb.3.6, ist der weitere Brandverlauf vom Sauerstoffangebot abhängig. Wenn dabei genügend Sauerstoff im Raum vorhanden ist, durch z.B. große Fensteröffnungen oder allgemein große Räume, ist die Energiefreisetzungsrate der Brandlast allein durch deren spezifische Abbrandrate und Brandausbreitungsgeschwindigkeit begrenzt, der Brand ist brandlastgesteuert. Falls weniger Sauerstoff im Raum zirkuliert als zur Verbrennung der Brandlast erforderlich ist, wird die Energiefreisetzungsrate der Brandlast durch den vorhandenen Sauerstoff begrenzt, die Verbrennungseffektivität und die Abbrandrate der Brandlast ist herabgesetzt, der Brand ist ventilationsgesteuert. vgl. Schneider et al. (2008), (S.138f.); vgl. Klein (2009), (S.12f.); vgl. Karlsson, Quintiere (2000)

3.1.4 Zellenbruch

Spätestens in der Vollbrandphase sind die Raumtemperaturen soweit angestiegen, dass normale Glasscheiben in den Fenstern versagen können und mehr Ventilationsfläche zur Verfügung steht. Der Brandverlauf kann somit durch eine ständige Erhöhung der Energiefreisetzungsrate im ventilationsgesteuerten Brandverlauf, durch eine steigende Sauerstoffrate definiert sein, bis der Brand letztendlich brandlastgesteuert abläuft. Beim Versagen brandabschnittsbildender Wände geschieht auch eine Steigerung der Energiefreisetzungsrate durch die Brandausbreitung der Brandfläche. vgl. Zehfuß (2004), (S.56f.)

3.1.5 Zeitliche Begrenzung des Vollbrandes

Der Vollbrand ist zeitlich begrenzt und hängt von der Menge der brennbaren Stoffe ab. Nach Schneider ist der Vollbrand zu Ende, wenn ca. 70 % bis 80 % der Brandlast im Brandraum abgebrannt sind. In diesem Zusammenhang ist auch die maximale Brandraumtemperatur Θ_{\max} [°C] erreicht und die Abklingphase beginnt, der Vollbrand ist zu Ende. vgl. Zehfuß (2004), (S.150); vgl. Schneider et al. (2008), (S.146f.)

3.1.6 Abklingender Brand

Die Abklingphase ist mit dem Abbrand der gesamten Brandlast beendet und somit das Naturbrandgeschehen im Brandraum bzw. im Brandabschnitt. Die Heißgastemperaturen im Brandraum können aber auf Grund mangelnder Ventilationsflächen lange hoch bleiben und die raumabschließenden Bauteile weiter belasten. Die Abklingphase kann auch durch Löschmaßnahmen künstlich eingeleitet werden und bei einem Löscherfolg den Brand beenden, dies wird später genauer betrachtet. vgl. Dehne (2003), (S:161f.); vgl. Vfdb (2009), (S.104)

3.1.7 Naturbrandphasen

Nach Schneider sind die in Tabelle 3.2 dargestellten charakteristischen Temperaturen und Energiefreisetzungsraten anhand der beschriebenen Brandphasen bestimmbar. vgl. Schneider et al. (2008), (S.145f.)

Brandphase	Temperaturintervall [°C]	Energiefreisetzung [kW/m ²]
Zündphase	20-50	<25
Schwelbrandphase	50-150	25-50
Entwicklungsphase	150-500	50-200
Vollbrandphase	500-1250	200-1200
Abklingphase	1250-20	<200

Tab.3.2: Temperatur und Energiefreisetzungsraten bezogen auf die Grundfläche beim Naturbrand.

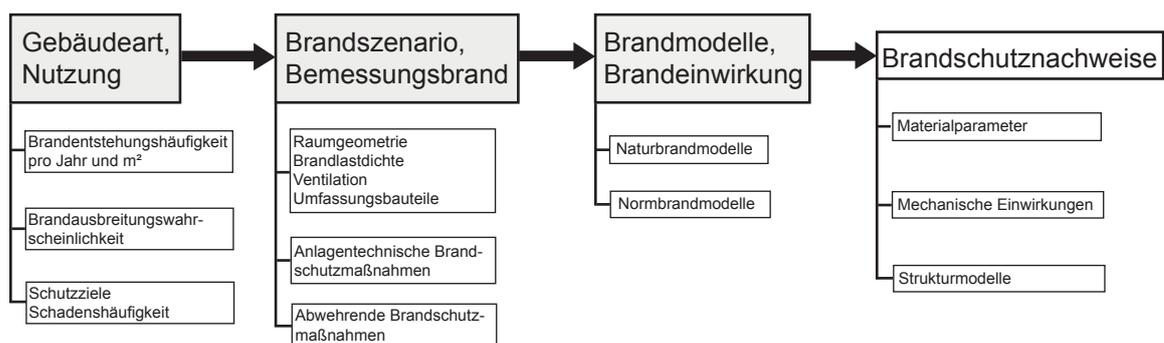
Holz und Papier, PVC und PU- Schaum, also gängige brennbare Bestandteile von Möblierungen, entzünden sich nach Tabelle 3.1 ab ca. 200 °C, somit wird der Brandverlauf ab der Entwicklungsphase des Brandes wesentlich für die Darstellung des Brandverlaufes und der Brandeinwirkung auf tragende und raumabschließende Bauteile in Räumen. Die größte Brandeinwirkung stellt nach Tabelle 3.2 die Dauer der Vollbrandphase dar, mit mehr als 1.000 °C. In der Abklingphase reduziert sich die Brandraumtemperatur wieder bis auf die Ausgangstemperatur vor Brandbeginn.

3.2 Beeinflussung des Brandverlaufes

Der zuvor beschriebene Naturbrandverlauf im Raum wird maßgebend beeinflusst durch die Art der Nutzung und Eigenschaften des Raumes in dem der Brand stattfindet, dabei haben sich auf Grund verschiedener Forschungsvorhaben folgende Variablen bzw. Einflussgrößen als wesentlich herausgestellt:

- a) Lage, Anordnung und Eigenschaften der Brandlasten (punktförmige oder flächige Anordnung, Abbrandrate des brennbaren Stoffes, etc.);
- b) Größe der Ventilationsöffnungen (Wärmeabzug, Luftsauerstoffzufuhr) und somit die
- c) Verbrennungseffektivität der Brandlast (Mischungsgrad der Pyrolysegase und der Umgebungsluft);
- d) Eigenschaften der Umfassungsbauteile (Wärmeabsorption durch die Umfassungsbauteile);
- e) Geometrie des Raumes (Raumhöhe, Anordnung der Ventilationsflächen zum Grundriss, etc.);
- f) Brandschutzmaßnahmen (Brandbekämpfung durch Feuerwehr oder Sprinkler, etc.).

Nach Hosser wird der Brand in einem Raum beschrieben, indem die Nutzung und die Raumeigenschaften definiert sein müssen, um eine Aussage über den Brandverlauf darin treffen zu können, siehe Abb. 3.7. Die ingenieurmäßige Bemessung des Tragwerkes, sowie der raumabschließenden Bauteile eines Gebäudes im Brandfall erfolgt anschließend so, dass der Brandeinwirkung über das Brandereignis hinaus standgehalten wird. vgl. Hosser et al. (2009), (S.7); vgl. Schneider et al. (S.146); vgl. Klein (2009), (S.157)



Einflussgrößen für die außergewöhnliche Bemessungssituation Brand in einem Gebäude. Abb.3.7

Im Kapitel 3 wird der Einfluss der oben genannten Variablen a bis f, für Wohn- und Büronutzungen, auf das Brandgeschehen genauer betrachtet. Diese Einflussgrößen werden nachfolgend untersucht, um festzustellen ob bestimmte Bedingungen günstige Brandverläufe verursachen und somit differenzierbar sind für den Entwurf eines mehrgeschossigen Gebäudes aus Holz.

Die Untersuchung der zuvor definierten Variablen bzw. Einflussgrößen **a bis f** erfolgt anhand von Beispielen 5 verschiedener Naturbrandversuche, verschiedener Forschungsgruppen mit:

- zu a) Höhe der Brandlast Q [MJ]; maximale Energiefreisetzungsrates \dot{Q}_{\max} [MW] im Brandabschnitt;
- zu b und c) Größe der Ventilationsöffnungen h_w [m] und dessen Verhältniss zum Brandraum mit α_v , O [$m^{1/2}$] und w_f ;
- zu e) Raumgeometrie mit den Parametern Brandraumgröße A_{Brand} [m^2], Brandraumhöhe H [m];

Ein Vergleich der Naturbrandversuche erfolgt weiter über, die Zeit die vergeht bis zum Erreichen des Flashover t_{fo} [min] im Raum, die Zeit bis zum Ende des Vollbrandes t_2 [min] im Raum und Dauer des Vollbrandes insgesamt, der größten Brandbeanspruchung der Bauteile in Phase 2 [min] des Naturbrandgeschehens, da dort die höchsten Temperaturen Θ_{\max} [$^{\circ}C$] erreicht werden.

zu f) erfolgen Aussagen im **Kapitel 3.2.3 "Beeinflussung des natürlichen Brandverlaufes durch Löschmaßnahmen"**, da die Beispiele 1 bis 5 keine ausreichenden Angaben liefern.

Vorgehensweise:

(1) Temperaturzeitkurve: Zu jedem Naturbrandversuch ist eine Temperaturzeitkurve des Brandverlaufes im Brandraum abgebildet, der die 3 Phasen des Naturbrandgeschehens: **1. die Brandausbreitungsphase, 2. die Vollbrandphase, 3. die Abklingphase** zeigt. Der Temperaturzeitverlauf im Brandraum wurde in den Forschungsvorhaben über Temperaturfühler aufgezeichnet, die an unterschiedlichen Positionen im Brandraum installiert wurden, so dass häufig unterschiedliche Temperatur- Zeitverläufe im Brandraum gemessen werden. An den Temperaturzeitverläufen der verschiedenen Brandversuche kann der Zeitpunkt des Flashover t_{fo} [min] im Raum (bei ca. $\Theta_{g,E} = 500$ °C), der Zeitpunkt des Vollbrandendes in t_2 [min] im Raum und die Dauer des Vollbrandes in Phase 2 [min], der größten Brandbeanspruchung mit Θ_{max} [°C] der Bauteile des Naturbrandgeschehens abgelesen werden.

(2) Annahmen: Es werden geometrischen Kenngrößen angenommen, falls diese nicht aus der Literatur entnommen werden konnten. Die Einflussgröße der thermische Eigenschaft der Umfassungsbauteile b [$J/(m^2s^{1/2} K)$], sowie die Verbrennungseffektivität χ der Brandlast wird nicht näher rechnerisch verfolgt, da aus der Literatur meist keine vollständigen Angaben bekannt waren.

(3) Berechnungen: Da nicht alle Parameter anhand der Temperaturzeitkurve ablesbar sind oder in der Literatur beschrieben wurden, werden Berechnungen zu jedem Brandversuch durchgeführt damit die:

- Ventilationsgeometrie: der Einfluss der Ventilationsflächen auf den Brandverlauf mit α_v und O und w_f
- charakteristische Brandlastdichte q_{fk} [MJ] und
- Höhe der maximalen Energiefreisetzungsrates \dot{Q}_{max} [MW] im Brandraum

vergleichbar wird. Nachstehend werden aus der ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang A und Anhang F, sowie nach Zehfuß Berechnungsmodelle angewendet, um obenstehende Untersuchungen zu führen und Schlussfolgerungen auf Entwurfsparameter für den mehrgeschossigen Holzbau herzuleiten. Die angewendeten Berechnungsmodelle zur Ermittlung der Energiefreisetzungsrates pro Zeit im Brandraum fußt dabei auf experimentellen Untersuchungen die nach dem Stand der Technik in die Normierung aufgenommen worden sind. vgl. ÖNORM EN 1991- 1- 2 (2013), Anhang A, Anhang F; vgl. Zehfuß (2004)

(3.1) Die Berechnung des Ventilationsverhältnisses α_v ermöglicht einen Vergleich zwischen den Beispielen über das Verhältniss der Öffnungsfläche zur Brandraumgröße. Je höher α_v ist, desto besser ist die Luftzufuhr zum Brandgeschehen und somit die Verbrennungseffektivität:

$$\alpha_v = A_w / A_{Brand} \quad (Gl.3.2.1.1)$$

Dabei ist:

A_{Brand} Brandfläche [m^2];
 A_w Öffnungsfläche [m^2].

(3.2) Die Berechnung des Öffnungsfaktors O ermöglicht einen Vergleich des Verhältnisses der offenen (Ventilationsfläche) zur geschlossenen Fläche im Brandraum. Je höher O ist, desto besser ist die Luftzufuhr zum Brandgeschehen und somit die Verbrennungseffektivität der Brandlast:

$$O = A_w * \sqrt{h_w} / A_t \quad [m^{1/2}] \quad (Gl.3.2.1.2)$$

Dabei ist:

A_t Gesamtfläche der umfassenden Bauteile mit Öffnungsflächen [m^2];
 h_w Höhe der Öffnung [m].

(3.3) Die Berechnung des Ventilationsfaktors w_f ermöglicht einen Vergleich des Verhältnisses von Ventilationsöffnung zur Brandraumgröße. Je höher w_f ist, desto besser ist die Verbrennungseffektivität der Brandlast:

$$w_f = O^{-1/2} * A_{\text{Brand}} / A_t \quad (\text{Gl.3.2.1.3})$$

(3.4) Die gesamte Brandlastmenge im Brandraum $Q_{f,k}$ [MJ] wird bestimmt mit:

$$Q_{f,k} = \sum M_{k,i} * H_{u,i} * \Psi_i = \sum Q_{f,k,i} \text{ [MJ]} \quad (\text{Gl.3.2.1.4})$$

Dabei ist

$M_{k,i}$	Menge der brennbaren Stoffe [kg];
$H_{u,i}$	Netto-Verbrennungswärme des brennbaren Stoffes [MJ/kg];
Ψ_i	möglicher Beiwert zur Berücksichtigung geschützter Brandlasten.

(3.4.1) Die Brandlastmenge je Fläche $q_{f,k}$ [MJ/m²] wird bestimmt durch:

$$q_{f,k} = Q_{f,k} / A_{\text{Brand}} \text{ [MJ/m}^2\text{]} \quad (\text{Gl.3.2.1.5})$$

Dabei ist:

$Q_{f,k}$	gesamte Brandlastmenge im Brandraum [MJ];
$q_{f,k}$	charakteristische Brandlastdichte [MJ/m ²].

(3.5) Die Berechnung der maximalen charakteristischen Energiefreisetzungsrate $\dot{Q}_{\text{max},k}$ [MW] im Brandraum in der Vollbrandphase gibt Aussage, ob ein brandlast- $\dot{Q}_{\text{max},f}$ [MW] oder ventilationsgesteuerten $\dot{Q}_{\text{max},v}$ [MW] Brand vorliegt, und ermöglicht einen Vergleich darüber, ab welcher Höhe des Ventilationsfaktors, Öffnungsfaktors oder Ventilationsverhältnisses eine unzureichende Verbrennung der Brandlast auf Grund von Sauerstoffmangel vorliegt. Nach Blume konnte aus Brandversuchen die Formel für ventilationsgesteuerte Brände abgeleitet werden:

$$\dot{Q}_{\text{max},v} = 0,5 / r * m * H_u * A_w * \sqrt{h_w} \text{ [MW]} \quad (\text{Gl.3.2.1.6})$$

Dabei ist:

0,5	angenommen als Mittelwert; Grenzen von 0,40 bis 0,61 [kg/s m ^{-5/2}]; Austauschkoeffizient: natürlicher Luftstrom durch ein Fenster oder eine Tür in einen Brandraum [kg/s m ^{-5/2}] aus Brandversuchen abgeleitet. vgl. Blume (2003), (S.17);
r	stöchiometrischer Luftbedarf des Brennstoffes mit 5,5 kg Luft/ kg Brennstoff für Holz, mit einem Heizwert von 17,3 MJ/kg. vgl. Blume (2003), (S.29), Tabelle 3.4;
m	Verbrennungseffektivität von holzartige Brandlasten mit 0,7. vgl. Blume (2003), (S.83);
H_u	Netto- Verbrennungswärme für Holz mit 17,3 MJ/kg; vgl. Blume (2003), (S.29).

(3.5.1) Die Formulierung für ventilationsgesteuerte Brandverläufe $\dot{Q}_{\text{max},v}$ kann vereinfacht ausgedrückt werden mit:

$$\dot{Q}_{\text{max},v} = 0,1 * m * H_u * A_w * \sqrt{h_w} \text{ [MW]} \quad (\text{Gl.3.2.1.7})$$

(3.5.2) Nach Zehfuß ergibt sich eine weitere Vereinfachung für ventilationsgesteuerte Brandverläufe $\dot{Q}_{\text{max},v}$ bei vorwiegend zelluloseartigen Brennstoffen (z.B. Möblierungen) mit:

$$\dot{Q}_{\text{max},v} = 1,21 * A_w * \sqrt{h_w} \text{ [MW]} \quad (\text{Gl.3.2.1.8})$$

(3.5.3) Für brandlastgesteuerte Brandverläufe $\dot{Q}_{\text{max},f}$ bei Wohn- und Büronutzungen wird normativ in der ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang E.4 festgelegt, dass die maximale charakteristische Energiefreisetzungsrate pro 1 m² Brandfläche, A_{Brand} [m²] mit $\dot{Q}_{\text{max},f} = 0,25 \text{ MW} * A_{\text{Brand}}$ [MW] beträgt.

(3.5.4) Nach Zehfuß ist der kleinere Wert MIN die maximale Energiefreisetzungsrate im Brandraum:

$$\dot{Q}_{\text{max},k} = \text{MIN} (\dot{Q}_{\text{max},f}; \dot{Q}_{\text{max},v}) \text{ [MW]} \quad (\text{Gl.3.2.1.9})$$

3.2.1 Naturbrand im Raum, Beispiel 1

„Naturbrandversuche an Modulhotels in Holzbauweise“ von Maag, Fontana im Jahr 1999/ 2000. Im Jahr 1999/ 2000 wurden Naturbrandversuche an Modulhotels im Maßstab 1:1 in Holzbauweise für die Expo 2002 in der Zivilschutzanlage Andelfingen in der Schweiz durchgeführt. Untersucht wurden insbesondere der Einfluss brennbarer und nichtbrennbarer Oberflächen auf die Brandheftigkeit und die Brandausbreitung, sowie die Wirksamkeit aktiver Brandschutzmassnahmen (Sprinkler- und Brandmeldeanlagen). Dargestellt ist der Brandversuch „BÜ demo“ mit nichtbrennbarer Innenbekleidung.



Hotelzimmerbrand im Naturbrandversuch „BÜ demo“ mit nichtbrennbarer Innenverkleidung. Abb.3.8

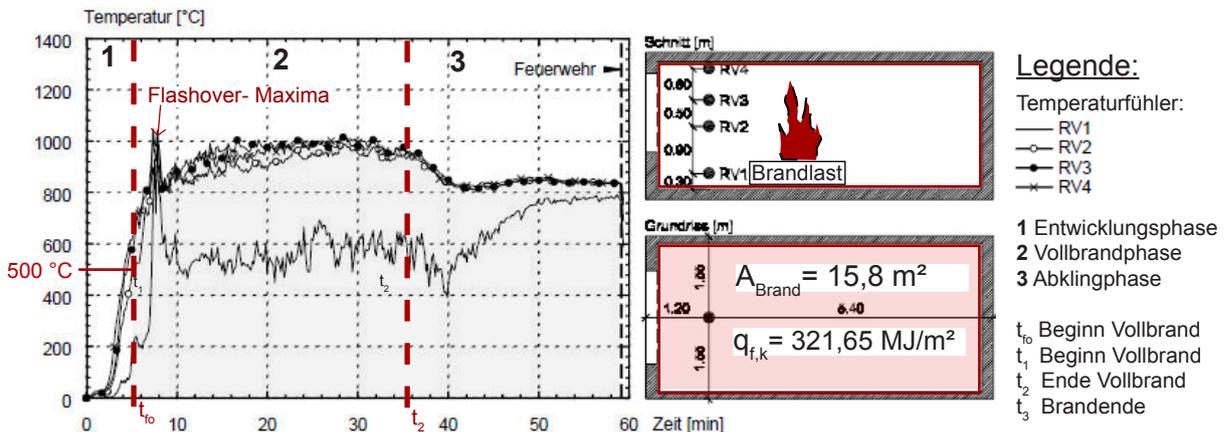
Die Autoren schlussfolgern, dass bei einem mit einer Sprinkleranlage ausgestattetes Hotelzimmer in Holzbauweise eine Brandentwicklung rasch gestoppt werden kann und der Schaden sich dabei auf Teile des Mobiliars beschränkt. Bei einem Hotelzimmer ohne Sprinkleranlage, aber mit einer nichtbrennbaren Innenverkleidung konnte ein Brandübergriff auf ein benachbartes Hotelzimmer verzögert werden, sowie ein Ausbrennen des gesamten Mobiliars ohne Beschädigung der hölzernen Tragstruktur erreicht werden, bei einer Brandlöschung durch die Feuerwehr.

vgl. Maag, Fontana (2000), (S.97) „Temperaturmessungen Versuch BÜ demo“

3.2.1.1 Ergebnis des Naturbrandes

Die Temperatur- Zeitkurve des Brandverlaufes im Brandraum in Abb. 3.9 ist informativ bearbeitet, so dass die 3 Naturbrandphasen, 1, 2, 3 deutlich ablesbar sind. Die Brandausbreitungsphase in 1 [min] ist sehr kurz und der Vollbrand beginnt mit dem Flashover zum Zeitpunkt t_{fo} [min] deutlich vor der 10. Minute, da hier bereits über 500 °C im ca. 16 m² großen Raum erreicht werden. Die Vollbrandphase in 2 [min] endet bei t_2 [min] mit dem Erreichen des Temperaturmaximums Θ_{max} [°C].

Der Brand wird in der Abklingphase in 3 in der 60. Minute von der Feuerwehr abgelöscht. Die Temperaturfühler an der Decke, RV 4 und in der Mitte des Raumes, RV 3 und RV 2 zeichnen deutlich höhere Temperaturen auf als am Boden von RV 1, wo kühlere Luft zum Brandherd hinströmt. In der Abklingphase vermischen sich die heißen Brandgase mit denen im gesamten Raum besser, so dass der Temperaturfühler RV 1 höhere Temperaturen auch in Bodennähe aufzeichnet, siehe Abb.3.9.



Temperatur- Zeitverlauf im Brandversuch „BÜ demo“ mit nichtbrennbarer Innenverkleidung. Abb.3.9

3.2.1.2 Ergänzende Berechnungen

Brandraum: $b = 2,83 \text{ m}$, $l = 6,25 \text{ m}$, $h = 2,4 \text{ m}$; $A_{\text{Brand}} = 15,84 \text{ m}^2$; $A_t = 75,18 \text{ m}^2$
 Ventilationsfläche: $1,5 \times 1,7$ (Abzug jeweils 5 cm Rahmen); $A_w = 2,24 \text{ m}^2$
 Brandlastmenge: $Q_{\text{gesamt}} = 5.095 \text{ MJ}$ (nach Angaben Maag, Fontana 2000)

(1) Berechnung des Ventilationsverhältnis α_v nach ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang F:

$$\alpha_v = 2,24 / 15,84 = \underline{0,14} \quad \text{(vgl. Gl.3.2.1.1)}$$

(2) Berechnung des Öffnungsfaktor O nach ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang A:

$$O = 2,24 * \sqrt{1,40} / 75,18 = \underline{0,035 \text{ m}^{1/2}} \quad \text{vgl. (Gl.3.2.1.2)}$$

(3) Berechnung des Ventilationsfaktor w_f nach ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang F:

$$w_f = \sqrt{0,035 * 15,84 / 75,18} > 0,5 = \underline{0,89} \quad \text{vgl. (Gl.3.2.1.3)}$$

(4) Die Brandlastmenge je Fläche:

$$q_{f,k} = 5.095 / 15,84 = \underline{321,65 \text{ MJ/m}^2} \quad \text{vgl. (Gl.3.2.1.5)}$$

(5) Ermittlung ventilations- oder brandlastgesteuerter Brand in der Vollbrandphase lt. Zehfuß (2004):

$$\dot{Q}_{\text{max, f}} = 0,25 * 15,84 = \underline{3,96 \text{ MW}} ; \dot{Q}_{\text{max, v}} = 1,21 * 2,24 * \sqrt{1,4} = \underline{3,2 \text{ MW}} \quad \text{vgl. (Gl.3.2.1.8)}$$

$$\text{MIN} (3,96 ; 3,2) \dot{Q}_{\text{max, k}} = \underline{3,2 \text{ MW}} \quad \text{vgl. (Gl.3.2.1.9)}$$

3.2.1.3 Zusammenfassung

Der Flashover t_{fo} [min] ist in ca. der 6,27. Minute nach Brandbeginn erfolgt, lt. Abb.3.9. Der Brandverlauf wechselt in der Vollbrandphase zu einem ventilationsgesteuerten Brand.

Dadurch verlängert sich die Branddauer, da die Brandlast nicht optimal verbrennen kann. Zum Zeitpunkt t_2 [min] in der 36. Minute reduziert sich dann die Heißgastemperatur im Raum. Durch die unzureichenden Ventilationsverhältnisse bleiben die Brandraumtemperaturen auch in der Abklingphase lange sehr hoch, siehe Abb.3.9. Der Brand wird ab der 60. Minute von der Feuerwehr abgelöscht.

Nr.	A_{Brand} [in m^2]	H [in m]	A_w [in m^2]	h_w [in m]	α_v	O [in $\text{m}^{1/2}$]	w_f	b [$\text{J/m}^2\text{s}^{1/2}\text{K}$]	$q_{f,k}$ [MJ/m^2]	$\dot{Q}_{\text{max,k}}$ [MW]	t_{fo} [min.]	t_1 [min.]	t_2 [min.]	t_3 [min.]	2 [min.]
(1)	15,84	2,4	2,24	1,4	0,14	0,035	0,89	-	321,65	3,2	6,27	-	36	-	30

Tab.3.3: Ergebnisse aus dem Temperatur- Zeitverlauf in der Abb.3.9.und eigenen Berechnungen.

3.2.2 Naturbrand im Raum, Beispiel 1.1

„Naturbrandversuche an Modulhotels in Holzbauweise“ von Maag, Fontana im Jahr 1999/ 2000. Der Brandversuch „BÜ bb“ vom 12. Mai 1999 wurde mit der gleichen Versuchsanordnung wie im Brandversuch „BÜ nbb“ durchgeführt aber mit **brennbarer Innenraumbekleidung**.

Die Brandheftigkeit im vorderen Bereich des Raumes am Fenster ist deutlich erhöht, da mehr brennbare Bestandteile im Pyrolysegas vorhanden sind, und zwar durch die immobilen brennbaren Bauteile, die an der Fensteröffnung, wo genug Sauerstoff vorhanden ist, zünden. Dies ist deutlich beim Vergleich des rechten Bildes der Abb. 3.8 mit Abb. 3.10 zu erkennen. Nach den Autoren wurden im vorderen Teil des Raumes $\Theta_{max} = 1.100 \text{ °C}$ gemessen, im hinteren wurde eine Differenz der Heißgastemperaturen von bis zu 300 °C festgestellt. Es konnten die gleichen Schäden am Modul wie beim Brandversuch „BÜ demo“ nach Versuchsende in der 19. Minute festgestellt werden, somit traten diese deutlich früher auf. vgl. Maag, Fontana (2000), (S.75f.) „Temperaturmessungen Versuch BÜ bb“



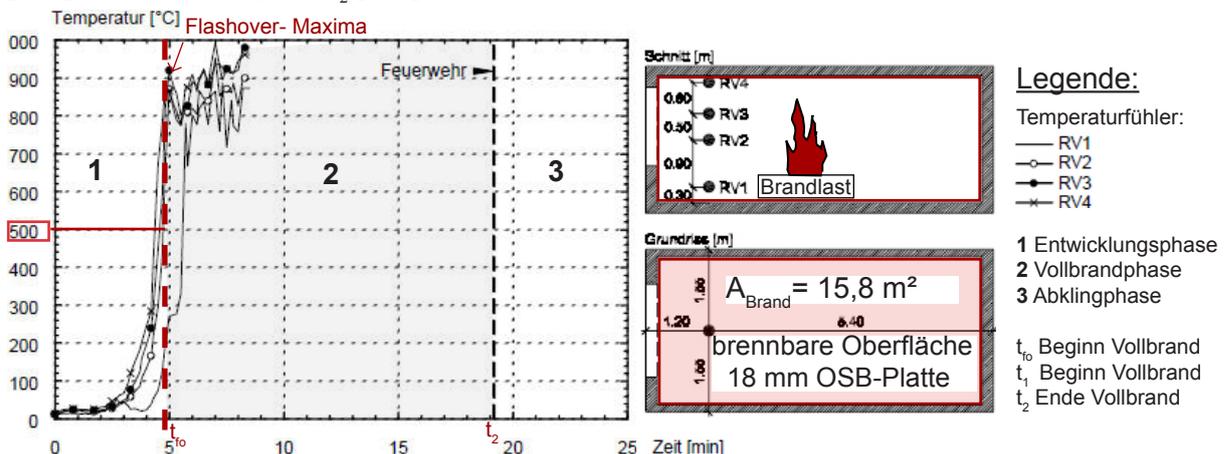
Hotelzimmer im Naturbrandversuch „BÜ bb“ mit brennbarer Innenverkleidung. Abb.3.10

In einer Untersuchung von Studhalter (2012) mit einer Raumgeometrie nach ISO 9705, die somit den getesteten Modulhotels nahe kommt, wurde festgestellt, dass das Auftreten eines Flashovers bei nicht brennbarer Innenraumverkleidung in 85 % der Untersuchten Fälle möglich ist und bei einer brennbaren Innenraumverkleidung in 95 % der Fälle. Der Flashover wird hierbei als Kriterium für die Personensicherheit im Raum definiert, da nach dem Flashover im Raum ein Überleben unwahrscheinlich ist.

Anmerkung: Je größer der Raum wird, desto kleiner ist der Anteil der brennbaren Innenraumverkleidung am Beitrag zum Flashoverkriterium. vgl. Studhalter (2012); vgl. ISO 9705 (1993)

3.2.2.1 Ergebnis des Naturbrandes

Die Temperatur- Zeitkurve des Brandverlaufes im Brandraum in Abb. 3.11 ist informativ bearbeitet, so dass die 3 Naturbrandphasen, 1, 2, 3 deutlich ablesbar sind. Die Brandausbreitungsphase in 1 [min] ist sehr kurz und der Vollbrand beginnt mit dem Flashover in t_{10} [min] bereits bei 5 Minuten nach Brandbeginn, da hier bereits über 500 °C im ca. 16 m^2 großen Raum erreicht werden. Die Brandausbreitungsgeschwindigkeit v_{aus} [mm/min] ist somit deutlich erhöht, da mehr Energie freigesetzt wird, im Vergleich zu einem Brandraum mit nichtbrennbarer Innenraumverkleidung im Beispiel (1). Die Vollbrandphase 2 [min] endet zum Zeitpunkt t_2 [min] beim Ablöschen des Brandes durch die Feuerwehr.



Temperatur- Zeitverlauf im Brandversuch „BÜ bb“ mit brennbarer Innenverkleidung. Abb.3.11

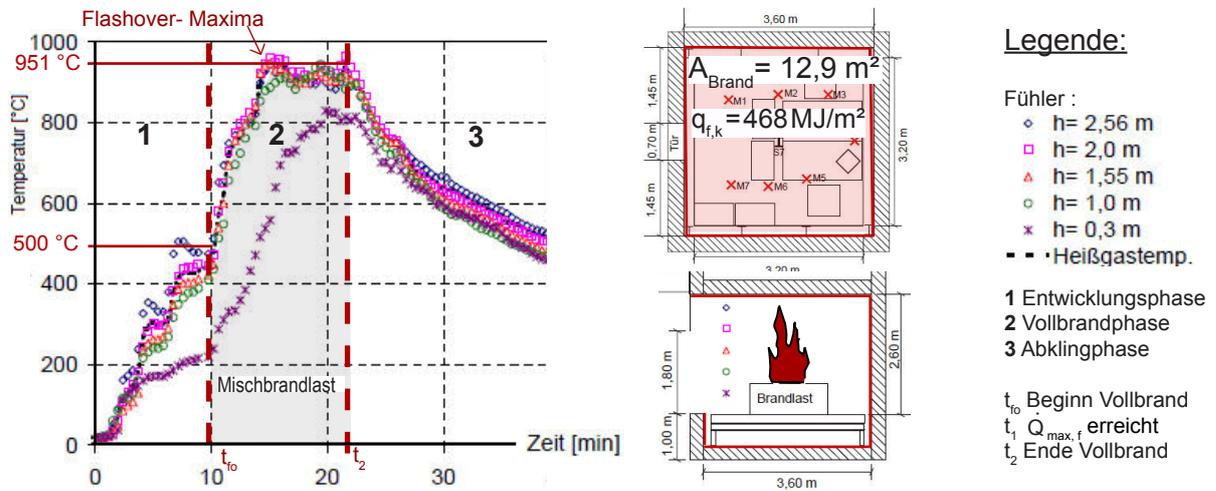
3.2.3 Naturbrand im Raum, Beispiel 2

Naturbrandversuch: „Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur erforderlichen Brandschutz bei mehrgeschossigen Gebäuden in Stahlbauweise“ von Zehfuß, Hosser, Haß im Jahr 2002.

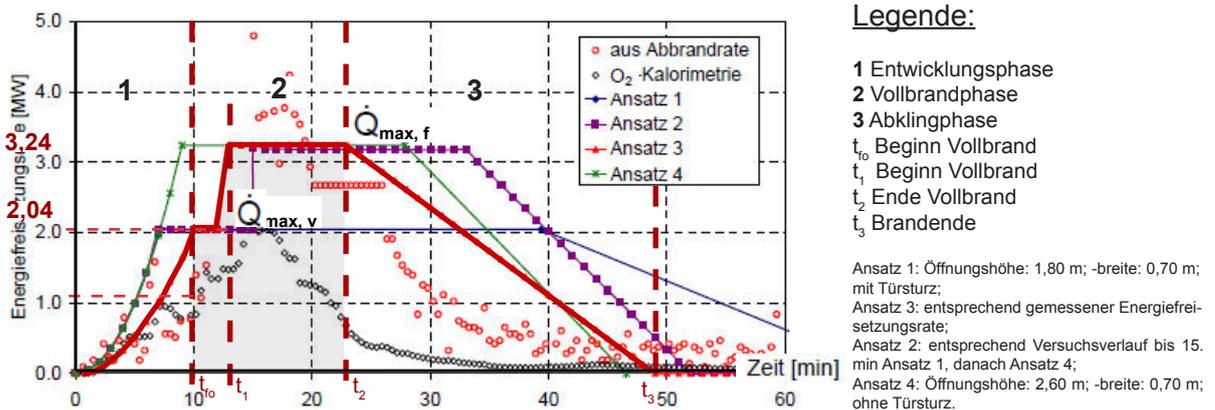
Die Versuche wurden an der TU Braunschweig in Deutschland durchgeführt. Für die Zündung des Brandes war eine Stahlwanne mit 1 Liter Spiritus unter einem Schreibtisch entzündet worden, um als Szenario einen Papierkorbbrand zu simulieren. Der Brand breitete sich nach der Zündung relativ schnell auf die angrenzenden Möbel aus. Für den Versuch war eine Ventilationsöffnung im Brandraum mit einer Breite von $b = 0,70$ m, Höhe von $h_w = 1,8$ m vorgesehen. Mit dieser Öffnung sollte die durch den Brand freigesetzte Energie auf maximal 2 MW begrenzt werden. Nach ca. 15 Minuten nach Versuchsbeginn versagte der Sturz und die Öffnung vergrößerte sich auf eine Höhe 2,6 m, dadurch erhöhte sich die Energiefreisetzungsrate pro Zeit, der Brand verlief nun brandlastgesteuert. Der Brand hatte nach 22 Minuten eine maximale Heißgastemperatur von $\Theta_{max} = 951$ °C erreicht. Die Brandlastdichte betrug dabei $q_{f,k} = 468$ MJ/m². vgl. Zehfuß, Hosser, Haß (2002)

3.2.3.1 Ergebnis des Naturbrandes

Die Temperaturzeitkurve des Brandverlaufes im Brandraum in Abb. 3.12 und die Energiefreisetzungs-Zeitkurve in Abb. 3.13 sind informativ bearbeitet, so dass die 3 Naturbrandphasen deutlich ablesbar sind. Die Brandausbreitungsphase in 1 [min] ist sehr kurz und der Vollbrand beginnt mit dem Flashover in t_{fo} [min] um ca. 10 Minuten nach Brandbeginn, da hier über 500 °C im Raum erreicht werden. Die Vollbrandphase 2 [min] endet zum Zeitpunkt t_2 [min] bei ca. 22. Minute mit dem Erreichen des Temperaturmaximums Θ_{max} [°C]. Der Brand endet um Zeitpunkt t_3 [min] in der ca. 50. Minute nach Brandbeginn. Die Temperaturfühler an der Decke und in der Mitte des Raumes zeichnen deutlich höhere Temperaturen auf als am Boden, wo kühlere Luft zum Brandherd hinströmt. In der Abklingphase vermischen sich die heißen Brandgase mit denen im gesamten Raum besser, so dass der Temperaturfühler am Boden gleiche Temperaturen aufzeichnet.



Temperatur- Zeitverlauf des Naturbrandgeschehens nach Zehfuß, Hosser, Hass. Abb.3.12



Energiefreisetzungs- Zeitverlauf des Naturbrandgeschehens nach Zehfuß, Hosser, Hass. Abb.3.13

Der Energiefreisetzung- Zeitverlauf in Abb.3.13 mit dem Ansatz 3, als gemessenen Energiefreisetzung- Zeitverlauf des Brandgeschehens, zeigt den Brandverlauf bei größer werdenden Ventilationsflächen an. Es zeigt sich, dass die Energiefreisetzungsrates pro Zeit deutlich ansteigt bei größer werden der Ventilationsöffnungen ab der ca. 13. bis 15. Minute.

Nach den Autoren liegt zur Ermittlung des Energiefreisetzungszeitverlaufs über die vorhandene Fläche der Ventilationsöffnungen, der Ansatz 2 auf der sicheren Seite, d.h. über die Berechnung der Ventilationsgröße lässt sich die Höhe der maximalen Energiefreisetzungsrates $\dot{Q}_{max, v}$ [MW] auf der sicheren Seite liegend ermitteln. vgl.(Gl.3.2.1.4); vgl. Zehfuß, Hosser, Haß (2002); vgl Zehfuß (2004), (S.68)

3.2.3.2 Ergänzende Berechnungen

Brandraum: b= 3,6 m, l= 3,6 m, h= 2,6 m; $A_{Brand} = 12,96 \text{ m}^2$; $A_t = 63,36 \text{ m}^2$

Ventilationsfläche: $A_w = 1,28 \text{ m}^2$

$Q_{gesamt} = 6.064,12 \text{ MJ}$ (nach Angaben Zehfuß)

(1) Berechnung des Ventilationsverhältnis α_v nach ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang F:

$$\alpha_v = 1,82 / 12,96 = \underline{0,14} \quad \text{vgl. (Gl.3.2.1.1)}$$

(2) Berechnung des Öffnungsfaktor O nach ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang A:

$$O = 1,82 * \sqrt{2,6 / 63,36} = \underline{0,046 \text{ m}^{1/2}} \quad \text{vgl. (Gl.3.2.1.2)}$$

(3) Berechnung des Ventilationsfaktor w_f nach ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang F:

$$w_f = \sqrt{0,046 * 12,96 / 63,36} > 0,5 = \underline{1,04} \quad \text{vgl. (Gl.3.2.1.3)}$$

(4) Die Brandlastmenge je Fläche:

$$q_{f,k} = 6.064,12 / 12,96 = \underline{468 \text{ MJ/m}^2} \quad \text{vgl. (Gl.3.2.1.5)}$$

(5) Ermittlung ventilations- oder brandlastgesteuerter Brand in der Vollbrandphase lt. Zehfuß (2004):

$$\dot{Q}_{max, f} = 0,25 * 12,96 = \underline{3,24 \text{ MW}} ; \dot{Q}_{max, v} = 1,21 * 1,82 * \sqrt{2,6} = \underline{3,55 \text{ MW}} \quad \text{vgl. (Gl.3.2.1.8)}$$

$$\text{MIN} (3,24 ; 3,55) \dot{Q}_{max, k} = \underline{3,24 \text{ MW}} \quad \text{vgl. (Gl.3.2.1.9)}$$

3.2.3.3 Zusammenfassung

Der Zeitpunkt des Flashover t_{fo} [min] ist in ca. der 10. Minute nach Brandbeginn erfolgt und somit die Einleitung der Vollbrandphase. Lt. Abb.3.12 und Abb.3.13 wechselt der Brand in der Vollbrandphase ab ca. der 15. Minute in einen brandlastgesteuerten Brandverlauf und die Heißgastemperatur steigt bis zum Zeitpunkt t_2 [min], der ca. 22. Minute im Raum weiter an. Die Abklingphase beginnt ab dem Zeitpunkt t_2 mit ca. der 22. Minute nach Erreichen der maximalen Heißgastemperatur Θ_{max} [°C] im Brandraum, das Brandgeschehen endet bei t_3 [min], der ca. 50. Minute nach Brandbeginn, mit dem Abbrand der gesamten Brandlast. Die Branddauer der Vollbrandphase in 2 [min] beträgt somit ca. 12 Minuten.

Nr.	A_{Brand} [in m ²]	H [in m]	A_w [in m ²]	h_w [in m]	α_v	O [in m ^{1/2}]	w_f	b [J/m ² s ^{1/2} K]	$q_{f,k}$ [MJ/m ²]	$\dot{Q}_{max,k}$ [MW]	t_{fo} [min.]	t_1 [min.]	t_2 [min.]	t_3 [min.]	2 [min.]
(2)	12,96	2,6	1,82	2,6	0,14	0,046	1,04	-	468	3,24	10	15	22	-	12

Tab.3.4: Ergebnisse aus Abb.3.12 und 3.13 und eigenen Berechnungen.

3.2.4 Naturbrand im Raum, Beispiel 3

Naturbrandversuch: „Natural Full-Scale Fire Test on a 3 Storey XLam Timber Building“ von Frangi, Bochicchio, Ceccotti, Lauriola im Jahr 2008.

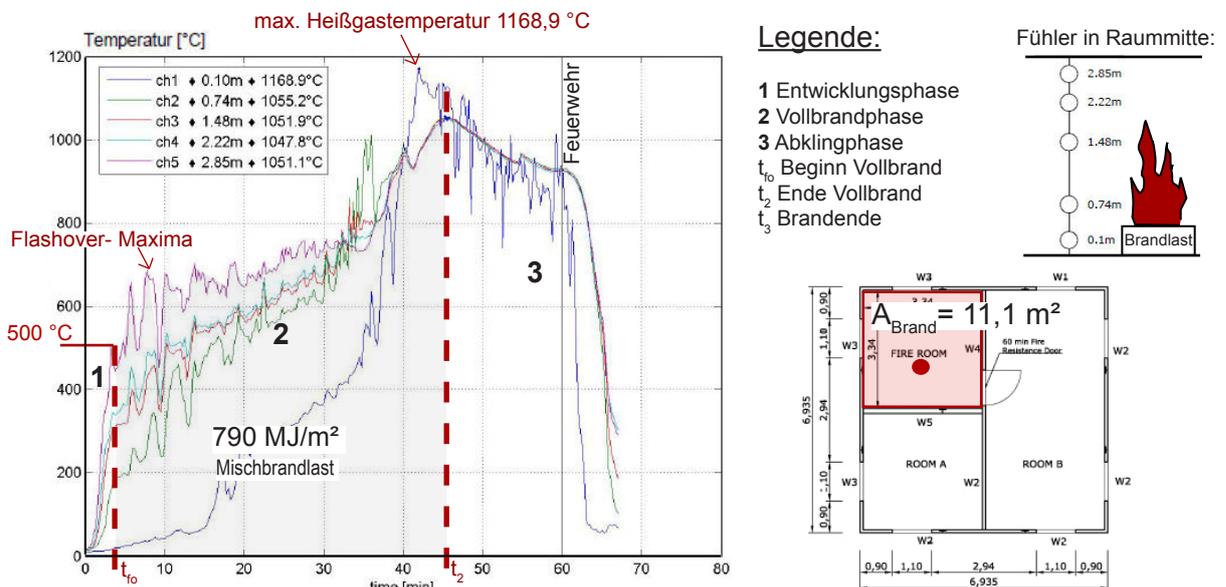
Der Brandversuch fand in Tsukuba, Japan im Jahr 2006 statt. Es wurde ein Naturbrandversuch in einem Zimmer im ersten Obergeschoss unternommen. Durch die Bauweise blieb der Brand auf das Zimmer beschränkt und konnte sich nicht über übereinanderliegende Ventilationsöffnungen an der Fassade ausbreiten. Die brandabschnittsbildenden Bauteile aus Vollholz wurden durch eine 2-lagige Brandschutzbekleidung aus Gipsplatten über die gesamte Vollbranddauer geschützt, so dass diese sich nicht entzünden konnten. Als Brandlast wurde eine Mischbrandlast mit $q_{f,k} = 790 \text{ MJ/m}^2$ in Form von Holzkrippen auf die Hälfte des Brandraumes flächig verteilt. Zur Belüftung standen zwei Fenster mit jeweils 1 m^2 Ventilationsöffnung zur Verfügung, sowie ab der 53. Minute, durch den Ausfall der Innentür auch diese Ventilationsfläche mit $1,89 \text{ m}^2$. vgl. Frangi, Bochicchio, Ceccotti, Lauriola (2008)



Flashover nach der 4. Minute nach Brandbeginn, Bild rechts. Abb.3.14

3.2.4.1 Ergebnis des Naturbrandes

Die Temperaturzeitkurve des Brandverlaufes im Brandraum in Abb. 3.15 ist informativ bearbeitet, so dass die 3 Naturbrandphasen, 1, 2, 3 deutlich ablesbar sind. Die Brandausbreitungsphase in 1 [min] ist sehr kurz und der Vollbrand beginnt mit dem Flashover zum Zeitpunkt t_{fo} [min] bereits bei 4 Minuten nach Brandbeginn, da hier bereits über $500 \text{ }^\circ\text{C}$ im ca. 11 m^2 großen Raum erreicht werden. Die Vollbrandphase endet zum Zeitpunkt t_2 [min] bei ca. der 45. Minute mit dem Erreichen des Temperaturmaximums Θ_{max} [$^\circ\text{C}$], der Brand wird ab der 60. Minute durch die Feuerwehr abgelöscht. Im Bodenbereich des Brandraumes sind wiederum anfangs geringere Temperaturen messbar als im Bereich der Raummitte, die sich aber in der Abklingphase angleichen.



Temperatur- Zeitverlauf des Naturbrandgeschehens. Abb.3.15

3.2.4.2 Ergänzende Berechnungen

Brandraum: $b=3,34$ m, $l=3,34$ m, $h=2,95$ m; $A_{\text{Brand}}=11,15$ m²; $A_t=61,71$ m²

Ventilationsfläche: $h_{\text{eq}}=1,29$ m; $A_w=3,89$ m²

Brandlastdichte: $q_{f,k}=790$ MJ/m²

(1) Berechnung des Ventilationsverhältnis α_v nach ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang F:

$$\alpha_v = 3,89 / 11,15 = \underline{0,35} \quad \text{vgl. (Gl.3.2.1.1)}$$

(2) Berechnung des Öffnungsfaktor O nach ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang A:

$$O = 3,89 * \sqrt{1,36 / 61,71} = \underline{0,07} \text{ m}^{1/2} \quad \text{vgl. (Gl.3.2.1.2)}$$

(3) Berechnung des Ventilationsfaktor w_f nach ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang F:

$$w_f = \sqrt{0,07 * 11,15 / 61,71} > 0,5 = \underline{1,46} \quad \text{vgl. (Gl.3.2.1.3)}$$

(4) Nach Angaben der Autoren mit: $q_{f,k}=790$ MJ/m².

(5) Ermittlung ventilations- oder brandlastgesteuerter Brand in der Vollbrandphase lt. Zehfuß (2004):

$$\dot{Q}_{\text{max, f}} = 0,25 * 11,15 = \underline{2,78} \text{ MW} ; \dot{Q}_{\text{max, v}} = 1,21 * 3,98 * \sqrt{1,29} = \underline{5,46} \text{ MW} \quad \text{vgl. (Gl.3.2.1.8)}$$

$$\text{MIN} (2,78 ; 5,46) \dot{Q}_{\text{max, k}} = \underline{2,78} \text{ MW} \quad \text{vgl. (Gl.3.2.1.9)}$$

3.2.4.3 Zusammenfassung

Der Zeitpunkt des Flashover t_{fo} [min] in dem kleinen Zimmer ist bereits ab ca. der 4. Minute nach Brandbeginn lt. Abb.3.15, danach steigt die Heißgastemperatur in der ventilationsgesteuerten Vollbrandphase langsam an, bis zum Erreichen der maximalen Temperatur im Brandabschnitt Θ_{max} [°C] zum Zeitpunkt t_2 [min] in der ca. 45. Minute.

Ab dem Fensterbruch in der 20. und 30. Minute nach Brandbeginn wechselt das Brandgeschehen in einen brandlastgesteuerten Brandverlauf. Ab dem Zeitpunkt t_2 [min], in der Abklingphase, reduziert sich die Heißgastemperatur im Raum. Die Branddauer der Vollbrandphase beträgt somit ca. 41 Minuten.

Nr.	A_{Brand} [in m ²]	H [in m]	A_w [in m ²]	h_w [in m]	α_v	O [in m ^{1/2}]	w_f	b [J/m ² s ^{1/2} K]	$q_{f,k}$ [MJ/m ²]	$\dot{Q}_{\text{max,k}}$ [MW]	t_{fo} [min.]	t_1 [min.]	t_2 [min.]	t_3 [min.]	z [min.]
(3)	11,15	2,95	3,89	1,0	0,35	0,07	1,31	-	790	2,78	4	-	45	-	41

Tab.3.5: Ergebnisse aus dem Temperatur- Zeitverlauf in Abb.3.15 und eigenen Berechnungen.

3.2.5 Naturbrand im Raum, Beispiel 4

Naturbrandversuch: „Full-Scale Fire Test at BRE Cardington“ von Moore, D.; Wald, F.; Santiago, A. im Jahr 2003.

Der Naturbrandversuch in Cardington 2003 im Maßstab 1:1 wurde auf Grund des Forschungsvorhabens “tensile membrane action and robustness of structural steel joints under natural fire” (EC FP5 HPRI-CV5535) ausgeführt. Der Brandversuch simuliert einen Brand in einem Büroraum in dem die Robustheit brandschutztechnisch ungeschützter, tragender Bauteile aus Stahl untersucht wurde. Der durchgeführte Naturbrandversuch in einem Brandraum mit $A_{Brand} = 77,0 \text{ m}^2$ Brandabschnittsgröße zeigt die Brandausbreitung und Vollbranddauer bei einer Brandlastdichte von $q_{f,k} = 720 \text{ MJ/m}^2$. vgl. Client Report (2004)

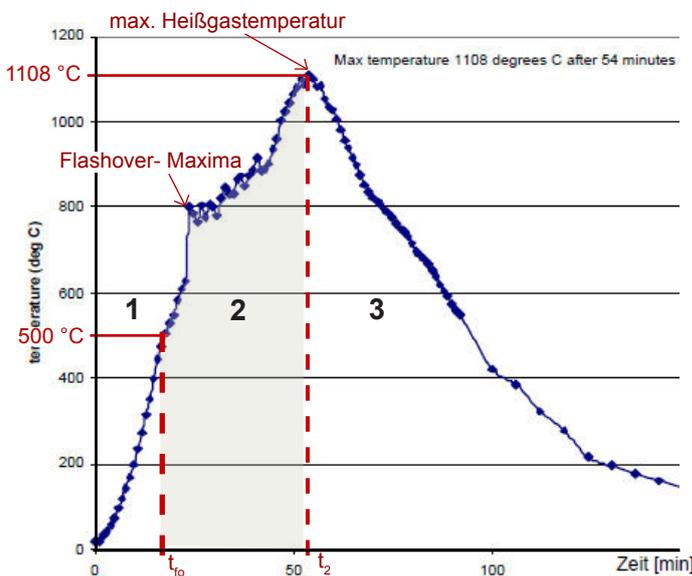


Aufstellen der Holzkippen mit 40 kg/m^2 im Brandraum und Abbrand der Brandlast (rechts). Abb.3.16

Die Brandlast wurde gleichmässig im Raum verteilt und bestand aus Holzstapeln, was einer Brandlastdichte von 40 kg/m^2 entsprach. Die Wände bestanden aus 3 Lagen Gipskarton ($15 \text{ mm} + 12.5 \text{ mm} + 15 \text{ mm}$), die Decke und der Boden wurden ebenfalls nichtbrennbar ausgeführt. vgl. Klein (2009), (S.120f.)

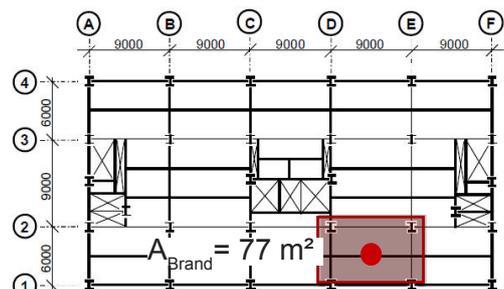
3.2.5.1 Ergebnis des Naturbrandes

Die Temperaturzeitkurve des Brandverlaufes im Brandraum in Abb. 3.17 ist informativ bearbeitet, so dass die 3 Naturbrandphasen, 1, 2, 3 deutlich ablesbar sind. Die Brandausbreitungsphase in 1 [min] endet bei ca. 15. Minute nach Brandbeginn mit dem Einleiten des Vollbrandes durch den Flashover zum Zeitpunkt t_{fo} [min], da hier nun über $500 \text{ }^\circ\text{C}$ im ca. 77 m^2 großen Raum erreicht werden. Die Vollbrandphase endet zum Zeitpunkt t_2 [min] bei ca. der 54. Minute mit dem Erreichen des Temperaturmaximums Θ_{max} [$^\circ\text{C}$], der Brand klingt danach ab. Die Temperatur wurde in Raummitte gemessen. In welcher Höhe konnte nicht ermittelt werden, aber wahrscheinlich auf Grund der hohen Temperaturen im Bereich der Decke.



Legende:

- 1 Entwicklungsphase
 - 2 Vollbrandphase
 - 3 Abklingphase
- t_{fo} Beginn Vollbrand
 t_2 Ende Vollbrand
 t_3 Brandende



Der Temperatur- Zeitverlauf des Naturbrandgeschehens. Abb.3.17

3.2.5.2 Ergänzende Berechnungen

Brandraum: $b=7,0$ m, $l=11,0$ m, $h=4,44$ m; $A_{\text{Brand}}=77,0$ m²; $A_t=314$ m²
 Ventilationsfläche: $1,27 \times 9,0$; $A_w=11,43$ m²

(1) Ventilationsverhältnis: $\alpha_v = 0,148$ (Nach Angaben Client Report 2004)

(2) Öffnungsfaktor: $O = 0,043 \text{ m}^{1/2}$ (Nach Angaben Client Report 2004)

(3) Ventilationsfaktor: $w_f = 1,11$ (Nach Angaben Client Report 2004)

(4) Brandlastdichte: $q_{f,k} = 720 \text{ MJ/m}^2$ (Nach Angaben Client Report 2004)

(5) Ermittlung ventilations- oder brandlastgesteuerter Brand in der Vollbrandphase lt. Zehfuß (2004):

$$\dot{Q}_{\text{max, f}} = 0,25 * 77,0 = \underline{19,25 \text{ MW}} / \dot{Q}_{\text{max, v}} = 1,21 * 11,43 * \sqrt{1,27} = \underline{15,58 \text{ MW}} \quad \text{vgl. (Gl.3.2.1.8)}$$

$$\text{MIN}(19,25 ; 15,58) \dot{Q}_{\text{max, k}} = \underline{15,58 \text{ MW}} \quad \text{vgl. (Gl.3.2.1.9)}$$

3.2.5.3 Zusammenfassung

Der Flashover zum Zeitpunkt t_{fo} [min] ist in ca. der 15. Minute nach Brandbeginn erfolgt und somit die Einleitung der Vollbrandphase. Nach Abb.3.17 steigt die Heißgastemperatur in der ventilationsgesteuerten Vollbrandphase bis zum Zeitpunkt t_2 [min] der 54. Minute im Raum weiter stetig an, durch den Abbrand der Brandlast bis zur maximalen Temperatur im Brandabschnitt Θ_{max} [°C]. Ab dem Zeitpunkt t_2 [min], dem Beginn der Abklingphase, reduziert sich die Heißgastemperatur im Raum. Die Branddauer der Vollbrandphase beträgt somit ca. 39 Minuten.

Nr.	A_{Brand} [in m ²]	H [in m]	A_w [in m ²]	h_w [in m]	α_v	O [in m ^{1/2}]	w_f	b [J/m ² s ^{1/2} K]	$q_{f,k}$ [MJ/m ²]	$\dot{Q}_{\text{max,k}}$ [MW]	t_{fo} [min.]	t_1 [min.]	t_2 [min.]	t_3 [min.]	z [min.]
(4)	77,0	4,0	11,43	1,27	0,15	0,043	1,11	720,0	720,0	15,58	15	-	54	-	39

Tab.3.6: Ergebnisse aus dem Temperatur- Zeitverlauf in der Abb.3.17 und eigenen Berechnungen.

3.2.6 Naturbrand im Raum, Beispiel 5

Naturbrandversuch: „Performance of Cellular Composite Floor Beams under Severe Fire Conditions“ von Nadjai et al. im Jahr 2011.

Am Institute for Fire Safety Engineering Research and Technology, kurz Fire SERT der University of Ulster, England wurde von 2008 bis 2011 in einer Forschungsarbeit das Brandverhalten von Verbunddecken mit Stahlträgern untersucht. vgl. Nadjai et al. (2010); vgl. Vassart (2012)

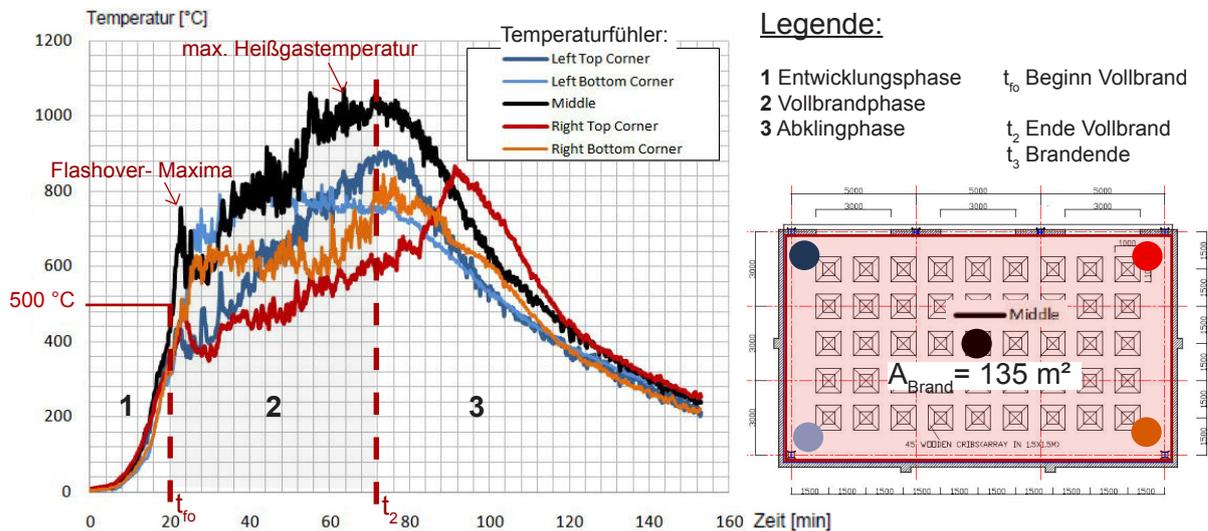
Der Naturbrandversuch der Forschungsarbeit ist hier beispielhaft dargestellt, um den Brandverlauf in einem mittelgroßen Raum mit einer Brandlastdichte von ca. $q_{f,k} = 700 \text{ MJ/m}^2$ nachzuvollziehen.



Der Brandraum mit einer Brandlastdichte von 700 MJ/m^2 aufgeteilt auf 48 Holzkippen. Abb.3.18

3.2.6.1 Ergebnis des Naturbrandes

Die Temperaturzeitkurve des Brandverlaufes im Brandraum in Abb. 3.19 ist informativ bearbeitet, so dass die 3 Naturbrandphasen 1, 2, 3 deutlich ablesbar sind. Die Brandausbreitungsphase in 1 [min] endet bei der ca. 20. Minute nach Brandbeginn mit dem Einleiten des Vollbrandes durch den Flashover zum Zeitpunkt t_{fo} [min], da hier nun über $500 \text{ }^\circ\text{C}$ im ca. 135 m^2 großen Raum erreicht werden. Die Vollbrandphase endet zum Zeitpunkt t_2 [min] bei ca. der 70. Minute mit dem Erreichen des Temperaturmaximums Θ_{max} [$^\circ\text{C}$], der Brand klingt danach ab. Die Temperatur wurde in Raummitte und an allen 4 Ecken gemessen, in welcher Höhe konnte nicht ermittelt werden, aber auf Grund der hohen Temperaturen wahrscheinlich im Bereich der Decke. An den Ecken erreichen die Temperaturen nicht die hohen Werte des Temperaturfühlers in Raummitte (schwarz). Dies liegt zum Einen an den Ventilationsverhältnissen im Brandraum, zum anderen auch an der Lage zur Außenwand. Der Höhepunkt des Erreichens der maximalen Temperatur erfolgt bei allen, außer dem roten Fühler zur gleichen Zeit, es liegen somit ähnliche Abbrandraten β_0 [mm/min] der Brandlast im ganzen Brandabschnitt vor. In der Abklingphase gleichen sich die Raumtemperaturen im gesamten Brandabschnitt an.



Der Temperatur- Zeitverlauf im Brandraum. Abb.3.19

3.2.6.2 Ergänzende Berechnungen

Brandraum: $b=9,0\text{ m}$, $l=15,0\text{ m}$, $h=2,75\text{ m}$; $A_{\text{Brand}}=135,0\text{ m}^2$; $A_t=402,0\text{ m}^2$
 Ventilationsfläche: $3,0 \times 1,6$; $A_w=14,4\text{ m}^2$

(1) Berechnung des Ventilationsverhältnis α_v nach ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang F:

$$\alpha_v = 14,4 / 135 = \underline{0,10} \quad \text{vgl. (Gl.3.2.1.1)}$$

(2) Berechnung des Öffnungsfaktor O nach ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang A:

$$O = 14,4 * \sqrt{1,6} / 402,0 = \underline{0,045\text{ m}^{1/2}} \quad \text{vgl. (Gl.3.2.1.2)}$$

(3) Berechnung des Ventilationsfaktor w_f nach ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang F:

$$w_f = \sqrt{0,045 * 135,0 / 402,0} > 0,5 = \underline{0,63} \quad \text{vgl. (Gl.3.2.1.3)}$$

(4) Brandlastdichte: $q_{f,k} = 700\text{ MJ/m}^2$ nachangaben des Autors.

(5) Ermittlung ventilations- oder brandlastgesteuerter Brand in der Vollbrandphase lt. Zehfuß (2004):

$$\dot{Q}_{\text{max, f}} = 0,25 * 135 = \underline{33,75\text{ MW}} / \dot{Q}_{\text{max, v}} = 1,21 * 14,4 * \sqrt{1,6} = \underline{22,0\text{ MW}} \quad \text{vgl. (Gl.3.2.1.8)}$$

$$\text{MIN}(33,75 ; 22,0) \dot{Q}_{\text{max, k}} = \underline{22,0\text{ MW}} \quad \text{vgl. (Gl.3.2.1.9)}$$

3.2.6.3 Zusammenfassung

Der Flashover ist in ca. der 20. Minute nach Brandbeginn im Brandraum erfolgt. Lt. Abb.3.19 steigt die Heißgastemperatur in der ventilationsgesteuerten Vollbrandphase bis zum Zeitpunkt t_2 [min], der ca. 70. Minute, im Raum auf die maximale Temperatur Θ_{max} [°C] durch den Abbrand der Brandlast an. Ab dem Zeitpunkt t_2 [min], dem Beginn der Abklingphase, reduziert sich die Heißgastemperatur im Raum wieder. Die Branddauer der Vollbrandphase beträgt somit ca. 50 Minuten.

Nr.	A_{Brand} [in m^2]	H [in m]	A_w [in m^2]	h_w [in m]	α_v	O [in $\text{m}^{1/2}$]	w_f	b [$\text{J}/(\text{m}^2\text{s}^{1/2}\text{ K})$]	$q_{f,k}$ [MJ/m^2]	$\dot{Q}_{\text{max,k}}$ [MW]	t_{fo} [min.]	t_1 [min.]	t_2 [min.]	t_3 [min.]	z [min.]
(5)	135,0	~ 2,75	14,4	~ 1,6	0,11	0,045	0,63	-	700,0	21,22	20	-	70	-	50

Tab.3.7: Ergebnisse aus dem Temperatur- Zeitverlauf in der Abb.3.19 und eigenen Berechnungen.

3.2.7 Naturbrandversuche mit Brandausbreitung über Ventilationsöffnungen

Nachstehend werden Naturbrandversuche von Forschungsprojekten mit Brandweiterleitung über übereinanderliegende Ventilationsflächen mit Bezug zu den Variablen a bis f genauer betrachtet.

Durch hohe Temperaturen im Raum versagt in einem Brandabschnitt Glas (ohne brandschutztechnische Wirkung) als Belichtungs- bzw. Ventilationsfläche (Fenster) an der Fassade am ehesten in den brandabschnittsbildenden Bauteilen, wenn diese nicht von vornherein offen stehen. Zu einer Brandweiterleitung an der Fassade kommt es dabei aber noch nicht.

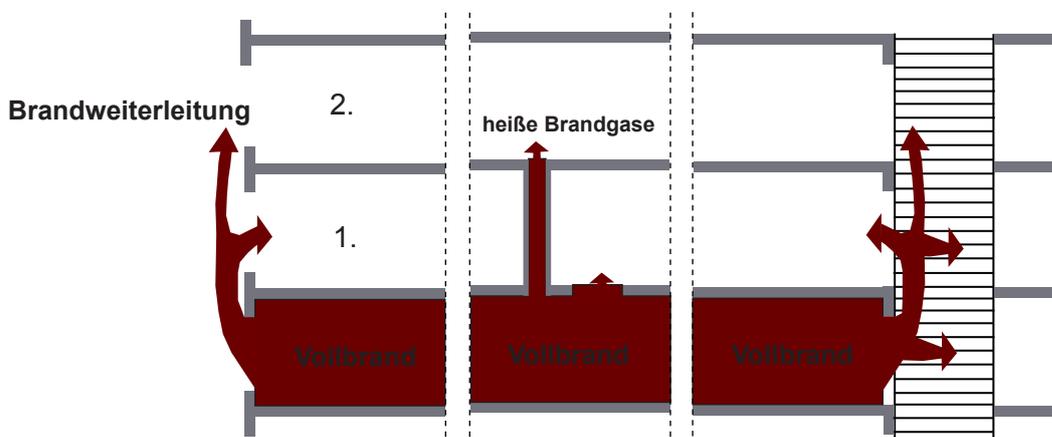
Die Brandweiterleitung über die Fassade und übereinanderliegende Fensteröffnungen kann schon durch aufsteigende heiße Rauchgase erfolgen, die langsam angrenzende Bauteile (Fassade) und Fenster aufheizen, bis diese sich dann selbst entzünden oder, im Fall der Fensterscheiben, bersten.

Viel schneller erfolgt die Brandweiterleitung jedoch, wenn die in den heißen Rauchgasen enthaltenen, noch unverbrannten Pyrolysegase durchzündeln. Das Durchzündeln der Pyrolysegase erfolgt dabei meist zeitgleich mit dem Flashover bei ca. 500 - 600 °C und somit ab der Vollbrandphase.

Bei zellenartigen Wohn- und Büronutzungen übersteigt die Menge der frei werdenden brennbaren Pyrolysegase die Menge der zur Verfügung stehenden Raumluft, so dass ein Großteil der brennbaren Pyrolysegase erst beim Durchmischen mit der Außenluft, also an den Ventilationsflächen bei nun ausreichend hoher Temperatur abfackeln können. Der Sturzbereich der Ventilationsflächen ist über den gesamten Zeitraum der Vollbrandphase somit sehr hohen Temperaturen ausgesetzt.

Nach Untersuchungen von Kotthoff hat die Höhe der Brandlastdichte $q_{f,k}$ [MJ/m²] bei einem ventilationsgesteuerten Brandverlauf keinen signifikanten Einfluss auf die Höhe der vor der Fassade austretenden Flamme. Die Flammenlänge beträgt dabei je nach Brandlastart, Öffnungsgeometrie, Ventilationsbedingungen, etc., 2 bis 6 oder gar 9 m, so dass übereinanderliegende Öffnungen mehrerer Etagen gleichzeitig von einer Brandweiterleitung betroffen sein können. Die angrenzenden Brandabschnitte werden durch Entzünden der Brandlast oder der eindringenden Pyrolysegase aufgeheizt und durchlaufen den Zyklus, von Brandausbreitung über die Vollbrandphase bis zum abklingenden Brand.

vgl. Kotthoff (2012); Scheer, Peter (2009), (S.382); vgl. Winter, Merk (2008), (P02- 25)



Vertikale Brandausbreitung über einen Brandabschnitt hinaus ab der Vollbrandphase. Abb.3.20

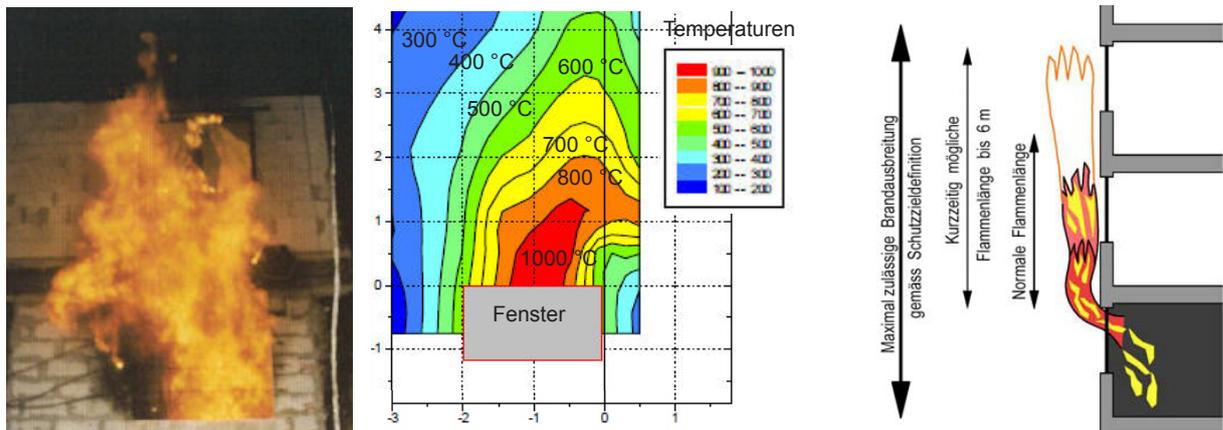
Die Abbildungen 3.21 und 3.22 zeigen beispielhaft die Flammenlänge und die Heißgastemperatur an der Fassade nach einem Flashover, t_{fo} [min] im Brandraum nach Untersuchungen von Kotthoff.

Eine Brandabschnittsbildung von 1,20 m vertikaler geschlossener Fläche zwischen übereinander liegenden Ventilationsflächen verschiedener Brandabschnitte verzögert nach Kotthoff eine Brandweiterleitung, siehe Abb.3.23 Fall A mit nichtbrennbarer Außenwand und Fall C mit brennbarer Außenwandbekleidung, verhindert diesen aber grundsätzlich nicht. vgl. Kotthoff (2012), vgl. Scheer, Peter (2009), (S.382)

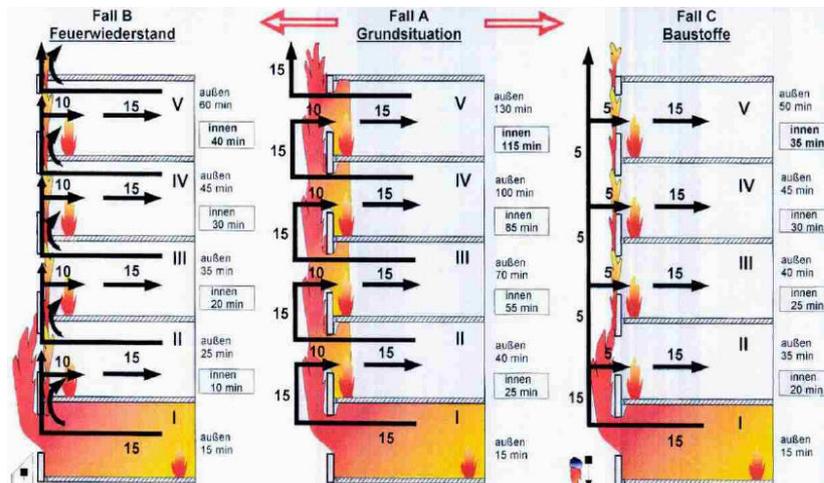
Anmerkung: Bei offenen übereinanderliegenden Fenstern geschieht eine Brandweiterleitung direkt nach Beginn des Vollbrandes im Brandabschnitt, also wesentlich früher. Bei kleinen zellenartigen Brandabschnitten somit um die 10. Minute nach Brandbeginn. Der Zeitpunkt des Beginns des Vollbrandes (Flashover- Zeitpunkt) ist somit wesentlich für die Erstellung eines Brandschutzkonzeptes.



Vertikale Brandausbreitung über Ventilationsöffnung ab der Vollbrandphase nach Kotthoff. Abb.3.21



Flammenlänge und Temperatur an Ventilationsöffnungen nach Kotthoff. Abb.3.22



Ausweitung des Brandgeschehens durch Brandweiterleitung ab dem Flashover nach Kotthoff. Abb.3.23

3.2.7.1 Zusammenfassung

Die Variablen a bis f haben einen Einfluss auf den Beginn der Brandweiterleitung, da diese den Beginn eines Vollbrandes mitbestimmen, das sind die Raumgeometrie, die Ventilationsverhältnisse, die Brandlastart und deren Energiefreisetzungsrates im Brandverlauf, sowie brandbekämpfende Maßnahmen. In zellenartigen Brandabschnitten (Wohnung mit Zimmern) kann ein Flashover, wie bereits im vorangegangenen Kapitel festgestellt, somit vor der 10. Minute erfolgen, -d.h. noch bevor der gesamte Brandabschnitt (Wohnung) selbst im Vollbrand steht.

Bei offenen Fenstern kann eine Brandweiterleitung über übereinanderliegende Fensteröffnungen von Zimmern sofort ab dem Zeitpunkt des Flashovers t_{fo} [min] geschehen. Der Flashoverzeitpunkt wird somit konservativ als Zeitpunkt der Brandweiterleitung definiert. Flashover-Zeitpunkte sind in Tab.4.26 zusammengefasst.

3.2.8 Beeinflussung des natürlichen Brandverlaufes durch Löschmaßnahmen

Der Naturbrandverlauf in Räumen lässt sich durch Löschmaßnahmen beeinflussen. Somit sind die Löschmaßnahmen der zuvor definierten **Variable f)** wichtige Einflussgrößen im Brandverlauf.



Beeinflussung des Naturbrandverlaufes durch Löschmaßnahmen. Abb.3.24

3.2.8.1 Abwehrender Brandschutz:

Als abwehrende Brandschutzmaßnahme übernimmt die öffentliche Feuerwehr bei einem Brandgeschehen in Büro- und Wohnnutzungen die Funktion des Rettens und Löschens. In dieser Arbeit geht es im Wesentlichen um den Beginn des Einleitens der Löschmaßnahmen und somit der Beeinflussung des Brandgeschehens und der Reduktion der Brandleistung im Brandraum. Es wird dabei eine ausreichende Menge von zur Verfügung stehendem Löschwasser zum Löschen für den Brandabschnitt konstatiert, sowie Aufstellflächen und freie Zugänge für die Feuerwehr, die in Österreich in den technischen Richtlinien zum vorbeugenden Brandschutz, kurz TRVB geregelt sind z.B. TRVB F 137 (2003), TRVB F 134 (1987), TRVB F 128 (2000), TRVB F 124 (1997). Ein Ausfall der öffentlichen Feuerwehr wird ausgeschlossen, da diese mehrfach redundant ist, d.h. bei Ausfall einer Feuerwache wird die nächstgelegene öffentliche Feuerwache alarmiert. vgl. Schneider et al. (2008), (S.34); vgl. ÖBFV- RL VB- 01 (1999) Ein Versagen der Brandbekämpfung durch Ausbleiben des Löscherfolgs auf Grund zu geringer Einsatzstärke, zu großer Brandfläche oder mangelnder Ausrüstung ist jedoch möglich. Somit ist für die Effektivität (Leistungsfähigkeit) der öffentlichen Feuerwehr bezogen auf die Löschmaßnahmen wesentlich:

- der Beginn der Löschmaßnahmen und folglich die anzutreffende Größe der Brandfläche;
- die Einsatzstärke der Feuerwehr.

3.2.8.1.01 Brandszenario

Das standardisierte Brandszenario für die Feuerwehr stellt sich als „kritischer Wohnungsbrand“ dar, dieser gilt als konservatives Rettungs- und Brandbekämpfungsszenario in Wohnnutzungen, da mit einem Personenschaden und einem Vollbrand beim Eintreffen der Feuerwehr gerechnet werden muss. vgl. AGBF (1998)

3.2.8.1.02 Beginn der Löschmaßnahmen

Um den Beginn der Löschmaßnahmen zu definieren, müssen die Maßnahmen und Aufgaben der Feuerwehr im Vorfeld beachtet werden. Die wichtigste Aufgabe für Rettungskräfte besteht darin, Personen zu retten und das eigene Leben zu schützen. Darum ist die erste Maßnahme vor dem eigentlichen Löschebeginn die ausreichende Herstellung des Selbstschutzes und die Suche nach und Rettung von Personen.

3.2.8.1.03 Zeitraum für Rettungs- und Löschmaßnahmen

Nach wissenschaftlichen Untersuchungen, unter anderem durch die O.R.B.I.T- Studie liegt die Überlebensgrenze für Rauchgasintoxikation (CO- Vergiftung) im Allgemeinen bei ca. 17 Minuten nach Brand

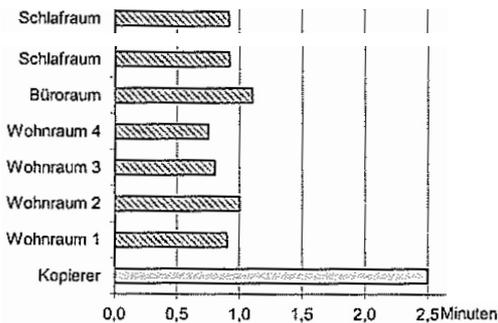
ausbruch, nach dieser Zeit ist ein Brand so gut entwickelt, dass die Überlebenschance für Menschen im Brandraum sehr gering ist. Die Hilfsfristen der Feuerwehr und Rettungskräfte in der Schweiz, Österreich und Deutschland werden auf dieser Grundlage zur Zeit abgeleitet. Nach Untersuchungen von Pleß und Seliger wurde festgestellt, dass mit dem heutigen Stand der Wärmedämm- und Isoliertechnik in kürzerer Zeitspanne wesentlich höhere CO- Konzentration auftreten, so dass die Überlebensgrenze auf 7 Minuten reduziert werden kann. Da diese Zeiten unterhalb der zur Zeit vorherrschenden Hilfsfristen der Rettungskräfte liegt, wird darin eine Empfehlung zur Möglichkeit der Brandfrüherkennung, sowie Selbstrettung gegeben. vgl. Guttchen (2008), (S.25f.); vgl. FeuerwehrsysteM - O.R.B.I.T. (1978); vgl. Kaiser (2010) „O.R.B.I.T. 2010“; vgl. Pleß, Seliger (2007); vgl. Pleß, Seliger (2008)

3.2.8.1.04 Branddetektierung/ Detection Time + Call Time

Rauchwarnmelder: Nach Untersuchungen von Wilk, Lessig, Walther (2011) dient ein Rauchwarnmelder zur Selbstrettung aus dem Gefahrenbereich. Durch die akustische Alarmierung mit 85 dB des Rauchmelders sind kurze Reaktionszeiten von betroffenen Personen im Gefahrenbereich möglich, sowie eine anschließende Alarmierung der Feuerwehr durch diese. Falls keine Personen im Brandraum anwesend sind, ist nicht vorrauszusetzen, dass der Alarm von Nachbarn wahrgenommen wird.

Das Detektieren zum Zeitpunkt t_{det} [min] eines Brandes von einem Rauchmelder ist dabei ab 1 Minute wahrscheinlich und hängt von der Geometrie des Raumes, der Deckenhöhe und der Lage des Rauchmelders ab. Eine Selbstrettung erfolgt somit statistisch im Durchschnitt binnen 2 Minuten aus dem Gefahrenbereich. Grundsätzlich sind Rauchwarnmelder einzeln batteriebetrieben, können aber auch vernetzt eingebaut werden, um deren Ausfallwahrscheinlichkeit zu reduzieren.

vgl. Wilk, Lessig, Walther (2011); vgl. OIB RL 2 (2011) “Brandschutz“; ÖNORM EN 14604 (2009) Rauchwarnmelder; TRVB N 115 (2000) „Brandschutz in Büro- und Wohngebäuden“



Auslösezeit von Rauchwarnmelder nach Wilk, Lessig, Walther (2011). Abb.3.25

Element der Selbstrettung	Realisierung der Selbstrettung	Zeitintervall in Minuten
Erkennung der Gefahr	Erkennen, dass es brennt. Die Erkennung erfolgt durch direkte Wahrnehmung des Nutzers oder durch den Alarm des Rauchwarnmelders	1,0
Reaktion der Betroffenen	Entscheidung zum Handeln	0,5
Einleitung der Selbstrettung	Personen verlassen den gefährdeten Bereich	2
Rettungswege	Vorhandensein eines begehbaren Rettungsweges wird als baurechtlich gesichert vorausgesetzt	gesamt: 4 Minuten

Dauer bis zur Selbstrettung durch Warnung von Rauchmelder. vgl. Wilk, Lessig, Walter (2011). Abb.3.26

Brandmeldeanlage: Eine Brandmeldeanlage, kurz BMA, mit einer Aufschaltung zur Feuerwehr sollte diese auf Grund technischer Vorgaben bis $t_{fl,k}$ = ca. 5 Minuten nach Brandbeginn durch ein Detektieren von Rauchgasen analog der Funktion eines Rauchwarnmelders alarmiert haben. Die Alarmierung geschieht somit ohne Beteiligung betroffener Personen. Nach Hosser beträgt der Zuverlässigkeitsgrad 99,91 % bei einer der Norm entsprechenden Wartung. vgl. Vfdb (2009), (S.221f., S.224); vgl. Dehne (2003), (S.108)

Detektierung auf Grund eines sichtbaren Vollbrandes: Eine Alarmierung der Feuerwehr durch Bewohner oder Anwohner wird durch einen zunehmenden Brandfortschritt wahrscheinlicher, wenn keine Alarmierung durch eine BMA oder durch unmittelbar betroffene Personen im Brandabschnitt (z.B. alarmiert durch Rauchwarnmelder) erfolgt ist. Eine sehr konservative Alarmierung der Feuerwehr ist somit ab dem Zeitpunkt des Flashovers, wenn sichtbare Flammen aus zerstörten Fensteröffnungen eines Wohn- oder Bürogebäudes schlagen und eine weit hin sichtbare Rauchgassäule empor steigt. Bei zellenartigen Brandabschnitten wie z.B. Wohn- oder Zellen- Bürostrukturen erfolgt dies somit **frühzeitig um die 10. - 15. Minute** nach Brandbeginn und mit zunehmender Brandraumgröße später (ausgenommen Schwelbrände). Der Zeitpunkt des Flashovers definiert somit den Zeitpunkt der spätesten Alarmierung der Feuerwehr, siehe dazu **Tab.3.10** (t_{fo}) und **Tab.4.26** "Flashover Zeitpunkte in zellenartigen Brandabschnitten". Eine späteste Brandentdeckung, mit Ausnahme von Schwelbränden, wird ab der 15. Minute nach Brandbeginn auch, auf Grund von Untersuchungen, von Holborn et al. (2004) als wahrscheinlich angenommen.

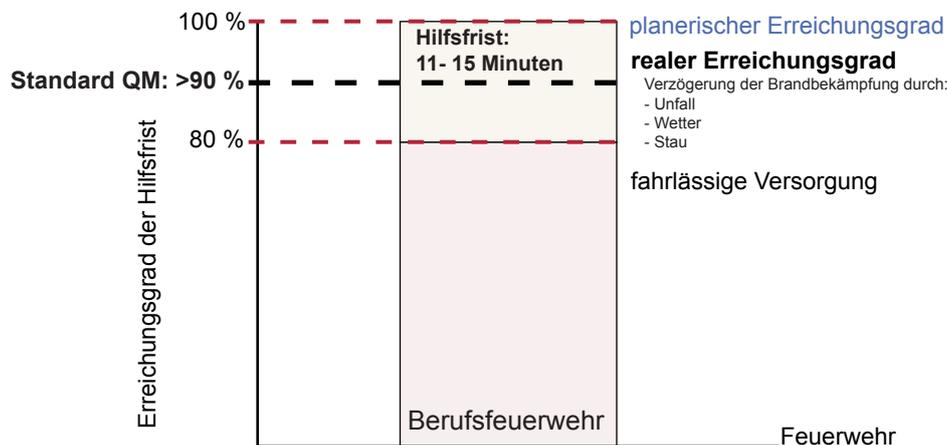
3.2.8.1.05 Hilfsfrist/ Dispatch Time + Turnout Time

In Österreich beträgt die Hilfsfrist $t_{r,k}$ [min] der Feuerwehr durchschnittlich ca. 15 Minuten (die Zeit die vom Zeitpunkt der Alarmierung durch AnruferInnen bis zum Eintreffen einen an der Straße liegenden Ort des Brandgeschehens verstreicht), bei der Berufsfeuerwehr in Wien ca. 11 Minuten.
vgl. Archivmeldung der Rathauskorrespondenz vom 14.01.2010

3.2.8.1.06 Erreichungsgrad der Hilfsfrist

Der Erreichungsgrad der Hilfsfrist gibt an, wie häufig die Feuerwehr mit der geplanten Einsatzstärke im festgelegten Zeitraum am Brandgeschehen eintrifft. Der reale Erreichungsgrad der Hilfsfrist hängt dabei nach Humer von der Entfernung zum Einsatzort, der Verkehrsdichte, der Zugänglichkeit zum Brandgeschehen ab. vgl. Humer (2010), (S.43f.)

In Deutschland, der Schweiz und Österreich wird ein Erreichungsgrad (Zuverlässigkeit) der Hilfsfrist in der Realität von 95 % (vollständige Einsatzstärke im festgesetzten Zeitraum) aller Fälle als Qualitätsmerkmal angestrebt -d.h. eine Versagenswahrscheinlichkeit von unter 5 %. Dies kann über jährliche Einsatzübungen überprüft werden. Eine Zuverlässigkeit von unter 80 % als Zielwert der geforderten Hilfsfrist gilt dabei als fahrlässig. Ein Wert der Zuverlässigkeit der Hilfsfrist konnte aus der Einsatz- Statistik- Berufsfeuerwehr Wien (2011) nicht abgelesen werden. vgl. Einsatz- Statistik- Berufsfeuerwehr Wien (2011); vgl. Vfdb (2009), (S.238f.)



Erreichungsgrad der Hilfsfrist mit der notwendigen Einsatzstärke der Feuerwehr. Abb.3.27

3.2.8.1.07 Einsatzstärke der Feuerwehr am Einsatzort

Für einen „kritischen Wohnungsbrand“ wird eine spezielle Ausrückordnung der Feuerwehr abgefordert, so dass z.B. in Deutschland grundsätzlich mindestens ein Hilfeleistungslöschgruppenfahrzeug, kurz: HLF mit 9 Feuerwehrleuten zum Einsatz kommen sollte. In Wien gibt es eine spezielle Löschbereitschaft der Berufsfeuerwehr die bei einem „kritischen Wohnungsbrand“ z.B. ein Kommandofahrzeug (KDF), ein Rüstlöschfahrzeug (RLF), eine Drehleiter (DLK) und einem Universallöschfahrzeug (ULF) ausrücken lässt. Nach dem Eintreffen der Feuerwehr am Ort beginnt die Erkundungs- und Rettungszeit der Einsatzkräfte um gegebenenfalls bei Bedarf weitere Feuerwehren zu ordern, so dass sich innerhalb weiterer 10 bis 15 Minuten die Einsatzstärke verdoppelt oder vervielfacht und mehrere Aufgaben gleichzeitig wahrgenommen werden können, z.B. Retten, Brandbekämpfung, Versorgung, etc. Die Erkundungszeit nimmt dabei grundsätzlich mit der Anzahl der Geschosse oder Brandabschnittsgröße zu. vgl. FwDV 3 (2008)

3.2.8.1.08 Such- und Rettungszeit/ Setup Time

Nach Untersuchungen von Lindemann dauert die Suche, Rettung und anschließende Übergabe an Sanitäter von einer bewusstlosen Person in einer Wohnung in der 2. Etage im Durchschnitt ca. 13,04 Minuten. Nach Dautermann, Merk beträgt die Suche und Rettung von einer bewusstlosen Person in einer Wohnung im Durchschnitt bei Gebäuden bis zu 5 Etagen 17,33 Minuten. Nach Lindemann kann dabei im Durchschnitt von 1 bis 2 zu rettenden Personen in einer Wohnung ausgegangen werden. In Tab.3.8 sind dazu Rettungszeiten taktischer Feuerwehreinheiten definiert. Dabei wird eine ausreichende Zugänglichkeit zum Brandgeschehen für die Einsatzkräfte vorausgesetzt. Genügend Möglichkeiten für Feuerwehraufstellflächen sind somit zwingend erforderlich. vgl. Lindemann (2011); vgl. Dautermann, Merk (2011?)

Taktische Einheit	Spezifische Rettungsrate [Pers./min]	Rettungsdauer [min]		
		3 Personen	12 Personen	30 Personen
Drehleiter mit Korb, max. Rettungshöhe 7. OG	0,38	10,9	34,6	82,0
Drehleiter ohne Korb, max. Rettungshöhe 7. OG	0,61	7,9	22,7	52,2
LF 8, max. Rettungshöhe 2. OG	0,73	7,1	19,4	44,1
Löschzug red. (1/12/13), max. Rettungshöhe 7. OG	0,93	6,2	15,9	35,3

Tab.3.8: Rettungszeiten taktischer Einheiten der Feuerwehr.

3.2.8.1.09 Definition des notwendigen Löschbeginns in Wien

Bei Zunahme von einer zu rettenden Personenanzahl muss neben der Personenrettung auch die Brandbekämpfung t_{act} [min] eingeleitet werden, wenn durch den Verlust des Gebäudes hohe wirtschaftliche Folgen eintreten (z.B. Wohngebäude in der Gebäudeklasse 5), da sonst die Dauer der Rettungsmaßnahmen von Personen die Feuerwiderstandsdauer von Bauteilen übersteigen kann oder durch eine Brandweiterleitung über übereinanderliegende Ventilationsöffnungen große Schäden entstehen, siehe Abb.3.23. -d.h. dass dabei mindestens eine passive Brandbekämpfung erfolgt (Brandabschnittsschutz).

Bis zum Beginn der Löscharbeiten müssen somit verschiedene Variablen berücksichtigt werden bei denen zur Zeit in Wien keine statistischen Daten vorliegen, wie z.B. die Hilfsfrist, Such- und Rettungszeiten, etc.

Zusammenfassung der Interventionszeit der Feuerwehr aus internationalen Statistiken:

Statistische Erhebungen für Interventionszeiten von Feuerwehren wurden unter anderem von Holborn 2001 geführt.

Die Brandentwicklungszeit bis zum Beginn der Löscharbeiten beträgt somit nach Tab.3.9 und Tab.3.10 im Durchschnitt 12 (mit Brandmeldeanlage) bis 21 Minuten (ohne BMA).

		Distr. X	Mean $E[X]$	Std. dev. $\sqrt{Var[X]}$	Reference
Fire brigade	Detection time [min]	T_{Detect}			
	without fire alarm	TruncGam	3.67	4.09	Holborn et al. (2004)
	with fire alarm	TruncGam	2.74	3.77	Holborn et al. (2004)
	with detection system	Eq.(4)	(1.53)	(0.70)	Fischer et al. (2012)
	Call time [min]	T_{Call}			
	without detection system	Lognormal	2.50	1.88	Holborn et al. (2004)
	with detection system	Det.	0	0	estimated
	Dispatch Time [sec]	T_{Disp}			
	without detection system	Lognormal	155.39	31.01	estimated
	with detection system	Lognormal	77.69	15.54	estimated
Turnout and travel time [min]	T_{T+T}	Lognormal	6.60	3.41	LFB (2011)
Setup time [min]	T_{Setup}	Lognormal	3.50	0.50	estimated

Tab.3.9: Interventionszeiten der Feuerwehr aus internationalen Statistiken aus De Sanctis et al. (2013).

Die internationalen Statistiken können zur Zeit für die Löschbereitschaft der Berufsfeuerwehr Wien nicht vergleichbar gemacht werden, da es für diese keine statistische Grundlage gibt. Hierzu sollten somit weiterführend statistische Erhebungen durchgeführt werden. Eine Übernahme internationaler Interventionszeiten, wie in Tab. 3.9 und 3.10 dargestellt, wird von der Berufsfeuerwehr Wien nicht akzeptiert. Der aus den internationalen statistischen Erhebungen vorgegebene Leistungsrahmen lässt sich somit im vorliegenden Modell -Sicherheitskonzept für Wien- nicht verwenden.

Parameter	Unit	Distribution	Mean μ	Std.Dev. σ	
Detection Time					Joint Comitee on Structural Safety DD 240 (1997)
without detection system	<i>min</i>	Normal	3/5/7	0.6/1/1.4	
with detection system	<i>min</i>	Normal	1.25	0.125	Gaskin (1993)
Dispatch Time	<i>min</i>	Normal	1	0.2	
Turnout Time					
Professional FD	<i>min</i>	Normal	1	0.5	
Voluntary FD	<i>min</i>	Normal	3.5	1.5	
Travel Time (4km)	<i>min</i>	Normal	6	2	Tomasson et al. (2008)
Setup Time	<i>min</i>	Normal	3.5	0.5	Wald et al. (2013)

Tab.3.10: Interventionszeiten der Feuerwehr aus internationalen Statistiken nach Wald et al. (2013).

Es erfolgt somit eine Definition eines spätesten Löschanfangs in Wien aufgrund von Expertenmeinungen. Es wird ein **charakteristischer Wert für die Brandentwicklungszeit bis zum Löschanfang** $t_{fs,k}$ als **deterministische Variable** eingeführt. Dieser erfasst somit alle Interventionszeiten die erforderlich sind bis zum Beginn der Löschanfangsmaßnahmen durch die Löschanfangsbereitschaft der Berufsfeuerwehr Wien.

Nach Expertenmeinungen* wird für Wien somit $t_{fs,k} = 30 \text{ Minuten}$ (ohne BMA) vorgeschlagen.

- d.h. Wichtig hierbei ist das, dass Ereignis (Löschanfang) vor der 30. Minute mit hoher Wahrscheinlichkeit stattfindet. Der charakteristische Wert $t_{fs,k} = 30 \text{ Minuten}$ könnte sogar ein extrem Wert darstellen, wie im Vergleich mit Tab.3.9 und Tab.3.10 ersichtlich wird. Dies müsste aufgrund statistischer Erhebungen in Wien überprüft werden.

Der charakteristische Wert der Variable $t_{fs,k} = 30 \text{ Minuten}$ soll nun praktisch im Brandfall in Wien nicht mehr überschritten werden.

* OBR Ing. Ernst- Georg Klammer (MA 68, Wien); DI Frank Peter, M.Eng (BrandRat ZT GmbH, Wien).

Fazit: Die Annahme eines charakteristischen Wertes aufgrund von Expertenmeinungen in Wien, muss einer statistischen Prüfung unterzogen werden, um dieses zu fundieren. Die internationalen Statistiken zeigen jedoch, dass der Wert wahrscheinlich niedriger ist als zur Zeit angenommen, somit vermutlich auf der sicheren Seite liegend.

3.2.8.1.10 Löschdauer manueller Brandbekämpfung

Eine Entwicklung von Grundlagen für ingenieurtechnische Methoden zur Berechnung der erforderlichen Löschanfangsintensitäten für das Löschen von Bränden mit Wasser erfolgte bereits durch Royer und Nelson (1959), Kohl, Pleß (1985) und viele andere Forschungsvorhaben. vgl. Kohl, Pleß (2007)

Nach Kohl, Pleß wird das Wasser bei der Brandbekämpfung genutzt, um die innerhalb einer Grundfläche durch einen Brand produzierte Energie zu binden. Dabei müssen nach Untersuchungen von Rashbash etwa 30 bis 35 % der freigesetzten Energie abgeführt werden um einen Brand zu löschen, denn der wesentliche Anteil der in der Flamme entstehenden Energie wird bereits mit den heißen Rauchgasen abgeführt. Dies konnte durch mehrere Forschungsvorhaben bestätigt werden. Dabei hat nach unterschiedlichen Forschungsergebnissen 1 l Wasser eine Wärmeaufnahme von 2,6 bis 2,783 MJ.

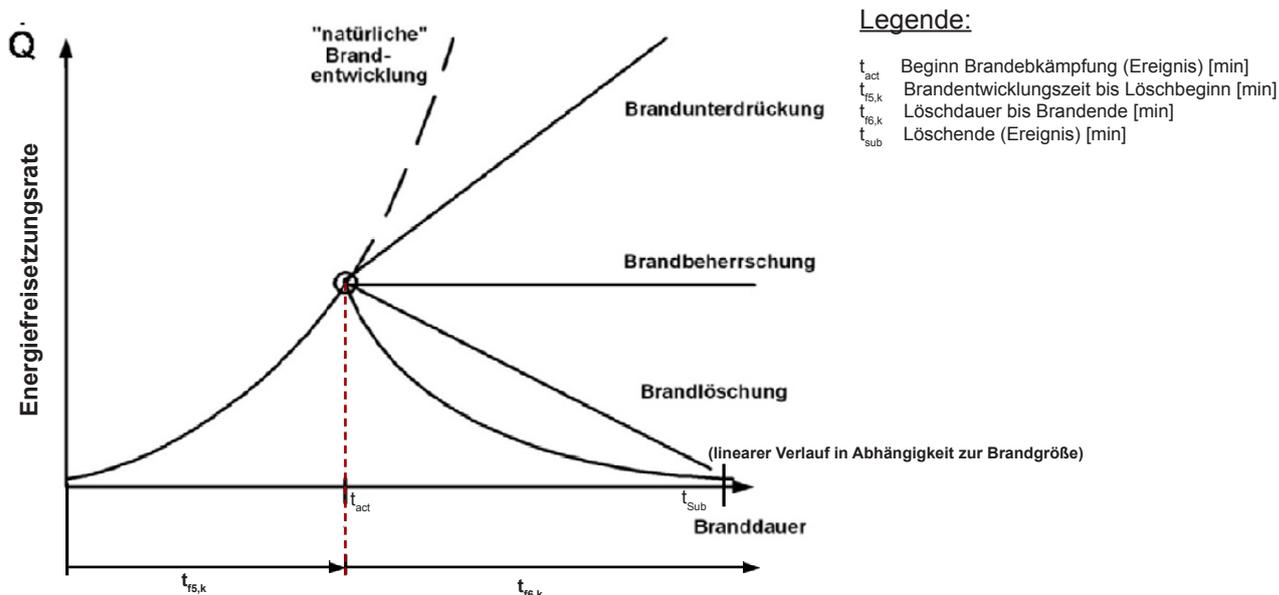
Der Effizienzfaktor von Wasser für die Wirkung im Brandraum liegt aufgrund von Löschtaktiken nach Hadjisophocleous und Richardson bei einer defensiven Löschtaktik (Brandabschnittsschutz) bei 0,1, bei einer offensiven Löschtaktik (Innenangriff) bei 0,35 - 0,4. Um den Effizienzfaktor der Brandbekämpfung für verschiedenartig Brandlasten (Feststoffbrände, Flüssigkeitsbrände oder Brände von Gasen) zu steuern und dem Nachlassen der Effizienz bei großen Energiefreisetzungsraten im Brandraum entgegenzuwirken können, unterschiedliche Löschmittel z.B. Netzmittel, Schaum, Kohlendioxid, ABC- Pulver, Sand etc. eingesetzt werden.

vgl. Kohl, Pleß (2007), (S.21); vgl. Rashbash (1986); vgl. Hadjisophocleous, Richardson (2005)

(1) Nach Literaturrecherchen von Kohl, Pleß wurde aufgrund experimenteller Untersuchungen von Särdaqvist die **Dauer des Löschens** $t_{f4,k}$ [min] formuliert:

$$t_{f4,k} = 3,3 * \sqrt{A_{\text{Brand}}} \quad [\text{min}] \quad (\text{Gl.3.2.6.1})$$

Auswirkung von Löschmaßnahmen auf die steigende Brandleistung:



Auswirkungen von Löschmaßnahmen auf den Energiefreisetzungszeitverlauf nach Dehne. Abb.3.28

Unsicherheiten in der Löschdauer: Das Ablöschen des Brandes kann beeinflusst werden und ist umso wahrscheinlicher, je länger die Löschdauer anhält, z.B. Tausch von Atemschutzgeräten der Angriffstrupps, Abzug des Löschrupps auf Grund drohenden Versagens tragender Bauteile und somit des drohenden Einsturzes des Gebäudes, etc. kann es zu einer nicht kontinuierlichen Wasserbeaufschlagung kommen. Ein frühzeitiger Löscherfolg der Feuerwehr trägt somit zu einer sicheren Brandbekämpfung bei.

(2) Quantitative Angaben zur Löschdauer auf Grund von Erfahrungswerten der Feuerwehren:

(2.1) charakteristische Leistungsfähigkeit (Löschdauer) einer anerkannten Werkfeuerwehr in Deutschland: Nach Dehne ist die **Dauer des Löschens** $t_{f4,k}$ [min] von der Brandkontrolle t_{con} [min] bis zum -erfolg t_{sub} [min] einer anerkannten Werkfeuerwehr (mit 9 Mann + Löschgruppenfahrzeug) abhängig von der maximalen Brandleistung $\dot{Q}_{max,k}$ [MW] und definiert sich nach Expertenaussagen mit:

$$\begin{aligned}
 t_{f4,k} &= 30 \text{ Minuten bei } 0 \text{ MW} < \dot{Q}_{max,k} \leq 20 \text{ MW} \\
 t_{f4,k} &= 35 \text{ Minuten bei } 20 \text{ MW} < \dot{Q}_{max,k} \leq 50 \text{ MW} \\
 t_{f4,k} &= 60 \text{ Minuten bei } \dot{Q}_{max,k} > 50 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Dabei ist:

$\dot{Q}_{max,k}$ maximale charakteristische Energiefreisetzungsrate im Brandabschnitt in [MW]

Die Löschdauern nach Dehne stimmen bei Brandleistungen bis 50 MW mit der Berechnungsmethode nach Särdaqvist nach Gl.3.2.6.1 auf der sicheren Seite liegend überein. Es zeigt sich dabei ein linearer Verlauf der Löschdauer in Abhängigkeit von der Brandfläche ab der Brandkontrolle. Nach Dehne wird vom Beginn der Brandbekämpfung t_{act} bis zur Brandkontrolle t_{con} eine Dauer von $t_{f3,k} = 5$ Minuten angenommen.

Das frühzeitige Wirken der Löschmaßnahmen bei $t_{f3,k} = 5$ **Minuten** kann grundsätzlich nur konstatiert werden, wenn die Brandleistung bzw. Brandfläche die Leistungsfähigkeit der Feuerwehr nicht übersteigt, es kommen der Brandfrüherkennung und einer kleinen Brandabschnittsbildung große Bedeutung zu. vgl. Dehne (2003), (S.23f.); vgl. Vfdb (2009), (S.240f.)

(2.2) Löschbereitschaft Berufsfeuerwehr Wien: Nach Expertenaussagen* können bei der **Berufsfeuerwehr Wien**, mit der zuvor genannten Ausrückordnung der Löschbereitschaft in Kapitel 3.2.3.1.7 "Einsatzstärke der Feuerwehr am Einsatzort" quantitative Angaben zur **Dauer des Löschens** $t_{f4,k}$ [min] von der Brandkontrolle t_{con} [min] bis zum -erfolg t_{sub} [min] mit der Löschtaktik "**Innenangriff**":

$$\begin{aligned} t_{f4,k} &= 5 \text{ Minuten bei } 0 \text{ MW} < \dot{Q}_{max,k} \leq 1 \text{ MW} \\ t_{f4,k} &= 10 \text{ Minuten bei } 1 \text{ MW} < \dot{Q}_{max,k} \leq 10 \text{ MW} \\ t_{f4,k} &= \mathbf{30 \text{ Minuten bei } 10 \text{ MW} < \dot{Q}_{max,k} \leq 20 \text{ MW}} \end{aligned}$$

gewährleistet werden und stimmen mit der Berechnungsmethode nach Särdaqvist nach Gl.3.2.6.1 auf der sicheren Seite liegend überein. Die Nachlöscharbeiten (z.B. Glutnester) sind dabei nicht erfasst. Der charakteristische Wert der Variable $t_{f4,k}$ wird somit als ein sehr selten vorkommender Wert, aufgrund von Expertenaussagen, vorgeschlagen.

Info: Die obenstehenden Löschdauern bezogen auf vorhandene Brandleistungen markieren nicht die absolute Leistungsgrenze der Berufsfeuerwehr Wien, sondern geben charakteristische Werte $t_{f4,k}$ [min] bezogen auf vorhandene Brandleistungen wieder.

Das frühzeitige Wirken der Löschmaßnahmen bei $t_{f3,k} = 5$ **Minuten** kann bei Brandleistungen < 20 MW grundsätzlich angenommen werden. Nach Expertenaussagen* kann somit ein sehr seltener Wert für die Löschdauer mit $t_{f6,k} = t_{f3,k} + t_{f4,k} = \mathbf{35 \text{ Minuten}}$ bei $\dot{Q}_{max,k} \leq 20 \text{ MW}$ in Wien angenommen werden.

Dieser deterministische Nennwert soll nun praktisch als maßgebende Variable im Brandfall nicht mehr überschritten werden können. Statistische Untersuchungen zur Löschdauer können auch hier genauerer Angaben liefern, um die Expertenaussagen zu untermauern

* OBR Ing. Ernst- Georg Klammer (MA 68, Wien); DI Frank Peter, M.Eng (BrandRat ZT GmbH, Wien)

(4) Löscherfolgs- bzw. Ausfallwahrscheinlichkeit bei Annahme einer kritischen Brandfläche:

Nach Hosser et al. kann die Löscherfolgs- bzw. Ausfallwahrscheinlichkeit manueller Brandbekämpfung bei einem Brandgeschehen über die maximale Leistungsfähigkeit der Feuerwehr, -d.h. über deren kritische Brandfläche $A_{f, grenz}$ [m²] definiert werden - dies sagt aber nichts über die eigentliche Löschdauer aus.

(4.1) Dabei ermittelt sich die Ausfallwahrscheinlichkeit der manuellen Brandbekämpfung semi- probabilistisch mit der Grenzzustandsgleichung S: vgl. Hosser et al. (2009), (S.100f.)

$$(S): Z = A_{f, grenz} - A_f \quad (Gl.4.2.3.20)$$

Dabei ist:

- $A_{f, grenz}$ Grenze der bekämpfbaren Brandfläche der Feuerwehr;
- A_f anzutreffende Brandfläche zum Zeitpunkt des Löschbeginns mit 10...30 Minuten, nach Gl.4.1.2.1 mit $v_{aus} = 40$ cm/min in x- und y- Richtung;
- Z Grenzzustand bei $Z = 0$; $Z < 0 =$ Versagen ; $Z > 0 =$ Sicherheit.

Die Grenze der bekämpfbaren Brandfläche $A_{f, grenz}$ [m²] durch die Feuerwehr muss nun kleiner sein als die Brandfläche bei Beginn der Löschmaßnahmen, um erfolgreiche Löschmaßnahmen zu gewährleisten.

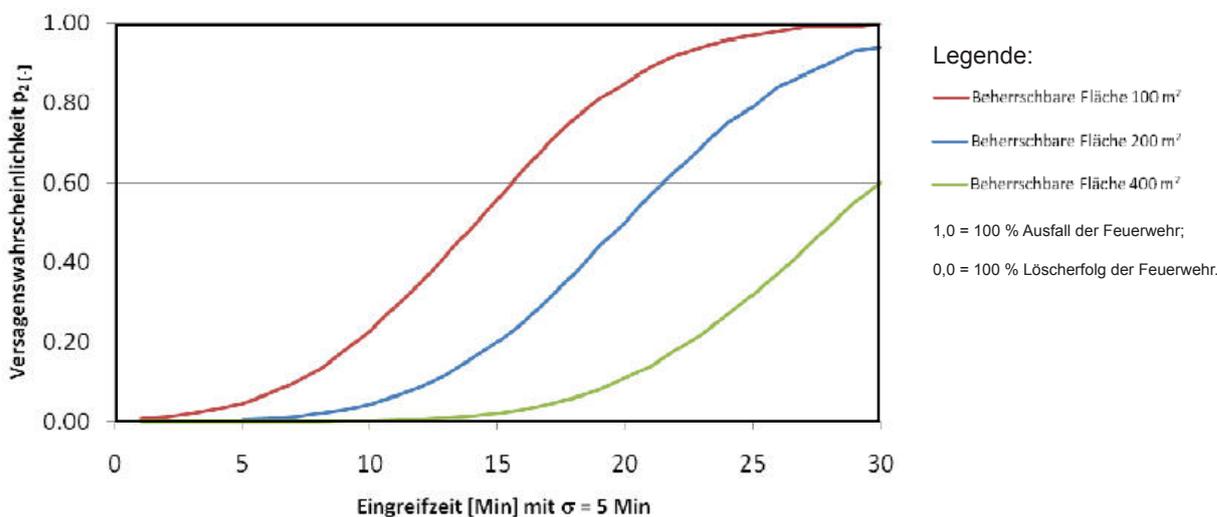
(3.2) Statistische Parameter zur Ermittlung der Versagenswahrscheinlichkeit P_f über die Verteilungsfunktion der standard normal Verteilung siehe Tab.3.11. vgl. Hosser et al. (2009), (S.100f.)

Anmerkung: Es wird ein Mittelwert für den Eingreifzeitpunkt von 10 bis 30 Minuten angegeben mit einer konstanten Standardabweichung von 5 Minuten, was eine sehr globale Aussagen ist, da leistungsstarke und -schwache Feuerwehren untereinander mit hoher Wahrscheinlichkeit unterschiedliche Streuungen besitzen. Die Feuerwehr mit einer kritischen Brandbekämpfungsfläche von $A_{f, \text{grenz}} = 200 \text{ m}^2$ ist in die Norm aufgenommen worden. vgl. DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang BB.5

Parameter	Sym- bol	Ein- heit	Vertei- lung	Mittel- wert	Stadard- abwei- chung	Variati- onskoef- fizient
Brandausbreitungs- geschwindigkeit	v_{aus}	m/min	Gauß- Normal	0,4	0,06	15 %
Kritische Brand- fläche	$A_{f, \text{grenz}}$	m ²	Gauß- Normal	400/ 200/ 100	60 / 30 / 15	15 %
Eingreifzeitpunkt	t_{La}	min	Gauß- Normal	10..30	5	17 % - 50 %

Tab.3.11: Parameter der Zufallsvariablen im normal verteilten Raum nach Hosser et al. (2009).

Fazit: Es wird bei der Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit brandbekämpfender Maßnahmen von einer stetigen Vergrößerung der Brandfläche ausgegangen -d.h. eine kleine Brandabschnittsbildung wird nicht berücksichtigt z.B. Wohnungen (100 m²). Die Brandfläche vergrößert sich über die Brandabschnittsfläche hinaus erst beim Versagen brandabschnittsbildender Bauteile (z.B. in der GK 5 nach 90 Minuten lt. OIB RL 2). Die Löscherfolgswahrscheinlichkeit einer Feuerwehr mit $A_{f, \text{grenz}} = 100 \text{ m}^2$, bei kleiner Brandabschnittsbildung mit ca. 100 m² (z.B. Wohnungen) ist somit hoch. vgl. OIB RL 2 (2011) Ein Feuerüberschlag (über übereinanderliegende Fenster) wäre hierbei ein neuer Entstehungsbrand.



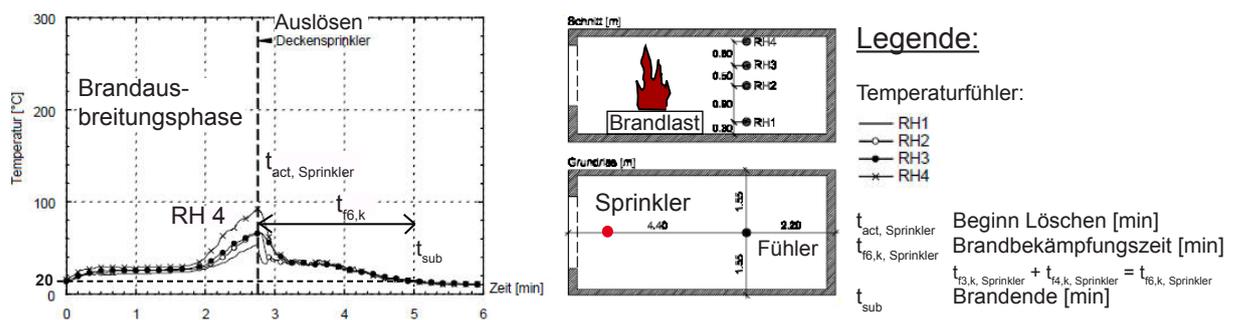
Zusammenhang der Ausfallwahrscheinlichkeit der Feuerwehr aufgrund der Brandausbreitung, nach Untersuchungen von Hosser et al., bei einer Brandausbreitungsgeschwindigkeit $v_{\text{aus}} = 40 \text{ cm/min}$. Abb.3.29.

3.2.8.2 Anlagentechnische Brandschutzmaßnahmen

Löschmaßnahmen können auch durch anlagentechnische Brandschutzmaßnahmen wie **Sprinkler** durchgeführt werden und im Verbund mit einer **Rauch- und Wärmeabzugsanlage**, einer automatischen **Brandmeldeanlage**, sowie der folgenden Brandbekämpfung durch die öffentliche Feuerwehr wirken. Dabei wird der Löscheinsatz der Feuerwehr grundsätzlich begünstigt und das Schadensausmaß reduziert. Sprinkleranlagen sind bei Gebäuden bis zu 8 Etagen, also der Gebäudeklasse 5 mit Wohn- und Büronutzungen selten anzutreffen, eher bei Sondergebäuden, wie z.B. Krankenhäuser, Theater, Kino, Einkaufszentrum, Hochhäuser, etc. mit mehr als 1.000 Personen.

3.2.8.2.1 Löschmaßnahmen durch Sprinkler

Das Auslösen des Sprinklers $t_{\text{act, Sprinkler}}$ [min] erfolgt nach Detektierung von Rauch oder Wärme grundsätzlich in der Brandentwicklungszeit des Naturbrandes, somit wird die maximal mögliche Energiefreisetzungsrates im Brandraum, zum Beginn des Vollbrandes, ausbleiben. Das Auslösen eines Sprinklers wird über die Temperatur- (z.B. 68 °C) und Ansprechempfindlichkeit definiert, den Response Time Index, kurz RTI. Es wird gleichzeitig ein akustischer Alarm ausgelöst, der von Anwohnern, Bewohnern, etc. wahrgenommen werden kann. Nach Hosser, Dobbernack, Siegfried und Dehne wird angenommen, dass nach Auslösen der Sprinkler die Energiefreisetzungsrates pro Zeit, \dot{Q} (t) [MW] noch $t_{\text{f3,k}} = 5$ Minuten konstant weiter verläuft und dann über einen Zeitraum $t_{\text{f4,k, Sprinkler}}$ [min] von 25 Minuten linear bis auf Null abnimmt. Nach Maag, Fontana in Abb.3.30 beeinflusst der Sprinkler nach Auslösen in einem Naturbrandversuch dagegen sofort das Brandgeschehen im Brandraum, mit einem raschen Brandende in t_{sub} [min]. vgl. Hosser, Dobbernack, Siegfried (1997); vgl. Schleich (2001), (S.28); vgl. Dehne (2003), (S.17f.); vgl. Vfdb (2009), (S.226f.); vgl. ÖNORM EN 12845 (2009); vgl. TRVB S 127 (2003)



Beeinflussung des Naturbrandverlaufes durch einen Deckensprinkler bei Deckentemperaturen von 90 °C am Temperatursensoren RH 4, nach Maag, Fontana (2000). Abb.3.30

Anmerkung: Bei einem verdeckten Brandgeschehen (Brand eines Papierkorbs unter dem Bürotisch) wird eine Brandeindämmung durch den Sprinkler angenommen, da der Brand nicht direkt gelöscht werden kann. Bei Sondergebäuden muss ein objektspezifisches Brandszenario definiert werden, nachdem die Sprinkleranlage ausgelegt wird. Eine Brandeindämmung durch die Sprinkleranlage sollte grundsätzlich bis zum Eintreffen der Feuerwehr erfolgen, danach eine gemeinsame Brandbekämpfung.

Statistische Auswertungen, in wie vielen Brandfällen ein Sprinkler ausgelöst hat, sind für Deutschland von Krichner 1996 im "Bundesverband der Feueranlagenversicherer", BVFA, publiziert worden.

Die geführten Untersuchungen verliefen von 1971 - 1992 mit 1490 analysierten Bränden, dabei löste der Sprinkler in 1459 Fällen im vorgesehenen Zeitraum richtig aus, -d.h. in einem Zeitraum von 21 Jahren in 97,9 % aller Fälle. vgl. Schleich (2002), (S.505ff.)

Die Ausfallwahrscheinlichkeit einer Sprinkleranlage beträgt statistisch somit < 2 % und wurde als Mittelwert $\mu_{(z)} = 0,02$, ohne Standardabweichung im aktuellen Sicherheitskonzept der DIN EN 1991- 1- 2/ NA (2010), Anhang BB eingeführt. vgl. Hosser et al. (2009), (S.68)

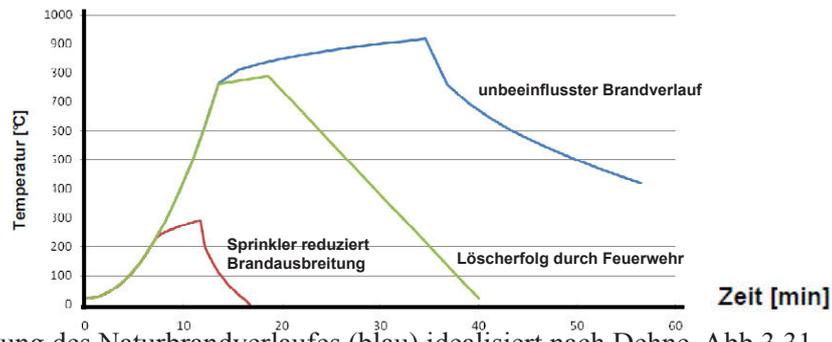
Von Rowlings und Robinson wurden 1993 statistische Daten für die Schweiz publiziert, wobei dort bis zu diesem Zeitpunkt seit 1978 kein Sprinkler versagt hat, -d.h. in einem Zeitraum von 15 Jahren in 100 % aller Fälle ordnungsgemäß auslöste. vgl. Schleich (2002), (S.499)

Für Österreich sind keine Statistiken bekannt, aber auf Grundlage ähnlicher technischer Standards wie in

Deutschland und der Schweiz kann von einer ähnlichen Ausfallquote ausgegangen werden. Um die Ausfallwahrscheinlichkeit einer Sprinkleranlage klein zu halten sind somit die lt. Norm vorgeschriebenen Wartungsintervalle zwingend einzuhalten, also maximal alle 13 Wochen in Österreich. vgl. TRVB 127 (2011) "Sprinkleranlagen", Punkt 18 "Wartung"; ÖNORM EN 13565- 2 (2009) " Orts-feste Brandbekämpfungsanlagen - Schaumlöschanlagen" - Teil 2: Planung, Einbau und Wartung

Zusammenfassung: Wirkung brandbekämpfender Maßnahmen auf die Brandleistung:

Löschmaßnahmen durch Sprinkler oder der Feuerwehr wirken zu unterschiedlichen Zeitpunkt im Brandverlauf, -d.h. das Schadensausmaß zum Zeitpunkt des Löscherfolgs ist unterschiedlich hoch.



Beeinflussung des Naturbrandverlaufes (blau) idealisiert nach Dehne. Abb.3.31

3.2.8.2.2 Rauch- und Wärmeabzugsanlagen

Rauch- und Wärmeabzugsanlagen, kurz RWA, (z.B. RWA, BRE) können eine Verzögerung des frühzeitigen Vollbrandes durch Einleiten des Flashovers bewirken, da diese dazu konzipiert sein sollen, die heißen Brandgase und somit wesentlicher Energie aus dem Brandabschnitt abzuleiten. Der Rauch- und Wärmeabzug kann dabei über eine natürliche Ventilation oder eine Zwangslüftung, z.B. mechanische Ventilation mit Ventilatoren erfolgen. Wichtige Faktoren sind dabei die Größen der aerodynamischen Ventilationsöffnungen A_{RWA} [m²] der Zu- und Abluft, sowie des Zeitpunktes ihrer Öffnung $t_{act, RWA}$ [min] und der geometrischen Anordnung im Brandabschnitt. Beim Beginn der Löschmaßnahmen durch die Feuerwehr t_{act} [min] wird somit der Löscheinsatz begünstigt durch die Rauchfreihaltung der Rettungswege und eines verzögerten Brandfortschrittes (Ableiten der heißen Rauchgase). Die anlagentechnischen Brandschutzmaßnahmen können durch ihre Wirkung auf das Brandgeschehen somit das Schadensausmaß deutlich verringern und grundsätzlich kompensatorisch zu baulichen Brandschutzmaßnahmen angewendet werden. vgl. Fischer et al. (2012), (S.112); vgl. Vfdb (2009), (S.233); vgl. Scheer, Peter (2009), (S.448); vgl. Kampmeier (2008); vgl. Dehne (2003), (S.21f.); vgl. ÖNORM EN 12101- 2 (2003)

3.3 Zusammenfassung

In Tab.3.12 sind die Beispiele aus den Naturbrandversuchen (1) und (2) bis (5) zusammengestellt, anhand derer nachstehende Schlussfolgerungen zu den Variablen a - f erfolgen.

Nr.	A_{Brand} [in m ²]	H [in m]	A_w [in m ²]	h_w [in m]	α_v	O [in m ^{1/2}]	w_f	b [J/m ² s ^{1/2} K]	$q_{f,k}$ [MJ/m ²]	$\dot{Q}_{max,k}$ [MW]	t_{fo} [min.]	t_1 [min.]	t_2 [min.]	t_3 [min.]	2 [min.]
(1)	15,84	2,4	2,24	1,4	0,14	0,035	0,89	k.A	321,7	3,2	6,27	-	36	-	30
(2)	12,96	2,6	1,82	2,6	0,14	0,046	1,04	1500,0	468,0	3,24	10	-	22	-	12
(3)	11,15	2,95	3,89	1,0	0,35	0,069	1,46	k.A	790,0	2,78	4	-	45	-	41
(4)	77,0	4,0	11,43	1,27	0,15	0,043	1,11	720,0	720,0	15,58	15	-	54	-	39
(5)	135,0	~ 2,75	14,4	~ 1,6	0,11	0,045	0,63	k.A	700,0	21,22	20	-	70	-	50

Legende: blau = ventilationsgesteuerter Brandverlauf;
rot = brandlastgesteuerter Brandverlauf.

Tab.3.12: Zusammenfassung der Ergebnisse der Beispiele (1) und (2) bis (5).

(1) Einflussgrößen a bis f beschrieben anhand der Naturbrandversuche 1- 5:**a) Lage, Anordnung und Eigenschaften der Brandlasten (punktförmige, flächige Anordnung, etc.):**

- Die Lage und Anordnung der Brandlast im Brandraum hat in den Beispielen keinen wesentlichen Einfluss auf den Brandverlauf, da ab dem Flashover im Brandraum die Brandlast über die Wärmestrahlung im gesamten Raum entzündet wird. Der Flashover kann schon beim Abbrand von kleinen Mengen an Brandlast in zellenartigen Brandabschnitten eingeleitet werden, siehe Beispiel (3). Eine Brandausbreitung verlief somit bei Versuchsanordnungen mit Möblierungen ähnlich wie bei flächig verteilten Holzkrippenbränden.
- Die Höhe der Brandlastdichte $q_{f,k}$ [MJ/m²] definiert neben dem ausreichenden Sauerstoffangebot d.h. der Abbrandrate der Brandlast, die Branddauer [min] in der Vollbrandphase, siehe Vergleich der Höhe der Brandlastdichten in Beispiel (2) und (3) in Tab.3.12.
- Die Abbrandrate der Brandlast oder das Sauerstoffangebot im Brandraum definiert die Höhe der Energiefreisetzungsrate der Brandlast und das Schadensausmaß im Brandraum.

b) Größe der Ventilationsöffnungen (Wärmeabzug, Luftsauerstoffzufuhr) und somit die**c) Verbrennungseffektivität der Brandlast (Mischungsgrad der Pyrolysegase und Umgebungsluft):**

- Die Beispiele 1 und 2 zeigen deutlich den Unterschied in der Branddauer auf Grund der verschiedenen Ventilationsverhältnisse im Brandraum. Das Beispiel (1) benötigt doppelt so lange, um eine annähernd gleiche Brandlastmenge im Brandraum umzusetzen wie Beispiel (2) bei optimaler Ventilation.
- Die Größe der Ventilationsöffnungen haben im Brandverlauf somit einen großen Einfluss auf die Abbrandrate der Brandlast und somit der Dauer der Brandeinwirkung auf die Bauteile.
- Hierbei lassen sich theoretisch 2 Werte bei allen Beispielen vergleichen, und zwar der Öffnungsfaktor O und der Ventilationsfaktor w_f . Das Beispiel (5), als ventilationsgesteuerter Brandverlauf und das Beispiel (3), als brandlastgesteuerter Brandverlauf unterscheiden sich deutlich in den Werten O und w_f . Beispiel (2), als brandlastgesteuerter Brandverlauf und Beispiel (4), als ventilationsgesteuerter Brandverlauf sind dagegen nicht deutlich vom jeweiligen anderen Brandverlauf in den Werten O und w_f zu unterscheiden. Beim Vergleich der maximalen Energiefreisetzungsrate wird deutlich, dass Beispiel (5) und Beispiel (3) über 1/3 Unterschied zur anderen errechneten maximalen Energiefreisetzungsrate liegen.
- Die Beispiele (2) und (4) dagegen liegen sehr dicht an der jeweils anderen errechneten maximalen Energiefreisetzungsrate. Bei Werten w_f um 1,0 und O um 0,5 ist somit nicht eindeutig feststellbar, ob ein ventilationsgesteuerter oder brandlastgesteuerter Brandverlauf im Brandraum vorliegen wird.
- Bei kleinen Öffnungsfaktoren ist die Heißgastemperatur im Raum höher als umgekehrt, siehe Beispiel (1) und (5) für eine längere Dauer höherer Heißgastemperaturen im Raum. Somit kann durch große Ventilationsöffnungen der Abzug der Wärme im Brandraum besser erfolgen und entlastend auf Bauteile wirken.

d) Eigenschaften der Umfassungsbauteile (Wärmeabsorbtion durch die Umfassungsbauteile):

- Die thermischen Eigenschaften der Umfassungsbauteile b [J/m² s^{1/2} K] konnten nicht hinreichend genau bemessen werden. Die Auswirkungen von Brandraumgröße, Ventilation und Brandlastdichte haben aber, wie festgestellt, einen sehr großen Einfluss auf den Brandverlauf.

e) Geometrie des Raumes (Raumhöhe, Anordnung der Ventilationsflächen zum Grundriss):

- Es wird deutlich, dass sich in sehr tiefen Räumen schlechte Ventilationsverhältnisse im Brandgeschehen einstellen, wie Beispiel (1) zeigt.
- Bei hohen, kleinen Räumen stellt sich der Vollbrand ähnlich schnell ein, wie bei niederen kleinen Räumen, siehe Beispiel (1) und Beispiel (3).
- Die Naturbrandversuche (1) bis (5) haben eine relativ kurze Dauer der Brandausbreitungsphase, bis zum Flashover zum Zeitpunkt t_{fo} [min] in kleinen Räumen gezeigt, die mit steigender Brandraumgröße zunimmt.
- In großen Räumen verzögert sich somit der Zeitpunkt eines Flashover t_{fo} [min] und der Beginn der Vollbrandphase, siehe Beispiele (4) und (5) im Gegensatz zu kleinen Räumen.
- Zellenartige Brandabschnitte wie z.B. Wohnungen und Zellenbüros, begünstigen einen frühzeitigen Vollbrand im Brandraum, der vor der 10. Minute nach Brandbeginn zu erwarten ist, siehe Beispiel (1) bis (3) und somit eine frühzeitige Brandausbreitung auch auf darüberliegende Brandabschnitte über übereinanderliegende Fensteröffnungen.

- Das Sauerstoffangebot in kleinen Räumen ist für die Einleitung eines Vollbrandes als ausreichend, anzunehmen, siehe Beispiele (1) bis (3).
- Mit zunehmender Brandfläche steigt die Energiefreisetzungsrates pro Zeit, \dot{Q} (t) [MW] an. Dies lässt sich durch das Begrenzen von Ventilationsflächen A_{Fenster} [m²] und Brandlastmenge Q [MJ] unterbinden.
- Eine Brandausbreitung über Geschosse an der Fassade lässt sich nicht unterbinden, aber verzögern.

f) Brandschutzmaßnahmen (Beginn der Brandbekämpfung durch Feuerwehr, Sprinkler, etc.):

- Löschmaßnahmen der Feuerwehr können in Abhängigkeit ihrer Leistungsfähigkeit den Brandverlauf beeinflussen und im besten Fall die Abklingphase des Brandgeschehens künstlich einleiten.
- Das Beginnen der Löschmaßnahmen t_{akt} [min], durch die Löschbereitschaft der Berufsfeuerwehr Wien, bei Wohn- und Büronutzungen erfolgt spätestens ab ca. 30. Minute um eine Brandweiterleitung auch in darüberliegende Geschosse (Brandabschnitte) verhindern zu können. Zu diesem Zeitpunkt ist mit einem Vollbrandszenario zu rechnen, siehe Beispiel (1) bis (5).
- Frühzeitig erfolgreiche Löschmaßnahmen hängen von der Größe der zu bekämpfenden Brandfläche bei Löschbeginn ab und der Leistungsfähigkeit der Feuerwehr, nicht von der gesamten vorhandenen Brandlast Q [MJ] (+ immobile brennbare Bauteile) die im Laufe des Brandgeschehens umgesetzt wird.
- Beginnende Löschmaßnahmen in der Vollbrandphase durch die Löschbereitschaft der Feuerwehr führen in Abhängigkeit ihrer Leistungsfähigkeit und der Größe der Brandfläche zu einem schnellen Löscherfolg in der Vollbrandphase oder einem späten Löscherfolg erst in der Abklingphase des Brandgeschehens.
- Löschmaßnahmen in der frühen Phase der Brandausbreitung durch eine Sprinkleranlage führen zu einer Brandflächenbegrenzung und in Kombination mit der öffentlichen Feuerwehr, zu einem sehr schnellen Löscherfolg auf Grund der begrenzten Brandfläche (sehr kleine Brandleistung).

Fazit: Das Zusammenwirken von Brandlaststart- und -menge, Raumgröße und Sauerstoffangebot und der Verfügbarkeit einer Feuerwehr oder Sprinkleranlage + Feuerwehr kann zu einem günstigen Brandbekämpfungsszenario führen, so dass die Abklingphase des Brandgeschehens frühzeitig eingeleitet wird und das Schadensausmaß reduziert. Nach Dehne kann durch die Variablen a - f somit eine Erhöhung oder Verringerung der Brandeinwirkung auf Bauteile geschehen. vgl. Dehne (2003), (S.5).

Einflussgrößen/ Basisvariablen	Einfluss im Brandgeschehen
Brandlastdichte	Branddauer
Abbrandrate	Brandleistung
Ventilation	Brandverlauf/ Wärmeabzug
Geometrie	Brandverlauf
thermischen Eigenschaften der Umfassungsbauteile	Wärmeabzugsfaktor
Brandbekämpfung	Branddauer

Tab.3.13: Wesentliche Einflussgrößen/ Basisvariablen und ihr Einfluss im Brandgeschehen.

(2) Die maßgeblichen Einflussgrößen im Brandverlauf:

Die Brandeinwirkung auf Bauteile erfolgt durch die Heißgastemperaturen im Brandgeschehen wie in den Temperaturzeitverläufen der Forschungsprojekte ersichtlich wird, die Dauer hoher Heißgastemperaturen im Brandraum wird dabei über die Variablen a - f definiert.

- **Die Höhe der Brandlastdichte definiert abhängig vom Sauerstoffangebot die Branddauer und ist maßgebend am Versagen der Bauteile beteiligt, wenn keine Brandbekämpfung erfolgt. (oder eine Brandbekämpfung erst in der Abklingphase wirksam wird).**
- **Die maximale Energiefreisetzungsrates im Brandabschnitt ist bei der Brandeinwirkung auf Bauteile maßgebend, wenn diese innerhalb quantitativer Angaben der Brandbekämpfungsmaßnahmen liegen, dabei werden diese ebenfalls zu maßgebende Variablen.**

4 Bemessungskonzepte für den Lastfall Brand

Um Aussagen über die Brandeinwirkung auf Bauteile und die Branddauer im Brandraum treffen zu können und nicht auf Naturbrandgeschehen zurückgreifen zu müssen, kann eine rechnerische Bemessung erfolgen. In einem Bemessungsbrandszenario werden mathematische Modelle, abgeleitet aus Ergebnissen von Naturbrandversuchen, benutzt, um aus wesentlichen Einflussgrößen des Brandgeschehens ein Szenario des Brandverlaufes im Raum für unterschiedliche Nutzungen zu erstellen.

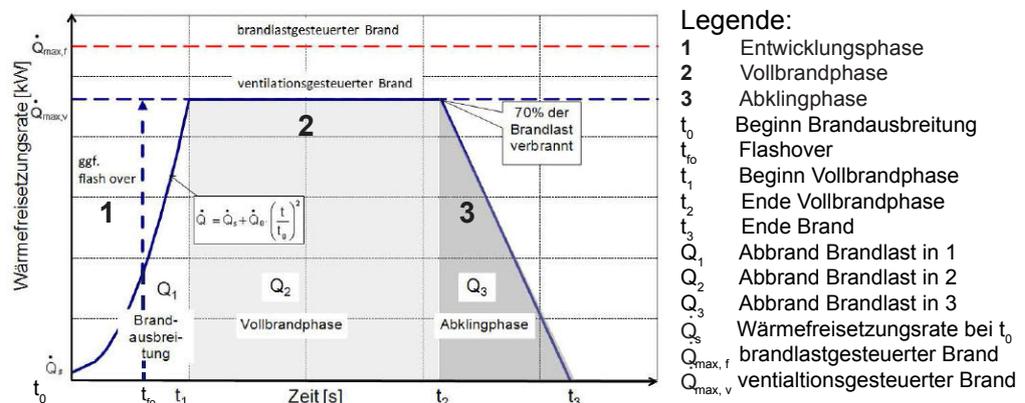
Anmerkung: Nach Beard ist eine exakte **Modellierung** des Brandverlaufes von Naturbränden in geschlossenen Räumen auf Grund der notwendigen Vereinfachung der komplexen Abläufe, im Hinblick auf eine Praxistauglichkeit nicht möglich. Die physikalischen Zusammenhänge und die Unschärfe der Eingangsgrößen, die einem natürlichen Brand zu Grunde liegen, können nicht vollständig erfasst werden. Zudem sind die Beobachtungen und die Aufzeichnungen der Ergebnisse aus Brandversuchen mit Fehlern behaftet und tragen weiter zu Unterschieden zwischen Messung und Berechnung bei. Somit sind die Berechnungsmodelle häufig so ausgelegt, dass diese auf der sicheren Seite liegende Ergebnisse liefern, also leichte brandschutztechnische Überdimensionierungen erfolgen können. vgl. Klein (2009), (130f.); vgl. Beard (2000)

4.1 Naturbrand in geschlossenen Räumen definiert als Bemessungsbrand

Der Bemessungsbrand lässt sich somit analog der Naturbrandphasen einordnen in:

1. die Brandausbreitungsphase, 2. die Vollbrandphase und 3. die Abklingphase und wird nach Hosser vereinfacht als Bemessungsbrand formuliert, siehe Abb.4.1.

vgl. Hosser, Zehfuß (2002); vgl. Zehfuß (2004), (S.20); vgl. Vfdb (2008), (S.55- 60), (S.72f.), (S.79f.); vgl. Schneider et al. (2008), (S.131f.); vgl. Klein (2009), (S.95ff.), (S.102)



Die Ausbreitung der Brandleistung wird dabei als Bemessungsbrandszenario dargestellt. Abb.4.1

4.1.1 Bemessungsbrandphasen

1. Die erste Phase des Bemessungsbrandes, die Brandausbreitungsphase beginnt nach Hosser ab einer Energiefreisetzungsrate pro Zeit von $\dot{Q}(t) = 0,025$ MW. Davor ist die so genannte Vorbrennzeit, durch die Entzündung der Brandlast und das Schwelen charakterisiert, die wie bereits in Kapitel 3.1.9 beschrieben im Bemessungsbrandszenario nicht betrachtet wird. Die erste Phase läuft brandlastgesteuert ab, so dass die Energiefreisetzungsrate allein durch die Brandlast und deren spezifischen Abbrandrate des Stoffes und dessen Ausbreitungsgeschwindigkeit im Brandverlauf begrenzt ist.

2. Die zweite Phase des Bemessungsbrandes beginnt mit dem Erreichen der maximalen Energiefreisetzungsrate. Diese kann sprunghaft durch den Flashover ab ca. 500 °C eingeleitet werden oder mit der Begrenzung der Brandausbreitungsphase durch die raumabschließenden Bauteile. Der weitere Brandverlauf ist in dieser Phase, wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, von den vorhandenen Ventilationsflächen abhängig. Neben der Abfuhr heißer Brandgase über Ventilationsflächen können auch die raumabschließenden Bauteile einen Teil der Wärme vom Brandgeschehen absorbieren und beeinflussen damit den Brandverlauf. Die Energiefreisetzungsrate wechselt im Vollbrand als maximale Energiefreisetzungsrate in ein horizontales Plateau.

3. Die dritte Phase ist durch das Abklingen des Brandes bestimmt nach dem Abbrand von 70 - 80 % der Brandlast im Raum. Das Brandende wird als der Zeitpunkt definiert, an dem die Energiefreisetzungsrate im Brandraum, infolge des Abbrandes der Brandlast, Null ist. **Die dritte Phase des Bemessungsbrandes kann auch durch abwehrende oder anlagentechnische Brandschutzmaßnahmen** eingeleitet werden, was bei Wohn- und Büronutzungen der häufigste Fall ist. Es kann eine Brandunterdrückung, eine Brandbeherrschung und, im günstigsten Fall, eine Brandlöschung erfolgen.

4.1.2 Ausbreitung der Brandleistung

Die Ausbreitung der Energiefreisetzungsrate pro Zeit $\dot{Q}(t)$ [MW] in der Brandentwicklungsphase mit Möbel bis ca. 1,8 m Höhe in Räumen, kann nach Klein im allgemeinen Brandausbreitungsmodell vereinfacht angenommen werden, was nach Sundström in etwa der internationalen Verwendung des t^2 - Ansatzes entspricht nach Gleichung 4.1.2.1, bei dem die Annahme der Steigung der Brandleistung auf Grund einer definierten nutzungsabhängigen Brandausbreitungsgeschwindigkeit quadratisch zur Zeit gilt. Es werden 4 wesentliche Brandausbreitungsgeschwindigkeiten langsam, mittel, schnell und sehr schnell unterschieden, siehe Tab.4.1. vgl. ISO CD 13388 (1997); vgl. Sundström (2002); vgl. Klein (2009), (S.97ff.)

$$\dot{Q}(t) = (t / t_{\alpha, k} * t)^2 \quad [\text{MW}] \quad (\text{Gl.4.1.2.1})$$

Dabei ist:

t Zeit [s];

$t_{\alpha, k}$ Brandausbreitungsgeschwindigkeit bis zum Erreichen von 1 MW [s].

Nutzung	Brandentwicklung	Parameter α_k [kW/s ²]	$t_{\alpha, k}$ [s] Branddauer bis zum Erreichen von $\dot{Q} = 1$ MW	v_{aus} [cm/min]
Gemäldegalerie, Lagergebäude (Material geringer Entzündlichkeit oder wenig brennbares Material)	langsam	0,002931	600	6 - 12
				20 - 30
Wohngebäude, Hotelzimmer, Bürogebäude, Lagergebäude (Baumwoll- / Polyesterkerntmatratze)	mittel	0,011720	300	35 - 50
Geschäft, Lagergebäude (volle Postsäcke, Kunststoffschäum, gestapeltes Holz)	schnell	0,046890	150	70 - 120
Chemische Fabrik, Lagergebäude (Alkohol, Polstermöbel)	sehr schnell	0,187600	75	180 - 300

Tab.4.1: Brandausbreitungsgeschwindigkeiten in Bezug zur Nutzung.

Anmerkung: Nach Schneider sind in Büro- und Wohnnutzungen Brandausbreitungsgeschwindigkeiten der Brandleistung in der Phase der Brandausbreitung von $v_{\text{aus}} = 48$ cm/min möglich. Das entspricht nach Hosser, bei einer statistischen Verteilung der Normalverteilung, einem 90 % Quantil, bei Annahme eines Mittelwertes von $v_{\text{aus}} = 40$ cm/min und einer Standardabweichung von 15 %.

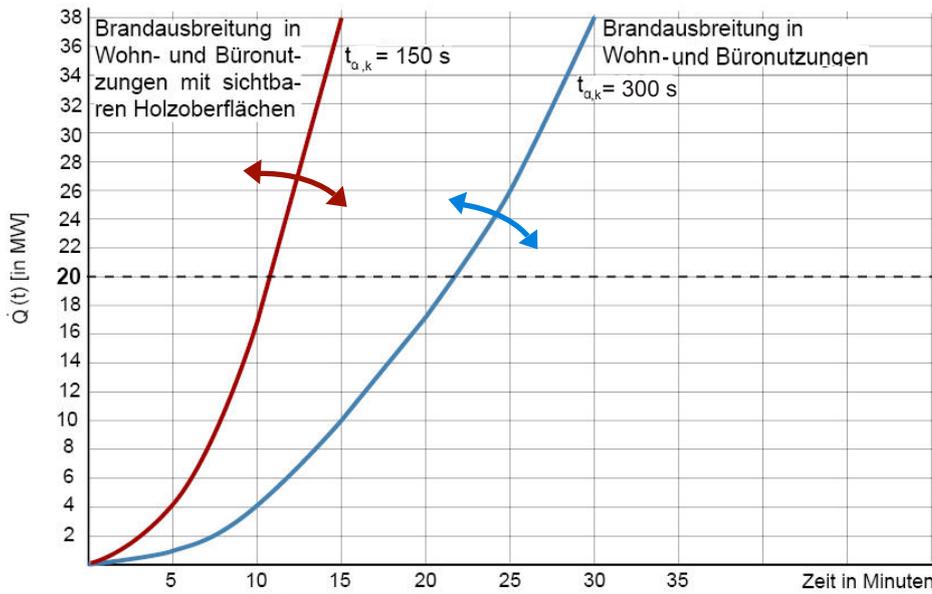
- d.h. einem 10 % Quantil mit $t_{\alpha, k} = 241$ s bis zum Erreichen von 1 MW nach Brandbeginn. vgl. Schneider et al. (2008), (S.144); vgl. Vfdb (2009), (S.241)

Fazit: Es wird in dieser Arbeit, für ein Brandszenario in Wohn- und Büronutzungen ein **charakteristischer** Wert $t_{\alpha, k} = 300$ s, lt. Tab.4.1 angenommen, da der Beginn des Flashover **konservativ der Zeitpunkt der Brandentdeckung darstellt - d.h. eine späte Brandentdeckung**, siehe Kapitel 3.2.8.1.4 "Branddetektierung". In zellenartigen Brandabschnitten wird sehr früh ein Flashover eintreten, auf Grund der nur geringen notwendigen Brandleistung bis zum Erreichen des Flashoverkriteriums, wodurch sich einerseits $t_{\alpha, k} = 241$ s als 10 % Quantil ungünstig auswirken würde im Bezug zur konservativen Branddetektierung und andererseits der Flashoverzeitpunkt in zellenartigen Brandabschnitten unrealistisch schnell erfolgt, siehe dazu Tab.4.26 "Flashover - Zeitpunkte".

(1) Differenzierung der Holzbauweise auf Grund der Brandausbreitungsgeschwindigkeit:

Wie im Kapitel 3 am Beispiel 1.1 ersichtlich wird, ist bei einer brennbaren, flächigen Innenverkleidung eine schnelle Brandausbreitung in der Brandausbreitungsphase möglich. Die benötigte Energie für den Flashover steht somit eher zur Verfügung, siehe dazu Tab.4.26 "Flashover- Zeitpunkte", somit wird für den sichtbaren **Holzmassivbau** eine schnelle Brandentwicklung $t_{a,k} = 150$ s angenommen.

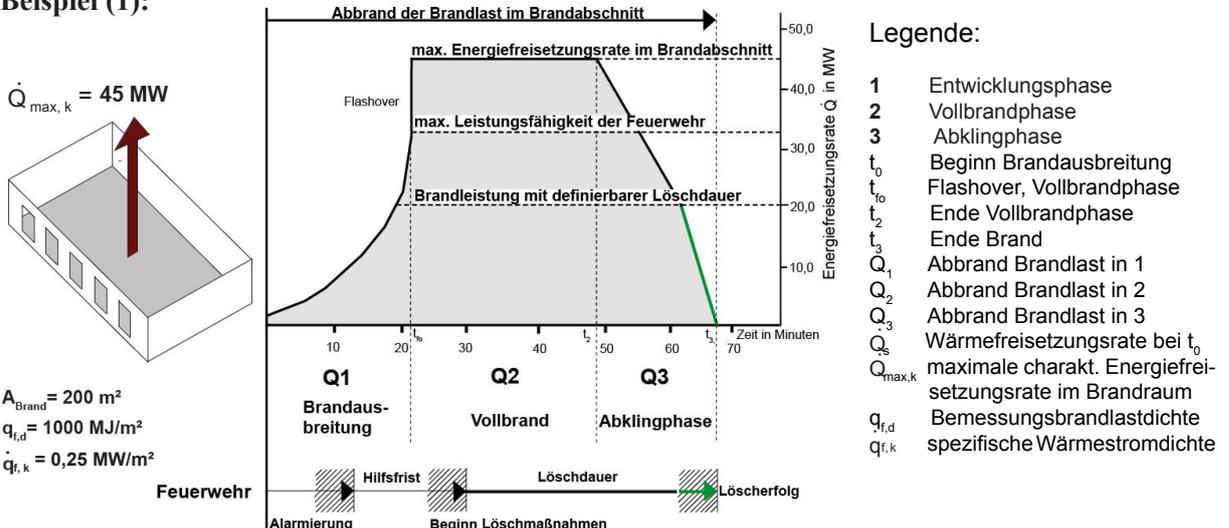
Im **Holzskelettbau**, wo nur wenige sichtbare Holzstützen und Holzunterzüge in einem Brandraum verbaut sind, kann eine **mittlere** Brandausbreitungsgeschwindigkeit als **10 % Quantil** angenommen werden.



Energiefreisetzungsrate pro Zeit bei mittlerer und schneller Ausbreitung der Brandleistung. Abb.4.2

Nach Abb. 4.2 beträgt die Brandleistung ab der 30. Minute nach Brandbeginn bei Wohn- und Büronutzungen (mittel) mindestens 38 MW und kann durch einen Flashover, siehe Abb.4.3 im Raum bereits höher sein. Werden zusätzlich brennbare Oberflächen im Innenraum des Brandabschnittes aus Holz berücksichtigt, können zu diesem Zeitpunkt durch eine schnelle Brandausbreitung über 100 MW erreicht werden, siehe Abb.4.2, so dass ein schneller Löscherfolg der Feuerwehr auf Grund begrenzter Leistungsfähigkeit auszuschließen ist. Die Höhe der Brandlast hat damit den maßgebenden Anteil an der Brandeinwirkung auf Bauteile. Die tragenden und raumabschließenden Bauteile im Brandabschnitt müssen somit die Vollbranddauer überdauern können, bis eine wirksame Brandbekämpfung durch die Feuerwehr (z.B. in der Abklingphase) zum Löscherfolg führt, siehe Abb.4.3.

Beispiel (1):



Bemessungsbrandszenario mit einer Brandleistung über der Leistungsfähigkeit der Feuerwehr. Abb.4.3

4.2 Brandmodelle nach EUROCODE 1: ÖNORM EN 1991- 1- 2

4.2.1 Ermittlung der ingenieurmäßigen Grundlagen

Die ingenieurmäßige Bemessung des Tragwerkes, sowie der raumabschließenden Bauteile eines Gebäudes im Brandfall, erfolgt auf der Grundlage von Schutzzielen, definiert in der „Bauproduktenverordnung“ Nr. 305/ 2011 „zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/ 106/ EWG des Rates“, kurz BauPVo Anhang I: Grundanforderungen an Bauwerke, 2. Brandschutz: Das Bauwerk muss derart entworfen und ausgeführt sein, dass bei einem Brand:

- a) die Tragfähigkeit des Bauwerks während eines bestimmten Zeitraums erhalten bleibt;
- b) die Entstehung und Ausbreitung von Feuer und Rauch innerhalb des Bauwerks begrenzt wird;
- c) die Ausbreitung von Feuer auf benachbarte Bauwerke begrenzt wird;
- d) die Bewohner das Bauwerk unverletzt verlassen oder durch andere Maßnahmen gerettet werden;
- e) die Sicherheit der Rettungsmannschaften berücksichtigt ist.

Die Schutzziele sind in die Bauvorschriften der einzelnen Mitgliedsländer der EU übernommen worden, in der Bauordnung für Wien im Landesgesetzblatt, LGBL vom 05.11.2012 unter § 91- § 96.

vgl. Bauproduktenverordnung Nr. 305/ 2011 der EU (2011).

In Europa ist das Europäische Komitee für Normung (European Committee for Standardisation, kurz CEN) für die Entwicklung, Verwaltung und Verteilung von europaweit kohärenten Normen und Spezifikationen zuständig. Um eine Bemessung durchführen zu können, gibt es brandstatistische Tabellenwerte und Berechnungsmethoden in den EUROCODES, die im Zusammenhang mit den jeweiligen nationalen Anwenderdokumenten, kurz NAD der einzelnen Mitgliedsländer der EU ihre Gültigkeit erlangen. Die nationalen Anhänge der EUROCODES werden von nationale Arbeitsgruppen erarbeitet, die Festlegungen im EUROCODE durch sicherheitsrelevante Anforderungen ergänzen. Für nationale Festlegungen ist in Österreich das Österreichische Normungsinstitut, kurz ON, für die Thematik „Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen“, der Fachnormenausschuss 006 und für die Thematik „Belastungsannahmen im Bauwesen“ inklusive Brandbelastungen, das Komitee 176 zuständig.

vgl. CEN/ CENELEC- Geschäftsordnung (2008); vgl. ÖNORM EN 1991- 1- 2 (2013)

Die Mitgliedsländer der EU und EFTA (European Free Trade Association) betrachten die EUROCODES als Bezugsdokumente für den Nachweis der Übereinstimmung der Hoch- und Ingenieurbauten mit den wesentlichen Anforderungen der Bauproduktenverordnung Nr. 305/ 2011 der EU, im Besonderen mit der wesentlichen Anforderung:

Nr. 1: Mechanischer Widerstand und Stabilität und

Nr. 2: Brandschutz,

als Grundlage für die Spezifikation von Verträgen für die Ausführung von Bauwerken und dazu erforderlichen Ingenieurleistungen, sowie als Rahmenbedingung für die Herstellung harmonisierter, technischer Spezifikationen für Bauprodukte. vgl. ÖNORM EN 1990 (2013), (S.7f.); vgl. Bauproduktenverordnung Nr. 305/ 2011 der EU (2011); vgl. Austrian Standards Institute (2011)

Die Bestimmung der Höhe und Dauer der Brandeinwirkung erfolgt dabei als außergewöhnlichen Bemessungssituation und ist im EUROCODE 0: ÖNORM EN 1990 und EUROCODE 1: ÖNORM EN 1991- 1- 2 geregelt. vgl. ÖNORM EN 1990 (2013); vgl. ÖNORM EN 1991- 1- 2 (2013), Punkt 2.1 "Allgemeines"

Das Bauteilverhalten eines Tragwerks, sowie der raumabschließenden Teile ist im Brandfall unter Berücksichtigung von Modellen für Naturbrandverläufe zusammen mit den Begleiteinwirkungen unter Bezugnahme von EUROCODE 2: ÖNORM EN 1992 bis EUROCODE 6: ÖNORM EN 1996 und EUROCODE 9: ÖNORM EN 1999 mit den dort geregelten Berechnungsmodellen nachzuweisen. Die Bauteile werden dabei nach ÖNORM EN 13501- 1 "Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten" - Teil 1: „Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten“ und in Klassifizierungen mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Feuerwiderstand nach ÖNORM EN 13501- 2 bis ÖNORM EN 13501- 5 eingeteilt. vgl. ÖNORM EN 1990 (2013), (S.7f.); vgl. ÖNORM EN 13501 (2009), Teile 1- 5

Beziehung zwischen EUROCODE und Bauteil: Die normativen Festlegungen im EUROCODE beziehen sich dabei auf CE- gekennzeichnete Bauprodukte. Nach der BauPVo Nr. 305/ 2011 der EU müssen Baustoffe im EU- Binnenmarkt CE- gekennzeichnet sein, wenn diese eine Leistung erklären („Conformité Européenne“ = „europäische Konformität“), die Konformität bezieht sich dabei auf die erklärte Leistung des Bauproduktes. Wird keine Leistungserklärung gefordert, muss auch keine CE-Klassifizierung erfolgen.

Erklärt ein Bauprodukt eine brandschutztechnische Leistung, erfolgt eine technische Bewertung. Die europäische technische Bewertung, kurz ETB, erfolgt durch die europäische Organisation für Bewertungsstellen, kurz EOTA. Die Bewertung des Bauproduktes wird dabei über ein europäisches Bewertungsdokument, kurz EBD ausgegeben. In Österreich werden Anträge für EBD's durch akkreditierte Prüf- und Überwachungsstellen gestellt, die durch das Österreichische Institut für Bautechnik, kurz OIB an die EOTA zur Freigabe überstellt werden. vgl. Scheer, Peter et al. (2009), (146f.); vgl. BauPVo Nr. 305/ 2011 der EU (2011)



CE- Kennzeichnung für Bauprodukte mit einer erklärten Leistung. Abb.4.6

4.2.2 Möglichkeiten zur Bestimmung der Brandeinwirkung

Die ÖNORM EN 1991- 1- 2 unterscheidet dabei verschiedene Möglichkeiten von Modellen als Ersatz für einen Naturbrand, um die Brandeinwirkung und das Verhalten von Tragwerken und raumabschließenden Bauteile dabei zu analysieren. Es gibt nominelle und parametrische Temperatur- Zeitkurven, und numerische Brandmodelle, sowie ein globales Sicherheitskonzept zur Kalibrierung der Eingangsgrößen aus Unsicherheiten in der Berechnung. vgl. ÖNORM EN 1991- 1- 2 (2013)

1. Numerische Brandmodelle sind mittels thermodynamischen Modellen simuliert, die eine Temperaturentwicklung in Zeitschritten angeben. Dabei wird zwischen Zonen- und Feldmodellen (CFD) unterschieden. Die Simulationen eignen sich für komplexe, große Sonderbauvorhaben.

2. Nominelle Temperatur- Zeitkurven auch Normbrandkurven genannt, folgen einfachen mathematischen Beziehungen und nehmen bedingt Bezug auf die Phasen eines Naturbrandverlaufes im Raum. Werden Baustoffe nach den Normbrandkurven geprüft entsprechen diese den normativen Bestimmungen. Die Einheitstemperaturzeitkurve, kurz ETK, ist das geläufigste normative Brandmodell für Wohn- und Bürogebäude. vgl. Vfdb (2009), (S.73)

3. Parametrische Temperatur- Zeitkurven sind mit verschiedenen physikalischen Eingangsgrößen steuerbare Naturbrandmodelle. Diese können Aussagen über den Verlauf der verschiedenen Phasen eines Naturbrandes im Raum geben. Es wird dabei die Brandentwicklungsphase bei ansteigender Energiefreisetzungsrate und Heißgastemperatur bei zunehmender Brandausbreitungsfläche, die Vollbrandphase bei konstanter Energiefreisetzungsrate, maximaler Brandfläche und Heißgastemperatur zu Beginn der Abklingphase mit abnehmender Energiefreisetzungsrate und Heißgastemperatur unterschieden. vgl. Klein (2009), (S.53f.)

4. Das globale Sicherheitskonzept kalibriert die statistischen Unsicherheiten der Einwirkungs- und Widerstandsgrößen auf Grundlage der Wahrscheinlichkeitstheorie und gibt diese als Teilsicherheitsbeiwerte für die Festlegung der **Bemessungswerte der maßgebenden Variable** der außergewöhnlichen Einwirkung Brand aus.

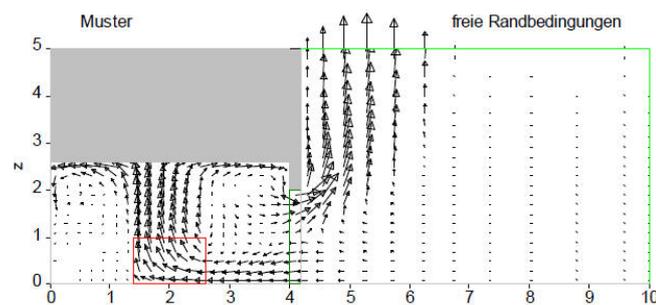
Durch die Darstellung des Bemessungsbrandverlaufs kann eine bauordnungsrechtlich geforderte, auf der sicheren Seite liegende Dauer des Feuerwiderstandes und des Brandverhaltens von Bauteilen nach Euroklassen lt ÖNORM EN 13501- Teile 2 bis 5 abgeleitet werden.

4.2.3 Numerische Brandmodelle

Der Naturbrand in Räumen kann lt. ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang D durch erweiterte Brandmodelle bestimmt werden. Dabei wird in D.1 Ein- Zonen-, D.2 Zwei- Zonen- oder D.3 Fluid- Dynamik- Modelle unterschieden und können auf Grund komplexer Rechenverfahren aus Thermodynamik und Strömungslehre Rauchgasentwicklungen von Naturbränden und die Brandausbreitung anhand vorgegebener Parameter simuliert werden (z.B. Raumgeometrie, Brandlastdichte, Ventilation, etc.). vgl. ÖNORM EN 1991- 1- 2 (2009), Anhang D

Die erweiterten Brandmodelle eignen sich um den Heißgastemperaturzeitverlauf eines Brandes anhand parametrischer Eingangsdaten in einem Raum oder Mehrraummodell darzustellen. Dabei gibt es Ein- Zonen- Modelle, die eine homogene Temperatur in einem Raum, ab Beginn des Vollbrandes annehmen, Zwei- Zonen- Modelle, die eine Heißgasschicht im oberen Bereich des Raumes und eine kühlere Luftschicht im unteren Teil des Raumes differenzieren können und Mehr- Zonen- Modelle z.B. CFAST (Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport) die, im Gegensatz zum Zwei- Zonen- Modell eine Vielzahl von Zonen generiert. vgl. Klein (2009), (S.53)

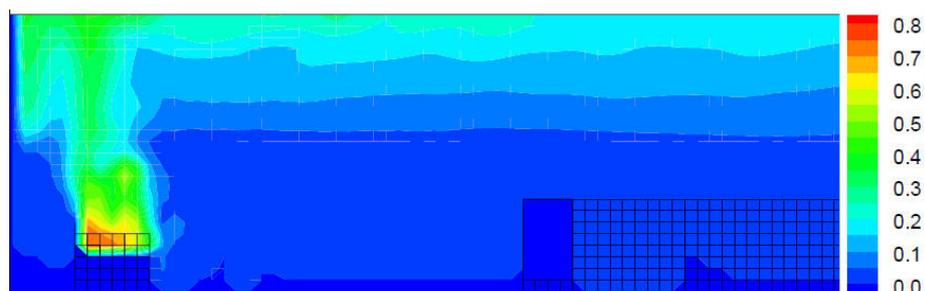
Das gebräuchlichste Feldmodell ist das FDS (Fire Dynamics Simulator, int. CFD), siehe Abb.4.8, das genaue Berechnungen auf Grundlage der Beschreibung der Strömung von newtonschen Flüssigkeiten und Gasen anstellt und eine Vielzahl von Ergebnissen liefert. Z.B. genaue Temperaturverteilung, thermische Strahlung im Raum, Rauchgaszusammensetzung, Strömungsgeschwindigkeiten und Ausbreitung auch in angrenzenden Räume. vgl. McGrattan, Hostikka, Floyd (2007)



CFD- Simulation mit einem Feldmodell. Abb.4.7

Der Vorteil von erweiterten Brandmodellen aus Zonen- und Feld- Modellen ist die visuelle Darstellung anhand von CAD- Echtzeit- Filmen z.B. mit Smokeview (SMV), in denen die Rauchgasentwicklung und Brandausbreitung eines Schadfeuers innerhalb einer bestimmten Zeit beschrieben werden kann, so dass die Wirkung von baulichen und anlagentechnischen Maßnahmen (z.B. Rauchschürzen, RWA, etc.) ebenfalls sehr gut beschreibbar und darstellbar ist. Der Nachteil der Feldmodelle ist, dass diese spezielles Wissen der Anwender voraussetzen und zeitaufwendig in der Erstellung von Ergebnissen sind, da diese hohe Rechnerleistungen verlangen. Für komplexe und spezielle Bauvorhaben wie Flughäfen, Bahnhöfe, Hallen können die CFD Modelle sinnvoll angewandt werden.

vgl. Knaust (2010); vgl. URL: <http://www.f-sim.de>; vgl. Vfdb (2009), (S.110f.)



Numerische Untersuchung mit FDS. Abb.4.8

Anmerkung: Für die Ermittlung von Brandeinwirkungen auf Bauteile aus Büro- und Wohnnutzungen werden nachfolgend vereinfachte Methoden genauer untersucht.

4.2.4 Nominelle Temperatur- Zeitkurven

Der Naturbrand kann lt. ÖNORM EN 1991- 1- 2 nach Punkt 3.2 als nominelle Temperaturzeitkurve dargestellt werden. Nominelle Temperaturzeitkurven sind die gebräuchlichsten Brandmodelle im Bauwesen und werden umgangssprachlich als Normbrand bezeichnet, d.h. das Bauteile nach der Normbrandprüfung nationalen Anforderungen gerecht werden. Die ÖNORM EN 1991- 1- 2 führt dabei unter Punkt 2.3 die Einheits- Temperaturzeitkurve, kurz ETK, die Außenbrandkurve und die Hydrocarbon-Brandkurve als nominelle Brandkurven auf.

Für die Brandeinwirkung auf Bauteile im innern von Gebäuden mit Nutzungen Büro und Wohnen, wird die nominelle Einheitstemperatur- Zeitkurve ISO 834, kurz ETK, verwendet. Dadurch soll der größte Teil der möglichen Brandeinwirkungen aus unterschiedlichen Brandszenarien in Gebäuden konservativ abgedeckt werden und somit eine ausreichende Feuerwiderstandsdauer und Brandverhalten von Bauteilen im Naturbrand erreicht werden. vgl. ÖNORM EN 1991- 1- 2 (2013), Punkt 3.2; vgl. ÖNORM EN 13501- 1 (2009); vgl. ÖNORM EN 13501- 2 (2010); vgl. ÖNORM ISO 834- 1 (1993)

4.2.4.1 Entwicklung der ETK

Die ETK wurde nach systematischen Brandversuchen in Räumen und Temperaturmessungen in U.S. Amerika der 1930er Jahre entwickelt. Im allgemeinen überschritten Wohn-, Geschäfts- und Bürobauten maximale Temperaturen von $\Theta_{max} = 1.100 \text{ }^\circ\text{C}$ nicht, so dass der Verlauf sich an diesen Messungen orientierte. Die ETK deckt heute als Standard Brandmodell häufig vorkommende Brandszenarien in Räumen ab und es läßt sich somit ein Vergleich von Brandverhalten und dessen Feuerwiderstandsdauer zwischen verschiedenen Bauteilen herstellen, die unter der ETK geprüft wurden.

Da das Baustoff- und Bauteilverhalten der Bauprodukte im Brandfall in der EU standardmäßig mit der ETK geprüft wird, stellt die Einheitstemperatur- Zeitkurve für die Bemessung von Bauteilen im Brandfall das Sicherheitsniveau in Europa dar und deckt die Brandwirkungen unterschiedlicher natürlicher Brandverläufe bei Gebäuden normaler Art oder Nutzung überwiegend auf der sicheren Seite liegend ab. vgl. Zehfuß (2004), (S.9); vgl. Vfdb (2009), (S.36)

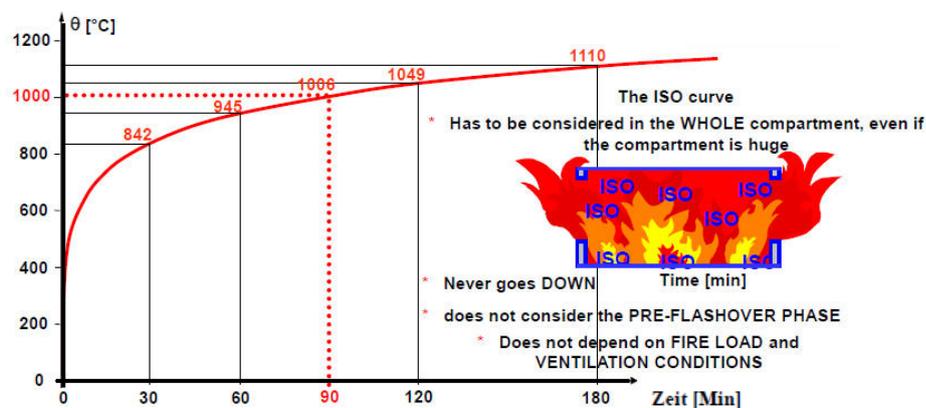
(1) Der mathematische Ausdruck der ETK ist:

$$\Theta_g = 345 \log_{10} (8 * t + 1) + 20 \text{ [}^\circ\text{C]} \tag{Gl.4.2.2.1}$$

Dabei ist:

- Θ_g die Temperatur im Brandabschnitt [$^\circ\text{C}$]
- t die Zeit [min]

(2) Grafische Darstellung:



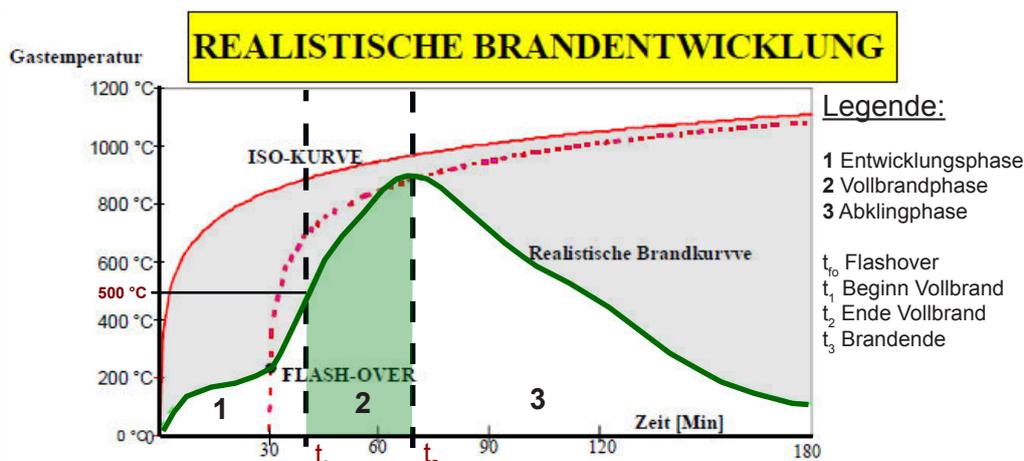
Verlauf der norminellen Einheitstemperatur- Zeitkurve, ETK. Abb.4.9

4.2.4.2 Anwendungsgrenzen

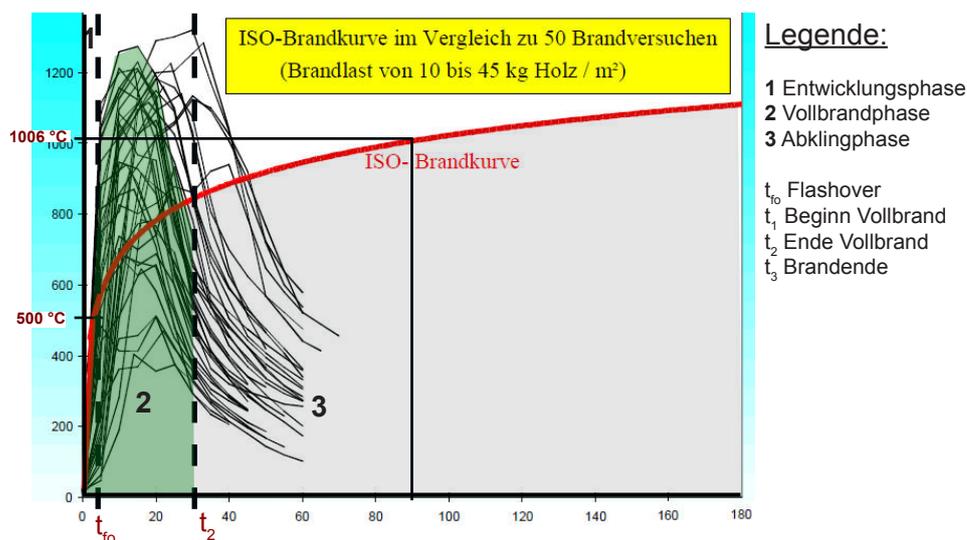
Die Formulierung der ISO 834 ist rein mathematisch und berücksichtigt keine Eingangsparameter. Eine Aussage über die Branddauer oder die verschiedenen Brandphasen eines Bemessungsbrandes in einem Raum, z.B. die Wärmeabsorption von Umfassungsbauteilen, der Einfluss von Ventilationsöffnungen oder die Eigenschaften der Brandlast kann daraus nicht abgeleitet werden. Die ETK simuliert einfach

den sprunghaften Temperaturanstieg eines Naturbrandes ab dem Flashover, die Brandausbreitungsphase oder die Abklingphase eines Bemessungsbrandszenarios wird dabei nicht berücksichtigt. Eine stetige, langsame, unendliche Temperaturerhöhung ist für die ETK signifikant. vgl. Klein (2009), (S.5f.)

Anmerkung: Eine Optimierung des baulichen Brandschutzes im individuellen Projekt von tragenden und brandabschnittsbildenden Bauteile ist somit nicht möglich. Im betrachteten Einzelfall kann es anhand vorgegebener Parameter somit zu Über- und Unterdimensionierungen der Dauer des Feuerwiderstandes von tragenden und brandabschnittsbildenden Bauteilen kommen. Die Feuerwiderstandsdauer von tragenden und brandabschnittsbildenden Bauteilen in einem Naturbrand ist gegenüber der nach ETK getesteten Prüfmethode grundsätzlich verschieden, wie in Abb.4.10 und Abb.4.11 dargestellt ist. Die Einflussfaktoren zur Bestimmung der Brandeinwirkung von Naturbränden auf Bauteile in Räumen wurde im Kapitel 3.3.1 "Naturbrandversuche und Brandausbreitung in geschlossenen Räumen" dargestellt, können nicht von dem mathematischen Modell der ETK wahrgenommen werden.



Äquivalenzbetrachtung zwischen der Einheitstemperaturzeitkurve, ETK, (rot) und dem Heißgastemperaturverlauf eines Naturbrandes mit der Vollbranddauer in 2 (grün). Abb.4.10

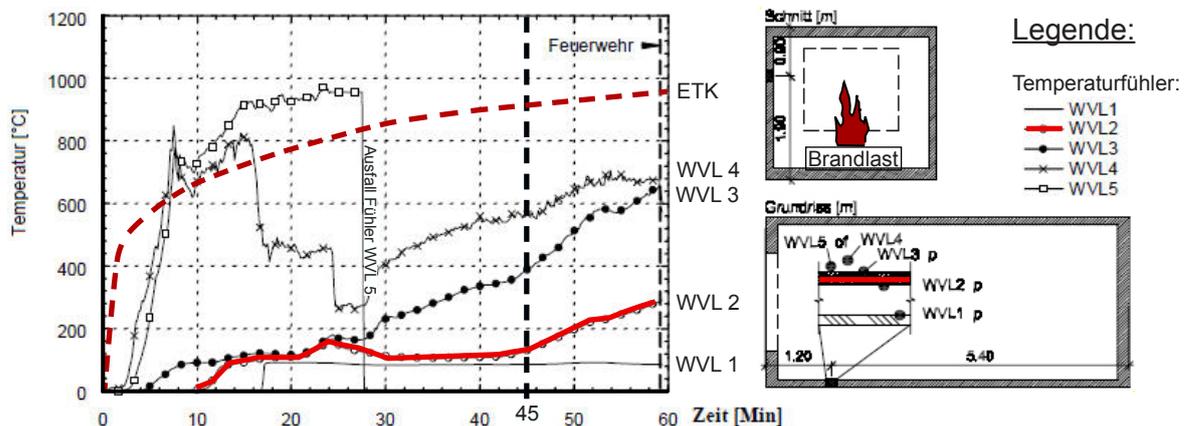


Äquivalenzbetrachtung zwischen der Einheitstemperaturzeitkurve, ETK, (rot) und Heißgastemperaturverläufen von Naturbränden mit der Vollbranddauer in 2 (grün). Abb.4.11

Der Heißgastemperaturverlauf der ETK hat in der 90. Minute eine Temperatur von 1.006 °C erreicht, diese Heißgastemperaturen können allerdings im Naturbrand auch schon vor der 90. Minute auftreten, wie im Kapitel 3.2.1 festgestellt und insbesondere durch zusätzliche immobile Brandlasten raumabschließender brennbarer Bauteile. Bei einer längeren Überbeanspruchung, wie in Abb.4.11 dargestellt kann es zu einem vorzeitigen Versagen von nach ETK- geprüften Bauteilen kommen.

Beispiel einer Unterdimensionierung:

Nach dem Naturbrandversuch “BÜ nbb” von Maag, Fontana im Jahr 2000 kam es in einem Brandraum mit $A_{\text{Brand}} = 15,84 \text{ m}^2$ und einer Brandlastdichte von $q_{\text{fk}} = 255 \text{ MJ/m}^2$ zu einem frühzeitigen Versagen von Gipskarton Feuerschutzplatten, kurz GKF, die nach ETK geprüft ein Brandverhalten A2 für 30 und 60 Minuten Feuerwiderstandsdauer ausgelegt waren. In Abb.4.12 werden Risse bis zur Dämmebene einer EI 60, A2, GKF- Bepunktung in der ca. 45. Minute nach Brandbeginn verdeutlicht, indem der Temperaturfühler WWL 2 hinter der GKF- Platte deutlich ansteigt und somit ein Brandeintrag in das Bauteil erfolgen kann. vgl. Maag, Fontana (2000), (S.121f.)



Bauteiltemperaturen der brandschutztechnischen Wandbekleidung EI 60, A2. Abb.4.12

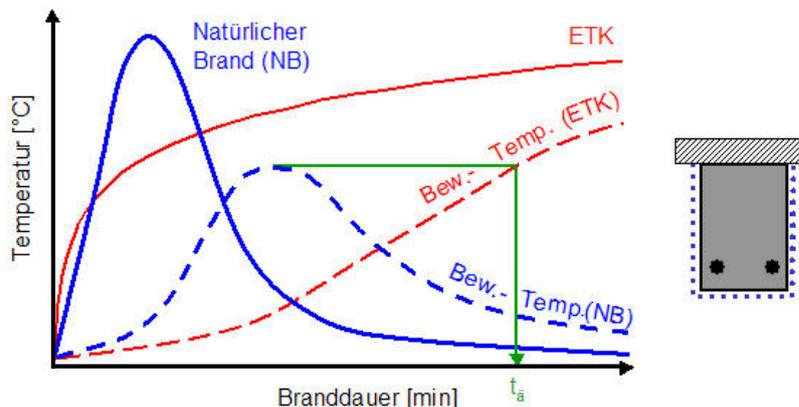
Im Gegensatz zu dem Heißgastemperaturzeitverlauf der ETK, sind in diesem Naturbrandversuch kontinuierlich in der Anfangsphase des Naturbrandes bis zum Ausfall des Temperaturfühlers WWL 5, ca. 180 °C mehr gemessen worden, dem die GKF- Platten ausgesetzt waren.

Beispiel einer Überdimensionierung:

Überdimensionierungen der Dauer des Feuerwiderstandes von nach ETK geprüften, tragenden und raumabschließenden Bauteilen, werden häufig durch den Einsatz einer Sprinkleranlage im Zusammenhang mit einer Brandbekämpfung durch die öffentlichen Feuerwehr erreicht, da es durch eine frühzeitige Brandbekämpfung der Sprinkleranlage zu keiner hohen und lang andauernden Brandeinwirkung auf Bauteile kommt und der gemeinsame Löscherfolg gewährleistet werden kann, siehe Kapitel 5, Fallbeispiel B.

Modifizierung der ETK durch Umrechnung in einen Naturbrand:

Um die thermische Wirkung eines natürlichen Brandes auf ein Bauteil in die Brandwirkung der ETK zu übertragen, ist der Begriff der äquivalente Branddauer entstanden. Dieser gibt durch Umrechnung der Brandwirkung eines Naturbrandes in die Brandwirkung der ETK die Branddauer wieder, der ein Bauteil annähernd ausgesetzt wäre, siehe Abb.4.13. vgl. DIN 18230- 1 (2010); vgl. M IndBauRL (2000); vgl. ÖNORM EN 1991- 1- 2 (2013), Anhang F



Umrechnung der Brandbeanspruchung auf Bauteile durch den Naturbrand in den Modellbrand der ETK als äquivalente Branddauer. Abb.4.13

4.2.5 Äquivalente Branddauer

Nach ÖNORMEN 1991- 1- 2 (2013), Anhang F „Äquivalente Branddauer“, kann die äquivalente Branddauer $t_{e,d}$ ermittelt werden, um die Dauer der Brandeinwirkung aus dem Normbrand auf Bauteile und somit gleichzeitig die notwendige Feuerwiderstandsdauer tragender und brandabschnittsbildender Bauteile zu bestimmen. Die äquivalente Branddauer beschreibt die thermische Wirkung eines natürlichen Brandes auf Bauteile durch Umrechnung der natürlichen Brandeinwirkung in die der ETK. Durch Umrechnung der Energiefreisetzungsrates des natürlichen Brandes in eine äquivalente Branddauer wird die Dauer der Brandbeanspruchung für die tragenden und raumabschließenden Bauteile rechnerisch somit auf die erforderliche Feuerwiderstandsdauer für nach ETK bemessene Bauteile zurückgeführt, siehe Abb.3.31. vgl. ÖNORM EN 1991- 1- 2 (2013), Anhang F; vgl. Schneider et al. (2008); vgl. Vfdb (2009), (S.212f.)

4.2.5.1 Entwicklung der äquivalenten Branddauer

Die „äquivalente ISO- Branddauer“ wurde in einem Verbundforschungsprojekt aus 11 europäischen Ländern im Jahr 1994 unter dem Titel: „Konkurrenzfähige Stahlbaukonstruktionen, ein Ergebnis des Sicherheitskonzepts für Naturbrände“ erarbeitet. Das Ziel war eine realistische Feuerwiderstandsbemessung unter Naturbrandbedingungen, durch die Bemessung mit der ETK zu erhalten. Die Formulierung des mathematischen Modells ist für Stahlbeton und vor Brandeinwirkung geschützte Stahlbauteile geeignet. Ungeschützte Stahlquerschnitte wurden nach Untersuchungen mit einem Korrekturfaktor rechnerisch angepasst. Verbundbauteile aus beiden Baustoffen können nach Schleich mit der Berechnungsmethode nicht berücksichtigt werden, da äquivalente Branddauern oberhalb der Mindesttragfähigkeit entstehen können. Holzkonstruktionen wurden nach Schleich in dem Forschungsprojekt nicht berücksichtigt. vgl. Schleich (2001); vgl. Schleich et al. (2002)

(1) Die Bemessung der äquivalenten Branddauer $t_{e,d}$ nach Anhang F erfolgt durch:

$$t_{e,d} = (q_{f,d} * k_b * w_f) * k_c \quad \text{oder} \quad [\text{min}] \quad (\text{Gl.4.2.3.1})$$

$$t_{e,d} = (q_{t,d} * k_b * w_t) * k_c \quad [\text{min}] \quad (\text{Gl.4.2.3.2})$$

$$t_{e,d} < t_{n,d} \quad (\text{Gl.4.2.3.3})$$

Dabei ist:

$q_{f,d}$ Bemessungsbrandlast [MJ/m^2], **siehe Kapitel 4.2.5.3.1 und 4.2.5.3.5;**

k_b Umrechnungsfaktor in Abhängigkeit der thermischen Eigenschaften der Umfassungsbauteile in [$\text{min} * \text{m}^2/\text{MJ}$] **siehe Kapitel 4.2.5.3.2;**

k_c Korrekturfaktor für den Baustoff des tragenden Querschnittes, **siehe Kapitel 4.2.5.3.3;**

w_f Ventilationsfaktor, **siehe Kapitel 4.2.5.3.4;**

$t_{n,d}$ Bemessungswert der Feuerwiderstandsfähigkeit unter Normbrand in [min].

4.2.5.2 Anwendungsgrenzen

Es ist in der ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang F, nicht angegeben, für welche Brandlastart (fest, flüssig) und für welche Brandlastdichte die Berechnungsmethode sinnvolle Ergebnisse liefert, noch für welche Brandabschnittsgrößen. Nach Zehfuß und Hosser bestehen Zweifel, ob die Berechnungsmethode für zellenartige Brandabschnitte im Wohnbau verwertbare Ergebnisse liefert. vgl. Zehfuß (2004), (S.17f.)

4.2.5.3 Basisvariablen

Basisvariablen	Einfluss im Berechnungsmodell
Bemessungsbrandlastdichte	$q_{f,d}$ [MJ/m^2]
Ventilationsfaktor	w_f, O [$\text{m}^{1/2}$]
thermischen Eigenschaften der Umfassungsbauteile	Umrechnungsfaktor k_b [$\text{min} * \text{m}^2/\text{MJ}$]
Korrekturfaktor für den Baustoff des tragenden Querschnittes	Umrechnungsfaktor k_c

Tab.4.2: Basisvariablen des Berechnungsmodells der äquivalenten Branddauer

4.2.5.3.1 Brandlast

Nach Giselbrecht, sowie Scheer und Peter stellt die mobile Brandlast (Möblierung) in Räumen das höchste Brandrisiko im Bezug zur Personengefährdung dar, auch wenn ein Gebäude aus brennbaren immobilien Bauteilen (Tragwerk) wie Holz besteht, da sich die Möblierung (z.B. Polstermöbel, Textilien, Bettbezug, etc.) eher und somit auch häufiger entzündet (z.B. durch offene Zündquellen wie Zigaretten, Kerzen am Tannenbaum, etc.), Fehlverhalten von Personen, etc.), als immobile brennbare Bauteile.

Wie im vorigen Kapitel dargestellt ist die Höhe der Brandlast, neben den Ventilationsbedingungen, im wesentlichen ausschlaggebend für die Branddauer und somit am Versagen der Bauteile maßgebend beteiligt. vgl. Giselbrecht (2012); vgl. Scheer, Peter (2009), (S.89)

(1) Die Brandlastmenge im Brandabschnitt errechnet sich dabei aus (Gl.3.2.1.4).

4.2.5.3.1.1 charakteristische Brandlastdichte

Die Brandlast im Brandabschnitt wird in der ÖNORM EN 1991- 1- 2 im Anhang E.2.5 „Klassifizierung der Brandlast nach Nutzungseinheiten“ nutzungsspezifisch, als charakteristische Brandlastdichte $q_{f,k}$ [MJ/m²] aus der Möblierung, sowie Lagerstoffe im Bezug auf unterschiedliche Nutzungen auf Grund statistischer Erhebungen vorgegeben. Dabei wird die charakteristische Brandlast je Nutzung durch den Mittelwert μ angegeben und über eine Gumbelverteilung das 80 % Quantil als seltener Wert vorgeschlagen, um die Wahrscheinlichkeit einer Variation der Höhe der Brandlast innerhalb der Lebensdauer des Gebäudes (z.B. 50 Jahre) mit zu berücksichtigen. Die Brandlast ist somit eine definierte Zufallsvariable. Eigengewichte und andere ständig wirkende Lasten werden durch ihre Mittelwerte in der ÖNORM EN 1990 charakterisiert. Die charakteristische Brandlastdichte darf ebenfalls durch den Mittelwert angegeben werden, wenn sich die Brandlastdichte innerhalb der Lebensdauer des Gebäudes nicht nennenswert ändert, siehe Tab.4.3. vgl. ÖNORMEN 1991- 1- 2 (2013), Anhang E.2.5; vgl. ÖNORMEN 1990 (2013), Punkt 4.1.2 (3)

Nutzung	Mittelwert	80 %-Fraktile
Wohnung	780	948
Büro	420	511

Tab.4.3: Die charakteristische Brandlastdichte $q_{f,k}$ [MJ/m²] mit 80 % Quantil einer Gumbelverteilung.

Das 80 % Quantil, als seltener Wert der Brandlastdichte soll praktisch als maßgebende charakteristische Variable der Einwirkung im Brandfall nicht mehr überschritten werden können. Falls dieser Fall doch eintreten sollte und die maßgebende Variable der Brandeinwirkung in einem definierten Zeitraum größer ist, ist zwischen dieser und dem Widerstand ein ausreichender Sicherheitsabstand durch einen Teilsicherheitsbeiwert γ_{Fi} festgelegt, siehe Abb.4.14, der sich in der Bemessungsbrandlastdichte $q_{f,d}$ [MJ/m²] äußert und im Kapitel 4.3.1 "Probabilistisches Sicherheitskonzept nach ÖNORM EN 1990, Anhang B, C, D" beschrieben ist. vgl. Rackwitz (2006), (S.21, S.101f.)

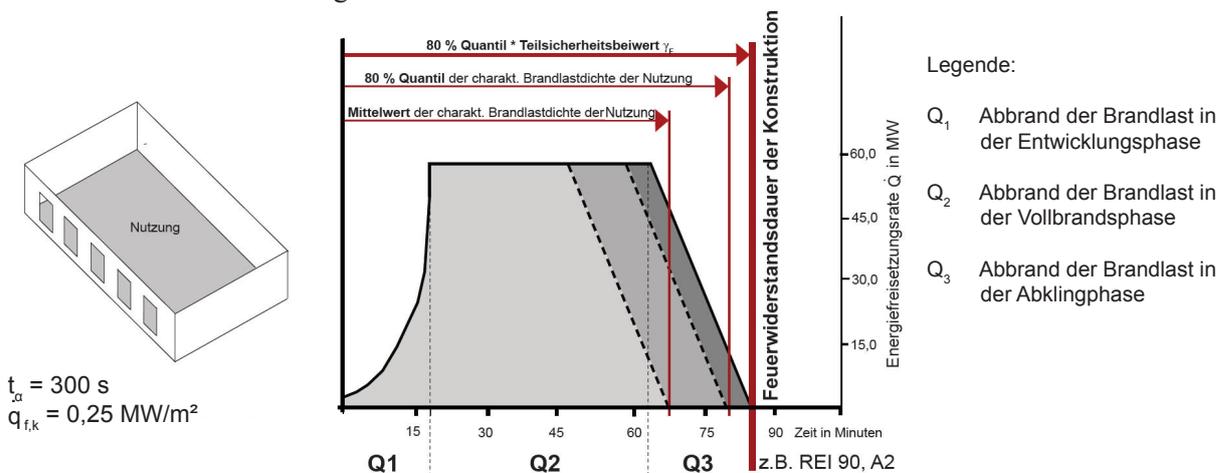
(1) Die charakteristische Brandlastdichte im Brandabschnitt errechnet sich dabei aus (Gl.3.2.1.5).

Andere Quantile: In der DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang BB.3 „Brandlastdichte“ wird die Wahrscheinlichkeit einer Variation der Höhe der Brandlast innerhalb der Lebensdauer des Gebäudes über eine Normalverteilung berücksichtigt, mit einem Mittelwert μ und einer Standardabweichung σ . Es wird das 90 % Quantil als seltener Wert für die charakteristische Brandlastdichte national festgelegt. vgl. DIN EN 1991- 1- 2/ NA (2010), Anhang BB.3

Zeile	Nutzung	Mittelwert	Standardabweichung	90 %-Quantil
		1	2	3
1	Wohngebäude	780	234	1 085
2	Bürogebäude	420	126	584

Tab.4.4: Die charakteristische Brandlastdichte $q_{f,k}$ in MJ/m² mit 90 % Quantilwert.

Die charakteristische Brandlastdichte $q_{f,k}$ [MJ/m²] einer Nutzung, als 80 % Quantilwert vom Mittelwert, multipliziert mit einem Teilsicherheitsbeiwert γ_{Fi} ergibt die Bemessungsbrandlastdichte $q_{f,d}$ [MJ/m²], die im Laufe des Bemessungsbrandszenarios im Brandabschnitt abbrennt.



Abbrand der Bemessungsbrandlast $q_{f,d}$ [MJ/m²] im Bemessungsbrandszenario. Abb.4.14

4.2.5.3.1.2 charakteristische Brandlastdichte nach TRVB A 126

Die technische Richtlinie für vorbeugenden Brandschutz, kurz TRVB, gibt in der TRVB A 126 aus dem Jahr 1987 ebenfalls Werte Brandlasten in Nutzungen, vor. Die TRVB's ergänzen als technische Richtlinien die ÖNORMEN, auf Grund der Aktualität sollte allerdings die ÖNORM herangezogen werden. vgl. TRVB A 126 (1987)

Nutzung	$q_{f,k}$ [MJ/m ²]
Wohnen	300
Büro	700

Tab.4.5: charakteristische Brandlastdichte in Wohnung und Büro nach TRVB A 126 aus dem Jahr 1987

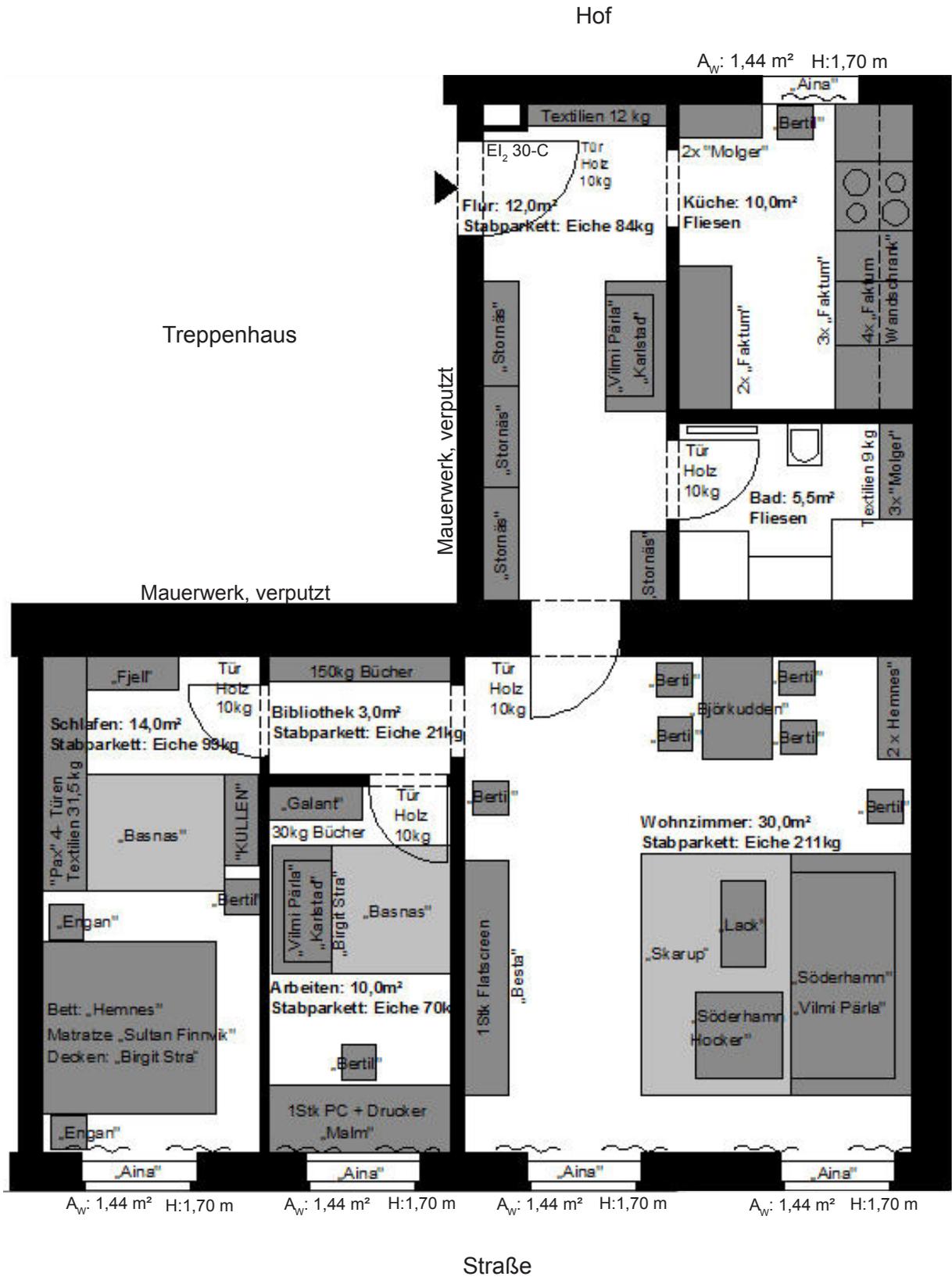
4.2.5.3.1.3 charakteristische Brandlastdichte im Einzelfall

Falls keine Klassifizierung der charakteristischen Brandlastdichte lt. ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang E „Brandlastdichten“ durchgeführt werden kann, darf nach Punkt E.2.6 "Bestimmung der Brandlast im Einzelfall" auch eine Erhebung im Einzelfall erfolgen. Um die statistisch erhobenen Werte aus der nutzungsbedingten Höhe der Brandlast nach ÖNORM EN 1991- 1- 2, Tabelle E.4 " Brandlastdichten" nachzuvollziehen, wird eine Wohnung als Feldstudie beispielhaft herangezogen, um die mobile Brandlast zu erfassen. Die Möblierung wurde dabei anhand von IKEA Einrichtungsgegenständen nachgebildet. Die Produkte sind sämtlich mit Massen und Materialien auf der IKEA Website abgebildet, Schaumstoff- und Baumwolleanteile sind anhand des Gesamtgewichtes abgeschätzt. vgl. <http://www.ikea.com/at/de/>; vgl. ÖNORM EN 1991- 1- 2 (2013), Anhang E.2.2, E.2.6

- (1) Die Brandlastmenge im Brandabschnitt $Q_{f,k}$ [MJ] errechnet sich dabei aus (Gl.3.2.1.4)
- (2) Die charakteristische Brandlastdichte $q_{f,k}$ [MJ/m²] im Brandabschnitt errechnet sich aus (Gl.3.2.1.5).
- (3) Netto- Verbrennungswärme H_u [MJ/kg] von Stoffen im Brandabschnitt:

- Holz/ Möbel: 17,5 MJ/kg, ÖNORM EN 1991-1-2 (2013)
- Bücher: 17,0 MJ/kg, TRVB 126 (1987)
- Schaumstoff/ Polsterung: 39,8 MJ/kg, Schneider, Lebeda (2000)
- Textilfaser/ Baumwolle: 20,0 MJ/kg, ÖNORM EN 1991-1-2 (2013)
- Teppich: 46,2 MJ/m², Schneider, Lebeda (2000)
- PC + Drucker: 100,0 MJ/Stk, Bryl (1975)
- Fernseher: 313.5 MJ/Stk [1] ang. 200,0 MJ/Stk, Schneider, Lebeda (2000)

(4) Grundriss der Wohnung bzw. des Brandabschnittes:



Grundriss der Wohnung, mit der Darstellung der brennbaren mobilen Teile + Fußbodenbelag, Abb.4.15

Auflistung der Brandlast in den einzelnen Räumen:

Möbel	Name IKEA	Menge	Masse in kg	Material	Brandlast in MJ
Wohnzimmer, Nutzfläche: 30,0 m²					
Bodenbelag	Parkett	1	211,0	Holz	3.692,5
Tür	Vollholz	1	10,0	Holz (inkl. Metallteile)	175,0
Couch	Söderhamm	1	57,0	Holz (inkl. Metallteile)	997,5
			ca. 7,0	Schaumstoff	278,6
			3,0	Baumwolle	60,0
	Söderhamm Hocker	1	18,0	Holz (inkl. Metallteile)	315,0
			ca. 2,0	Schaumstoff	79,6
			1,7	Baumwolle	34,0
Schrank	Hemnes	2	90,0	Holz (inkl. Metallteile)	1.575,0
Fernsehtisch	Besta	1	38,5	Holz (inkl. Metallteile)	673,7
Couchtisch	Lack	1	15,0	Holz (inkl. Metallteile)	262,5
Esstisch	Björkudden	1	25,1	Holz (inkl. Metallteile)	439,2
Stuhl	Bertil	6	33,6	Holz (inkl. Metallteile)	588,0
Teppich	Skarup	1	17,3	Teppich	799,3
Kissen	Vilmi Pärla	6	7,2	Baumwolle	144,0
Vorhänge	Aina	2	3,8	Baumwolle	76,0
Fernseher		1			200,0
Gesamte Brandlast					10.389,9
Schlafzimmer, Nutzfläche: 14,0 m²					
Bodenbelag	Parkett	1	99,0	Holz	1.732,5
Tür	Vollholz	1	10,0	Holz (inkl. Metallteile)	175,0
Bett	Hemnes	1	47,4	Holz (inkl. Metallteile)	829,5
Kleiderschrank	Pax 4 Türen	1	71,8	Holz (inkl. Metallteile)	1.256,5
Kleiderschrank	Fjell	1	69,0	Holz (inkl. Metallteile)	1.207,5
Kommode	Kullen	1	21,0	Holz (inkl. Metallteile)	367,5
Nachttisch	Engan	2	26,0	Holz (inkl. Metallteile)	455,0
Stuhl	Bertil	1	5,6	Holz (inkl. Metallteile)	98,0
Matratze	Sultan Finnvik	2	ca. 35,0	Schaumstoff	1.393,0
Teppich	Basnas	1	9,1	Teppich	420,4
Kleider	Textilfaser	1	31,5	Baumwolle	630,0
Decken	Birgit Stra	2	3,2	Baumwolle	64,0
Vorhänge	Aina	1	1,9	Baumwolle	38,0
Gesamte Brandlast					8.666,5
Vorzimmer, Nutzfläche: 12,0 m²					
Bodenbelag	Parkett	1	84,0	Holz	1.470,0
Tür	Vollholz	1	10,0	Holz (inkl. Metallteile)	175,0
Schrank	Stornäs	4	203,2	Holz (inkl. Metallteile)	3.556,0
Couch	Karlstad	1	50,0	Holz (inkl. Metallteile)	875,0
			ca. 6,0	Schaumstoff	238,8
			1,3	Baumwolle	26,0
Kissen	Vilmi Pärla	2	2,4	Baumwolle	48,0
Kleider	Textilfaser		12,0	Baumwolle	240,0
Schuhe				500,0 MJ/m ² x 3,0 m ²	1.500,0
Gesamte Brandlast					8.128,8
Arbeitszimmer, Nutzfläche: 10,0 m²					
Bodenbelag	Parkett	1	70,0	Holz	1.225,0
Tür	Vollholz	1	10,0	Holz (inkl. Metallteile)	175,0
Couch	Karlstad	1	50,0	Holz (inkl. Metallteile)	875,0
			ca. 6,0	Schaumstoff	238,8
			1,3	Baumwolle	26,0
Schrank	Galant	2	85,0	Holz (inkl. Metallteile)	1.487,5
Schreibtisch	Malm	1	42,0	Holz (inkl. Metallteile)	735,0
Stuhl	Bertil	1	5,6	Holz (inkl. Metallteile)	98,0
Bücher	à 900 Seiten	50	30,0	Bücher	510,0
Kissen	Vilmi Pärla	2	2,4	Baumwolle	48,0
Decke	Birgit Stra	1	1,6	Baumwolle	32,0
Vorhänge	Aina	1	1,9	Baumwolle	38,0
PC + Drucker		1			100,00
Gesamte Brandlast					5.588,3

Möbel	Name IKEA	Menge	Masse in kg	Material	Brandlast in MJ
Küche, Nutzfläche: 10,0 m²					
Küchenzeile	Faktum	5	173,0	Holz (inkl. Metallteile)	3.027,0
Küchenzeile	Faktum WS.	4	81,6	Holz (inkl. Metallteile)	1.417,5
Stuhl	Bertil	1	5,6	Holz (inkl. Metallteile)	98,0
Schrank	Molger	5	60,5	Holz (inkl. Metallteile)	1.058,8
Vorhänge	Aina	1	1,9	Baumwolle	38,0
Gesamte Brandlast					5.639,3
Bibliothek, Nutzfläche: 3,0 m²					
Bodenbelag	Parkett		21,0	Holz	367,5
Bücher	á 900 Seiten:	150	90,0	Bücher	1.530,0
Regalbretter		5	35,0	Holz (inkl. Metallteile)	612,5
Gesamte Brandlast					2.510,0
Bad, Nutzfläche: 5,5 m²					
Tür	Vollholz	1	10,0	Holz (inkl. Metallteile)	175,0
Schrank	Molger	3	36,3	Holz	635,2
Kleider	Textilfaser		9,0	Baumwolle	180,0
Gesamte Brandlast					990,2

Tab.4.6: Auflistung der Brandlast durch mobile Teile sowie des brennbaren Bodenbelags.

Zusammenfassung der charakteristischen Brandlastdichte $q_{f,k}$ [MJ/m²] der Wohnung:

Nutzung	Nutzfläche	Brandlast in MJ	Brandlastdichte in MJ/m ²
Wohnzimmer	30,0 m ²	10.389,9	346,3
Schlafzimmer	14,0 m ²	8.666,5	619,0
Vorzimmer	12,0 m ²	8.128,8	677,4
Arbeitszimmer	10,0 m ²	5.588,3	558,8
Küche	10,0 m ²	5.639,3	563,9
Bibliothek	3,0 m ²	2.510,0	836,6
Bad	5,5 m ²	990,2	180,0
Gesamt $q_{f,k}$	84,5 m²	41.913,0	496,0

Tab.4.7: Zusammenfassung der charakteristischen Brandlastdichte $q_{f,k}$ der Wohnung.

Vergleich der normativen Vorgaben mit der Beispielwohnung:

Durch die Erhebung der charakteristischen Brandlastdichte der Wohnung Wallensteinstraße 9/ 3 stellt sich zur ÖNORM EN 1991- 1- 2 Tabelle E.4 mit der charakteristischen Brandlastdichte mit 80 % Quantilwert, $q_{f,k} = 984 \text{ MJ/m}^2$ für Wohnnutzungen eine Verringerung der Brandlast in der Realität von bis zu 50 % dar. Die TRVB A 126 „Brandschutztechnische Kennzahlen“ aus dem Jahr 1987 weicht dagegen in die untere Richtung stark ab und legt eine Brandlast für Wohnungen von 300 MJ/m^2 fest. Diese Brandlastdichte ist in der Beispielwohnung nur im Bad geringer ausgefallen, aber heute eher für die Wohnnutzung nicht anzutreffen und sollte darum nicht mehr verwendet werden.

	Büro	Wohnung
ÖNORM EN 1991- 1- 2 80 % Quantile	511 MJ/m ²	948 MJ/m²
ÖNORM EN 1991- 1- 2 Bemessung im Einzelfall	---	496 MJ/m ²
TRVB A 126	700 MJ/m ²	300 MJ/m ²

Tab.4.8: Zusammenfassung charakteristischer Brandlastdichte $q_{f,k}$ [MJ/m²] für Wohn- und Büronutzung.

4.2.5.3.2 Umfassungsbauteile

Die Erwärmung der Umfassungsbauteile erfolgt auf Grund des Temperaturanstiegs im Brandraum und muss in Berechnungsmodellen mit berücksichtigt werden, da diese dem Brandereignis Wärme entzieht bis die gleichen Temperaturen im Baustoff und der Raumluft vorhanden sind. Der Wärmestrom erfolgt somit solange, bis das Temperaturgefälle von heißer Raumluft zu kühleren Baustoff ausgeglichen ist. Die thermische Eigenschaft des Baustoffs wird mit dem Wärmeeindringkoeffizienten b in $[\text{J}/\text{m}^2 \text{ s}^{1/2} \text{ K}]$ nach ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang F „Äquivalente Branddauer“ für Baustoffe bei 20°C Raumtemperatur beschrieben. Je größer der Wärmeeindringkoeffizient b ist, desto mehr Wärme wird vom Baustoff aufgenommen bzw. abgegeben und desto langsamer erfolgt die Wärmeaufnahme bzw. -abgabe. vgl. ÖNORM EN 1991- 1- 2 (2013), Anhang F

$$(1) \quad b = \sqrt{(p * c * \lambda)} \quad [\text{J}/\text{m}^2 \text{ s}^{1/2} \text{ K}] \quad (\text{Gl.4.2.3.7})$$

Dabei ist:

- p Dichte der Raumhülle/ Baustoff $[\text{kg}/\text{m}^3]$
 c spezifische Wärmekapazität der Raumhülle $[\text{J}/\text{kgK}]$
 λ Wärmeleitfähigkeit der Raumhülle $[\text{W}/\text{mK}]$

(2) Der Umrechnungsfaktor k_b wird aus verschiedenen b - Faktoren für Wände, Decke und Boden gebildet nach ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang A, „Parametrische Temperatur- Zeitkurve“, (6) mit:

$$b = (\Sigma (b_j - A_j)) / (A_t - A_v) \quad [\text{J}/\text{m}^2 \text{ s}^{1/2} \text{ K}] \quad (\text{Gl.4.2.3.8})$$

Dabei ist:

- A_v Gesamtfläche der vertikalen Öffnungen in allen Wänden $[\text{m}^2]$
 A_t Gesamtfläche der Raumhülle (Wände, Decke und Boden, einschließlich der Öffnungen) $[\text{m}^2]$
 A_j die Fläche der Hülleneroberfläche j ohne Berücksichtigung von Öffnungen;
 b_j die thermische Eigenschaft der Hülleneroberfläche j

Die Tab.4.9 führt thermische Eigenschaften verschiedener Baustoffe bei 20°C Raumtemperaturen nach Schleich an. Die thermischen Eigenschaften der Bauteile verändern sich bei Zunahme der Raumtemperatur im Brandraum, dies wird aber bei den Berechnungsmodellen der ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang A „Parametrische Temperatur- Zeitkurve“ und Anhang F „äquivalente Branddauer“ nicht berücksichtigt. vgl. Schleich (2001)

Material bei 20°C	λ $[\text{W}/\text{mK}]$	p $[\text{kg}/\text{m}^3]$	c $[\text{J}/\text{kgK}]$
Normal Beton	2	2300	900
Stahl	54	7850	425
Gipskartonbauplatten	0,035	128	800
Holz	0,1	450	1113
Ziegelstein	1,04	2000	1113

Tab.4.9: Thermische Eigenschaften unterschiedlicher Baustoffe.

(3) Um die thermische Eigenschaft der Umfassungsbauteile im Berechnungsmodell der äquivalenten Branddauer berücksichtigen zu können, muss der Wärmeeindringkoeffizient b umgerechnet werden in den Faktor k_b in $[\text{min m}^2/\text{MJ}]$, vgl.Tab.4.9. Der Wert k_b ist folglich aus Versuchen ermittelt und fließt in das mathematische Berechnungsmodell der äquivalenten Branddauer ein, siehe Tab.4.10.

(4) Wenn keine detaillierten Angaben über die thermischen Eigenschaften der Umfassungsbauteile vorliegen, darf der Umrechnungsfaktor k_b angesetzt werden nach ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang F mit:

$$k_b = 0,07 \quad [\text{min} * \text{m}^2/\text{MJ}] \quad (\text{Gl.4.2.3.9})$$

$b = \sqrt{\rho c \lambda}$ [J/m ² s ^{1/2} K]	k_b [min · m ² /MJ]
$b > 2\,500$	0,04
$720 \leq b \leq 2\,500$	0,055
$b < 720$	0,07

Tab.4.10: Umrechnungsfaktor k_b in Abhängigkeit der thermischen Eigenschaften der Umfassungsbau- teile nach experimentellen Untersuchungen.

4.2.5.3.3 Berücksichtigung des Baustoffs

Der Korrekturwert k_c des Baustoffes nach ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang F „Äquivalente Branddauer“ berücksichtigt die Baustoffe Stahlbeton und Stahl. Der Korrekturfaktor k_c für die beiden Baustoffe ist in Tab.4.11 dargestellt. Das Berechnungsverfahren der äquivalenten Branddauer wurde durch Untersuchungen an Stahlbetonquerschnitten entwickelt, darum ist der Korrekturfaktor für Stahlbeton $k_c = 1,0$. Der Korrekturfaktor k_c für ungeschützte Stahlbauteile wurde aus Versuchen abgeleitet und ist abhängig vom Wärmeabzug durch Ventilationsflächen, somit wird der Öffnungsfaktor O multipliziert mit einem aus Versuchen abgeleiteten Korrekturfaktor. Holz wurde wie bereits beschrieben, nicht untersucht. vgl. ÖNORM EN 1991- 1- 2 (2013), Anhang F

Baustoff des Querschnitts	Korrekturfaktor k_c
Stahlbeton	1,0
Geschützter Stahl	1,0
Ungeschützter Stahl	$13,7 \cdot O$

Tab.4.11: Korrekturwert k_c von Baustoffen.

Dabei ist:

O Öffnungsfaktor; $O = A_v \sqrt{h_{eq}} / A_t$ in [m^{1/2}] in den Grenzen von $0,02 < O < 0,20$

4.2.5.3.4 Ventilation

(1) Das Ventilationsverhältnis w_f im Brandraum wird aus Brandversuchen abgeleitet nach ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang F (5) für $w_f > 0,5$ mit:

$$w_f = (6,0 / H)^{0,3} * [0,62 + 90 * (0,4 - \alpha_v)^4 / (1 + b_v \alpha_h)] > 0,5 \quad (\text{Gl.4.2.3.10})$$

Dabei ist:

$\alpha_v = A_v / A_f$ in den Grenzen von $0,025 < \alpha_v < 0,25$

$\alpha_h = A_h / A_f$

$b_v = 12,5 * (1 + 10 \alpha_v - \alpha_v^2) > 10,0$

A_v die Fläche der vertikalen Öffnungen in der Fassade in [m²];

A_f die Grundfläche des Brandabschnittes in [m²];

A_h die Fläche der horizontalen Öffnungen im Dach in [m²];

H die Höhe des Brandabschnittes in [m].

(2) Für Brandabschnittsgrößen unter 100 m² und ohne Ventilationsöffnungen im Dach, können die Ventilationsverhältnisse w_f vereinfacht definiert werden mit:

$$w_f = O^{-1/2} * A_f / A_t \quad (\text{Gl.4.2.3.11})$$

Dabei ist:

O Öffnungsfaktor; $O = A_v \sqrt{h_{eq}} / A_t$ in [m^{1/2}] in den Grenzen von $0,02 < O < 0,20$;

A_t Gesamtfläche der Raumbühle (Wände, Decke, Boden, inkl. Öffnungen) in [m²];

h_{eq} gewichtetes Mittel der Fensterhöhen in allen Wänden in [m].

4.2.5.3.5 Globales Sicherheitskonzept

Ein Sicherheitskonzept muss zwischen dem öffentlichen Interesse für Sicherheit und der notwendigen Wirtschaftlichkeit bei der Errichtung eines Bauvorhabens die optimale Lösung finden. Ein wirtschaftlicher Schaden tritt sowohl beim Verlust des Gebäudes, als auch bei einer nicht verhältnismäßigen Überdimensionierung von Sicherheitsmaßnahmen zum Erreichen der Schutzziele der BauPVo Nr. 305/2011, Anhang 1 über die Lebensdauer des Gebäudes auf. Sicherheitsbetrachtungen in der außergewöhnlichen Bemessungssituation Brand sollten nach Schneider nicht zur Maximierung von Brandschutzmaßnahmen führen, anzustreben ist eine risikogerechte Optimierung. Nach Rackwitz ist die wirtschaftlichste Konstruktion unter der Bedingung gesucht, dass die erforderliche Zuverlässigkeit nicht unterschritten wird. Hinsichtlich des Materialeinsatzes würde es sich dabei um die optimale Lösung handeln. vgl. Vfdb (2009), (S.23f.); vgl. Schneider et al. (2008), (S.16f.) „Brandrisiko“; vgl. Rackwitz (2006), (S.289); vgl. Dehne (2003), (S.5f.)

Die maßgebene Einwirkung im Brandfall, die am Versagen der Bauteile beteiligt ist, ist die Dauer hoher Heißgastemperaturen. Diese wird im globalen Sicherheitskonzept nach ÖNORM EN 1991-1-2, Anhang E.1 "Allgemeines" durch die Variable der charakteristischen Brandlastdichte, als 80 % Quantilwert, bemessen. Dazu gibt das globale Sicherheitskonzept Teilsicherheitsbeiwerte im Bezug auf die Brandentstehungsgefahr und Brandbekämpfungsmaßnahmen an. Somit wird die Branddauer durch die Bemessungsbrandlastdichte im Brandabschnitt praktisch erhöht oder verringert, je nachdem welche Art der Nutzung oder Brandabschnittsgröße vorliegt und welche Brandbekämpfungsmaßnahmen getroffen werden. Das globale Sicherheitskonzept kann dabei für das Berechnungsmodell der äquivalenten Branddauer nach Anhang F und das der parametrischen Temperatur- Zeitkuve nach Anhang A angewendet werden. vgl. ÖNORM EN 1991-1-2 (2013), Anhang E.1

(1) Aus der charakteristischen Brandlast $q_{f,k}$ der Nutzung errechnet sich die Bemessungsbrandlast $q_{f,d}$ nach ÖNORM EN 1991-1-2, Anhang E.1 mit:

$$q_{f,d} = q_{f,k} * m * \delta_{q1} * \delta_{q2} * \delta_n \quad [MJ/m^2] \quad (Gl.4.2.3.12)$$

Dabei ist:

- $q_{f,k}$ charakteristische Brandlastdichte als 80 % Quantil nach ÖNORM EN 1991-1-2, Anhang E.2.5;
- m Abbrandfaktor mit 0,8 nach ÖNORM EN 1991-1-2, Anhang E.3;
- δ_{q1} Teilsicherheitsbeiwert: Brandentstehungsgefahr nach Größe des Brandabschnittes, siehe Tab.4.16;
- δ_{q2} Teilsicherheitsbeiwert: Brandentstehungsgefahr nach der Art der Nutzung, siehe Tab.4.16;
- δ_n Teilsicherheitsbeiwert: Abhängigkeit der Brandbekämpfung, siehe Tab.4.17.

Teilsicherheitsbeiwerte Brandentstehungsgefahr δ_{q1} und δ_{q2} :

Grundfläche des Brandabschnittes $A_f [m^2]$	Brandentstehungsgefahr δ_{q1}	Brandentstehungsgefahr δ_{q2}	Beispiele für verschiedene Nutzungen
25	1,10	0,78	Kunstgalerie, Museum, Schwimmbad
250	1,50	1,00	Büro, Wohngebäude, Hotel, Papierindustrie
2 500	1,90	1,22	Fertigung von Maschinen und Motoren
5 000	2,00	1,44	Chemische Labore, Malerwerkstätten
10 000	2,13	1,66	Herstellung von Feuerwerken oder Farben

Tab.4.12: Teilsicherheitsbeiwerte Nutzung und Grundfläche in Abhängigkeit der Brandentstehungsgefahr nach ÖNORM EN 1991-1-2, Anhang E.1.

Die Bemessungswerte in Tab.4.13 der Abhängigkeit der Brandbekämpfung δ_n werden miteinander multipliziert, sofern im Gebäude bzw. Brandabschnitt vorhanden, andernfalls wird der Faktor 1,0 angenommen. vgl. ÖNORM EN 1991-1-2 (2013), Anhang E

Teilsicherheitsbeiwerte Brandbekämpfungsmaßnahmen δ_n :

δ_n - Abhängigkeit für die Brandbekämpfung											
Automatische Brandbekämpfung		Automatische Branderkennung				Manuelle Brandbekämpfung					
Automatisches Wasser Löschsystem	Unabhängige Wasserversorgung			Automatische Branderkennung und Alarm	Automatische Alarmübermittlung zur Feuerwehr	Werksfeuerwehr	Externe Feuerwehr	Sichere Zugangswege	Geräte zur Brandbekämpfung	Rauchabzug	
	0	1	2	durch Wärme							durch Rauch
δ_{h1}	δ_{h2}			δ_{h3}	δ_{h4}	δ_{h5}	δ_{h6}	δ_{h7}	δ_{h8}	δ_{h9}	δ_{h10}
0,61	1,0	0,87	0,7	0,87 oder 0,73		0,87	0,61 oder 0,78		0,9 oder 1 oder 1,5	1,0 oder 1,5	1,0 oder 1,5

- Bei normalen Brandschutzmaßnahmen, die üblicherweise vorhanden sein sollten, wie Rettungswege, Brandbekämpfungsgeräte und Rauchabzüge in Treppenträumen, sollten die Werte δ_n aus Tabelle E.2 mit 1,0 angenommen werden. Wurden diese normale Brandschutzmaßnahmen nicht vorgesehen, dann sollte der entsprechende Wert für δ_n mit 1,5 berücksichtigt werden.
- Falls Treppenträume im Alarmfall unter Überdruck gesetzt werden, dann darf der Faktor δ_{n8} der Tabelle E.2 zu 0,9 gesetzt werden.
- Die oben getroffenen Annahmen gelten unter der Voraussetzung, dass die Europäischen Normen für Sprinkler, Brandmelder, Alarmsysteme und Rauchabzüge eingehalten werden.

Tab.4.13: Die Bemessungswerte der Brandbekämpfung nach ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang E.1.

Abbrandfaktor m: Das Abbrandverhalten der mobilen Brandlast wird für vorwiegend zelluloseartige brennbare Stoffe in der ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang E.3 "Abbrandverhalten" mit $m = 0,8$ angegeben, d.h. das 80 % der Brandlast im Brandabschnitt auch umgesetzt werden. Ein Wert von 1,0 sollte nach Dehne und Schneider angegeben werden, wenn der brennbare Stoff unbekannt ist. vgl. Dehne (2003), (S.160); vgl. Schneider et al. (2008), (S.134); vgl. ÖNORM EN 1991- 1- 2 (2013), Anhang E.1 und Anhang E.3

(1) Beispielberechnung äquivalente Branddauer:

Aus dem Endbericht der „Machbarkeitsstudie eines Holzbaus in der Gebäudeklasse 5“ aus dem Jahre 2007 von Teibinger, Busch geht ein Berechnungsbeispiel der äquivalenten Branddauer nach der ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang F hervor. Ziel war es, die brennbaren tragenden und raumabschließenden Bauteile aus Holz bis zum Ende des Brandgeschehens im Brandabschnitt vor dem Feuer zu schützen, um einen Mitbrand der brennbaren Konstruktion auszuschließen und ein sicheres Löschen des Brandes durch die Feuerwehr zu gewährleisten. vgl. Teibinger, Busch (2007)



Perspektive 7- geschossiges Gebäude nach Teibinger, Busch (2007). Abb.4.16

4 BEMESSUNGSKONZEPTE FÜR DEN LASTFALL BRAND

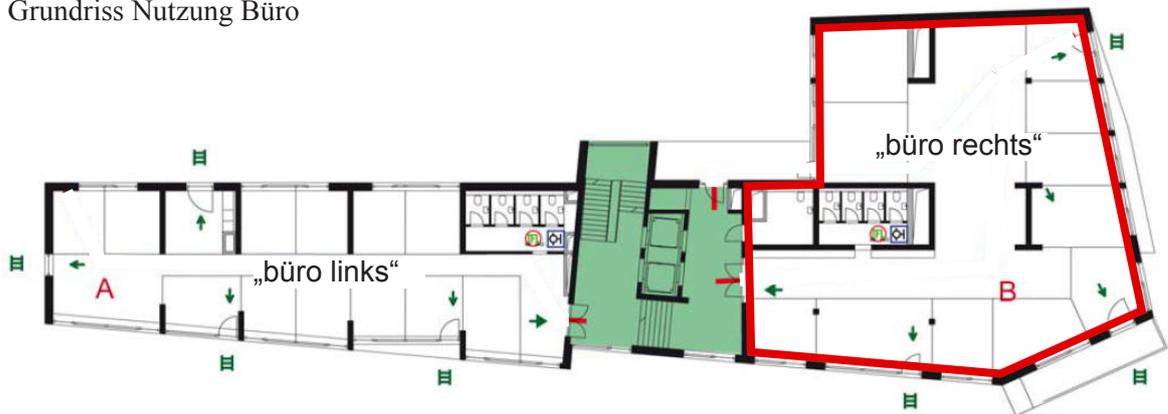
Es werden die Brandabschnitte „Büro rechts“ und „wohnen b 7.OG“ genauer untersucht.

a) Längsschnitt:



Schnitt 7-geschossiges Gebäude. Abb.4.17

b) Grundriss Nutzung Büro



Grundriss mit zellenartiger Büronutzung. Abb.4.18

b) Grundriss Nutzung Wohnen



Grundriss mit zellenartiger Wohnnutzung. Abb.4.19

Basisvariablen der Brandabschnitte „Wohnen b, 7.OG“ und „Büro rechts“:

Grundfläche	Wohnen: $A_{\text{Brand}} = 61,6 \text{ m}^2$; Büro: $A_{\text{Brand}} = 323,0 \text{ m}^2$
Brandlastdichte Wohnen	$q_{f,k} = 948 \text{ MJ/m}^2$; Büro: 511 MJ/m^2 ;
$A_{\text{Fenster}} / A_{\text{Brand}}$	Wohnen: $\alpha_v = 0,21$; Büro: $\alpha_v = 0,25$;
Ventilationsfaktor	Wohnen: $w_f = 0,908$; Büro: $w_f = 0,819$;
Umfassungsbauteile	$b = 1174,4 \text{ J/m}^2\text{s}^{0,5}\text{K}$, $k_b = 0,055 \text{ min} * \text{m}^2/\text{MJ}$;
Korrekturfaktor	$k_c = 1,0$.

Globales Sicherheitskonzept für „Wohnen b, 7.OG“ und „Büro rechts“:

Brandentstehungsgefahr nach Nutzung	$\delta_{q1} = 1$;
Brandentstehungsgefahr nach Größe	$\delta_{q2} = 1,26$ für Wohnung; $\delta_{q2} = 1,54$ für Büro, (interpoliert);
Brandbekämpfungsmaßnahmen	$\delta_n = 0,5694$, ($\delta_{n4} * \delta_{n7} * \delta_{n8} * \delta_{n9} * \delta_{n10}$);
Abbrandfaktor der Brandlast	$m = 0,8$ lt. ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang E.3.

Im Brandabschnitt kann auf Grund der Vorgaben durch die Basisvariablen eine äquivalente Branddauer für die Bauteile errechnet werden. Im globalen Sicherheitskonzept wird die charakteristische Brandlast im Brandabschnitt als maßgebene Einwirkungsgröße betrachtet, die das Versagen der Bauteile bewirkt und somit bemessen wird, um die Brandentstehungshäufigkeit, statistische Unsicherheiten in der Höhe der Brandlast zum Zeitpunkt des Brandgeschehens zu berücksichtigen, sowie die Auswirkung der Einwirkung auf Bauteile und Brandbekämpfungsmaßnahmen, Bauteil und Baustoff unabhängig. Die Teilsicherheitsbeiwerte ergeben sich auf Grund der Nutzung δ_{q1} , der Brandabschnittsgröße δ_{q2} und der Brandbekämpfungsmaßnahmen δ_n . Das Abbrandverhalten der mobilen Brandlast in Wohn- und Büronutzungen wird nach experimentellen Untersuchungen in der ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang E.3 "Abbrandverhalten" mit $m = 0,8$ angegeben, d.h. das 80 % der Brandlast im Brandabschnitt auch umgesetzt werden. vgl. ÖNORM EN 1991- 1- 2 (2013), Anhang E.1 und Anhang E.3

(1) Ermittlung der Bemessungsbrandlast $q_{f,d}$ als maßgebende Einflußgröße am Versagen der Bauteile für „Wohnen b, 7.OG“ in der außergewöhnlichen Einwirkung Brand:

$$q_{f,d} = 948 * 0,8 * 1,0 * 1,26 * 0,5694 = \underline{544,11 \text{ MJ/m}^2} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.5.1)}$$

(2) Ermittlung der äquivalente Branddauer $t_{e,d}$ für „Wohnen b 7.OG“:

$$t_{e,d} = (544,11 * 0,055 * 0,908) * 1 = \underline{27,17 \text{ min}} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.3.1)}$$

$$\underline{27,17} < \underline{30} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.3.3)}$$

(3) Ermittlung der Bemessungsbrandlast $q_{f,d}$ für „Büro rechts“:

$$q_{f,d} = 511 * 0,8 * 1,0 * 1,54 * 0,5694 = \underline{358,47 \text{ MJ/m}^2} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.5.1)}$$

(4) Ermittlung der äquivalente Branddauer $t_{e,d}$ für „Büro rechts“:

$$t_{e,d} = (358,47 * 0,055 * 0,819) * 1 = \underline{16,15 \text{ min}} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.3.1)}$$

$$\underline{16,15} < \underline{30} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.3.3)}$$

(5) Zusammenfassung:

Die Ergebnisse der Berechnung und Schlussfolgerung der Autoren auf eine Kapselklasse **K₂30, A2**, für brennbare Bauteile aus Holz nach Teibinger, Busch (2007), (S.33), siehe Tab.4.14.

Nutzung/Lage	Brandlastdichte $q_{f,k}$ [MJ/m ²]	α_v	Grundfläche [m ²]	äquivalente Branddauer $t_{e,d}$ [min]
Büro rechts	511	0,25	323	16,2
Wohnung b 7.OG	948	0,21	61,6	27,1

Tab.4.14: mit dem Ergebnis der äquivalenten Branddauer im Brandabschnitt nach Teibinger, Busch.

Beurteilung der Berechnungsergebnisse:

(1) Anwendbarkeit: Weder der Anhang F „Äquivalente Branddauer“, noch der Anhang E.1 „globales Sicherheitskonzept“ der ÖNORM EN 1991- 1- 2 führen an, ob die Berechnungsmethoden auch für tragende und raumabschließende Bauteile aus Holz oder für zellenartige Brandabschnitte (z.B. Wohnen und Zellen- Büros) zugelassen sind. Die Autoren Teibinger und Busch setzen dies grundsätzlich voraus. - Nach Schleich ist das globale Sicherheitskonzept für Stahlträger kalibriert. vgl. Schleich (2001), (2002)

(2) Personengefährdung: Nach Schneider ist in Wohngebäuden statistisch das höchste Risiko für Personen verzeichnet mit ca. 80 % aller Brandopfer, aller Nutzungen. Somit wird hier tendenziell ein höheres Sicherheitsniveau verlangt werden müssen als bei anderen Nutzungen. vgl. Schneider et al. (2008), (S.18) - Eine Unterscheidung der Nutzungen ist bei den Eingangsdaten im Sicherheitskonzept nicht passiert.

(3) tatsächliche Branddauer in zellenartigen Brandabschnitten: Im Berechnungsbeispiel wird ersichtlich, dass je geringer die Bemessungsbrandlast ausfällt, desto kleiner ist die Brandeinwirkung auf die Bauteile und ihre Dauer. Dazu wird im Kapitel 3.3.1 „Naturbrandversuche in geschlossenen Räumen“ (1) bis (3) aufgezeigt, dass schon geringe Brandlasten in zellenartigen Brandabschnitten, (beide Brandabschnitte), frühzeitig eine hohe Brandeinwirkung auf Bauteile haben können, mit 800 - 1.000 °C (durch einen Flashover deutlich vor der 10. Minute), die über den Brandverlauf bis zum Beginn der Löschmaßnahmen durch die Feuerwehr anhalten. ETK geprüfte Bauteile sind allerdings in diesem Zeitraum mit einer Brandeinwirkung von 600 - 800 °C beansprucht - d.h. dass der Naturbrand in zellenartigen Brandabschnitten eine höhere Brandbeanspruchung auf das Bauteil haben kann, als die nun von den Autoren veranschlagte ETK-geprüfte K₂30 Brandschutzplatte bis zum Zeitpunkt der Löschmaßnahmen durch die Feuerwehr. Diese kann in zellenartigen Brandabschnitten frühzeitig ihre Schutzfunktion verlieren. -d.h. eine auf der sicheren Seite liegende Bemessung der Konstruktion ist auf Grundlage der definierten Schutzziele nicht erfolgt.

(4) Leistung der Berufsfeuerwehr: Der Zeitpunkt des Beginnens der Löschmaßnahmen durch die Feuerwehr wird ab der 25. Minute wahrscheinlicher, wenn keine Brandmeldeanlage mit einer Aufschaltung zur Feuerwehr installiert ist (nur δ_{n4}), siehe Kapitel 3.2.3.1.4 "Branderkennung", Rauchmelder dienen in Österreich der Selbstrettung und geben keine Gewähr auf eine frühzeitige Alarmierung der Feuerwehr durch Bewohner. Auf Grund der nutzungsbedingten Brandausbreitungsgeschwindigkeit im untersuchten Brandabschnitt „Büro rechts“ nach Abb.4.2, werden ab der 25. Minute nach Brandbeginn mehr als 26 MW Brandleistung (stetig steigend) zu erwarten sein, so dass das Brandereignis nurmehr schwer von der Feuerwehr frühzeitig zu beherrschen ist und eine Brandlöschung im späteren Brandverlauf, wahrscheinlich in der Abklingzeit des Brandes, angenommen werden kann. Eine äquivalente Branddauer von 16 Minuten im „Büro rechts“ ist somit sehr unrealistisch, gerade zur Ermittlung einer Feuerwiderstandsdauer bei Holzbauteilen auf Abbrand. - d.h., das Sicherheitskonzept nach Anhang E.1 berücksichtigt u.a. nicht ausreichend die Leistungsfähigkeit der Berufsfeuerwehr der Stadt Wien, siehe Abb.4.3.

(5) Bewertung des Berechnungsbeispiels: Das mit den vorgeschlagenen Brandschutzmaßnahmen für die tragenden und brandabschnittsbildenden Bauteile (K₂30) ein Einbrand in die Konstruktion ausbleibt kann angezweifelt werden. Das Ziel die Holzkonstruktion vor dem Brand für 30 Minuten zu schützen wird mit hoher Wahrscheinlichkeit im Brandabschnitt "büro rechts" nicht erreicht. Es kann somit von einem Einbrand in die Holzkonstruktion ausgegangen werden und somit von einem erhöhten Schadensausmaß. Eine Feuerwiderstandsdauer von Holzbauteilen kann grundsätzlich dabei nicht ermittelt werden.

(5.1) Bewertung der EN 1991- 1 - 2, Anhang F „äquivalenten Branddauer“ in Deutschland:

a) Der informative Anhang E.1 zur Ermittlung der Bemessungsbrandlast darf im nationalen Anwenderdokument DIN EN 1991- 1- 2/ NA in Deutschland nicht angewendet werden, da die statistischen Eingangsgrößen nicht ausreichend in der Praxis nachgewiesen sind (z.B. Feuerwehr).

b) Der informative Anhang F darf im nationalen Anwenderdokument in Deutschland nicht angewendet werden, da wie oben bereits beschrieben eine auf der sicheren Seite liegende Berechnung für zellenartige Brandabschnitten in Wohn- und Büronutzungen angezweifelt wird und somit ersatzlos gestrichen wurde. vgl. DIN EN 1991- 1- 2/ NA (2010), NA 2.2, Anhang BB
Dies kann nun für die Beispielberechnung im Bezug auf zellenartige Brandabschnitte bestätigt werden.

4.2.6 Parametrische Brandkurven

Der Temperatur- Zeitverlauf (Realbrandkurve) kann lt. ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang A auch als parametrische Temperatur- Zeitkurve bestimmt werden. Dabei werden die Brandlast, die Geometrie des Raumes, die thermischen Eigenschaften der Umfassungsbauteile und die Ventilationsverhältnisse im Raum in einen zeitlichen Zusammenhang gebracht. ÖNORM EN 1991- 1- 2 (2013), Anhang A

4.2.6.1 Anwendungsgrenzen

Die parametrische Temperaturzeitkurve ist für Brandabschnitte ohne Dachöffnungen mit einer Grundfläche bis 500 m² und einer Raumhöhe von maximal 4 m und einer Bemessungsbrandlastdichte mit kleiner 1.000 MJ/m², einem Öffnungsfaktor O [m^{1/2}], in den Grenzen von 0,02 < O < 0,20 und einem Wärmeeindringkoeffizient bei Bauteilen in den Grenzen von 1.000 < b < 2.200 gültig. Die Temperatur-Zeitkurve gilt für einen voll entwickelten Brand und enthält eine Erwärmungs- und eine Abkühlphase und simuliert somit den Brandverlauf in 2 Phasen. Die Temperaturen werden im ganzen Brandraum gleich angenommen. vgl. Zehfuß (2004), (S.11f.); vgl. ÖNORM EN 1991- 1- 2 (2013), Anhang A

4.2.6.2 Entwicklung der Parametrische Brandkurven

Nach Schleich handelt es sich bei den parametrischen Brandkurven um einen allgemeinen Begriff, der verwendet wird, um die Brandentwicklung in engerem Zusammenhang mit Naturbränden in Räumen zu behandeln. Dabei wird die Veränderung in der Temperatur- Zeitkurve des Brandverlaufes auf Grund von Parametern in der Größe des Brandabschnittes, Eigenschaften der Umfassungsbauteile, der Umfang bzw. die Art der Brandlast oder der Luftzufluss dargestellt und somit eine realitätsnahe Brandbeanspruchung auf Bauteile nachgewiesen. vgl. Schleich (2000), (S.19f.)

4.2.6.3 Basisvariablen

Basisvariablen	Einfluss im Berechnungsmodell
Brandlastdichte	q _{t,d} [MJ/m ²]
Ventilationsfläche	O [m ^{1/2}], ; K
thermischen Eigenschaften der Umfassungsbauteile	b [J/(m ² s ^{1/2} K)]
Geometrie, Größe	A _v [m ²]; A _t [m ²]; h _{eq} [m]
Brandausbreitungsgeschwindigkeit	t _{lim} [min.]
Zeit	t [h]; Γ

Tab.4.15: Basisvariablen der vereinfachten Naturbrandmodelle

(1) Aus experimentellen Untersuchungen wird die Erwärmungsphase im Brandraum in der ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang A definiert durch:

$$\Theta_g = 1325 \text{ °C} * (1 - 0,324^{-0,2 t^*} - 0,204^{-1,7 t^*} - 0,472^{-19 t^*}) + 20 \text{ °C} \quad [^\circ\text{C}] \quad (\text{Gl.4.2.7.1})$$

mit:

$$t^* = t * \Gamma \text{ [h]} \quad (\text{Gl.4.2.7.2})$$

$$\Gamma = (b / O)^2 \quad (\text{Gl.4.2.7.3})$$

$$O = A_v * \sqrt{h_{eq}} / A_t \text{ [m}^{1/2}\text{]} \text{ in den Grenzen von } 0,02 < O < 0,20; \quad (\text{Gl.4.2.7.4})$$

Wenn Γ = 1 ist, dann ist Gl.4.2.7.1 eine Näherung der Einheits-Temperaturzeitkurve.

Dabei ist:

- Θ_g Temperatur im Brandraum zum Zeitpunkt t* [°C];
- 20 °C angenommene Ausgangstemperatur im Brandraum [°C];
- 1325 °C experimentell ermittelte maximale Temperatur im Brandraum [°C];
- t Zeit [h];
- Γ Zeitfaktor, abhängig vom Öffnungsfaktor O und dem Wärmespeichervermögen b;
- O Öffnungsfaktor [m^{1/2}], in den Grenzen von 0,02 < O < 0,20;

4 BEMESSUNGSKONZEPTE FÜR DEN LASTFALL BRAND

b	Wärmeeindringkoeffizient [$J/(m^2 s^{1/2} K)$], in den Grenzen von $1.000 < b < 2.200$;
A_t	Gesamtfläche der Raumbühle [m^2];
A_v	Gesamtfläche der vertikalen Öffnungen in allen Wänden in [m^2];
h_{eq}	gewichtetes Mittel der Fensterhöhen in allen Wänden in [m].

(2) Die maximale Temperatur Θ_{max} der Erwärmungsphase wird erreicht bei $t^* = t_{max}^*$:

$$t_{max}^* = t_{max} * \Gamma \quad [\text{min}] \quad (\text{Gl.4.2.7.5})$$

mit:

$$t_{max} = 0,2 * 10^{-3} * q_{t,d} / O ; t_{lim} \quad [\text{h}]$$

$$\Gamma = (b / O)^2$$

$$O = A_v * \sqrt{h_{eq}} / A_t \quad [m^{1/2}] \quad \text{in den Grenzen von } 0,02 < O < 0,20$$

$$q_{t,d} = q_{f,d} * A_f / A_t \quad [MJ/m^2] \quad \text{in den Grenzen von } 50 < q_{t,d} < 1000$$

Dabei ist:

t_{lim}	15 min = schnelle Brandentwicklung nach Nutzung lt. ÖNORM EN 1991- 1- 2, Tab. E.5;
t_{lim}	20 min = mittlere Brandentwicklung nach Nutzung lt. ÖNORM EN 1991- 1- 2, Tab. E.5;
t_{lim}	25 min = langsame Brandentwicklung nach Nutzung lt. ÖNORM EN 1991- 1- 2, Tab. E.5.
$q_{f,d}$	Bemessungsbrandlastdichte [MJ/m^2] nach ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang E.1;
$q_{t,d}$	Bemessungsbrandlastdichte bezogen auf die Raumbühle A_t [MJ/m^2];
A_f	Grundfläche des Brandabschnittes.

(3) Falls $t_{max} = t_{lim}$ gilt, dann wird in Gleichung Gl.4.2.7.1 ersetzt durch:

$$t_{max}^* = t_{max} * \Gamma_{lim} \quad [\text{min}] \quad (\text{Gl.4.2.7.6})$$

mit:

$$\Gamma_{lim} = (b / O_{lim})^2$$

$$O_{lim} = 0,1 * 10^{-3} * q_{t,d} / t_{lim} \quad [m^{1/2}]$$

Falls ($O > 0,04$ und $q_{t,d} < 75$ und $b < 1160$) gilt: $\Gamma_{lim} * K$

$$\text{Mit} \quad K = 1 + \left(\frac{O - 0,04}{0,04} \right) \left(\frac{q_{t,d} - 75}{75} \right) \left(\frac{1160 - b}{1160} \right) \quad (\text{Gl.4.2.7.7})$$

(4) Der Zeitpunkt t_{max}^* an dem die maximale Temperatur auftritt, wird bei brandlastgesteuerten Bränden durch t_{lim} gegeben.

(5) Die Temperatur in der Abkühlungsphase ist aus experimentellen Untersuchungen definiert durch:

$$\Theta_g = \Theta_{max} - 625 \text{ °C} * (t^* - t_{max}^*) \quad \text{für } t_{max}^* < 0,5 \quad [°C] \quad (\text{Gl.4.2.7.8})$$

$$\Theta_g = \Theta_{max} - 250 \text{ °C} * (3 - t_{max}^*) * (t^* - t_{max}^* * x) \quad \text{für } 0,5 < t_{max}^* < 2,0 \quad [°C] \quad (\text{Gl.4.2.7.9})$$

$$\Theta_g = \Theta_{max} - 250 \text{ °C} * (t^* - t_{max}^* * x) \quad \text{für } t_{max}^* > 2,0 \quad [°C] \quad (\text{Gl.4.2.7.10})$$

Mit:

$$t^* = t * \Gamma \quad [\text{h}]$$

$$t_{max}^* = (0,2 * 10^{-3} * q_{t,d} / O) * \Gamma \quad [°C]$$

Dabei ist:

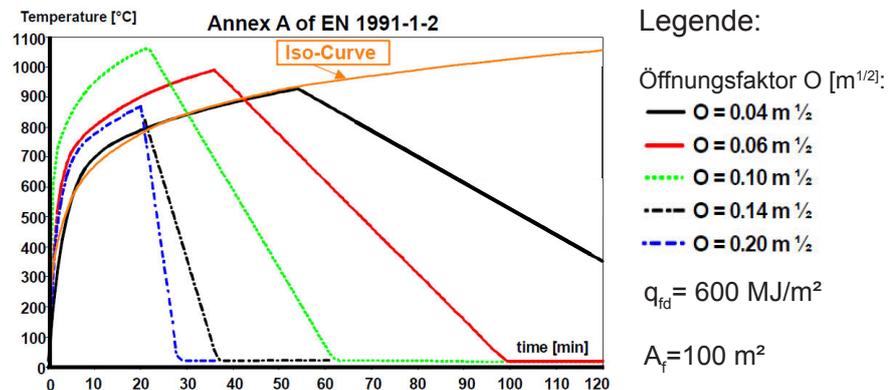
Θ_g Temperatur im Brandraum zum Zeitpunkt t^* [$°C$]

Θ_{max} maximale Temperatur der Erwärmungsphase [$°C$]

$x = 1,0$ wenn $t_{max} > t_{lim}$, oder $x = t_{lim} * \Gamma / t_{max}^*$ wenn $t_{max} = t_{lim}$

Ergebnis:Die parametrische Temperatur- Zeitkurve stellt demnach keine Brandausbreitungsphase im Brandraum dar, sondern sofort den Vollbrand (wie auch die ETK), der, nachdem die maximale Heißgastemperatur erreicht ist, in die Abklingphase übergeht, die linear abfällt.

(1) Für einen Brandabschnitt mit $A_f = 100 \text{ m}^2$ Größe und einer Bemessungsbrandlastdichte von $q_{fd} = 600 \text{ MJ/m}^2$ wurde nachstehend die parametrische Temperatur- Zeitkurve für verschiedene Ventilationsbedingungen im Brandraum dargestellt. Nach Wickström verlaufen dabei alle parametrischen Temperatur- Zeitkurven in Abb.4.20 ventilationsgesteuert. vgl. Wickström (1985); vgl. Vassart (2012)



Parametrische Temperatur- Zeitkurven bei unterschiedlichen Ventilationsbedingungen O [m^{1/2}] im gleichen Brandraum und bei gleicher Brandlastdichte, im Vergleich zur ETK (ISO- Curve). Abb.4.20

Mit:

$$b = 1.500 \text{ J/m}^2 \text{ s}^{1/2} \text{ K};$$

$$A_f = 360 \text{ m}^2$$

Dabei ist:

O Öffnungsfaktor [m^{1/2}], in den Grenzen von $0,02 < O < 0,20$.

Fazit: Im Gegensatz zur Normbrandkurve, der ETK, kann hier der Zeitpunkt der maximalen Temperatur Θ_{max} [°C] im Brandraum dargestellt werden, was wichtig für die Bemessung von Stahlbauteilen ist. Auf Grund der fehlenden Brandausbreitungsphase kann ein Bemessungsbrandszenario, wie in Kapitel 4.1 vorgeschlagen, in dem der Bemessungsbrand in 3 Phasen dargestellt ist aber nicht erfolgen.

Anmerkung zum Kapitel 3.3 "Zusammenfassung": Zur Brandausbreitungsphase und dem z.B. im Kapitel 3 festgestellten späteren Einsetzen des Vollbrandes mit zunehmender Brandraumgröße im Naturbrand, kann mit der parametrischen Temperatur- Zeitkurve der ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang A keine Aussage getroffen werden. Nach Kapitel 3.3 "Zusammenfassung" ist über den Öffnungsfaktor O [m^{1/2}] nicht ersichtlich ob ein brandlast- oder ventilationsgesteuerter Brandverlauf vorliegt, was die Abbrandgeschwindigkeit der Brandlast beeinflusst. Die Abklingphase in Abb.4.20 verläuft linear, in Kapitel 3.2.3 Beispiel 2, Abb.3.12; Kapitel 3.2.5 Beispiel 4, Abb.3.17 und Kapitel 3.2.6, Beispiel 5, Abb.3.19 verläuft diese hingegen in einem Bogen.

4.2.6.4 Die Energiefreisetzungsrates pro Zeit

Die Ausbreitung der Brandleistung pro Zeit $\dot{Q}(t)$ [MW] ist in der ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang E.4 "Wärmefreisetzungsrates \dot{Q} " angegeben. Diese folgt dem internationalen t^2 - Ansatz wie im Kapitel 4.1.2 "Ausbreitung der Brandleistung" bereits beschrieben vgl. ÖNORM EN 1991-1-2 (2013), Anhang E.4

Die statistische Verteilung der Variable: Nach Hosser sind die Brandlastdichte und auch deren Energiefreisetzungsrates pro Zeit stärker streuende Variablen die einer Gumbelverteilung folgen. In der ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang E.4 wird dazu keine Aussage getroffen. Es wird jedoch für weitere Untersuchungen (Bemessungswerte) eine statistische Verteilung nach der Gumbelverteilung angenommen. vgl. Hosser et al. (2009), (S.91f.)

(1) **Brandausbreitungsphase:** siehe dazu analog Kapitel 4.1.2 "Ausbreitung der Brandleistung" Gl.4.1.2.1. Die Parameter für t_a [s] und die maximale charakteristische flächenspezifische Energiefreisetzungsrate $\dot{q}_{f,k}$ [MW/m²] für verschiedene Nutzungen werden in Tabellenwerten in der ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang E.4, Tabelle E.5 angegeben, siehe Tab.4.1 und Tab.4.16. vgl. ÖNORM EN 1991- 1- 2 (2013), Anhang E.4 , Tabelle E.5

Maximale Wärmefreisetzungsrate RHR_f			
Nutzung	Wachstumsrate	t_a [s]	RHR_f [kW/m ²]
Wohnung	Mittel	300	250
Krankenhaus (Zimmer)	Mittel	300	250
Hotel (Zimmer)	Mittel	300	250
Bibliothek	Schnell	150	500
Büro	Mittel	300	250
Klassenzimmer einer Schule	Mittel	300	250
Einkaufszentrum	Schnell	150	250
Theater (Kino)	Schnell	150	500
Verkehr (öffentlicher Bereich)	Langsam	600	250

Tab.4.16 Brandentwicklungszeit t_a [s] bis zum Erreichen von 1 MW und maximale charakteristische flächenspezifische Energiefreisetzungsrate RHR_f (Rate of Heat Release) [kW/m²] verschiedener Nutzungen.

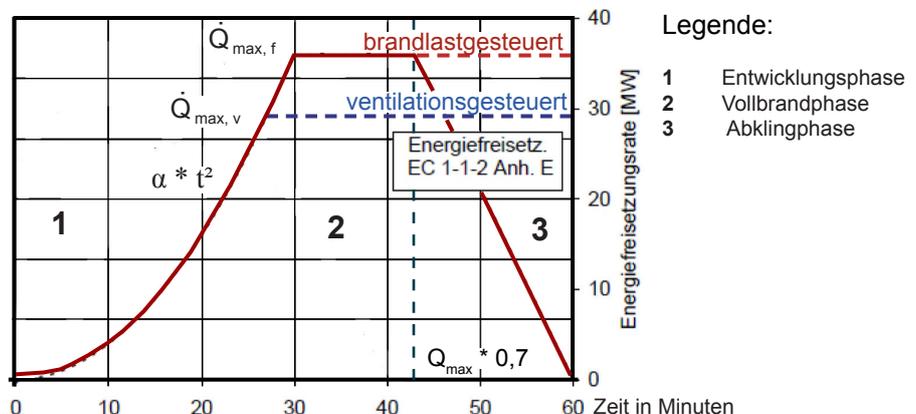
(2) **Vollbrandphase:** Die Wachstumsphase wird durch ein horizontales Plateau begrenzt, siehe dazu analog Kapitel 3.2 "Beeinflussung des Brandverlaufes" Punkt 3.5.3.

(2.1) Falls es sich um einen ventilationsgesteuerten Brand handelt, muss dieses Plateau entsprechend dem verfügbaren Sauerstoffgehalt reduziert werden, siehe dazu analog Kapitel 3.2 "Beeinflussung des Brandverlaufes" Punkt 3.5.1, Gleichung 3.2.1.7. In der ÖNORM EN 1991-1-2, Anhang E.4 wird angemerkt das, falls auf Grund eines ventilationsgesteuerten Brandes die maximale Höhe der Wärmefreisetzungsrate reduziert wurde, die Kurve für die Wärmefreisetzungsrate entsprechend der durch die Brandlast verfügbaren Energie erweitert werden muss. vgl. ÖNORM EN 1991-1-2 (2013), Anhang E.4

Anmerkung zum Kapitel 3.3 "Zusammenfassung":

Ein frühzeitiges Beginnen des Vollbrandes im Brandraum durch einen Flashover, wie z.B. in zellenartigen Nutzungen, siehe Kapitel 3, wird nicht mit berücksichtigt.

(3) **Abklingphase:** Das horizontale Plateau wird durch die Abklingphase begrenzt, die beginnt, wenn 70 % der gesamten Brandlast aufgebraucht sind.



Energiefreisetzungs- Zeitkurve nach ÖNORM EN 1991-1-2 (2013), Anhang E.4. Abb.4.21

Die Energiefreisetzungszeitkurve stellt den Brand im Raum in 3 Phasen dar und kann darum nicht mit der parametrischen Temperatur- Zeitkurve der ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang A kombiniert werden, da der Heißgastemperaturverlauf dort ab der Vollbrandphase simuliert wird, siehe dazu Abb.4.27.

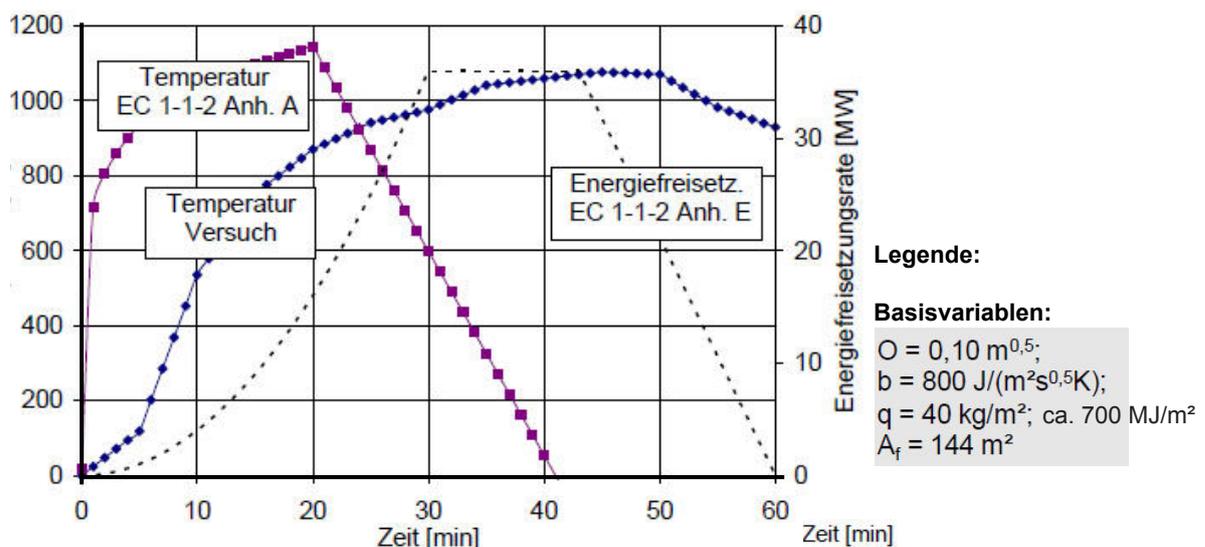
Zeitlicher Zusammenhang von Energiefreisetzungs- und Temperatur- Zeitkurve: Nach Zehfuß gibt es keinen zeitlichen Zusammenhang zwischen dem Energiefreisetzzeitverlauf als Grundlage des Bemessungsbrandes zum Heißgastemperaturzeitverlauf, siehe Abb.4.27. vgl. Zehfuß (2004), (S.11f.)

Unsicherheiten im Modell: Die Streuung der parametrischen Temperaturzeitkurve gegenüber dem Naturbrandverlauf beträgt lt. Nachrechnungen an Fallbeispielen von Zehfuß und Klein bis zu 44 %. vgl. Zehfuß (2004), (S.63ff.); vgl. Klein (2009), (S.124f.)

Nach Schneider ist durch die alleinige Angabe des Parameter O, des Öffnungsfaktors nicht erkennbar, ob die parametrische Temperaturzeitkurve nach Anhang A brandlast- oder ventilationsgesteuert verläuft. Dies konnte im Kapitel 3 bestätigt werden, siehe Kapitel 3.3.5 "Vergleich der Einflussgrößen", (b). Ebenfalls ist die Angabe der Brandlastart (Feststoff, Flüssigkeit) und verschiedene Brandausbreitungsgeschwindigkeiten nicht ausreichend im Anhang A definiert. vgl. Schneider et al. (2008), (S.443)

Ergebnis: Aus oben genannten Gründen ist die Methode der parametrischen Temperaturzeitkurven nach EN 1991- 1- 2, Anhang A somit in der DIN EN 1991-1-2/ NA mit der Ausgabe 2010 nicht freigegeben worden. vgl. DIN EN 1991-1-2/ NA (2010); vgl. Zehfuß (2009), (S.12f.); vgl. Vfdb (2009), (S.195)

(1) Darstellung des fehlenden Zusammenhanges des parametrischen Heißgastemperaturzeitverlaufes und des Energiefreisetzungszeitverlaufes bei einem realen Temperaturversuch nach Zehfuß:



Fehlender zeitlicher Zusammenhang der mathematischen Berechnungsmodelle, nach Zehfuß. Abb.4.22

Entwicklung: Auf Grund dieser unsicheren Berechnungsmethodik gibt es zahlreiche Entwicklungsversuche verschiedener Forschungsgruppen, die aber nach Zehfuß nicht den tatsächlichen Brandverlauf in einem Raum wiedergeben können oder nur mittels Wärmebilanzmodellen, die zur Zeit nicht anwenderfreundlich und somit nicht allgemein anwendbar sind. vgl. Zehfuß (2004), (S.18f.)

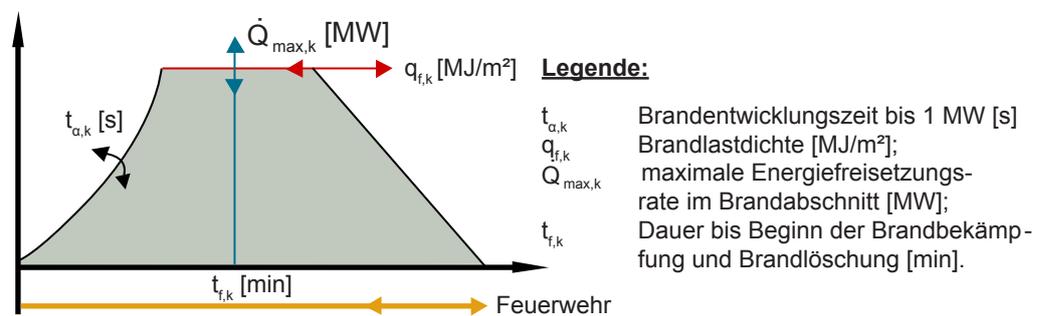
Das entwickelte Verfahren nach Zehfuß beschreibt den Bemessungsbrandverlauf für Wohn- und Büronutzungen anhand der Energiefreisetzungsraten, welche die 3 Phasen eines Brandes wiedergibt. An die Phasen der Energiefreisetzungsraten ist der Temperaturzeitverlauf zu gleichen Zeitpunkten gekoppelt. Der so berechnete Heißgastemperaturzeitverlauf wird als Belastung für die tragenden und raumabschließenden Bauteile im gesamten Raum angenommen (Ein- Zonenmodell). Dieses Berechnungsmodell ist als Anhang AA in der DIN EN 1991- 1- 2/ NA eingegangen und wird im **Kapitel 4.3.4** vorgestellt. vgl. DIN EN 1991-1-2/ NA (2010), Anhang AA

4.3 Alternative Brandmodelle

Da die Festlegung der Bemessungsbrandlastdichte mit dem Sicherheitskonzept der ÖNORM EN 1991-1-2, Anhang E.1 für zellenartige Brandabschnitte, sowie auch die Berechnung der Branddauer im Brandabschnitt nach Anhang A und F unsicher ist, werden nun alternative Brandmodelle vorgestellt. Die Bemessung maßgeblicher Variablen z.B. nach dem Brandszenario in Abb.4.3 oder Abb.4.4, die am Versagen von Bauteilen beteiligt sind, kann grundsätzlich mit dem Sicherheitskonzept der ÖNORM EN 1990 in einem Bezugszeitraum von 1 Jahr oder 50 Jahren erfolgen.

Um eine ausreichende Sicherheit des Tragwerks bei einer Einwirkung über einen bestimmten Zeitraum festzulegen, sind verschiedene Methoden in der ÖNORM EN 1990, Anhang C.4 „Überblick über Zuverlässigkeitsmethoden“ anwendbar. Grundsätzlich können Sicherheitskonzepte dabei aus Erfahrungswerten (Geschichte), aus deterministischen (durch Festlegung), semi- oder voll- probabilistischen (wahrscheinlichkeitstheoretischen) Methoden entstehen. vgl. ÖNORM EN 1990 (2013), Anhang C.4

Festlegen von Teilsicherheitsbeiwerten, auf Grund eines Sicherheitskonzeptes:



Energiefreisetzungsvorgang mit maßgebenden Variablen $t_{\alpha,k}$; $q_{f,k}$; $\dot{Q}_{max,k}$; $t_{f,k}$ ($t_{f5,k}$, $t_{f6,k}$). Abb.4.23

4.3.1 Probabilistisches Sicherheitskonzept nach ÖNORM EN 1990, Anhang B, C, D

(1) Für die sichere Bemessung von Tragwerken, muss der Bauwerkswiderstand R über die gesamte Lebensdauer des Gebäudes stets größer sein, als die Einwirkung E , damit kein Versagen auftritt, R und E sind dabei Wahrscheinlichkeitsfunktionen:

$$R > E \quad (\text{Gl.4.2.3.1})$$

(2) Die Bemessung der Zuverlässigkeit des Tragwerkes geschieht nach ÖNORM EN 1990, Anhang C.5 „Zuverlässigkeitsindex β “ im Grenzzustand g . Der Grenzzustand g des Tragwerkes ist bei $g = 0$ erreicht. Das Tragwerk versagt bei $g < 0$ und bei $g > 0$ ist die Zuverlässigkeit des Tragwerkes gegeben. Die Grenzzustandsfunktion S ergibt sich somit: vgl. ÖNORM EN 1990 (2013), Anhang C.5

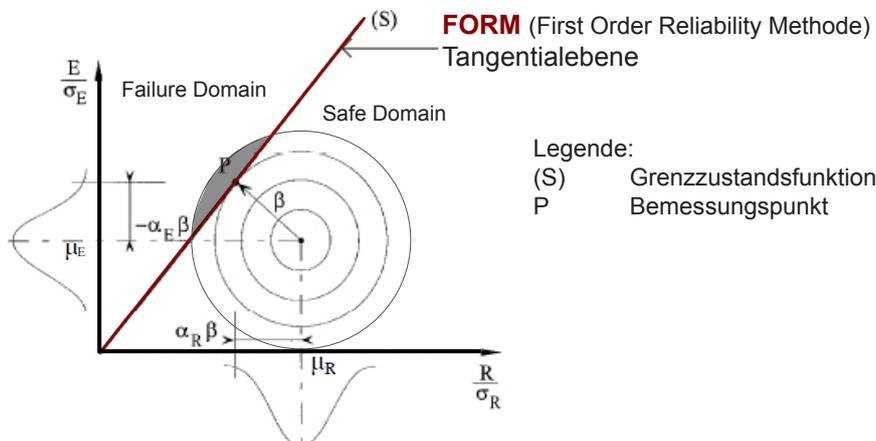
$$(S): g = R - E = 0 \quad (\text{Gl.4.2.3.2})$$

Bei der Bemessung des Grenzzustandes der Tragsicherheit bei Anwendung probabilistischer Methoden, sind der Bauwerkswiderstand R , die Einwirkung E und der Grenzzustand g **Zufallsvariablen**, mit statistischen Momenten aus **Mittelwert $\mu_{(g)}$ und Standardabweichung $\sigma_{(g)}$** . Somit besitzen die Variablen der **Grenzzustandsfunktion S** streuende Eigenschaften in der Lebensdauer des Gebäudes die durch den **Variationskoeffizient $V_{(g)}$** ausgedrückt werden. Die Zufallsvariablen können dabei gemäß der Verteilungsfunktionen nach ÖNORM EN 1990, Tabelle C.3 angenommen werden, der Grenzzustand der Funktion wird dann in der Methode FORM (First Order Reliability Methode) linearisiert, siehe Abb.4.23.

Der Punkt P gibt dabei den Ort an, an dem die Versagenswahrscheinlichkeit am größten ist. Die Zuverlässigkeit des Systems wird dabei über den Sicherheitsindex β ausgedrückt. Der Sicherheitsindex β kann aufgespalten werden, in einen Anteil, der den Einwirkungen zugeordnet ist und einen Anteil, der den Widerständen zugeordnet ist, β ist dabei der Abstand zwischen dem Mittelpunkt und Punkt P. Der Sensitivitätsfaktor α gibt das Maß an, in dem

die Widerstände und Einwirkungen an β beteiligt sind, sie sind daher ein Maß für die Bedeutung der jeweiligen Variablen im Versagensfall. vgl. Fischer (2001), (S.130- 134); vgl. Dehne (2003), (S.5); vgl. Schneider et al. (2008), (S.430f.); vgl. ÖNORM EN 1990 (2013), Anhang C.5, Anhang C.7; Punkt 4

Grenzzustandsfunktion S linearisiert nach FORM lt. ÖNORM EN 1990, Anhang C.7:



Einwirkung und Widerstand im normalverteilten Raum nach FORM. Abb.4.24

(3) Das Normenformat wird nach Fischer im Rackwitz - Fiessler- Algorithmus festgelegt für normalverteilte, statistisch unabhängige Variablen mit:

(3.1) Variationskoeffizient **V**:

$$V_R = \sigma_R / \mu_R \qquad V_E = \sigma_E / \mu_E \qquad (Gl.4.2.3.4)$$

(3.2) Sensitivitätsfaktor **α**:

$$\alpha_R = \frac{\sigma_E}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}} \qquad \alpha_E = \frac{\sigma_R}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}} \qquad (Gl.4.2.3.5)$$

Dabei ist: $\mu_{(g)} = \sqrt{(\mu_R^2 + \mu_E^2)}$

Die Werte α sind zwischen 0 und 1 und für ungünstige Einwirkungen negativ und für günstige positiv.

(3.3) Sicherheitsindex **β**:

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_E}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_E^2}} \qquad (Gl.4.2.3.6)$$

Je größer β ist, desto kleiner ist die Versagenswahrscheinlichkeit = desto größer ist die Zuverlässigkeit des Tragwerkes. Im EUROCODE wird die zu erreichende Zuverlässigkeit für ein **RC 2**- Tragwerk in einer Zeitspanne von 50 Jahren unter ständigen und veränderlichen Einwirkungen mit **$\beta = 3,8$** definiert. vgl. Schleich (2002), (S.50); Fischer (2001), (S.144)

(3.4) Koordinaten des Bemessungspunktes **P**:

$$P(R) = \Phi(-\alpha_R * \beta) = \mu_R - \alpha_R * \sigma_R * \beta \qquad (Gl.4.2.3.7)$$

$$P(E) = \Phi(+\alpha_E * \beta) = \mu_E + \alpha_E * \sigma_E * \beta \qquad (Gl.4.2.3.8)$$

vgl. Klein (2010), (S.152); vgl. Fischer (2001), (S.134); vgl. ÖNORM EN 1990 (2013), Anhang C.7, Tabelle C.7, Anhang D.2

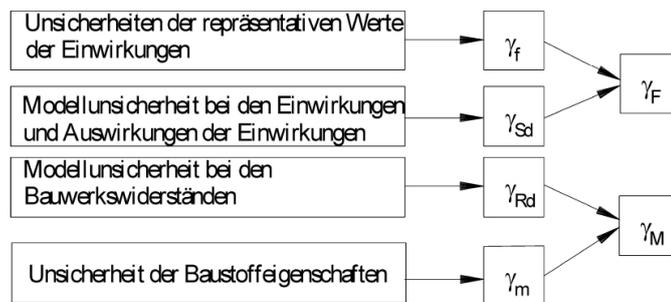
(4) Um den Abstand zum Grenzzustand der Tragfähigkeit, auf Grund von Unsicherheiten z.B. der Streuung der Eigenschaften von charakteristischen Werten und somit der unsicheren Auswirkung, zu erhöhen, werden Teilsicherheitsbeiwerte festgelegt aufgrund von **β** nach ÖNORM EN 1990, Anhang C.7 „Verfahren zur Kalibration der Bemessungswerte“ und diese als **Bemessungswerte** angeben mit:

$$E_d < R_d \qquad (Gl.4.2.3.9)$$

Dabei ist:

$E > E_d$ (der Bemessungswert der Einwirkung ist kleiner als die erwartete Einwirkung), $P(E > E_d)$;
 $R < R_d$ (der Bemessungswert des Widerstandes ist größer als der erwartete Widerstand), $P(R < R_d)$.

Teilsicherheitsbeiwerte: Nach ÖNORM EN 1990, Anhang C.8 „Möglichkeiten der Zuverlässigkeitsnachweise in den Eurocodes“ werden die charakteristischen Werte mit **Teilsicherheitsbeiwerten** dividiert oder multipliziert, um die **Bemessungswerte E_d und R_d** zu erhalten. Die Teilsicherheitsbeiwerte spalten sich nach ÖNORM EN 1990, Anhang C.9 auf in:



Beziehung zwischen den Teilsicherheitsbeiwerten nach ÖNORM EN 1990, Anhang C.9. Abb.4.25

Im globalen Sicherheitskonzept der ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang E.1 „Allgemeines“ wird nur die maßgebende charakteristische Variable der außergewöhnlichen Einwirkung, - d.h. der Brandeinwirkung, als 80 % Quantil der statistischen Verteilung, mit einem Teilsicherheitsbeiwert γ_F (nach ÖNORM EN 1991- 1- 2, Tabelle E.1 und Tabelle E.2 als δ_q und δ_n dargestellt) beaufschlagt, siehe Abb.2.3. Die Teilsicherheitsbeiwerte der ständigen und veränderlichen Einwirkungen, bzw. Leiteinwirkungen (Eigenlast G mit $\gamma_G = 1,35$, Nutzlast Q mit $\gamma_Q = 1,5$) entfallen, die Kombination wird mit den Einwirkungen aus Nutzlasten, Wind und Schnee mit ψ_2 festgelegt - d.h. im Brandfall entfallen Wind- und Schneelasten in der Regel $\gamma_G = \gamma_Q = 1,0$. Auf der Widerstandsseite gehen die geometrischen Kenngrößen und die Materialeigenschaften lt. den Vorgaben der baustoffspezifische EUROCODES (z.B. als 5 % Quantil) in die Dimensionierung der Querschnitte ein. Die Teilsicherheitsbeiwerte (z.B. Betonfestigkeit mit $\gamma_c = 1,5$ oder Betonstahlfestigkeit mit $\gamma_s = 1,15$) werden baustoffübergreifend für den Brandfall mit $\gamma_M = 1,0$ festgelegt.

vgl. ÖNORM EN 1991- 1- 2 (2013); vgl. ÖNORM EN 1990 (2013); vgl. Hosser et al. (2009), (S.8f.)

(5) Es bildet sich somit der Bemessungswert der außergewöhnlichen Einwirkung A_d aus:

$$A_d = A_k * \gamma_F \tag{Gl.4.2.3.10}$$

Dabei ist:

- A_k charakteristischer Wert der außergewöhnlichen Einwirkung, als z.B. 80 % Quantilwert;
- A_d Bemessungswert der außergewöhnlichen Einwirkung;
- γ_F berücksichtigt die Möglichkeit ungünstiger Größenabweichungen der Einwirkung und Unsicherheiten im Berechnungsmodell.

(6) Der Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkung, der die Möglichkeit ungünstiger Größenabweichungen der Einwirkung und auch Unsicherheiten im Berechnungsmodell berücksichtigt, ergibt sich nun nach ÖNORM EN 1990, Punkt 1.5.3.21 „Bemessungswert einer Einwirkung“:

$$\gamma_F = \gamma_{Sd} * \gamma_f \tag{Gl.4.2.3.11}$$

Dabei ist:

- γ_f berücksichtigt die Möglichkeit ungünstiger Größenabweichungen der Einwirkung
- γ_{Sd} berücksichtigt Unsicherheiten im Berechnungsmodell der Einwirkung zwischen 1,05 und 1,15. vgl. ÖNORM EN 1990 (2013), Tabelle A 1.2 (B)

(7) Wenn die Parameter der maßgebenden Variablen einer Gumbelverteilung folgen kann der Teilsicherheitsbeiwert γ_f nach ÖNORM EN 1990, Anhang C.7 „Verfahren zur Kalibration der Bemessungswerte“, Tabelle C.7 „Bemessungswerte für verschiedene Verteilungsfunktionen“, über die Gumbelverteilung ermittelt werden, mit: vgl. ÖNORM EN 1990 (2013), Anhang C.7

$$1 - \frac{\sqrt{6}}{\pi} * v * (0,5772 + \text{LN} (- \text{LN } \Phi (-\alpha * \beta))) \quad (\text{Gl.4.2.3.12})$$

mit:
 $v = \frac{\sigma}{\mu}$

Dabei ist:

0,5772 Lageparameter der Gumbelverteilung;

LN () natürlicher Logarithmus;

$\Phi ()$ Verteilungsfunktion der Gauß- Normalverteilung;

v Variationskoeffizient der Zufallsvariable;

α Sensitivitätsfaktor als Maß der Empfindlichkeit gegenüber β ; vgl. Rackwitz (2006), (S.37)

σ Standardabweichung der Zufallsvariable;

μ Mittelwert der Zufallsvariable;

u normalverteilte Zufallsvariable. vgl. Rackwitz (2006), (S.17)

(8) Der Bemessungswert der außergewöhnlichen Einwirkung A_d bestimmt sich nun durch Umstellung der Gleichung (Gl.3.4.3.12) nach Schleich mit: vgl. Schleich (2001), (S.32)

$$A_d = A_k * \gamma_{sd} * \left[1 - \frac{\sqrt{6}}{\pi} * v * (0,5772 + \text{LN} (- \text{LN } \Phi (-\alpha * \beta))) \right] \quad [\text{MJ/m}^2] \quad (\text{Gl.4.2.3.13})$$

Dabei ist:

γ_{sd} berücksichtigt Unsicherheiten im Berechnungsmodell der Einwirkung zwischen 1,05 und 1,15.

(9) Nach ÖNORM EN 1990, Anhang C.7 „Verfahren zur Kalibration der Bemessungswerte“ (7) wird der Teilsicherheitsbeiwert γ_f für die Einwirkung bestimmt, indem der Bemessungswert A_d durch den repräsentativen oder charakteristischen Wert A_k geteilt wird. Der charakteristischen Wert der außergewöhnlichen Einwirkung A_k wird dabei in der ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang E 2.5 als 80 % Quantilwert angenommen mit: vgl. Hosser et al. (2009), (S.92); vgl. ÖNORM EN 1991- 1- 2 (2013), Anhang E.2.5

$$\gamma_f = \frac{A_d}{A_{k80\%}} = \frac{[1 - 0,78 * v * (0,5772 + \text{LN} (- \text{LN } \Phi (-\alpha * \beta_f)))]}{[1 - 0,78 * v * (0,5772 + \text{LN} (- \text{LN } (\Phi(-\beta_k)))]} \quad (\text{Gl.4.2.3.14})$$

Dabei ist:

$\Phi(-\beta_k)$ charakteristische Einwirkung mit 80 % Quantil einer Normalverteilung = 0,84162;

β_{fi} **geforderter Sicherheitsindex im Brandfall;**

γ_F nach Gl.4.2.3.11.

4.3.1.1 Normative Vorgaben zur Zuverlässigkeit des Tragwerkes

Es liegt eine ausreichende Zuverlässigkeit des Tragwerkes vor, wenn das **Versagen F (Failure)** eines Tragwerkes innerhalb der geplanten Nutzungsdauer mit einer **akzeptablen Wahrscheinlichkeit P (Probability)** auftritt. Die **akzeptable Versagenswahrscheinlichkeit P_f (Probability of Failure)** für das Tragwerk ist in der ÖNORM EN 1990, Anhang B.3 „Differenzierung der Zuverlässigkeit“ als zu erreichender Zielwert festgelegt. Da das Risiko mit der Schadenshöhe und Personengefährdung (z.B. Zunahme der Anzahl der Stockwerke, Zunahme der Funktionen, Zunahme der Brandabschnittsgröße) zunimmt, wurden in der ÖNORM EN 1990, Anhang B „Behandlung der Zuverlässigkeit im Bauwesen“, B.3 „Differenzierung der Zuverlässigkeit“ zum Zwecke der Differenzierung der möglichen Folgen eines Tragwerksversagens, **Schadensfolgeklasse, kurz CC** (CC 1, CC 2, CC 3) eingeführt, siehe Tab.4.17, um das steigende Risiko deskriptiv auszudrücken. vgl. ÖNORM EN 1990 (2013), Anhang B.3

Schadens- folgeklassen	Merkmale	Beispiele im Hochbau oder bei sonstigen Ingenieurbauwerken
CC 3	Hohe Folgen für Menschenleben <u>oder</u> sehr große wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen	Tribünen, öffentliche Gebäude mit hohen Versagensfolgen (z. B. eine Konzerthalle)
CC 2	Mittlere Folgen für Menschenleben, beeinträchtliche wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen	Wohn- und Bürogebäude, öffentliche Gebäude mit mittleren Versagensfolgen (z. B. ein Bürogebäude)
CC 1	Niedrige Folgen für Menschenleben <u>und</u> kleine oder vernachlässigbare wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen	Landwirtschaftliche Gebäude ohne regelmäßigen Personenverkehr (z. B. Scheunen, Gewächshäuser)

Tab.4.17: Auswahl der Schadensfolgeklasse nach ÖNORM EN 1990, Anhang B.3.

Den Schadensfolgeklassen werden dabei **Risikoklassen, kurz RC gegenübergestellt**. Diese sind durch den vorgegebenen Mindestwert der Zuverlässigkeit β , der von der Konstruktion zu Erreichen ist, der Ausgangspunkt von Zuverlässigkeitsbetrachtungen in der Lebensdauer von Gebäuden im Eurocode. Die definierten Risikoklassen RC beziehen sich dabei auf RC 1 normale Evakuierung und RC 2 schwierige Evakuierung (das Gebäude darf innerhalb einer bestimmten Zeit nicht versagen), RC 3 keine Evakuierung möglich (das Gebäude darf nicht versagen). vgl. Schleich (2001), (S.30)

Zuverlässigkeits-Klasse	Mindestwert für β	
	Bezugszeitraum 1 Jahr	Bezugszeitraum 50 Jahre
RC 3	5,2	4,3
RC 2	4,7	3,8
RC 1	4,2	3,3

ANMERKUNG Die Bemessung nach EN 1990 mit den Teilsicherheitsbeiwerten nach Anhang A sowie nach EN 1991 bis EN 1999 führt in der Regel zu einem Tragwerk mit einer Mindestzuverlässigkeit $\beta \geq 3,8$ für einen Bezugszeitraum von 50 Jahren. Größere Zuverlässigkeitsklassen als RC 3 werden in diesem Anhang nicht weiter betrachtet, da für die betroffenen Bauteile Sonderuntersuchungen angestellt werden müssen.

Tab.4.18: Auswahl der Zuverlässigkeitsklasse RC nach ÖNORM EN 1990, Anhang B.3.2.

Der Zuverlässigkeitsindex β wird als Maß für die Zuverlässigkeit betrachtet, die durch das Tragwerk erreicht werden soll (Zielwert) und befindet sich bei tragenden Bauteilen zwischen $\beta = 2,32$ und $\beta = 5,2$, was einer Versagenswahrscheinlichkeit P_f von 1 E^{-02} bis 1 E^{-07} entspricht. vgl. ÖNORM EN 1990 (2013), Tabelle C.1

Anmerkung zum Brandfall: Da üblicherweise nur das Tragwerk örtlich vom Brand betroffen ist, - d.h. direkt im Brandabschnitt - und nicht sofort das ganze Gebäude, wie es bei ständigen und veränderlichen Einwirkungen, zB. Eigenlast, Verkehrslast, Wind, Kombinationen, sowie Erdbeben etc. der Fall ist und des dazu selten anzutreffenden Ereignisses (angenommen mit 1 Brand pro Brandabschnitt und Jahr) kann nun eine Differenzierung der Zuverlässigkeit von tragenden und brandabschnittsbildenden Bauteilen im Brandfall erfolgen, siehe nächstem Kapitel.

Hierbei werden nun keine Angaben für die Ausbreitung von zumeist toxischen Brandgasen für Mensch und Tier notwendig, da diese keinen Beitrag zur Zuverlässigkeit des Tragwerkes im Sicherheitskonzept leisten, es wird somit von einer Brandfrüherkennung und Evakuierung aus dem betroffenen Brandabschnitt ausgegangen, so dass die definierten Schutzziele eingehalten werden.

Grundsätzlich können den Risikoklassen, RC **Qualitätsstufen der Überwachung** der Planung, und Ausführung, von Gebäuden nach ÖNORM EN 1990, Anhang B.4 „Differenzierung der Überwachungsmaßnahmen bei der Planung“, kurz DSL (DSL 1, DSL 2, DSL 3) und B.5 „Herstellungsüberwachung“, kurz IL (IL 1, IL 2, IL 3), gegenübergestellt werden. Diese sind ebenfalls in 3 Stufen unterteilt, von Eigenüberwachung, über verstärkte Eigenüberwachung bis zur Fremdüberwachung durch Dritte.

Dadurch soll sichergestellt werden, dass mit steigender Risikoklasse auch eine steigende Qualität der Überwachung der Planung und Ausführung von Gebäuden erfolgen sollte, z.B. definiert die OIB RL 1, Punkt 2.3 „Überwachungsmaßnahmen“ bei Schulen, Kindergärten (wenn eine potenzielle Zweitnutzung für z.B. den Katastrophenschutz vorliegt) und Gebäuden Damit mehr als 1.000 Menschen eine Qualität der Überwachung der Planung und der Qualität der Überwachung der Ausführung durch Dritte, - d.h. DSL 3 und IL 3. vgl. ÖNORM EN 1990 (2013), Anhang B.4

Anmerkung: Die Abstufung der Qualität der Überwachungsmaßnahmen gibt somit grundsätzlich Stufen in der Streuung der Eigenschaften statistisch erhobener Variablen der Einwirkungs- (Eigengewicht) und Widerstandsgrößen (Zugfestigkeiten, etc.) an, diese sind zur Zeit nicht weiter in der Norm definiert. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass eine Reduktion der Teilsicherheitsbeiwerte erfolgen kann, wenn die Qualitätsmaßnahmen der Überwachung in der Planung und Ausführung höher liegen als von der Normung vorgegeben.

4.3.1.2 Definieren des erforderlichen Sicherheitsindex β_n im Brandfall

(1) Örtliche Beanspruchung des Tragwerkes:

Die Zuverlässigkeit des Tragwerks für Wohn- und Büronutzungen der Gebäudeklasse 5 kann im Brandfall reduziert werden, auf Grund örtlicher Beanspruchung durch eine Brandabschnittsbildung und somit der verzögerten Brandweiterleitung auf das gesamte Gebäude. Nach dem nationalen Anwenderdokument in Deutschland erfolgt dabei eine Abstufung des Risikoindex RC von der Schadensfolgeklasse CC.

Zeile	Nutzung	Schadensfolgen					
		hoch		mittel		gering	
		β	P_f	β	P_f	β	P_f
		1a	1b	2a	2b	3a	3b
1	Wohngebäude, Bürogebäude und vergleichbare Nutzungen Gebäudeklassen nach MBO	4,7	1,3E-6	4,2	1,3E-5	3,7	1,1E-4
2	Krankenhaus, Pflegeheim						
3	Beherbergungsstätte, Hotel						
4	Schule						
5	Verkaufsstätte	5,2	1,0E-7	4,7	1,3E-6	4,2	1,3E-5
6	Versammlungsstätte						
7	Hochhaus						
8	Landwirtschaftlich genutzte Gebäude	—	—	4,2	1,3E-5	3,7	1,1E-4

Tab.4.19: Bereich der Zielversagenswahrscheinlichkeiten P_f nach DIN EN 1991- 1- 2/ NA.

Für Gebäude mit Wohn- und Büronutzungen in der Gebäudeklasse 5 wird nun die Schadensfolgeklasse Mittel (CC 2) angesetzt und im Brandfall mit dem dazugehörigen Zuverlässigkeitsindex $\beta = 4,2$ (RC 1) abgestuft. Insbesondere trifft dies bei Wohnnutzungen in Schottenbauweise zu, da jede Wohnung zumeist als eigener Brandabschnitt (z.B. 100 m²) ausgelegt wird. Es muss somit nur sichergestellt sein, dass eine verzögerte Brandweiterleitung auf das gesamte Gebäude stattfindet, z.B. durch bauliche Maßnahmen zur Verzögerung der Brandweiterleitung z.B. über übereinanderliegende Fensteröffnungen verschiedener Brandabschnitte, siehe dazu die OIB RL 2 „Brandschutz“. vgl. OIB RL 2 (2011)

(2) Auftreten eines Brandes:

Wie bereits festgestellt, kann die geforderte Zuverlässigkeit des Tragwerkes nach ÖNORM EN 1990, Anhang B.3.2 „Differenzierung der Zuverlässigkeitsindex β “ reduziert werden, auf Grund des sehr selten anzutreffenden Brandereignissen. Dies erfolgte bereits im globalen Sicherheitskonzept der ÖNORMEN 1991- 1- 2, Anhang E bei der Ermittlung der Teilsicherheitsbeiwerte δ_q und δ_n nach Tabelle E.1 und Tabelle E.2. Hierbei wird die Brandhäufigkeit nach Nutzungen unterschieden. Nachstehend sind internatio-

nale statistische Erhebungen a - c über die Brandhäufigkeit in den Nutzungen Wohnen und Büro pro Jahr und m² Nutzfläche aufgelistet. Für den Standort Wien konnte keine Statistik ausfindig gemacht werden, so dass keine Vergleichsmöglichkeit besteht, es wird daher auf eine konservative Statistik zurückgegriffen.

Diskussion: Die Tab.4.22 in c) könnte zur Ermittlung des Zielwertes der Versagenswahrscheinlichkeit des Tragwerkes im Brandfall herangezogen werden, da diese auf der sicheren Seite liegend auch aktuellen Statistiken aus der Schweiz nach Fischer et al. entspricht. Es wird dabei eine Brandhäufigkeit für Wohnnutzungen von etwa **1,8 E-05 m² und Jahr** auf Grundlage von Statistiken (Aargauer Versicherungen) angeführt. Es wird erwähnt, dass die Brandhäufigkeit mit Zunahme der Nutzfläche ansteigt. Für kleine bis mittelgroße Brandabschnitte kann die Tab.4.22 nach DIN EN 1991- 1- 2 NA, Anhang BB.5 für Österreich vorbehaltlich angewandt werden, da dies konservative Brandhäufigkeiten darstellt. vgl. ÖNORM EN 1991- 1- 2 (2013); Schleich (2001), (S.31); vgl. Fischer et al. (2012), (S.48), Tabelle 3.9 (m³ / Raumhöhe (RH= 2,7 m))

a) Brandhäufigkeit λ₁ [1/(m² * a)]

Country	All [10 ⁻⁶] / (m ² * year)	Dwellings [10 ⁻⁶] / (m ² * year)	Office / Public [10 ⁻⁶] / (m ² * year)	Industrial [10 ⁻⁶] / (m ² * year)	Number of registered fires	Remarks	Zeitraum
Berne all m ² > 1.999 m ² > 49.999	32,3	33,3	10,6	11,6	39.104 in the Canton of Berne (1986-1995)	due to the monopoly all fires are included	1986 - 1995
	9,18	9,22	4,35	6,48			
	0,93	0,71	0,40	1,32			
Finnland	7,2	7,1	1,7	11,0	2.109 (1995) total number of buildings 1.150.494	data only collected by the fire brigades (estimated 75% of all fires)	1995
			Public = 3,1 ... 9,5				
Großbritannien			12,0	66,0			
Frankreich		21,2	8,9	7,9			1983 - '85, '95

Tab.4.20: Brandhäufigkeit verschiedener Städte und Länder nach Schleich (2002).

b)

Name	Nutzung	Brände	Gebäudefläche [m ²]	Brandhäufigkeit λ ₁ [1/(m ² ·a)]
A	Wohngebäude	4361	231 565 978	4.7E-6
C	Geschäftsgebäude	356	18 990 450	4.7E-6
D	Bürogebäude	140	16 354 516	2.1E-6

Tab.4.21: Brandhäufigkeit in Finnland aus dem Jahr 1996 bis 1999 nach statistics Finland.

c)

Nutzung	Brandhäufigkeit λ ₁ [1/(m ² ·a)]
Wohngebäude	4,8E-5
Bürogebäude	5,9E-5

Tab.4.22: Brandhäufigkeiten in Nutzungseinheiten nach DIN EN 1991- 1- 2 NA, Anhang BB.5.

(2.1) Der Zielwert der Zuverlässigkeit des Tragwerkes P_f nach Punkt (1) wird nun auf Grund des selten anzutreffenden Brandereignisses in Abhängigkeit der Nutzung P_{fi} aus Punkt (2), als **Zielwert der Zuverlässigkeit des Tragwerkes im Brandfall mit P_{f,fi}** definiert und ist über die Verteilungsfunktion der Gauß- Normalverteilung Φ () mit β_{fi} verknüpft:

$$P_{f,fi} = P_f / P_{fi} \tag{Gl.4.2.3.15}$$

$$\beta_{fi} = \Phi^{-1} (P_{f,fi}) \tag{Gl.4.2.3.16}$$

Dabei ist:

P_{fi} Brandentstehungshäufigkeit nach Nutzung;

β_{fi} Zuverlässigkeitsindex im Brandfall.

vgl. Schleich (2001), (S.31); vgl. Dehne (2003), (S.3ff.); vgl. Hosser et al. (2009), (S.20f.); vgl. ÖNORM EN 1990 (2013), Anhang C.5

Beispielberechnung: Hierbei wird nun die Tabelle für die Schadensfolgeklasse und Brandhäufigkeiten für Wohngebäude, der DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang BB benutzt, vgl. Tab.4.19 und Tab.4.22.

(1) Der Zielwert des Zuverlässigkeitsindex β_{fi} für die Beispielwohnung „wohnen b 7.OG“ mit 61,6 m² Brandabschnittsfläche/ Nutzfläche beträgt:

$$P_{f,fi \text{ Wohnen}} = 1,3 \text{ E } -05 / (4,8 \text{ E } -05 * 61,6) = 0,0044 \quad \text{vgl. (Gl.4.2.3.15)}$$

$$\beta_{fi \text{ Wohnen}} = \underline{2,62} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.3.16)}$$

Dabei ist:

P_f RC 1 mit $P_f = 1,3 \text{ E } -05$; $\beta = 4,2$ (Versagenswahrscheinlichkeit des Tragwerks pro Jahr);

P_{fi} Brandentstehungshäufigkeit für Wohnnutzung: $\lambda_1 = 4,8 \text{ E } -05 [1/(m^2 * a)]$, Tab.3.6;

(λ_1 ist angenommen nach DIN EN 1991- 1- 2/ NA (2010), Anhang BB.5)

Anmerkung: Eine im Wohnbau erlaubte maximale Brandabschnittsgröße lt. OIB RL 2, Punkt 3.1 „Brandabschnitte“ in der Gebäudeklasse 5 mit $A_{Brand} = 1.200 \text{ m}^2$ hätte somit ein Zuverlässigkeitsindex im Brandfall, nach Einteilung in RC 1 nach Kapitel 4.3.2.1, (1) und (2), von $\beta_{fi} = 3,5$. vgl. OIB RL 2 (2011)

4.3.1.2.1 Abschätzen der Teilsicherheitsbeiwerte für die maßgebene Variablen der Einwirkung

Die nachfolgende Abschätzung der Teilsicherheitsbeiwerte für maßgebende Variablen der Brandeinwirkung erfolgt aufgrund der ÖNORM EN 1990, Anhang C.7 und gilt als approximative Abschätzung -d.h. einer vereinfachten Analyse durch globale Sensitivitätsfaktoren α und ersetzt keine Kalibrierung nach FORM.

Bemessungsbrandszenario nach Abb.4.3: Das Versagen der Bauteile wird dabei maßgeblich durch die Variablen der **Brandlastdichte** $q_{f,k}$ [MJ/m²] und deren **maximale Energiefreisetzungsrate** $\dot{Q}_{max,k}$ [MW] im Brandabschnitt beeinflusst, die die Branddauer vorgeben, wenn $\dot{Q}_{max,d} > 20 \text{ MW}$.

Bemessungsbrandszenario nach Abb.4.4: Wenn nun brandbekämpfende Maßnahmen (Sprinkler, Feuerwehr) die Vollbranddauer verkürzen können, auf Grund einer quantifizierbaren Leistung z.B. bei $\dot{Q}_{max,d} < 20 \text{ MW}$, wird die **maximale Energiefreisetzungsrate** $\dot{Q}_{max,k}$ [MW] im Brandabschnitt, die **Brandentwicklungszeit** $t_{f5,k}$ [min] bis zum aktivieren brandbekämpfender Maßnahmen und folgender **Löschdauer** $t_{f6,k}$ [min] maßgebend für die Branddauer im Brandabschnitt, somit für das Versagen der Bauteile und nicht mehr die gesamte vorhandene Brandlast.

Hinzu kommt für beide Szenarien die **charakteristische Brandentwicklungszeit** $t_{a,k}$ [s], die in der pre- Flashoverphase für den Zeitpunkt des Beginns des Vollbrandes, somit für eine frühzeitige (schlecht/ gut) oder spätere (gut/ schlecht) Brandbeanspruchung der Bauteile / **Detektierung** ist.

Es werden **globale Teilsicherheitsbeiwerte** für die Szenarien $> 20 \text{ MW}$ und $< 20 \text{ MW}$ abgeschätzt, somit für die Ausbreitung der Brandleistung $\gamma_{fi,q}$, der Brandlastdichte $\gamma_{fi,q}$, der maximalen Energiefreisetzungsrate im Brandraum $\gamma_{fi,\dot{Q}}$. Die Brandentwicklungszeit bis zur Aktivierung der Brandbekämpfung $t_{f5,k}$ [min] und die Dauer der Brandlöschung $t_{f6,k}$ [min] werden deterministisch als Nennwerte festgelegt, da statistische Angaben fehlen.

(1) **Statistische Größen der Variablen:** Die charakteristische Brandlastdichte $q_{f,k}$ (**hat keinen Einfluss auf das Bemessungsbrandszenario nach Abb.4.4.**) in Wohnnutzungen beträgt nach ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang E.2.5 „Klassifizierung der Brandlast nach Nutzungseinheiten“ mit einem 80 % Quantilwert $q_{f,k} = 948 \text{ MJ/m}^2$, bei einem Mittelwert von $q_{f,k} = 780 \text{ MJ/m}^2$ einer Gumbelverteilung. **Die maximale Energiefreisetzungsrate** bezogen auf die Grundfläche wird nach ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang E.4 „Wärmefreisetzungsraten \dot{Q} “ mit $\dot{q}_{f,k} = 0,25 \text{ MW/m}^2$ angegeben. Die statistische Verteilung der Variable folgt nach Hosser et al. einer Gumbelverteilung. Je größer die beiden Variablen nun im Bezugszeitraum streuen, desto höher wird der Teilsicherheits beiwert auf Grund des Variationskoeffizienten V ausfallen.

Der Variationskoeffizient der Brandlast V_q wird nach Hosser et al. mit $V_q = 0,3$ angegeben und basiert auf Untersuchungen von Fontana. Für die im Zeitraum schwankende Brandlast wird nutzungsunabhängig angenommen, dass deren Heizwert relativ konstant bleibt, da die Eigenschaften der nutzungsabhängigen Brandlast sich nicht wesentlich ändern. **Der Variationskoeffizient der Energiefreisetzungsrates $V_{\dot{Q}}$** ist damit nach Untersuchungen von Hosser, auf Grund gleichbleibender Eigenschaften (Heizwert H_u) geringer als der, der Brandlast und wird mit $V_{\dot{Q}} = 0,2$ angenommen. **Der Variationskoeffizient der Brandausbreitungsgeschwindigkeit V_{u_a}** wird nach Hosser et al. mit $0,15$ angenommen, siehe Tab.3.11. Die statistische Verteilung der Variablen wird dabei mit einer Lognormalverteilung nach ÖNORM EN 1990, Tabelle C.3 "Bemessungswerte für verschiedene Verteilungsfunktionen" vorgeschlagen, wenn $V < 2,0$. Nach aktuelleren Untersuchungen von Hosser et al. wird eine Normalverteilung angenommen. vgl. Hosser et al. (2009), (S.91f, S.100); vgl. Klein (2009), (S.161); vgl. DIN EN 1991-1-2 (2010), Anhang BB.5; vgl. Fontana (1996)

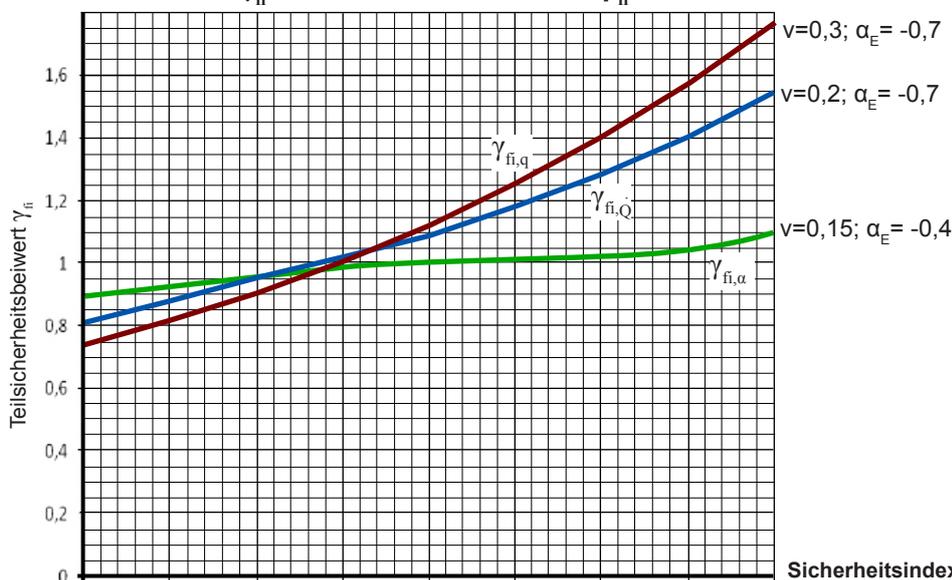
(1.1) Die Ermittlung des Teilsicherheitsbeiwertes aufgrund einer normalverteilten Variable:

$$\gamma_{fi} = \frac{1 + \alpha * \beta_{fi} * V}{1 + 0,84162 * V} \tag{Gl.4.2.3.17}$$

Die Brandentwicklungszeit bis zum Beginn der Löschmaßnahmen $t_{f5,k}$ [min] wird auf Grund von Expertenaussagen*, siehe Kapitel 3.2.8.1.09, als charakteristischer Wert mit $t_{f5,k} = 30$ Minuten vorgeschlagen und im Sicherheitskonzept als Bemessungswert $t_{f5,d}$ [min] übernommen. **Die Brandbekämpfungzeit $t_{f6,k}$ [min]**, wird aufgrund von Expertenaussagen*, siehe Kapitel 3.2.8.1.10, bei bis zu $Q_{f,k} < 20$ MW Brandgeschehen als charakteristischer Wert mit $t_{f6,k (< 20MW)} = 35$ Minuten vorgeschlagen und im Sicherheitskonzept als Bemessungswert $t_{f6,d}$ [min] übernommen.

(1.2) globale Sensitivitätsfaktoren: Der Anteil der maßgebenden Variablen der Brandeinwirkung am Versagen der Bauteile wird mit dem Sensitivitätsfaktor α_E , von der ÖNORM EN 1990, Anhang C.7 „Verfahren zur Kalibration der Bemessungswerte“, global für die Einwirkungsgrößen mit $\alpha_E = -0,7$ und für die Widerstandsgrößen mit $\alpha_R = 0,8$ angegeben, wenn die Bedingung $0,16 < \sigma_E / \sigma_R < 7,6$ eingehalten wird. Damit wird nachweislich bei den praktisch vorkommenden Streuungsverhältnissen von Widerstand und Einwirkung der erforderliche Zuverlässigkeitsindex β eingehalten. Wenn die Bedingung nicht erfüllt ist, sollte $\alpha = \pm 1,0$ für die Variable mit der größeren Standardabweichung und $\alpha = \pm 0,4$ für die Variable mit der kleineren Standardabweichung benutzt werden. Für Begleiteinwirkungen kann $\alpha = \pm 0,28$ angesetzt werden. Die globalen Sensitivitätsfaktoren leiten sich dabei nach Untersuchungen von Pottharts ab und sind ebenfalls in der ISO 2394 aufgenommen worden. vgl. Pottharts (1977); vgl. ISO 2394 (1998), (S.59); vgl. Fischer (2001), (S.144); vgl. ÖNORM EN 1990 (2013), Anhang C.7

(1.3) Die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{fi} für 80 % Quantile bei $0 < \beta_{fi} < 4,0$ nach Gl.4.2.3.14 und -17:



Ermittelte Teilsicherheitsbeiwerte γ_{fi} auf Grund unterschiedlicher Sicherheitsindizes. Abb.4.26

(1.4) Berücksichtigung von Unsicherheiten im Berechnungsmodell der Einwirkung:

Ein γ_{sd} zur Berücksichtigung von Unsicherheiten im Berechnungsmodell der Einwirkung entfällt für die globale Abschätzung nach ÖNORM EN 1990, Anhang C.7. vgl. Schleich (2001), (S.30)

(2) Globale Teilsicherheitsbeiwerte maßgebender Variablen aufgrund β_{fi} :

(2.1) Die Bemessungsbrandlastdichte $q_{f,d}$ der Wohnung für $\beta_{fi, \text{Wohnen}} = 2,62$ wurde global abgeschätzt aufgrund des Bemessungsbrandszenarios nach Abb.4.3, -d.h. wenn $\dot{Q}_{\max,d} > 20 \text{ MW}$:

$$q_{f,d} = q_{f,k} * \chi * \gamma_{fi,q} \quad [\text{MJ/m}^2] \quad \text{vgl. (Gl.4.2.3.10)}$$

$$q_{f,d} = 948 * 0,8 * \mathbf{1,28} = \underline{\underline{970,8 \text{ MJ/m}^2}}$$

Dabei ist:

- $q_{f,k}$ charakteristische Brandlastdichte [MJ/m^2] im Brandraum als 80 % Quantil mit 948 MJ/m^2 ;
- χ Verbrennungseffektivität von Feststoffen, $\chi = 0,8$ nach ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang E.4;
- $\gamma_{fi,q}$ Teilsicherheitsbeiwert der charakteristischen Brandlastdichte mit $\mathbf{1,28}$ nach Abb.4.26.

(2.1) Die Bemessungsbrandentwicklungszeit $t_{\alpha,d}$ der Wohnung für $\beta_{fi, \text{Wohnen}} = 2,62$ wurde global abgeschätzt für Bemessungsbrandszenarien bei denen der Zeitpunkt einer Detektierung des Brandgeschehens durch einen Flashover im Raum wichtig für die Alarmierung der Feuerwehr ist (Einleiten der Brandbekämpfung) oder wenn die Höhe der Energiefreisetzungsrate pro Zeit im Brandabschnitt ermittelt werden soll, die zum Zeitpunkt des auslösens einer Sprinkleranlage vorhanden ist.

$$t_{\alpha,d} = 300 * \mathbf{1,0} = \underline{\underline{300 \text{ s}}} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.3.10)}$$

Dabei ist:

- $t_{\alpha,k}$ charakteristische Brandausbreitungsgeschwindigkeit für die Nutzung Wohnen bis Erreichen 1 MW als Mittelwert mit 300 s ;
- $\gamma_{fi,\alpha}$ Teilsicherheitsbeiwert der charakteristischen Brandentwicklungszeit mit $\mathbf{1,0}$ nach Abb.4.26.

(2.3) Die maximale Bemessungsenergiefreisetzungsrates $\dot{Q}_{\max,d}$ der Wohnung für $\beta_{fi, \text{Wohnen}} = 2,62$ wurde global abgeschätzt für das Bemessungsbrandszenario nach Abb.4.4, -d.h. wenn $\dot{Q}_{\max,d} < 20 \text{ MW}$:

$$\dot{Q}_{\max,d} = \dot{Q}_{\max,k} * \mathbf{1,21} \leq \underline{\underline{20 \text{ MW}}} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.3.10)}$$

Dabei ist:

- $\dot{Q}_{\max,k}$ charakt. maximale Energiefreisetzungsrate im Brandraum aus $\text{MIN} \{ \dot{Q}_{\max,f}; \dot{Q}_{\max,v} \}$;
- $\gamma_{fi,\dot{Q}}$ Teilsicherheitsbeiwert der max. charakt. Energiefreisetzungsrate mit $\mathbf{1,21}$ nach Abb.4.26..

(2.4) Die Bemessungsbrandentwicklungszeit bis zum Beginn der Löschmaßnahmen $t_{f5,d}$ [min] durch die Löschbereitschaft der Berufsfeuerwehr Wien:

$$t_{f5,k} = t_{f5,d} = \underline{\underline{30 \text{ Minuten}}}$$

(2.5) Die Bemessungsbrandbekämpfungszeit $t_{f6,d}$ [min] der Löschbereitschaft der Berufsfeuerwehr Wien wenn $\dot{Q}_{\max,d} < 20 \text{ MW}$:

$$t_{f6,k} = t_{f6,d} = \underline{\underline{35 \text{ Minuten}}}$$

Fazit: Die vereinfachte Analyse durch globale Sensitivitätsfaktoren α ist hiermit erfolgt. Diese ersetzt keine Kalibrierung der Teilsicherheitsbeiwerte für die verschiedenen Brandszenarien, dient aber zur globalen Festlegung von Teilsicherheitsbeiwerten nach normativen Vorgaben.

4.3.1.2.2 Kalibrieren der Teilsicherheitsbeiwerte für die maßgebende Einwirkung

In einer Forschungsarbeit von Hosser et al. „Sicherheitskonzept zur Brandschutzbemessung“ wurde der Sensitivitätsfaktor α_E für den Lastfall Brand anhand der Stufe- III Methode nach ÖNORM EN 1990, Anhang C.4, für das **Bemessungsbrandszenario nach Abb.4.3** kalibriert. Die maßgebenden Variablen dabei sind die **charakteristische Brandlastdichte und deren maximale Energiefreisetzungsrate** im Brandabschnitt. vgl. Hosser et al. (2009)

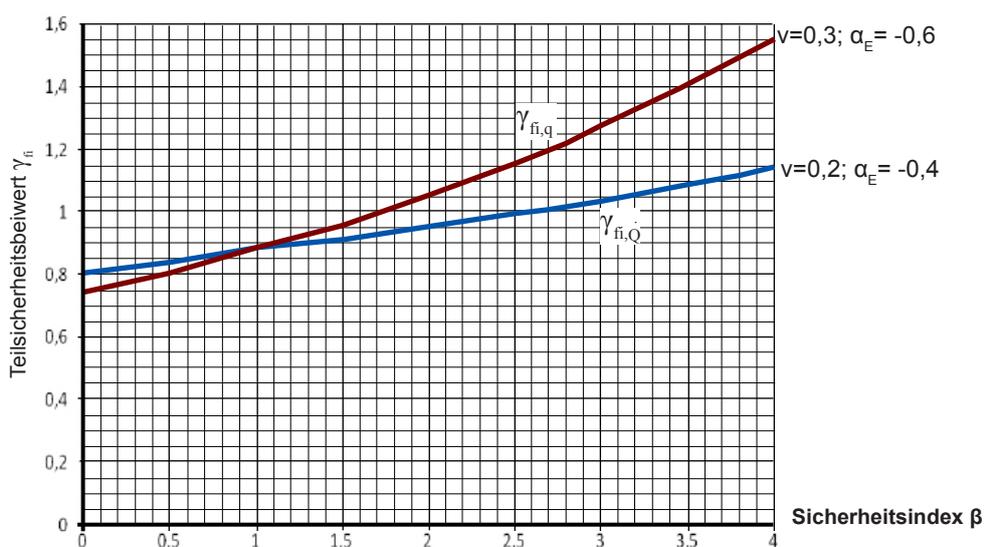
Anwendungsgrenzen: Die nun kalibrierten Bemessungswerte der Variablen können nicht für das Bemessungsbrandszenario nach Abb.4.4 angewendet werden. Die Variablen sind als maßgebende Variablen im Brandgeschehen beim Versagen, von mit baustoffspezifischen EUROCODES bemessenen Stahlbeton- und Stahl- (geschützt mit GKF- Platten) -Stütze und -Träger, sowie bei Holzträger und - Stütze die Abbrandrate und die mechanische Einwirkung, identifiziert mit Materialeigenschaften, der Bauteile mit 5 % Quantile, baustoffübergreifend. Die Kalibrierung erfolgte für die Nutzungen Wohnen, Verkaufsstätte und Industriehalle, in unterschiedlichen Brandabschnittsgrößen (35 m², 200 m², 2.400 m²), bei einer Normbrandeinwirkung nach ETK, sowie nach parametrischer Temperaturzeitkurve nach DIN EN 1991- 1- 2/ NA; Anhang AA für 30, 60 und 90 Minuten Feuerwiderstandsdauern.

Sensitivitätsfaktoren: Dabei wurde baustoffübergreifend die Brandlastdichte, für Balken und Stützen, als maßgebende Variable beim Versagen mit einem Anteil von $\alpha_q = -0,6$, ein Anteil der Energiefreisetzungsrate als zweite maßgebende Variable von $\alpha_{\dot{Q}} = -0,4$, als ungünstigste Sensitivitätsfaktoren ermittelt.

Der Teilsicherheitsbeiwert γ_{sd} entfällt nach Hosser et al. auf Grund der Genauigkeit des Berechnungsmodells. vgl. Hosser et al. (2009), (S.91)

Auf der Widerstandsseite werden die Teilsicherheitsbeiwerte einheitlich mit $\gamma_M = 1,0$ angegeben, so dass α_R keine Bedeutung bei der Ermittlung der Zuverlässigkeit des Tragwerkes im Brandfall zukommt, wie bereits beschrieben. Nicht geeignet ist das Sicherheitskonzept somit für Rahmenkonstruktionen oder komplexe Tragsysteme mit Zwängungen, hier können andere Einwirkungsgrößen im Brandfall maßgebend werden z.B. mechanische Einwirkung, etc und allgemein ungeschützte Stahlbauteile. Für Wohn- und Büronutzungen mit einfachen Tragstrukturen aus Träger und Balken (auch Platten) mit einem Verformungsverhalten vorwiegend auf Biegung können die kalibrierten Sensitivitätsfaktoren verwendet werden.

Teilsicherheitsbeiwerte γ_{fi} für 80 % Quantile bei $0 < \beta_{fi} < 4,0$ nach Gl.4.2.3.14 grafisch:



Ermittelte Teilsicherheitsbeiwerte γ_f auf Grund unterschiedlicher Sicherheitsindizes. Abb.4.27

Da, die in der Forschungsarbeit nach Hosser et al. angegebenen Anwendungsgrenzen (Nutzung, Brandabschnittsgröße, Bauteile, Baustoffe) innerhalb der vorangegangenen Beispielberechnung „Wohnen 7.OG“ liegen, ist nachfolgend die Berechnung der Teilsicherheitsbeiwerte für die maßgebenden charakteristischen Variablen angepasst nach dem Bemessungsbrandszenario in Abb.4.3, -d.h. wenn $\dot{Q}_{max,d} > 20 \text{ MW}$.

(1) Die Bemessungsbrandlastdichte $q_{f,d}$ für die Wohnung mit $\beta_{fi, \text{Wohnen}} = 2,62$:

:

$$q_{f,d, \text{Wohnen}} = 948 * 1,19 * 0,8 = \underline{902,49 \text{ MJ/m}^2} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.3.10)}$$

Dabei ist:

$q_{f,d}$ Bemessungsbrandlastdichte [MJ/m²];

$q_{f,k}$ charakteristische Brandlastdichte [MJ/m²] im Brandraum als 80 % Quantil der statistischen Verteilung nach ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang E.2.5;

χ Verbrennungseffektivität von Feststoffen, $\chi = 0,8$ nach ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang E.4;

$\gamma_{fi,q}$ Teilsicherheitsbeiwert der charakteristischen Brandlastdichte mit: **1,19** nach Gl.4.2.3.14.

(2) Die maximale Bemessungsenergiefreisetzungsrate $\dot{Q}_{max,d}$ für die Wohnung mit $\beta_{fi, \text{Wohnen}} = 2,62$:

$$\dot{Q}_{max,d, \text{Wohnen}} = \dot{Q}_{max,k} * \mathbf{1,01} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.3.10)}$$

Dabei ist:

$\dot{Q}_{max,k}$ MIN { $\dot{Q}_{max,f,k}$; $\dot{Q}_{max,v,k}$ };

$\gamma_{fi,Q}$ Teilsicherheitsbeiwert der maximalen charakt. Energiefreisetzungsrate: **1,01** nach Gl.4.2.3.14.

Fazit: Im Zuge der Normungsarbeit könnten die kalibrierten Sensitivitätsfaktoren für die Variablen der Brandeinwirkung, der Brandlast und deren maximale Energiefreisetzungsrate im Brandverlauf nach Hosser et al. für einfache Tragwerke, vorwiegend im Wohn- und Bürobau bis zur Gebäudeklasse 5 eingeführt werden, wenn quantifizierbare Löschdauern von Brandbekämpfungsmaßnahmen erst in der Abklingphase des Brandgeschehens maßgebend werden -d.h. > 20 MW Brandleistung im Raum.

(5) Vergleich der Teilsicherheitsbeiwerte der Beispielberechnung „Wohnen b 7.OG“ für 80 % Quantile nach dem Bemessungsbrandszenario nach Abb.4.3 bei $\dot{Q}_{max,d} > 20 \text{ MW}$:

Brandabschnitt	Teilsicherheitsbeiwerte für die maßgebene Einwirkung im Brandfall				
	ÖNORM B 1991- 1- 2 Anhang E.1	ÖNORM B 1990 (global α)		ÖNORM B 1990 (α kalibriert nach Hosser)	
	$\gamma_{fi,q}$ (mit Brandbekämpfung)	$\gamma_{fi,q}$	$\gamma_{fi,Q}$	$\gamma_{fi,q}$	$\gamma_{fi,Q}$
„Wohnen b 7.OG“	0,72	1,28	1,21	1,19	1,01

Tab.4.23: Teilsicherheitsbeiwerte für die maßgebenden Einwirkungen im Brandfall

Fazit globale Teilsicherheitsbeiwerte: Grundsätzlich kann eine Abschätzung aufgrund einer probabilistischen Bemessung mit den globalen Sensitivitätsfaktoren α der ÖNORM EN 1990, Anhang C.7 erfolgen.

Die maximale Bemessungsenergiefreisetzungsrate im Brandabschnitt, ist auf Grund globaler Teilsicherheitsbeiwerte nach ÖNORM EN 1990, um den Sicherheitsindex β_{fi} des Tragwerkes im Brandfall zu erreichen, sehr hoch. Die charakteristische Energiefreisetzungsrate $\dot{Q}_{max,k}$ [MW] im Brandraum muss somit ca. 1/4 unter der geforderten Bemessungsbrandleistung $\dot{Q}_{max,d} < 20 \text{ MW}$ für das Bemessungsbrandszenario nach Abb.4.4 liegen.

Fazit kalibrierte Teilsicherheitsbeiwerte: Durch die Forschungsarbeit von Hosser et al. können die globalen Sensitivitätsfaktoren für den außergewöhnlichen Lastfall Brand angepasst werden, wenn brandbekämpfende Maßnahmen erst in der Abklingphase des Brandgeschehens wirksam werden. Es stehen somit kalibrierte Teilsicherheitsbeiwerte für die charakteristische Brandlastdichte als maßgebende Variable und deren maximaler Energiefreisetzungsrate im Brandabschnitt nach dem Bemessungsbrandszenario in Abb.4.3 zur Verfügung. Eine Kalibration von Teilsicherheitsbeiwerten nach Abb.4.4 für die Brandentwicklungszeit bis zum Flashover bzw. bis Löschbeginn und der Brandbekämpfungszeit aufgrund einer vorhandenen Brandleistung im Brandabschnitt z.B. für eine Berufsfeuerwehr, ist bislang nicht erfolgt. Hierzu müssten statistische Grundlagen in Zusammenarbeit mit den Feuerwehren geschaffen werden, um z.B. auch vorhandene Expertenmeinungen über Löschleistungen der Feuerwehren statistisch zu untermauern.

4.3.2 Sicherheitskonzept nach DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang BB.5

4.3.2.1 Entwicklung des Sicherheitskonzeptes

Das Sicherheitskonzept im Anhang BB.5 wurde von Hosser et al. entwickelt, da in Deutschland der Anhang E.1 der EN 1991- 1- 2 im nationalen Anhang nicht erlaubt wurde. Die Tabellenwerte zur Ermittlung der Bemessungsbrandlast als wesentliche Einflussgröße der Brandeinwirkung auf Bauteile, wurde in der Praxis in Deutschland nicht ausreichend nachvollzogen. Das neu entstandene Sicherheitskonzept beruht somit teilweise auf anderen statistischen Eingangswerten und ermöglicht neben der Kalibrierung der charakteristischen Brandlastdichte auch die der Energiefreisetzungsrates als nachfolgende Einflussgröße. Das Sicherheitskonzept nach der DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang BB.5 ist somit für das **Brandszenario nach Abb.4.3 -d.h $\dot{Q}_{\max,d} > 20 \text{ MW}$** anwendbar und wird hier ergänzend vorgestellt. vgl. Hosser et al. (2009); vgl. DIN EN 1991- 1- 2/ NA (2010), Anhang BB.5

(1) Der Bemessungswert der Brandlastdichte $q_{f,d}$ definiert sich nach DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang BB.3 „Brandlastdichte“ aus:

$$q_{f,d} = q_{f,k} * \chi * \gamma_{fi,q} \quad [\text{MJ/m}^2] \quad (\text{Gl.4.2.3.17})$$

Dabei ist:

- $q_{f,d}$ Bemessungsbrandlastdichte [MJ/m^2];
- $q_{f,k}$ charakteristische Brandlastdichte [MJ/m^2] im Brandraum als 90 % Quantil nach DIN EN 1991- 1- 2/NA, Anhang BB.3.2;
- χ Verbrennungseffektivität von Feststoffen, $\chi = 0,8$ nach DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang BB.4;
- $\gamma_{fi,q}$ Teilsicherheitsbeiwert nach DIN EN 1991- 1- 2, Anhang BB.5.3.

(2) Der Bemessungswert der maximalen Energiefreisetzungsrates definiert sich nach DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang BB.4 „Wärmefreisetzungsrates“ aus:

$$\dot{Q}_{\max,d} = \dot{Q}_{\max,k} * \gamma_{fi,\dot{Q}} \quad [\text{MW}] \quad (\text{Gl.4.2.3.18})$$

Dabei ist:

- $\dot{Q}_{\max,k}$ $\min \{ \dot{Q}_{\max,f,k} ; \dot{Q}_{\max,v,k} \}$, der kleinere Wert ist die maximale Energiefreisetzungsrates im Brandraum;
- $\dot{Q}_{\max,v,k}$ ventilationsgesteuerter Brandverlauf;
- $\dot{Q}_{\max,f,k}$ brandlastgesteuerter Brandverlauf;
- $\gamma_{fi,\dot{Q}}$ Teilsicherheitsbeiwert nach DIN EN 1991- 1- 2, Anhang BB.5.3.

(3) **Die Auftretenswahrscheinlichkeit P_{fi}** eines Brandes in einer Nutzungseinheit im Jahr definiert sich im Sicherheitskonzept der DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang BB.5 „Sicherheitskonzept“ über die jährliche Brandentstehungshäufigkeit nach Nutzungseinheit und Fläche, die Ausfallwahrscheinlichkeit der manuellen Brandbekämpfung durch die Selbsthilfe der Nutzer und/ oder der Feuerwehr, zudem kann die Ausfallwahrscheinlichkeit der Brandbekämpfung durch eine automatische Löschanlage berücksichtigt werden, falls vorhanden. Darüber hinaus kann die Verlangsamung der Brandausbreitungsgeschwindigkeit durch zellenartige Strukturen erfolgen, wenn vorhanden, dies wird durch einen Exponenten b ausgedrückt, der die jährliche Brandentstehungshäufigkeiten nach Nutzungseinheit und Fläche p_1 abmindert. Es ergibt sich für P_{fi} : vgl. Schneider et al. (2008), (S.429); vgl DIN EN 1991- 1- 2, Anhang BB

$$P_{fi} = (p_1^b) * p_2 * p_3 \quad (\text{Gl.4.2.3.19})$$

Dabei ist:

- p_1 jährliche Brandentstehungshäufigkeit nach Nutzungseinheit und Fläche mit $A * \lambda_1$ oder $1/a$;
- p_2 die Ausfallwahrscheinlichkeit der manuellen Brandbekämpfung; (Nutzer, Feuerwehr) und
- p_3 die Ausfallwahrscheinlichkeit der Brandbekämpfung durch eine automatische Löschanlage im Anforderungsfall nach Tabelle BB.4; siehe Kapitel 3.2.3.1.10 (3);
- b der von der Unterteilung der Nutzungseinheit abhängige Exponent nach Tabelle BB.3.

(4) Die Ermittlung der bedingten Versagenswahrscheinlichkeit $P_{f,fi}$ im Brandfall erfolgt nach Gl.4.2.3.15 und Gl.4.2.3.16.

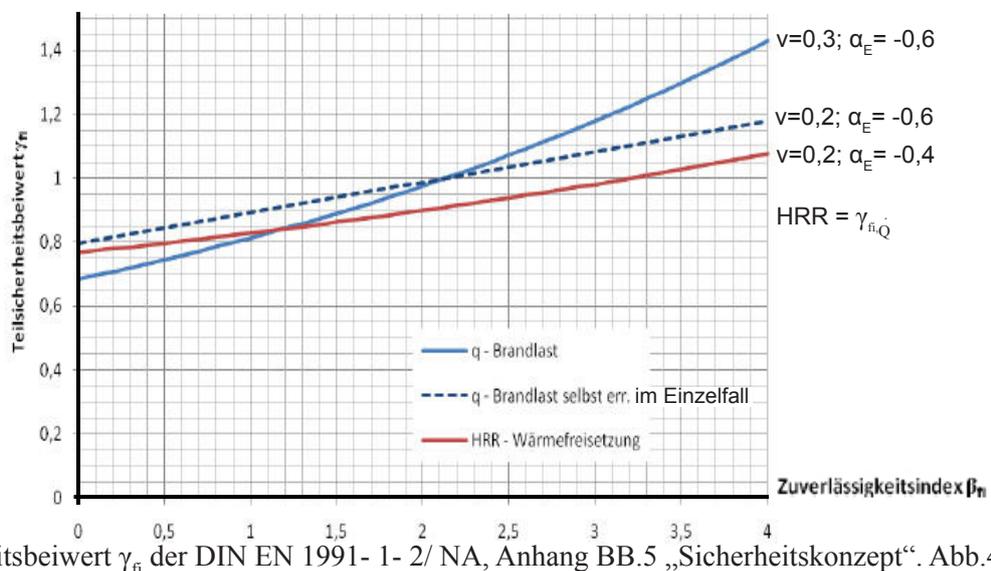
Dabei ist:

- Φ Standard- Normalverteilungsfunktion;
- V_q Variationskoeffizient der charakt. Brandlastdichte mit $V_q = 0,3$; im Einzelfall mit $V_q = 0,2$, sowie,
- V_Q Variationskoeffizient der Energiefreisetzungsrate mit $V_Q = 0,2$ nach Hosser et al. (2009);
- $\alpha_{fi,q}$ - 0,6 Sensitivitätsfaktor der Brandlastdichte nach Hosser et al. (2009);
- $\alpha_{fi,Q}$ - 0,4 Sensitivitätsfaktor der Energiefreisetzungsrate nach Hosser et al. (2009).

(5) Teilsicherheitsbeiwerte für 90 % Quantilwerte bei $0 < \beta > 4,0$ grafisch nach Gl.4.2.3.14:

Dabei ist:

$\Phi(-\beta_k)$ charakteristische Einwirkung mit 90 % Quantil einer Normalverteilung = 1.2816;



Teilsicherheitsbeiwert γ_{fi} der DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang BB.5 „Sicherheitskonzept“. Abb.4.28

4.3.2.2 Anwendungsgrenzen

- Das Sicherheitskonzept ist beschränkt auf Brandabschnittsgrößen kleiner 2.400 m², bei einer Brandlastdichte von maximal $q_{f,k} = 1.180$ MJ/m² für die Nutzungen Wohnen, Retail und Industrieb.
- Es wurden keine ventilationsgesteuerten Brandversuche in der Forschungsarbeit von Hosser et al. zur Kalibrierung der Wichtungsfaktoren α durchgeführt, es wird davon ausgegangen, dass der brandlastgesteuerte Brandverlauf die größte Brandbeanspruchung für Bauteile darstellt.
- Die Teilsicherheitsbeiwerte für die maßgebenden Einwirkungsgrößen, der Brandlastdichte und deren max. Energiefreisetzungsrate sind für die Baustoffe Holz, Stahlbeton und Stahl (geschützt) im Brandraum, für Balken und Stützen (somit auch Platten) nach Brandeinwirkung durch die ETK und der parametrischen Temperatur- Zeiturve kalibriert, bei einer Dimensionierung nach den baustoffspezifischen EUROCODES mit Materialeigenschaften der 5 % Quantile.
- Nicht geeignet ist das Sicherheitskonzept somit für Rahmen oder komplexe Tragsysteme mit z.B. Zwängungen, hier können andere Einwirkungsgrößen im Brandfall maßgebend werden z.B. Eigengewichts- oder Nutzlasten etc.
- Die Verbrennungseffektivität (Abbrandfaktor) ist dabei mit $\chi = 0,8$ angegeben. Bei überwiegend zelluloseartigen Brandlasten im Brandraum, kann die Verbrennungseffektivität mit $\chi = 0,7$ angenommen werden. Der Wert 0 bedeutet keinen Abbrand, der Wert 1,0 bedeutet einen vollständigen Abbrand der Brandlast. vgl. Dehne (2003), (S.160); vgl. Schneider et al. (2008), (S.134)
- Es werden Brandabschnitte mit und ohne zellenartige Strukturen unterschieden, so dass eine Verzögerung der Brandausbreitungsgeschwindigkeit im Brandabschnitt, z.B. bei zellenartigen Brandabschnitten mit dem Exponenten b kalkuliert werden kann.

Anmerkung: Die statistischen Erhebungen zur Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit der Brandbekämpfungsmaßnahmen p_2 durch Nutzer und der Feuerwehr, siehe Kapitel 3.2.8.1.10, (4) "Löschers- bzw. Ausfallwahrscheinlichkeit manueller Brandbekämpfung", können im Zuge dieser Arbeit nicht in der Praxis für Österreich beurteilt werden, so dass hier keine Wertung erfolgen kann. Ebenfalls wird der Beiwert b zur Berücksichtigung zellenartiger Brandabschnitte zu diesem Zeitpunkt nicht weiter untersucht.

Beispielberechnung:

(1) Der Zielwert der bedingten Versagenswahrscheinlichkeit des Tragwerks im Brandfall $P_{f,fi}$ und der Sicherheitsindex β_{fi} für die Beispiele: „Wohnen b, 7.OG“ mit 61,6 m² Brandabschnittsgröße und „Büro rechts“ mit 323,0 m² Brandabschnittsgröße (Projektbeispiel aus Kapitel 4.2.5.3.5 Beispielberechnung äquivalente Branddauer) ist:

(1.1) Sicherheitsindex β_{fi} für „Wohnen b, 7.OG“:

$$P_{f,fi} = 1,3 * 10^{-5} / (((4,8 * 10^{-5})^{0,9}) * 61,6) * 0,5 = \underline{3,3 * 10^{-3}} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.6.15)}$$

$$\beta_{fi} = \underline{2,70} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.6.16)}$$

(1.2) Sicherheitsindex β_{fi} für „Büro rechts“:

$$P_{f,fi} = 1,3 * 10^{-5} / (((5,9 * 10^{-5})^{0,9}) * 323) * 0,5 = \underline{7,9 * 10^{-3}} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.6.15)}$$

$$\beta_{fi} = \underline{2,94} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.6.16)}$$

Dabei ist:

- P_f RC 1 mit $P_f = 1,3 \text{ E}^{-05}$ für Gebäude der Gebäudeklasse 5; $\beta = 4,2$; Tabelle BB.5;
- P_{fi} Brandentstehungshäufigkeit für Wohnnutzung: $4,8 \text{ E}^{-05} [1/(\text{m}^2 * \text{a})]$, Tabelle BB.3;
Brandentstehungshäufigkeit für: Büronutzung: $5,9 \text{ E}^{-05} [1/(\text{m}^2 * \text{a})]$, Tabelle BB.3;
- b zellenartige Brandabschnitte, Raumzellen $b = 0,9$ lt. DIN EN 1991- 1- 2/NA, Tabelle BB.3;
- p_2 Ausfallwahrscheinlichkeit der manuellen Brandbekämpfung, Feuerwehr $p_2 = 0,5$, Tabelle BB.4.

(2) Die Teilsicherheitsbeiwerte zur Festlegung von Bemessungswerten für die Brandlastdichte $\gamma_{fi,q}$ und deren maximaler Bemessungsenergiefreisetzungsrate $\gamma_{fi,Q}$ können für 90 % Quantile nach Abb.4.28 abgelesen werden.

(2.1) Teilsicherheitsbeiwerte für „Wohnen b, 7.OG“ für 80 % Quantil:

$$\gamma_{fi,q} = \underline{1,2} \quad (\text{lt. Abb.4.27 abgelesen})$$

$$\gamma_{fi,Q} = \underline{1,0} \quad (\text{lt. Abb.4.27 abgelesen})$$

(2.1) Teilsicherheitsbeiwerte für „Büro rechts“ für 80 % Quantil:

$$\gamma_{fi,q} = \underline{1,25} \quad (\text{lt. Tab.4.27 abgelesen})$$

$$\gamma_{fi,Q} = \underline{1,05} \quad (\text{lt. Tab.4.27 abgelesen})$$

Anmerkung: Die Ergebnisse der Berechnung der Teilsicherheitsbeiwerte γ_{fi} inkludieren nun die Löscherfolgswahrscheinlichkeit brandbekämpfender Maßnahmen. Eine quantitative Aussage über die Löschdauer erfolgt dabei nicht.

Der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{fi,q}$ in (2.1) ist deutlich höher als nach dem globalen Sicherheitskonzept der ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang E.1 in **Tab.4.23, Spalte 1**.

Die Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{fi,q}$ und $\gamma_{fi,Q}$ in (2.1) sind in etwa gleich denen in **Tab.4.23, Spalte 3**, was auf einen nur geringen Einfluss der Versagenswahrscheinlichkeit der Feuerwehr im Sicherheitskonzept der DIN EN 1991-1- 2/ NA, Anhang BB.5 hindeutet.

Fazit: Das Sicherheitskonzept der DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang BB.5 stellt eine deutliche Verbesserung gegenüber dem Sicherheitskonzept der ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang E.1 dar, indem es die semi- probabilistische Berechnungsmethode für die Festlegung von Teilsicherheitsbeiwerten der maßgebenden Variablen der Einwirkung nach EN 1990, Anhang B „Behandlung der Zuverlässigkeit im Bauwesen“, Anhang C „Grundlagen für die Bemessung mit Teilsicherheitsbeiwerten und die Zuverlässigkeitsanalyse“ und Anhang D „Versuchsgestützte Bemessung“ anwenderfreundlich macht.

Es können aktuelle statistische Erhebungen über die Brandhäufigkeit in Nutzungen in einer Stadt oder einem Land direkt in die Berechnung des Zielwertes der Zuverlässigkeit des Tragwerkes im Brandfall, des Sicherheitsindex β_{fr} , einfließen, so dass die Teilsicherheitsbeiwerte zur Festlegung der Bemessungsbrandlastdichte und deren maximaler Bemessungsenergiefreisetzungsrates, nach dem Brandszenario in Abb.4.3, projektspezifisch bestimmt werden können. Somit ist das Sicherheitsniveau auf Grund steigender Anforderungen anpassbar.

4.3.3 Zusammenfassung

Das globale Sicherheitskonzept der ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang E.1 hat durch die starke Differenzierung der Brandschutzmaßnahmen δ_{qn} (Ausfallwahrscheinlichkeit) stark reduzierte Teilsicherheitsbeiwerte, die für Wien keine auf der sicheren Seite liegende Dauer der Brandeinwirkung auf Bauteile erlaubt, gerade weil der Beginn und die Dauer der Brandbekämpfungszeit der Berufsfeuerwehr Wien zur Zeit statistisch nicht ausreichend erfasst sind, siehe Kapitel 3.2.8.1 "Abwehrender Brandschutz". Es erfolgte somit keine Beurteilung im Zuge der bisherigen Normungsarbeit.

Das semi- probabilistische Sicherheitskonzept der DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang BB.5 zur Ermittlung der Bemessungsbrandeinwirkung auf Bauteile ist ebenfalls durch die Ausfallwahrscheinlichkeit von Brandbekämpfungsmaßnahmen beeinflusst, so dass eine Beurteilung dieser Maßnahmen für Österreich im Zuge der Normungsarbeit erfolgen sollte.

Die Anwendung der ÖNORM EN 1990, Anhang B, C, D ermöglicht eine im Gegensatz zur ÖNORM EN 1991- 1- 2, Anhang E.1 konservative Festlegung globaler Teilsicherheitsbeiwerte maßgebender Variablen der Brandeinwirkung durch Vorgabe eines Sicherheitsindex im Brandfall für das individuelle Projekt.

Die Teilsicherheitsbeiwerte können dabei global mit der ÖNORM EN 1990, Anhang C.7 abgeschätzt werden, was jedoch bei großen Brandabschnitten zu unrealistisch hohen Teilsicherheitsbeiwerten führen kann. Eine Festlegung von globalen Teilsicherheitsbeiwerten für maßgebliche Variablen der Brandeinwirkung kann aufgrund eines Brandszenarios (z.B. Bemessungsbrandszenario < 20 MW oder > 20 MW) jedoch erfolgen um eine ausreichende Zuverlässigkeit des Tragwerkes im Brandfall zu erreichen.

Anmerkung:

Die vorgestellte semi- probabilistische Methode zur Festlegung globaler Teilsicherheitsbeiwerte charakteristischen Einwirkungsgrößen im Brandgeschehen z.B. nach dem Brandszenario nach Abb.4.4 eignet sich für die Berechnungsmodelle der parametrischen Temperatur- Zeitkurve und der Energiefreisetzungskurve im Bemessungsbrand nach Kapitel 4.1 „Naturbrand in geschlossenen Räumen definiert als Bemessungsbrand“. Diese werden nachstehend betrachtet.

4.3.4 Parametrische Temperaturzeitkurve nach DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang AA

In der Berechnungsmethode der parametrischen Brandkurven nach der DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang AA.4 muss zunächst für den zu bemessenen Brandabschnitt eine Brandlastdichte von 1.300 MJ/m² eingesetzt werden. Die erhaltenen Referenzwerte sind die maximale Beschreibung des Brandverlaufes. Danach lassen sich für beliebige Brandlastdichten die Temperaturzeitverläufe im Brandraum bestimmen. Die parametrische Temperaturzeitkurve ist dabei durch markante Punkte zu den Zeitpunkten t₀, t₁, t₂ und t₃ begrenzt, die sich aus dem Verlauf der Wärmefreisetzungsrate ergeben.

4.3.4.1 Entwicklung der Parametrische Brandkurven

Die parametrischen Temperaturzeitkurve nach der DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang AA wurde von Zehfuß entwickelt, da die parametrischen Temperaturzeitkurve der EN 1991- 1- 2, Anhang A unzureichende Angaben über den tatsächlichen Brandverlauf im Raum macht, wie bereits im vorigen Kapitel dargestellt.

4.3.4.2 Anwendungsgrenzen

Grundfläche A_f = 12,5 m² bis 400 m², Raumhöhe H = 2,50 m bis 4,0 m, Öffnungsfläche A_w = 1/8 A_f bis 1/2 A_f, Öffnungshöhe Fenster (Ventilationsöffnung) h_w = 0,5 m bis 2,3 m, Brandlastdichte q = 100 MJ/m² bis 1300 MJ/m², thermische Eigenschaft der Umfassungsbauteile b = 500 bis 2.500 J/[J/(m²s^{1/2} K)]. Die Standardabweichung der parametrischen Temperaturzeitkurve nach Zehfuß vom Naturbrandgeschehen liegt bei 15 bis 20 %, tendenziell auf der sicheren Seite des Temperaturverlaufes. vgl. Zehfuß (2004), (S.64f.)

4.3.4.3 Basisvariablen

Basisvariablen	Einfluss im Berechnungsmodell
Brandlastdichte	q _{fd} [MJ/m ²]
Ventilationsfläche	O [m ^{1/2}]; K
thermischen Eigenschaften der Umfassungsbauteile	b [J/(m ² s ^{1/2} K)]
Geometrie, Größe	A _w [m ²]; A _t [m ²]; h _w [m]
Brandausbreitungsgeschwindigkeit	α _a [s]
Zeit	t ₀ ; t ₁ ; t ₂ ; t ₃ [s]

Tab.4.25: Basisvariablen der vereinfachten Naturbrandmodelle

(1) parametrische Temperaturzeitkurve für einen ventiltionsgesteuerten Brandverlauf aus experimentellen Daten für die Referenzbrandlastdichte von q_{ref} = 1.300 MJ/m² nach Zehfuß: vgl. Zehfuß (2004); vgl DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang AA.4

$$t_1 = t_\alpha * \sqrt{\dot{Q}_{\max,v,d}} \text{ [s]} \tag{Gl.4.2.7.13}$$

$$\Theta_{1,v} = - 8,75 * 1 / O - 0,1 * b + 1.175 \text{ °C } \text{ [°C]} \tag{Gl.4.2.7.14}$$

$$t_2 = t_1 + \frac{Q_2}{\dot{Q}_{\max,v,d}} \text{ [s]} \tag{Gl.4.2.7.15}$$

$$\Theta_{2,v} = (0,004 * b - 17) * 1 / O - 0,4 * b + 2.175 \text{ °C } < 1.340 \text{ °C } \text{ [°C]} \tag{Gl.4.2.7.16}$$

$$t_3 = t_2 - \frac{2 * Q_3}{\dot{Q}_{\max,v,d}} \text{ [s]} \tag{Gl.4.2.7.17}$$

$$\Theta_{3,v} = - 5,0 * 1 / O - 0,16 * b + 1.060 \text{ °C } \text{ [°C]} \tag{Gl.4.2.7.18}$$

Mit:

$$Q_2 = 0,7 * Q_d - \frac{t_1^3}{3 * t_\alpha^2} \tag{Gl.4.2.7.19}$$

$$Q_3 = 0,3 * Q_d \tag{Gl.4.2.7.20}$$

$$Q_d = q * A_f \tag{Gl.4.2.7.21}$$

$$O = A_w \sqrt{h_w} / A_t \text{ [m}^2\text{]} \tag{Gl.4.2.7.22}$$

Dabei ist:

- A_W Fläche der Ventilationsöffnungen in [m²];
- h_W Höhe der Ventilationsöffnungen in [m];
- A_T Gesamtfläche der Brandabschnittsbildenden Bauteile ohne Öffnungen in [m²];
- b Wärmeeindringkoeffizient [J/(m²s^{0,5}K)], in den Grenzen 500 < b < 2500;
- O Öffnungsfaktor in [m^{1/2}];
- t_1 Zeitpunkt Beginn Vollbrandphase [s];
- t_2 Zeitpunkt Maximale Temperatur im Brandraum [s];
- t_3 Zeitpunkt Brandende [s];
- t_α Brandentwicklungszeit bis zum Erreichen von 1 MW [kW/s²];
- Q_1 Abbrand der Brandlast im Brandraum in der Brandentwicklungsphase [MJ];
- Q_2 Abbrand der Brandlast im Brandraum in der Vollbrandphase [MJ];
- Q_3 Abbrand der Brandlast im Brandraum in der Abklingphase [MJ];
- Q_d Gesamte Brandlast im Brandraum [MJ];
- $\dot{Q}_{\max,v,d}$ maximale Energiefreisetzungsrate im Brandraum beim ventilationsgesteuerten Brand [MW];
- $\Theta_{1,v}$ Temperatur zum Zeitpunkt t_1 im Brandraum beim ventilationsgesteuerten Brand [°C];
- $\Theta_{2,v}$ Temperatur zum Zeitpunkt t_2 im Brandraum beim ventilationsgesteuerten Brand [°C];
- $\Theta_{3,v}$ Temperatur zum Zeitpunkt t_3 im Brandraum beim ventilationsgesteuerten Brand [°C].

(2) parametrische Temperaturzeitkurve für einen brandlastgesteuerten Brandverlauf aus experimentellen Daten für die Referenzbrandlastdichte von 1.300 MJ/m² nach Zehfuß:
vgl. Zehfuß (2004); vgl DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang AA.4

$$t_1 = t_\alpha * \sqrt{\dot{Q}_{\max,f,d}} \quad [s] \quad (Gl.4.2.7.23)$$

$$\Theta_{1,f} = 24000 * k + 20 \quad \text{für } k < 0,04 \text{ und } T_1 \text{ 980 °C für } k > 0,04 \quad [°C] \quad (Gl.4.2.7.24)$$

$$t_2 = t_1 + \frac{Q_2}{\dot{Q}_{\max,f,d}} \quad [s] \quad (Gl.4.2.7.25)$$

$$\Theta_{2,f} = 24000 * k + 20 \quad \text{für } k < 0,04 \text{ und } T_1 \text{ 1340 °C für } k > 0,04 \quad [°C] \quad (Gl.4.2.7.26)$$

$$t_3 = t_2 - \frac{2 * Q_3}{\dot{Q}_{\max,f,d}} \quad [s] \quad (Gl.4.2.7.27)$$

$$\Theta_{3,f} = 24000 * k + 20 \quad \text{für } k < 0,04 \text{ und } T_1 \text{ 660 °C für } k > 0,04 \quad [°C] \quad (Gl.4.2.7.28)$$

Mit:

$$k = \left(\frac{Q_{\max,f,d}^2}{A_W \sqrt{h_W} * A_T * b} \right)^{1/3} \quad (Gl.4.2.7.29)$$

Dabei ist:

$\dot{Q}_{\max,f,d}$ maximale Energiefreisetzungsrate im Brandraum beim brandlastgesteuerten Brand [MW];

(3) Da der Abbrand der Brandlast in der Brandausbreitungsphase generell brandlastgesteuert verläuft, werden für eine bestimmte Bemessungsbrandlastdichte nur die Temperaturen Θ_2 [°C] und Θ_3 [°C] zu den Zeitpunkten t_2 [min] und t_3 [min] im Brandraum im Bezug zur Referenzbrandlastdichte berechnet.
vgl. Zehfuß (2004); vgl DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang AA.4

(3.1) Für $Q_1 < 0,7 * Q_{x,d}$ ergibt sich:

$$t_{2,x} = t_1 + \frac{(0,7 * Q_{x,d}) - (t_1^3 / (3 - t_\alpha^2))}{\dot{Q}_{\max,d}} \quad [s] \quad (Gl.4.2.7.30)$$

$$\Theta_{2,x} = (\Theta_1 - \Theta_2) * \sqrt{\frac{(t_{2,x} - t_1)}{(t_2 - t_1)}} + \Theta_1 \quad [°C] \quad (Gl.4.2.7.31)$$

Mit:

$$Q_1 = \frac{t_1^3}{3 * t_a^2} \quad [\text{MJ}] \quad (\text{Gl.4.2.7.32})$$

$$Q_{x,d} = q_{x,d} * A_f \quad [\text{MJ}] \quad (\text{Gl.4.2.7.33})$$

Dabei ist:

- $\Theta_{2,x}$ Temperatur im Brandraum zum Zeitpunkt t_2 bei einer bestimmten Brandlastdichte [$^{\circ}\text{C}$];
- $t_{2,x}$ Zeitpunkt der maximalen Brandraumtemperatur bei einer bestimmten Brandlastdichte [s];
- $q_{x,d}$ bestimmte Bemessungsbrandlastdichte für den Brandraum [MJ/m^2].

(3.2) Für $Q_1 > 0,7 * Q_{x,d}$ ergibt sich:

$$t_{1,x} = t_{2,x} = \sqrt[3]{0,7 * Q_{x,d} * 3 * t_a^2} \quad [\text{s}] \quad (\text{Gl.4.2.7.34})$$

$$\Theta_{2,x} = \frac{(\Theta_1 - \Theta_2)}{t_1^2} * t_{1,x}^2 + 20 \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (\text{Gl.4.2.7.35})$$

$$\Theta_{3,x} = \Theta_3 * \frac{\log_{10} \left(\frac{t_{3,x}}{60} + 1 \right)}{\log_{10} \left(\frac{t_3}{60} + 1 \right)} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad \begin{array}{l} \text{für } Q_1 > 0,7 * Q_{x,d} \\ \text{und } Q_1 < 0,7 * Q_{x,d} \end{array} \quad (\text{Gl.4.2.7.36})$$

Mit:

$$t_{3,x} = \frac{0,6 * Q_{x,d}}{Q_{\text{max},d}} + t_{2,x} \quad (\text{Gl.4.2.7.37})$$

Dabei ist:

- $\Theta_{3,x}$ Temperatur im Brandraum zum Zeitpunkt t_3 bei einer beliebigen Brandlastdichte;
- $t_{3,x}$ Brandraumtemperatur bei einer beliebigen Brandlastdichte beim Brandende.

(4) Die Bereiche zwischen den Zeitpunkten t_1 , t_2 und t_3 lassen sich nach Zehfuß wie folgt beschreiben: vgl. Zehfuß (2004); vgl DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang AA.4

(4.1) Die Kurve wird zwischen t_0 und t_1 beschrieben durch:

$$\Theta(t) = \frac{\Theta_1 - \Theta_2}{t_1^2} * t^2 + 20 \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad 0 < t < t_1 \quad (\text{Gl.4.2.7.38})$$

(4.2) Die Kurve wird zwischen t_1 und t_2 beschrieben durch:

$$\Theta(t) = (\Theta_{2,x} - \Theta_1) * \sqrt{\frac{(t - t_1)}{(t_{2,x} - t_1)}} + \Theta_1 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad t_1 < t < t_2 \quad (\text{Gl.4.2.7.39})$$

(4.3) Die Kurve wird zwischen t_2 und t_3 beschrieben durch:

$$\Theta(t) = (\Theta_{2,x} - \Theta_1) * \sqrt{\frac{(t - t_{2,x})}{(t_{3,x} - t_{2,x})}} + \Theta_{2,x} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad t > t_2 \quad (\text{Gl.4.2.7.40})$$

(5) Der Zeitpunkt des Flashovers $t_{1,fo}$ im Brandraum wird bestimmt mit:

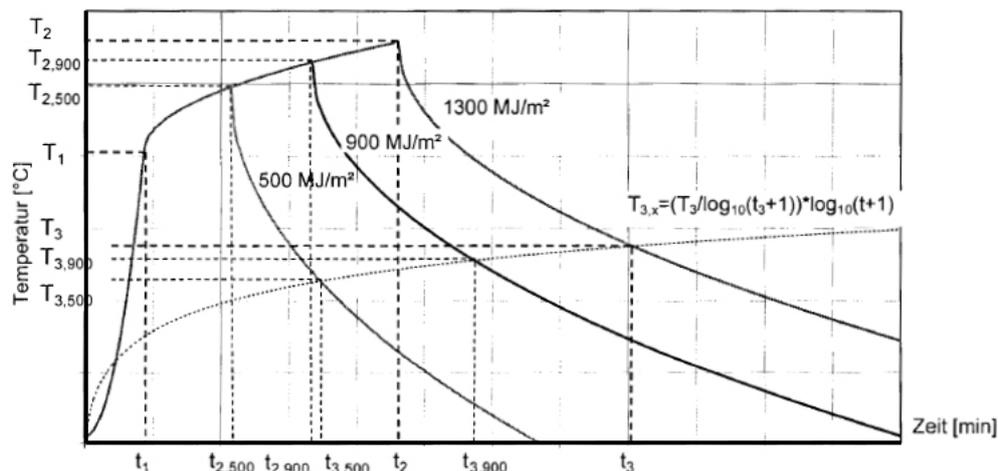
$$t_{1,fo} = \sqrt{t_a^2 * \dot{Q}_{fo}} \quad [\text{s}] \quad (\text{Gl.4.2.7.41})$$

Dabei ist:

\dot{Q}_{fo} Energiefreisetzungsrate zum Zeitpunkt des Flashovers [MW].

(6) Die Darstellung des Heißgastemperatur- Zeitverlaufs zu den Zeitpunkten t_1 , t_2 und t_3 in [s] ausgehend von der Referenzbrandlastdichte mit $q_{\text{ref}} = 1.300 \text{ MJ}/\text{m}^2$, siehe Abb.4.33.

Ergebnis:



Heißgastemperatur- Zeitverlauf ausgehend von 1.300 MJ/m² Referenzbrandlastdichte. Abb.4.29

Anmerkung: Im Gegensatz zur Abklingphase der parametrischen Temperatur- Zeitkurve der ÖNORM EN 1991- 1-2, Anhang A verläuft diese nicht linear, analog zur Energiefreisetzungsrate, sondern in einem leichten Bogen, der die Abkühlphase im Brandraum realistischer beschreibt, **siehe Kapitel 3.2.1.3 Beispiel 2, Abb.3.12; Kapitel 3.2.1.5 Beispiel 4, Abb.3.17 und Kapitel 3.2.1.6, Beispiel 5, Abb.3.19.**

4.3.4.4 Die Energiefreisetzungsrate pro Zeit

Die Brandausbreitung der Brandleistung pro Zeit ist in der DIN 1991- 1- 2, Anhang AA.3 "Bemessungsbrand" angegeben. Diese folgt dem internationalen t²- Ansatz wie im Kapitel 4.1.2 "Brandausbreitung der Brandleistung" bereits beschrieben mit: vgl. DIN EN 1991-1-2/ NA (2010), Anhang AA.3

(1) Brandausbreitungsphase: siehe dazu Kapitel 4.1.2 "Brandausbreitung der Brandleistung" Gl.4.1.2.1. Die Parameter für t_α und die maximale charakteristische flächenspezifische Energiefreisetzungsrate $\dot{q}_{f,k}$ [MW/m²] für verschiedene Nutzungen werden in Tabellenwerten in der DIN EN 1991- 1- 2, Anhang BB.2 angegeben, vgl. DIN EN 1991-1-2/ NA (2010), Anhang BB.2

(2) Vollbrandphase: siehe dazu Kapitel 3.2 "Beeinflussung des Brandverlaufes", Punkt 3.5.2 bis 3.5.4.

(2.1) Falls es sich um einen ventilationsgesteuerten Brand handelt, muss dieses Plateau entsprechend dem verfügbaren Sauerstoffgehalt reduziert werden, Kapitel 3.2 "Beeinflussung des Brandverlaufes", Gl.3.2.1.8.

Anmerkung: Falls auf Grund eines ventilationsgesteuerten Brandes die maximale Höhe der Wärmefreisetzungsrate reduziert wurde, muss die Kurve für die Wärmefreisetzungsrate entsprechend der durch die Brandlast verfügbaren Energie erweitert werden. vgl. DIN EN 1991- 1- 2/ NA (2010), Anhang AA.3

(3) Abklingphase: Das horizontale Plateau wird durch die Abklingphase begrenzt, die beginnt, wenn 70 % der gesamten Brandlast aufgebraucht sind.

(4) Flashover: Die benötigte Energiefreisetzungsrate für den Flashover ergibt sich aus experimentellen Untersuchungen zu: vgl. DIN EN 1991- 1- 2/ NA (2010), Anhang AA.3; vgl. Zehfuß (2004), (S.54f.)

$$\dot{Q}_{fo} = 0,0078 * A_t + 0,378 * A_v * \sqrt{h_v} \quad [\text{MW}] \quad (\text{Gl.4.2.7.42})$$

Dabei ist:

- \dot{Q}_{fo} Energiefreisetzungsrate für einen Flashover [MW];
- A_v Öffnungsfläche für die Luftzufuhr (Fenster) [m²];
- A_t Rauminnenflächen inkl. der Öffnungen (Decke, Boden, Wände) [m²];
- h_v Höhe der Ventilationsöffnung [m].

Anmerkung: Walton und Thomas leiten aus der Energiebilanz der Heißgasschicht die kritische Energiefreisetzungsrate \dot{Q}_{fo} für einen Flashover ab. vgl. Walton, Thomas (1995); vgl. Zehfuß (2004), (S.54f.)

$$(4.1) \quad \dot{Q}_{fo} = m_g * c_p * (\Theta_g - \Theta_a) + \dot{Q}_{loss} \quad [MW] \quad (Gl.4.2.8.43)$$

Dabei ist:

- \dot{Q}_{loss} Netto- Wärmestrom der Heißgasschicht an die Umgebung [MW];
- m_g Gasstrom aus der Brandraumöffnung [kg/s];
- c_p spezifische Wärme des Heißgases [J (kg * K)];
- Θ_g Heißgastemperatur [°C];
- Θ_a Umgebungstemperatur [°C].

(4.2) Aus experimentell gewonnenen Daten von Walton und Thomas wird für $\dot{Q}_{loss} = 0,0078 * A_t$ eingesetzt und unter Annahme, das $(T_g - T_a) = 600$ °C und $c_p = 1,26$ kJ/ (kg K) wird der Ausdruck $0,378 * A_v * \sqrt{h_v}$ gebildet, somit bildet sich die kritische Energiefreisetzungsrate für einen Flashover im Raum mit:

$$\dot{Q}_{fo} = 0,0078 * A_t + 0,378 * A_v * \sqrt{h_v} \quad [MW] \quad \text{vgl.}(Gl.4.2.8.42)$$

Die notwendige Energiefreisetzungsrate für die Ermöglichung eines Flashovers \dot{Q}_{fo} [MW] kann für kleine bis mittelgroße Räume ermittelt werden.

(4.3) Flashover- Zeitpunkte in zellenartigen Brandabschnitten:

In der folgenden Tabelle sind die notwendige Energiefreisetzungsrate \dot{Q}_{fo} [MW] und der Zeitpunkt des Flashovers t_{fo} [min], bei einer schnellen und einer mittleren Brandausbreitungsgeschwindigkeit in verschiedenen großen Zimmern (Zellen) von Brandabschnitten dargestellt. Die schnelle Brandausbreitungsgeschwindigkeit simuliert dabei ein Zimmer mit sichtbaren Holzoberflächen. (Die Brandausbreitungsphase bis zum Erreichen des Flashovers verläuft grundsätzlich brandlastgesteuert)

Raumhöhe		Zimmergröße [m²]									
		12		15		17,5		20		25	
h = 3,00 m											
A _t [m²]		66		78		87		94		110	
A _v [m²]	h _v [m]	3,3	2,2	3,3	2,2	3,3	2,2	3,3	2,2	3,3	2,2
\dot{Q}_{fo} [MW]		2,36		2,45		2,5		2,58		2,7	
t_{fo} [min] (t_α = 300 s)		7,68		7,82		7,9		8,03		8,21	
t_{fo} [min] (t_α = 150 s)		3,84		3,91		3,9		4,01		4,10	

Tab.4.26: Flashover- Zeitpunkte in Zimmer oder Bürozellen bei mittlerer t_α = 300 s und schneller t_α = 150 s (z.B. mit sichtbare Holzwände und -decken) Brandausbreitungsgeschwindigkeit.

Anmerkung zum Kapitel 3:

Im Kapitel 3.2.2 stimmt das Beispiel 1.1 gut mit dem errechneten Flashover- Zeitpunkt mit der Zimmergröße von 12 m² in Tab.4.26 überein, -d.h., dass eine schnelle Brandausbreitungsgeschwindigkeit mit t_α = 150 s bis zum Erreichen von 1 MW bei Brandabschnitten mit vollflächig sichtbaren Holzoberflächen angenommen werden kann.

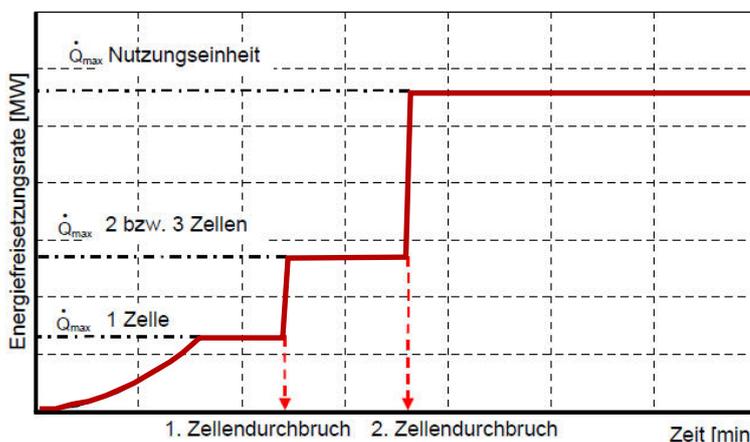
Im Kapitel 3.3 "Zusammenfassung" stimmt das Beispiel (1) und (3) gut mit den errechneten Ergebnissen des 12 m² und 15 m² großen Zimmers, bei einer mittleren Brandausbreitungsgeschwindigkeit mit 300 s bis zum Erreichen von 1 MW, in Tab.4.26 überein.

Fazit: Der Zeitpunkt des Flashovers liegt in Zellen von Brandabschnitten deutlich vor der 10. Minute. -d.h. eine Brandausbreitung über übereinander liegende Fensteröffnungen verschiedener Brandabschnitte kann passieren, bevor der gesamte Brandabschnitt selbst im Vollbrand steht. **An den kleinsten Zellen im Brandabschnitt ist somit konservativ der Zeitpunkt des Feuerüberschlags zu ermitteln.**

(5) Zellenbruch

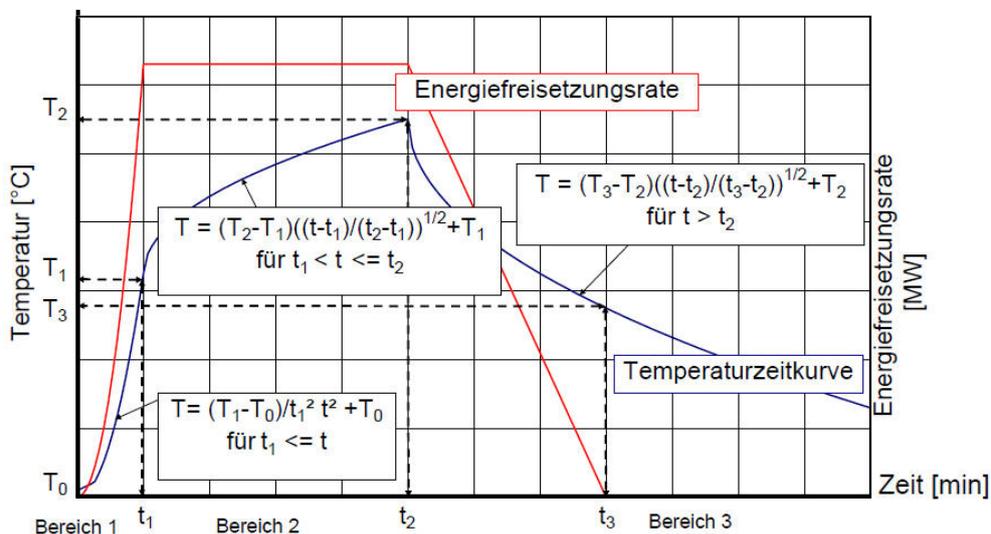
Nach Zehfuß können mit den parametrischen Naturbrandkurven der DIN EN 1991- 1- 2/NA, Anhang AA auch Zellendurchbrüche in z.B. Zellen- Bürostrukturen (geschlossene Türen vorausgesetzt) ermittelt werden, um eine hemmende Brandausbreitung im Brandabschnitt nachzuweisen.

Leichte Trennwände zur Abtrennung von Raumzellen erfüllen zwar keine brandschutztechnischen Anforderungen, weisen jedoch eine geringe Feuerwiderstandsdauer auf und wirken somit einer ungehinderten Brandausbreitung in der gesamten Nutzungseinheit entgegen. Ein entstehender Brand wird sich sukzessive von Raumzelle zu Raumzelle ausbreiten, bis die gesamte Nutzungseinheit im Vollbrand steht. Das Versagen der Zellenwand kann nach Zehfuß ab einer Temperatur von 300 °C auf der brandabgewandten Seite angenommen werden. Es kann auch eine äquivalente Branddauer zur ETK hergestellt werden oder im Brandschutzkonzept ein konservativer Zeitpunkt festgelegt werden, nach dem Beginn der Vollbrandphase in der Raumzelle. Bei Versagen der Zellenwand wird die Energiefreisetzungsrate für den nun größeren Brandraum mit veränderter Brandlastdichte, größeren Öffnungsflächen und evtl. veränderten thermischen Eigenschaften der Umfassungsbauteile ermittelt. Nach dem Zellendurchbruch wird angenommen, dass die Bürozone ebenfalls sofort im Vollbrand steht, siehe Abb.4.30. Die Energiefreisetzungsrate steigt nach dem Zellendurchbruch für den, inklusive der benachbarten Zellen, nun zwei bzw. drei Zellen umfassenden größeren Brandraum mit zusätzlicher Brandlast und größeren Öffnungsflächen entsprechend an. vgl. Zehfuß (2004), (S.57.); vgl. DIN EN 1991- 1- 2/NA, Anhang AA, (S.15)



Energiefreisetzungs- Zeitverlauf nach Zehfuß -Verzögerung der Brandausbreitung. Abb.4.30

(6) Der qualitative Zusammenhang des parametrischen Temperaturzeitverlaufs und des Energiefreisetzungszeitverlaufs zu den 3 gleichen Zeitpunkten t_1 , t_2 und t_3 [min] im Brandabschnitt nach Zehfuß in Abb.4.31. vgl. Zehfuß (2004); vgl. DIN EN 1991- 1- 2/ NA (2010), Anhang AA



Qualitativer Zusammenhang der parametrischen Brandkurven nach Zehfuß. Abb 4.31

Ergebnis: Die parametrischen Brandkurven stellen die 3 Naturbrandphasen im Brandraum dar, zudem ist der Energiefreisetzungszeitverlauf des Abbrandes der Brandlast im Brandraum genau mit dem Heißgastemperaturzeitverlauf abgestimmt. Weiterhin können eine Vielzahl an Brandszenarien mit den parametrischen Brandkurven im Brandschutzkonzept dargestellt werden, z.B. der Zeitpunkt der Brandausbreitung über übereinanderliegende Fensteröffnungen, Zellendurchbrüche und Brandausbreitung auf andere Räume, Vollbranddauer im Brandabschnitt, etc.

4.3.5 Ergänzung zu den parametrischen Brandkurven

Nach einer Forschungsarbeit von Dehne können die Löschmaßnahmen durch die Feuerwehr oder durch Sprinkleranlagen im Bemessungsbrandverlauf anhand der Energiefreisetzungskurve dargestellt werden. vgl. Dehne (2203)

4.3.5.1 Quantitative Darstellung von Brandbekämpfungsmaßnahmen

Dazu werden anlagentechnische (Sprinkler) oder abwehrende Brandschutzmaßnahmen (öffentliche Feuerwehr) auf die Energiefreisetzungskurve aufgetragen und deren Wirkung (Energieaufnahme des Löschwassers) auf den Brandverlauf berücksichtigt. vgl Dehne (2003), (S.160f.)

(1) Zeitpunkt bis zum Beginn der Brandbekämpfung t_{act} [min] durch die Feuerwehr:

$$t_{act} = t_{f5} = t_{f1} + t_{f2} \quad [\text{min}] \quad (\text{Gl.4.2.7.44})$$

Dabei ist:

- t_{f1} Zeitbedarf für die Brandmeldung (Alarmierungszeit) [min].
Die Zeitspanne t_{f1} wird bei Vorhandensein einer automatischen Brandmeldeanlage mit Aufschaltung zur Feuerwehr auf 1,5 Minuten festgesetzt. Die dauernde Anwesenheit von Personal (an allen Tagen des Jahres rund um die Uhr) kann als gleichwertige Maßnahme gewertet werden. Ist weder eine automatische Brandmeldeanlage noch eine dauernde Anwesenheit von Personal vorhanden, ist t_{f1} auf mindestens 5 Minuten festzulegen. Ist selten oder nie Personal anwesend, muss eine automatische Brandmeldeanlage vorgehalten werden.
- t_{f2} Zeitbedarf zwischen Alarmierung und Beginn der Brandbekämpfung (Hilfsfrist) [min].
- t_{f5} Brandentwicklungszeit bis zum Beginn der Löschmaßnahmen [min].

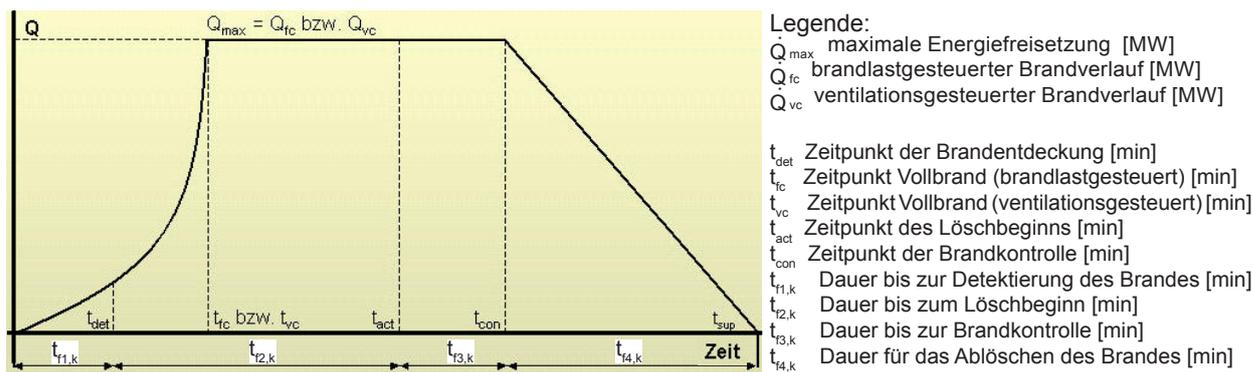
(2) Zeitpunkt der Brandlöschung t_{sup} [min] durch die Feuerwehr:

$$t_{sup} = t_{f6} = t_{f3} + t_{f4} + t_{f5} \quad [\text{min}] \quad (\text{Gl.4.2.7.45})$$

Dabei ist:

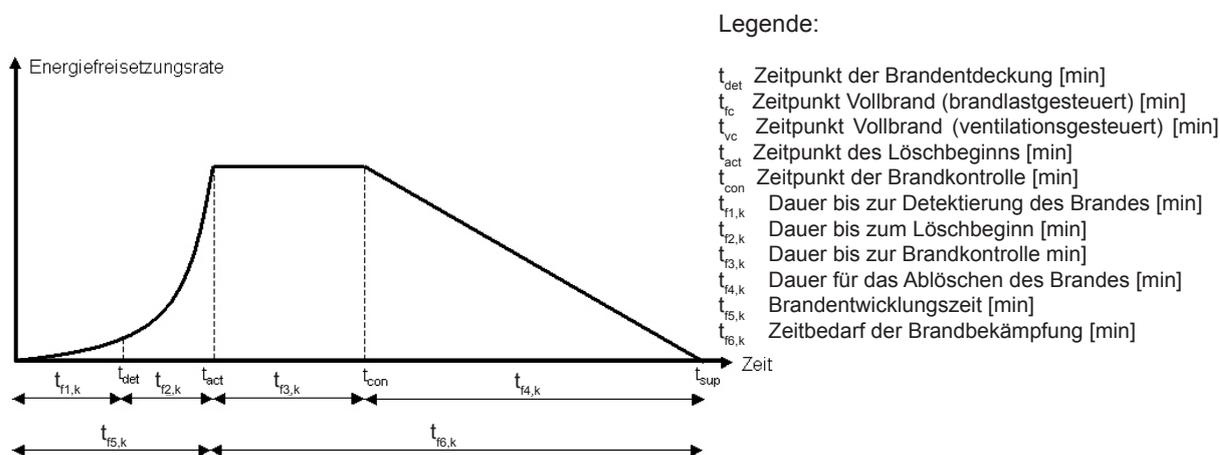
- t_{f3} Nach Beginn der Löscharbeiten wird für alle Feuerwehren ein konstanter Verlauf der Energiefreisetzungsrates für eine Zeitspanne von 5 Minuten angenommen, wenn die Brandbekämpfungsfläche quantitativer Angaben über eine Löschdauer entspricht. [min]
- t_{con} Zeitpunkt der Brandkontrolle durch die Feuerwehr, die Energiefreisetzungsrates im Brandraum steigt nicht weiter an [min].
- t_{f4} Zeitbedarf für das Ablöschen des Brandes. Die Dauer der Abklingphase bei Annahme einer Brandbekämpfung durch Feuerwehren wird in Abhängigkeit der maximal auftretenden Energiefreisetzungsrates gewählt. [min]
- t_{f6} Zeitbedarf der Brandbekämpfung [min];
- t_{sup} Brandende, abgelöschter Brand ohne Nachlöscharbeiten [min].

(3) Anwendung der abwehrenden Brandschutzmaßnahmen auf den Energiefreisetzungszeitverlauf in der Vollbrandphase des Brandgeschehens, siehe Abb.4.32



Einfluss abwehrender oder anlagentechnischer Brandschutzmaßnahmen in der Vollbrandphase. Abb.4.32

(4) Anwendung der abwehrenden Brandschutzmaßnahmen auf den Energiefreisetzungszeitverlauf in der Brandausbreitungsphase des Brandgeschehens, siehe Abb.4.33



Einfluss abwehrender Brandschutzmaßnahmen in der Brandausbreitungsphase. Abb.4.33

(5) Die Quantifizierung der Energiefreisetzungsrate in den drei Brandphasen ergibt sich für eine Sprinkleranlage nach Dehne wie folgt: vgl. Dehne (2003), (S.162ff.)

$$0 - t_{act} : \dot{Q}(t) = (t / t_g)^2 [MW] \tag{Gl.4.2.7.46}$$

$$t_{act} - t_{con} : \dot{Q}(t) = \dot{Q}_{fc} \text{ oder } \dot{Q}_{vc} = \dot{Q}_{LK} [MW] \tag{Gl.4.2.7.47}$$

$$t_{con} - t_{sup} : \dot{Q}(t) = \dot{Q}_{max} / t_{sup} - t_{con} * (t_{sup} - t) [MW] \tag{Gl.4.2.7.48}$$

Dabei ist:

t Zeit [min];

t_g Die Zeit die erforderlich ist bis eine Brandleistung von 1 MW erreicht wird [s];

\dot{Q}_{LK} maximale Energiefreisetzungsrate im löschanlagenkontrollierten Fall [MW].

(6) Bei Kombination der Brandbekämpfung durch eine selbsttätige Löschanlage t_{act1} und der Löschwirkung durch die öffentliche Feuerwehr t_{act2} wird die Brandabklingphase ab dem Zeitpunkt t_{act2} (Feuerwehr) auf 5 Minuten begrenzt.

Bei Berücksichtigung der Kombination Sprinkler + Feuerwehr nach Dehne mit:

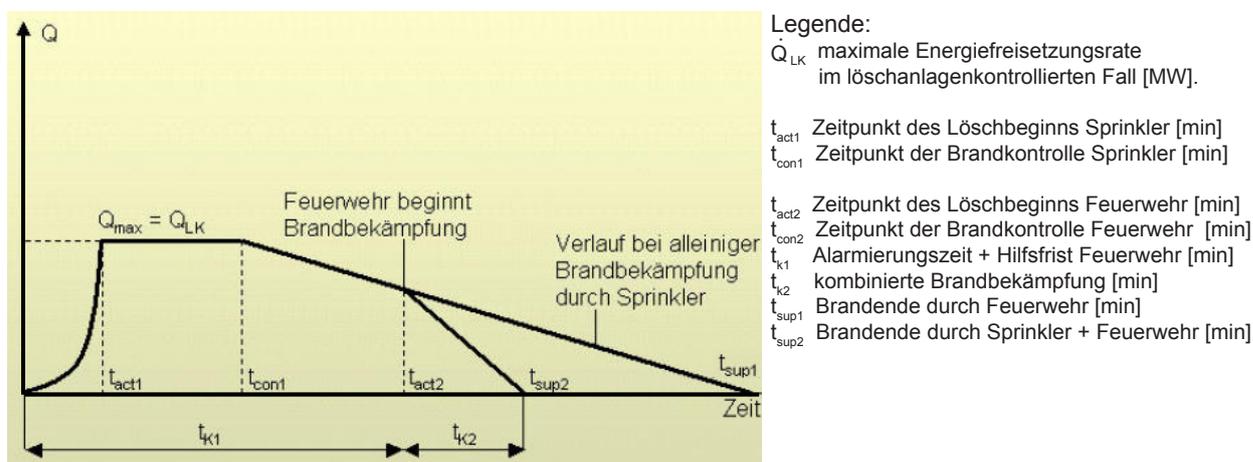
$$t_{act2} = t_{K1} = t_1 + t_2 \quad [s] \quad (Gl.4.2.7.50)$$

$$t_{sup2} = t_{K1} + t_{K2} \quad \text{für } t_{sup2} \leq t_{sup1} \quad [s] \quad (Gl.4.2.7.51)$$

Dabei ist:

- t_{K1} Die Zeitspanne t_{K1} ergibt sich als Summe aus Alarmierungszeit t_1 und Hilfsfrist t_2 (Feuerwehr).
- t_{K2} Für die Zeitspanne t_{K2} wird bei Annahme einer Kombination der Brandbekämpfung durch Sprinkler und die öffentliche Feuerwehr eine Dauer von 5 Minuten angenommen.

(7) Anwendung der abwehrenden Brandschutzmaßnahmen Sprinkleranlage + Feuerwehr auf den Energiefreisetzungzeitverlauf in der Brandausbreitungsphase des Brandgeschehens, siehe Abb.4.34



Einfluss anlagentechnischer Brandschutzmaßnahmen + abwehrender Brandschutzmaßnahmen ab der Brandausbreitungsphase des Brandgeschehens. Abb.4.34

Fazit: Liegt die Höhe der Energiefreisetzung des Brandgeschehens bei Löschanlagenbeginn innerhalb quantitativer Angaben abwehrender oder anlagentechnischer Brandschutzmaßnahmen kann ein frühzeitiges Einleiten der Abklingphase des Brandgeschehens erfolgen. Quantitative Aussagen der Feuerwehr über die Brandbekämpfungszeit $t_{f6,k}$ [min] im Bezug zur vorhandenen Brandleistung im Brandraum ermöglichen somit die Ermittlung des Brandendes.

Eine kombinierte Brandbekämpfung von Sprinkler und Feuerwehr verkürzt die Branddauer im Brandabschnitt zusätzlich, somit ist die Brandeinwirkung auf Bauteile nurmehr sehr geringer (wenn diese überhaupt stattfindet bei Auslösen einer Sprinkleranlage).

Die Feuerwiderstandsdauer von tragenden und brandabschnittsbildenden Bauteile im Brandabschnitt ist der Zeitpunkt des Brandendes im Brandraum, durch Abbrand der gesamten Brandlast oder durch erfolgreiche Löschanlagenmaßnahmen der Feuerwehr, einer Sprinkleranlage oder einer kombinierten Brandbekämpfung, wenn eine Aussage über deren Leistungsfähigkeit für einen frühzeitigen Löschanlagenbeginn vorhanden ist.

Anmerkung zum Kapitel 3.3 "Zusammenfassung":

Die im Kapitel 3 definierte Brandbekämpfungszeit der Berufsfeuerwehr Wien im Bezug zur Brandleistung für bis zu < 20 MW Brandgeschehen, können nun auf den Energiefreisetzungzeitverlauf des Bemessungsbrandszenarios abgetragen werden, wenn $Q_{max,d} = < 20$ MW, siehe Kapitel 4.1, Abb.4.4.

4.4 Zusammenfassung

Im Kapitel 3 wurde die Brandentstehung, Brandentwicklung, Vollbrand- und die Abklingphase vom Naturbrand genauer dargestellt und es konnte festgestellt werden, dass die Art der Nutzung und Brandabschnittsgröße entscheidenden Einfluss auf die Brandheftigkeit und die Löschdauer durch die Feuerwehr haben. Somit werden für eine Holzbauweise im urbanen Raum kleine Brandabschnittsflächen identifiziert, so dass erfolgreiche Löschmaßnahmen in kurzer Zeit stattfinden können.

Anhand eines Bemessungsbrandes lässt sich der Brandverlauf auch rechnerisch bestimmen, dies wurde im Kapitel 4 untersucht. Die Tragwerksanalyse für den Brandfall ist dabei mit den für diese Bemessungssituationen geregelten Naturbrandmodellen für die thermischen und mechanischen Einwirkungen nach ÖNORM EN 1991- 1- 2 und mit den Kenndaten für das Tragwerk bei erhöhten Temperaturen nach ÖNORM EN 1990 durchzuführen.

Dabei wurde durch eine Literaturrecherche festgestellt, dass die zur Bemessung des Tragwerkes eines Gebäudes (Zellen- Büros und Wohngebäude) im Brandfall notwendige Normierung in Teilen kritisch zu betrachten ist, insbesondere der informative Anhang A, informative Anhang E und informative Anhang F der aktuellen ÖNORM EN 1991- 1- 2.

Die parametrischen Temperaturzeitkurven der aktuellen ÖNORM EN 1991- 1- 2 im informativen Anhang A sind nach Zehfuß nicht ausreichend abgesichert, um diese im Zusammenhang mit einem Bemessungsbrandszenario anhand der Energiefreisetzungsrates darstellen zu können. Hierzu gibt es eine Alternative im entsprechenden nationalen Anwenderdokument in Deutschland der DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang AA, die ausführlich beschrieben wurde und in den weiteren Untersuchungen angewendet werden soll.

Das globale Sicherheitskonzept der aktuellen ÖNORM EN 1991- 1- 2 im informativen Anhang E kann generell für den Holzbau nicht angewendet werden. Die Festlegung von Teilsicherheitsbeiwerten für die charakteristische Brandlast als maßgebende Einwirkungsgröße im Brandfall mit dem globalen Sicherheitskonzept liegt dabei, baustoffübergreifend (auch für ungeschützte Stahlbauteile) durch die starke Differenzierung der Teilsicherheitsbeiwerte mit Brandbekämpfungsmaßnahmen in zellenartigen Brandabschnitten in Österreich auf der unsicheren Seite (z.B. in Wohnnutzungen und Zellen- Bürostrukturen).

Hierzu eignet sich das vorgestellte probabilistische Sicherheitskonzept der aktuellen ÖNORM EN 1990, Anhang B, Anhang C und Anhang D, mit einer Modifizierung zur Berechnung der zu erreichenden Zuverlässigkeit des Tragwerkes im Brandfall, besser. Kalibrierte Sensitivitätsfaktoren z.B. aus Untersuchungen von Hosser et al. erlauben in definierten Grenzen dabei eine genauere Festlegung von Teilsicherheitsbeiwerten für maßgebend am Versagen von Bauteilen beteiligter charakteristischer Variablen. Das übergreifende Sicherheitskonzept DIN EN 1991- 1- 2/ NA im Anhang BB wurde ebenfalls ausführlich beschrieben und kann im Zuge der Normungsarbeit auch für Österreich angepasst werden.

Die Berechnung der äquivalenten Branddauer der aktuellen ÖNORM EN 1991- 1- 2 im informativen Anhang F hat gegenüber den parametrischen Brandkurven entscheidende Nachteile in der Darstellung der Ergebnisse und auch der Anwendungsgrenzen, wie ausführlich dargestellt wurde. Für Wohn- und Büronutzungen insbesondere mit zellenartigen Brandabschnitten in Holzbauweise sollte der Anhang F nicht genutzt werden. Hier sind die parametrischen Brandkurven nach Zehfuß besser geeignet, um auf der sicheren Seite liegende Brandschutzbemessungen (Dauer der Einwirkung) durchzuführen.

Anwenderdokument	ÖNORM B 1991- 1- 2	DIN EN 1991- 1- 2/ NA
Anhang A Parametrische Temperatur- Zeitkurve	zugelassen	nicht zugelassen
Anhang E.1 Brandlastdichten	zugelassen	nicht zugelassen
Anhang F Äquivalente Branddauer	zugelassen	nicht zugelassen

Tab.4.27: Unterschiede in den nationalen Anwenderdokumenten in Österreich und Deutschland.

5 Bemessungsbrandszenario für den mehrgeschossigen Holzbau

5.1 Kategorisierung der Einwirkungsgröße

Der Holzmasiv- und Holzskelettbau kann grundsätzlich im urbanen Raum zum Einsatz kommen, wenn die Einflussgrößen der Tab.3.11 so festgelegt werden, dass die Schutzziele der BauPVo eingehalten werden. Hierzu werden nachstehende Differenzierungen getroffen.

5.1.1 Kategorie: geringe Brandleistung < 20 MW

(1) Ein Wirksamwerden der Brandbekämpfung durch die Feuerwehr in kurzer Zeit kann nur auf kleinen Brandabschnittsgrößen und/ oder einer geringen Brandleistung (z.B. Wohnungen) im Brandraum mit hoher Zuverlässigkeit gewährleistet werden. Nach Angaben der Berufsfeuerwehr Wien kann zur Zeit eine Brandbekämpfungszeit $t_{f6,k}$ [min] quantifiziert werden, bis zu einer maximalen charakteristischen Energiefreisetzungsrate im Brandabschnitt von $\dot{Q}_{max,k} = < 20$ MW, siehe Kapitel 3.2.3.1.10.

(2) Um eine schnelle Ausbreitung der Brandleistung durch zusätzliche immobile, flächige, brennbare Bauteile zu unterbinden, müssen diese bis zum Erfolgen des Flashovers im Brandraum mineralisch geschützt werden oder es erfolgt eine Brandfrüherkennung durch eine Brandmeldeanlage, so dass die vorzeitige Brandausbreitung über übereinanderliegende Fensteröffnungen verschiedener Brandabschnitte durch die Löschbereitschaft der Feuerwehr frühzeitig unterbunden werden kann. Dies soll der schnellen Brandausbreitung, der frühzeitigen Brandweiterleitung und dem dadurch verbundenen größeren Schadensausmaß entgegenwirken, siehe Kapitel 4.1.2 Punkt (1)

(3) Die Feuerwiderstandsdauer des brennbaren Tragwerks und der raumabschließenden Bauteile sollte über das Brandereignis hinaus zusätzlich ein Mindestmaß aufweisen.

5.1.2 Kategorie: mittlere bis hohe Brandleistung > 20 MW

(1) Wenn die Brandleistung im Brandraum für eine quantifizierbare Brandbekämpfungszeit zu hoch ist, somit > 20 MW, ist auf Grund der Untersuchungen im Kapitel 3.2.3.1.10. mit einem späteren Löscherfolg (längere Löschdauer) durch die Feuerwehr zu rechnen, somit mit der Umsetzung der Brandlast in der Vollbrandphase. Der späte Löscherfolg stellt sich konservativ in der Abklingphase des Brandgeschehens ein, siehe Abb.4.3. Das Ende des Brandes ist durch die Brandbekämpfung der öffentlichen Feuerwehr in der Abklingphase definiert, somit die Dauer der Kapselung der flächigen, brennbaren tragenden und raumabschließenden Bauteile. Die Feuerwiderstandsdauer der tragenden und raumabschließenden Bauteile sollte dabei zusätzlich ein Mindestmaß aufweisen.

(2) Der Einsatz einer Brandmeldeanlage mit Aufschaltung zur Feuerwehr, bei sichtbaren flächigen Holzoberflächen würde keinen Einfluss auf die Begrenzung zu einer geringen Brandleistung beim Eintreffen der Feuerwehr ausüben, da die Brandleistung bereits bis zu 72 MW in der 20. Minute nach Brandbeginn betragen kann, bei einer mittleren Brandausbreitungsgeschwindigkeit (durch A2 Oberflächen) könnte eine frühzeitig erfolgreiche Brandbekämpfung jedoch erfolgen, siehe Abb.4.2. Die Dauer der Kapselung in A2 ist das Löschende.

(3) Da mittlere bis hohe Brandleistungen zu Baustoffanforderungen der Euroklasse A2 mit einer hohen Feuerwiderstandsdauer für massive, brennbare tragende und brandabschnittsbildende Holzbauteile führen, werden diese hier nicht weiter thematisiert.

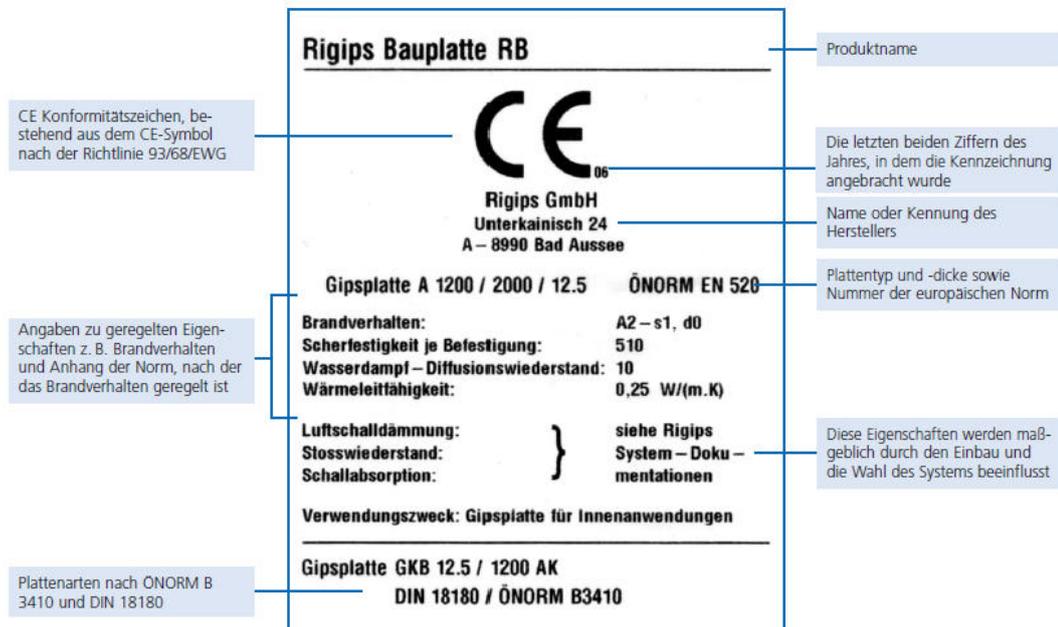
5.1.3 Kategorie: Sprinklerkonzept

(1) Der Einsatz einer Sprinkleranlage bedeutet grundsätzlich die Brandbekämpfung eines Entstehungsbrandes und Eindämmung der Brandfläche bis zum Eintreffen der öffentlichen Feuerwehr. Eine dann beginnende kombinierte Brandbekämpfung mit der Feuerwehr führt mit sehr hoher Zuverlässigkeit zu einer schnellen Brandlöschung. Dies kann in der Auslegung der Feuerwiderstandsdauer und des Brandverhaltens tragender und raumabschließender Bauteile auch in großen Brandabschnitten berücksichtigt werden. Das Ende des Brandes ist dabei durch die Brandbekämpfung der Sprinkleranlage und der öffentlichen Feuerwehr definiert. Die Feuerwiderstandsdauer des Tragwerks und der raumabschließenden brennbaren Bauteile sollte darüberhinaus ein Mindestmaß aufweisen.

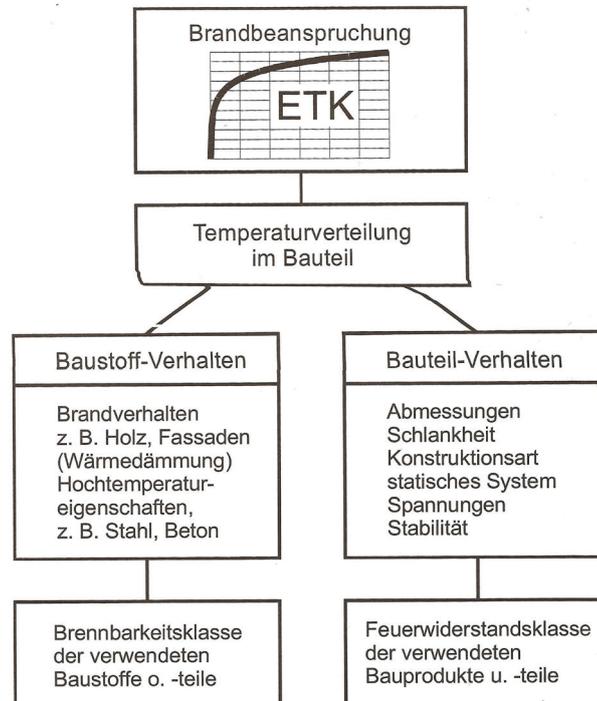
(2) Der Einsatz einer Brandmeldeanlage ist zwingend notwendig (bei nicht 24 Std. bestetzten Nutzungen), um die Feuerwehr zu alarmieren, sowie das Schadensausmaß durch den Sprinkler gering zu halten.

5.2 Bauteilverhalten und Baustoffverhalten der Bauprodukte

Die EUROCODES werden auf CE- gekennzeichnete Bauprodukte angewandt. Der Brandschutznachweis erfolgt dabei unter der Brandbeanspruchung nach der ETK..



CE- Kennzeichnung nach Bauproduktenverordnung 305/ 2011 der EU. Abb.5.1



Ermittlung der Brennbarkeits- und Feuerwiderstandsdauer nach der Modellbrandkurve ETK. Abb.5.2

5.2.1 Klassifizierung

Die Klassifizierungen des Brandverhaltens der Bauprodukte geschieht nach der EN 13501- 1 (2007) "Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten" Teil 1: „Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten“. vgl. ÖNORM EN 13501- 1 (2007)

5.2.2 Brandverhalten

Dabei wird das Brandverhalten in A1, A2, B, C, D und E, die Rauchentwicklung mit s1, s2 oder s3 (smoke) und das Abtropfen/Abfallen mit d0, d1 oder d2 (droplets) dargestellt. Das Brandverhalten von Bauprodukten wird durch das Single Burning Item (SBI) Prüfverfahren nach der ÖNORM EN 13823 (2011) „Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten- Thermische Beanspruchung durch einen einzelnen brennenden Gegenstand für Bauprodukte mit Ausnahme von Bodenbelägen“ getestet.

Die Einteilung geschieht dabei auf der Annahme „Beitrag zum Brandgeschehen“. vgl. ÖNORM EN 13823 (2011)

A1	kein Beitrag zum Brand	s1	schwach qualmend
A2	kein Beitrag zum Brand	s2	normal qualmend
B	sehr begrenzter Beitrag zum Brand	s3	stark qualmend
C	begrenzter Beitrag zum Brand		
D	hinnehmbarer Beitrag zum Brand	d0	nicht tropfend
E	hinnehmbares Brandverhalten	d1	tropfend
F	keine Leistung (im Hinblick auf Flammwidrigkeit) feststellbar	d2	zündend tropfend

Tab.5.1: Klassifizierungen des Brandverhaltens der Bauprodukte nach ÖNORM EN 13501- 1.

5.2.3 Feuerwiderstandsdauer

Die Klassifizierung des Feuerwiderstandes und seiner Widerstandsdauer geschieht auf der Grundlage der europäischen Norm EN 13501- Teile 2- 6 (2007) „Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten“, wobei für tragende und raumabschließende Bauteile der Teil 2: „Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen“, sowie der EN 14135 (2004) „Brandschutzbekleidungen - Bestimmung der Brandschutzwirkung“ und in naher Zukunft auch nach der EN 13381 (2002) „Prüfverfahren zur Bestimmung des Beitrages zum Feuerwiderstand von tragenden Bauteilen" - Teil 1- 7. (Teil 1: Horizontal angeordnete Brandschutzbekleidungen, Teil 2: Vertikal angeordnete Brandschutzbekleidungen, Teil 3: Brandschutzmaßnahmen für Betonbauteile, Teil 4: Brandschutzmaßnahmen für Stahlbauteile, Teil 5: Brandschutzmaßnahmen für profilierte Stahlblech/Beton-Verbundkonstruktionen, Teil 6: Brandschutzmaßnahmen für betonverfüllte Stahlverbund-Hohlstützen, Teil 7: Brandschutzmaßnahmen für Holzbauteile) die zur Zeit den Status einer Vornorm im Entwurf hat, wesentliche Vorgaben machen.

vgl. ÖNORM EN 13501- 2 (2010); vgl. ÖNORM EN 14135 (2004)

Der Feuerwiderstand von Bauteilen definiert sich somit in **R**- Standsicherheit, **E**- Raumabschluß, **I**- Isolation, **W**- Wärmestrahlung, **S**- Rauchdichtheit, **M**- Stoßbeanspruchung, **C**- Selbstschließend, **G**- Rußbrandbeständig, **K**- Brandschutzwirkung, der brandbeanspruchten Baustoffe geprüft.

Auf der feuerabgewandten Seite dürfen bei Feuerwidwerstands- Prüfungen im Mittel für das Kriterium I keine Temperaturen über 140 K, an ungünstigen Stellen nicht über 180 K entstehen, siehe Abb.4.36.

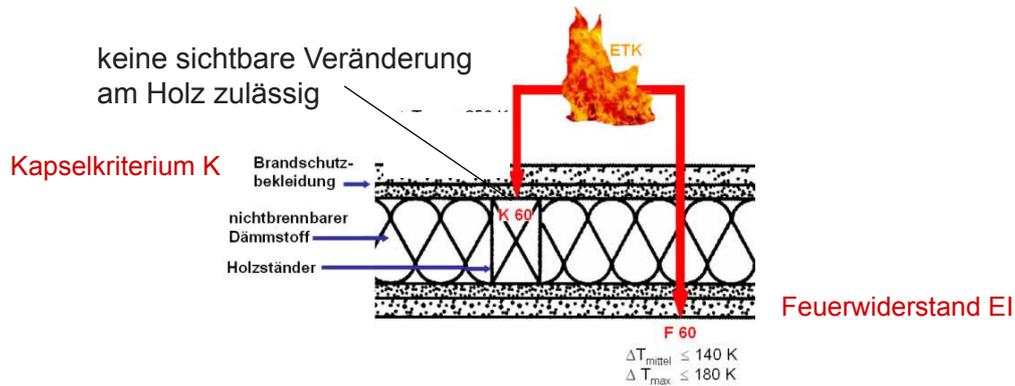
Die Brandschutzwirkung „**K**“, auch Kapselkriterium genannt, beschreibt die Fähigkeit, das hinter der Bekleidung befindliche Material z.B. Holz vor Verkohlung und Entzündung über eine vordefinierte Zeit zu schützen. siehe Abb.4.38. vgl. ÖNORM EN 13501- 2 (2010)

Die Feuerwiderstandsdauer von Bauteilen wird anhand der ISO- Normbrandkurve ETK beurteilt.

Die Klassifizierungszeiten für den Feuerwiderstand **tragender R** und **brandabschnittsbildender EI** Bauteile werden für 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 und 360 Minuten durchgeführt.

Die notwendige Feuerwiderstandsdauer tragender und raumabschließender Bauteile wird auf Grundlage nationaler Gesetzgebungen als Schutzniveau festgelegt, siehe Kapitel 6.

Anmerkung: In der Gebäudeklasse 5 wird z.B. häufig eine Feuerwiderstandsdauer über der Brandeinwirkungsdauer für Bauteile als Schutzniveau angestrebt, damit ein Versagen und somit hohe wirtschaftliche Folgen ausbleiben.



Vergleich Kapselkriterium K und den durch Raumabschluss definierten Feuerwiderstand EI. Abb.5.3

(1) Leistungsanforderungen von Holz im Brandfall

Die Entzündung von Holz ist ab einer Oberflächentemperatur von 200- 350 °C möglich. Die Holzverbrennung läuft nach Schneider in 2 Stufen ab, der Vergasung des Holzes, sowie der Oxidation der Gase und der Holzkohle. Ab ca.100 °C Oberflächentemperatur bildet sich eine Pyrolysezone auf der Feuerzugewandten Seite aus und das Wasser im Holz verdampft (Holzfeuchte max. 20 % bei Bauholz).

Anmerkung: Eine Kapselung K, falls brandschutztechnisch erforderlich, muss dies somit verhindern.

Ab 150 °C beginnt der Zerfall der Zellulose im Holz in gasförmige Kohlenwasserstoffe. Diese entzünden sich bei 220- 320 °C, ab diesem Zeitpunkt unterhält sich die Reaktion von selbst.

Die Pyrolysezone wandert progressiv weiter und baut hinter sich eine Verkohlungszone auf, siehe Tab.5.2. Höhere Temperaturen bewirken dabei ein schnelleres Fortschreiten der Pyrolysezone. Die Verkohlungszone zeichnet sich durch ihre geringe Dichte (ca. 20 % der Ursprungsrohichte des Holzes) und hohe Permeabilität aus. Dies führt zu einer niedrigen Wärmeleitfähigkeit, so daß die Verkohlungszone als Wärmedämmschicht, welche das darunterliegende gesunde Holz schützt, angesehen werden kann. Im Anfangsstadium des Brandes ist der Abbrand darum viel höher als in weiterer Folge durch die geschützte Verkohlungszone. vgl. Schneider et al. (2008), (S.259ff.) „8.6 Temperaturverhalten von Holz“; vgl. Bobacz, Luggin, Bergmeister (2008), (S.15ff.); vgl. Frangi (2001), (S.37- 48)

Im Eurocode 5: ÖNORM EN 1995- 1- 2 werden durchschnittliche Abbrandraten β_n [mm/min] über den Zeitraum der Brandbeanspruchung für Holzbauteile angegeben. Ebenfalls bei anfänglich geschützten Holzoberflächen. vgl. ÖNORM EN 1995- 1- 2 (2011)

Material	β_0 mm/min	β_n mm/min
a) Nadelholz und Buche		
Brettschichtholz mit einer charakteristischen Rohdichte von $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Vollholz mit einer charakteristischen Rohdichte von $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,8
b) Laubholz		
Vollholz oder Brettschichtholz mit einer charakteristischen Rohdichte von $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Vollholz oder Brettschichtholz mit einer charakteristischen Rohdichte von $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55
a Die Werte gelten für eine charakteristische Rohdichte von 450 kg/m^3 und eine Werkstoffdicke von 20 mm, für andere Werkstoffdicken und Rohdichten, siehe 3.4.2 (9)		

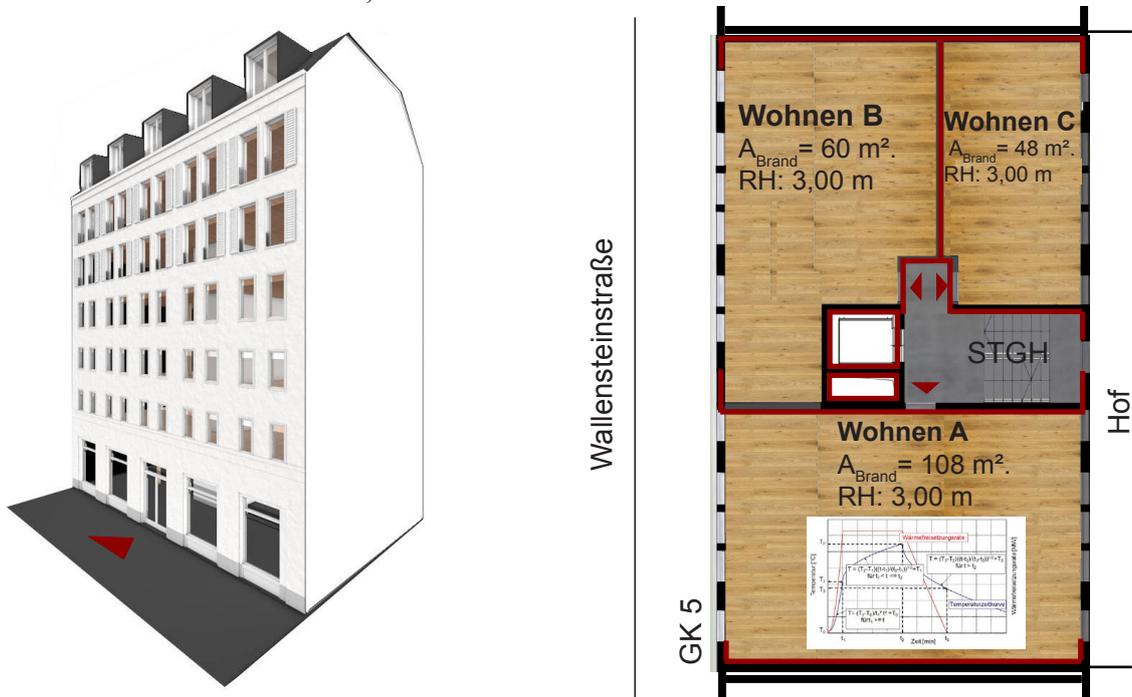
Tab.5.2: Abbrandraten verschiedener Holzarten nach ÖNORM EN 1995- 1- 2.

Ebenfalls kann die Abbrandrate β_n [mm/min] in der ÖNORM EN 1995- 1- 2, Anhang A „parametrische Brandbeanspruchung“ auch auf Grund spezifischer Ventilationsverhältnisse im Brandraum ermittelt werden. Der im nationalen Anwenderdokument in Österreich geforderte brandschutztechnische Nachweis für Holzbaustoffe mit der Brechnungsmethode „Methode mit reduziertem Querschnitt“, kann so angewendet werden. vgl. ÖNORM EN 1995- 1- 2 (2011), (S.33f.), Anhang A; vgl. ÖNORM B 1995- 1- 2 (2011)

5.3 Beispielberechnung: Bemessungsbrandszenario < 20 MW

Die im Kapitel 4.3 "Alternative Brandmodelle" untersuchten Berechnungsmodelle zur Ermittlung der Bemessungsbrandeinwirkung auf Bauteile werden nun im **Bemessungsbrandszenario nach Abb.4.4 mit < 20 MW** angewandt. Auf Grund der Leistungsfähigkeit der Feuerwehr ist hier nun nicht mehr die charakteristische Brandlastdichte im Brandabschnitt maßgebend für das Versagen der Bauteile.

Im vorliegenden Sicherheitskonzept wird die erforderliche Zuverlässigkeit des Tragwerks im Brandfall β_{fi} ermittelt und dadurch Bemessungswerte der **maßgebenden Variablen** der Brandeinwirkung für < 20 MW, die **maximale Bemessungsenergiefreisetzungsrate** $\dot{Q}_{max,d}$ [MW] im Brandraum und die **Bemessungsbrandentwicklungszeit bis zum Flashover** mit $t_{\alpha,d}$ [s] global abgeschätzt. Die **Dauer bis zum Beginn der Brandbekämpfung** $t_{f5,k}$ [min] und die **Dauer der Löscharbeiten (Feuerwehr)** $t_{f6,k}$ [min] werden aufgrund von Expertenmeinungen deterministisch angenommen. Es soll unter Einhaltung der BauPVo Nr. 305/ 2011, Anhang 1 somit eine Aussage über die notwendige Feuerwiderstandsdauer, Brandverhalten der tragenden und raumabschließenden Bauteile getroffen werden können -das Schutzniveau. Die Beispielberechnung erfolgt für eine Wohnung, definiert als eigener Brandabschnitt, in einem Wohngebäude in der Gebäudeklasse 5, in Wien.



Perspektive und Grundriss Wohngebäude Gebäudeklasse 5 (Brandabschnittsbildung rot). Abb.5.5

Die Bemessung erfolgt repräsentativ für die größte Wohnung im Haus, Wohnung A mit 108 m² Nettogrundfläche (ohne Zellen), siehe Abb.5.5. Um die Berechnung der Bemessungsbrandeinwirkung auf die tragenden und raumabschließenden Bauteile zu ermöglichen werden nachstehende Basisvariablen aufgeführt.

5.3.1 Basisvariablen zur Berechnung parametrischer Brandkurven im Brandabschnitt

Bemessungsbrandszenario
Lage des Brandabschnittes
Grundfläche des Brandabschnittes
(Info) charakteristische Brandlastdichte
max. spezifische Brandleistung je m²
Verbrennungseffektivität der Brandlast
Brandausbreitungsgeschwindigkeit
Ventilationgeometrie und Fläche
Umfassungsfläche Brandabschnitt
Umfassungsbauteile (thermisch)

kritischer Wohnungsbrand, Feststoff;
7. OG; Aufenthaltsniveau 21 m über Straßenniveau;
 $A_{Brand} = 108 \text{ m}^2$;
 $q_{f,k} = 948 \text{ MJ/m}^2$, 80 % Quantil (nicht maßgebend);
 $\dot{Q}_{max,k} = 0,25 \text{ MW/m}^2$;
 $\chi = 0,8$;
 $t_{\alpha,k} = 300 \text{ s}$ bis 1 MW = mittel (Möbliering);
 $A_w = 9,9 \text{ m}^2$ Fensterfläche; $h_w = 1,7 \text{ m}$ Fensterhöhe;
 $A_t = 326 \text{ m}^2$ (inkl. Öffnungen);
 $b = 1.500 \text{ J/m}^2\text{s}^{0,5}$ (Baustoffeigenschaft).

5.3.2 Basisvariablen im Sicherheitskonzept

(1) Sicherheitskonzept zur Ermittlung des erforderlichen Sicherheitsindex β_{fi} :

Gemäß ÖNORM EN 1990, Anhang B und für den Lastfall Brand modifiziert, siehe Kapitel 4.3.1.2 "Definieren des erforderlichen Sicherheitsindex β_{fi} im Brandfall", Punkt (1) und (2), mit:

Schadensfolgeklasse CC 2 (GK 5)	nach ÖNORM EN 1990, Anhang B.3;
Risikoklasse RC 1 (im Brandfall)	$\beta = 4,2$, nach DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang BB.4;
Brandhäufigkeit λ_1 [$1/(m^2 * a)$]: Wohnen	$4,8 E -05$, nach DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang BB.4.

Für die Berechnung des Zielwertes der Versagenswahrscheinlichkeit, des **Sicherheitsindex des Tragwerkes im Brandfall β_{fi}** , erfolgt somit die Einteilung der Schadensfolgeklasse CC 2 mit der Risikoklasse RC 1, auf Grund zeitlich, örtlicher Begrenzung der Belastung.

Die statistische Annahme der Brandhäufigkeit für die Nutzung Wohnen λ_1 [$1/(m^2 * a)$] erfolgt dabei nach der DIN EN 1991- 1- 2, Anhang BB, da in der ÖNORM EN 1991- 1- 2, sowie der ÖNORM EN 1990 keine Angaben dazu gemacht werden, siehe Tab.4.17 und Tab.4.20.

vgl. ÖNORM EN 1991- 1- 2 (2013); vgl. ÖNORM EN 1990 (2013); vgl. DIN EN 1991- 1- 2/ NA (2010)

(2) Teilsicherheitsbeiwerte für die Festlegung von Bemessungswerten maßgebender Variablen der Brandeinwirkung zur Einhaltung des erforderlichen Sicherheitsindex β_{fi} :

Die Festlegung von Bemessungswerten von maßgebenden Variablen, die am Versagen der Bauteile im **Bemessungsbrandszenario < 20 MW** beteiligt sind, $t_{a,d}$ [s] und $\dot{Q}_{max,d}$ [MW], erfolgt durch Teilsicherheitsbeiwerte γ_{fi} . Diese werden nach ÖNORM EN 1990, Anhang C.7 global abgeschätzt. Die Teilsicherheitsbeiwerte können nun aufgrund β_{fi} in Abb.4.26 abgelesen werden.

Die charakteristischen Nennwerte der Variablen $t_{f5,k}$ [min], $t_{f6,k}$ [min] werden als Bemessungswerte im Bemessungsbrandszenario übernommen.

Diese vereinfachte Analyse ersetzt keine Kalibrierung und ist somit eine erste Abschätzung.

(3) Planungs- und Ausführungsqualität tragender und raumabschließender Bauteile:

Für die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{fi} , hat die Festlegung der Qualität der Überwachungsmaßnahmen der Planung und Ausführung einen Einfluss auf die Höhe der naturgemäß streuenden Eigenschaften der Variablen der Einwirkungs- und Widerstandsgrößen für die Berechnung im Sicherheitskonzept und sollte möglichst gering sein. vgl. ÖNORM EN 1990 (2013), Anhang B

Überwachungsmaßnahmen Planung: DSL 2; (Brandschutz, Statik) verstärkte Eigenüberwachung;

Überwachungsmaßnahmen Ausführung: IL 3; (Brandschutz, Statik) Fremdüberwachung.

(4) Zusätzliche brandschutztechnische Angaben nach der OIB RL 2:

Die Angaben zu den brandschutztechnischen Maßnahmen nach der OIB RL 2 die für die Gebäudeklasse 5 notwendig sind, fließen nicht direkt in die Berechnung der Feuerwiderstandsdauer tragender und raumabschließender Bauteile mit ein, geben jedoch einen Auszug über die gesetzlichen Forderungen:

Zugang für die Feuerwehr:	Sicherer Zugang über Treppenhaus (eigener Brandabschnitt);
Löschwasserversorgung:	Trockensteigleitung im STGH vorhanden;
Rauchfreihaltung im Stiegenhaus:	1 m ² Ventilationsöffnung;
1. und 2. Rettungsweg:	ja (Selbstrettung + Fremdreitung durch die Feuerwehr);
Brandfrüherkennung:	Rauchmelder (Selbstrettung);
Ausführungsqualität Brandabschnitt:	REI (tragend, raumabschließend (<u>rauchdicht</u>), isolierend)

5.3.3 Ermittlung des Bemessungsbrandverlaufs im gesamten Brandabschnitt

(1) Die erforderliche Zuverlässigkeit der tragenden und raumabschließenden Bauteile im Brandfall:

$$\text{Sicherheitsindex} \quad P_{f,fi} = 1,3 * 10^{-5} / (4,8 * 10^{-5} * 108) = \underline{2,5 * 10^{-3}} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.3.15)}$$

$$\beta_{fi} = \underline{2,8} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.3.16)}$$

(1.1) Die globalen Teilsicherheitsbeiwerte auf Grund des Bemessungsbrandszenarios $\dot{Q}_{max,d} < 20 \text{ MW}$ ergeben sich durch $\beta_{fi} = 2,8$ mit:

$$\gamma_{fi,\alpha} = 1,0 ; \gamma_{fi,\dot{Q}} = 1,25 \quad (\text{abgelesen nach Abb.4.26})$$

(2) Die maximale charakteristische Energiefreisetzungsrate im Brandabschnitt ergibt sich mit:

$$\dot{Q}_{max,k} = 1,21 * 9,9 * \sqrt{1,7} ; 0,25 * 108 = \text{MIN} (15,6 ; 27) \quad \text{vgl. (Gl.4.2.8.1)}$$

$$\dot{Q}_{max,k} = \dot{Q}_{max,v} = \underline{15,6 \text{ MW}}$$

(3) Die maximale Bemessungsenergiefreisetzungsrate $\dot{Q}_{max,d}$ definiert sich aus:

$$\dot{Q}_{max,d} = 15,6 * 1,25 < 20 \text{ MW} = \underline{19,5 \text{ MW}} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.7.21)}$$

(4) Die Phase der Brandausbreitung ist definiert mit:

$$t_1 = 300 * \sqrt{19,5} = \underline{1.324,21 \text{ s}} = \underline{22,0 \text{ Minuten}} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.7.13)}$$

$$Q_1 = 1.324,21^3 / 3 * 300^2 = \underline{8600,16 \text{ MJ}} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.7.32)}$$

Mit:

$$t_{\alpha,d} = 300 * \gamma_{fi,\alpha} = \underline{300 \text{ s}}$$

(5) Flashover:

$$\dot{Q}_{fo} = 0,0078 * 326 + 0,378 * 12,15 * \sqrt{1,7} = \underline{8,9 \text{ MW}} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.7.42)}$$

$$t_{fo} = 300 * \sqrt{8,51} = 895 \text{ sek} = \underline{\sim 15, \text{ Minute}} \quad t_{fo} < t_1 \quad \text{vgl. (Gl.4.2.7.41)}$$

$$Q_{fo} = 895^3 / 3 * 300^2 = \underline{2.655 \text{ MJ}} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.7.32)}$$

(6) Für die Referenzbrandlastdichte von $q_{ref} = 1.300 \text{ MJ/m}^2$ ergibt sich:

$$Q_{gesamt} = 1.300 * 108 = \underline{140.400 \text{ MJ}} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.7.21)}$$

$$Q_2 = 0,7 * 140.400 - 2.655 = \underline{95.625 \text{ MJ}} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.7.19)}$$

$$t_2 = 95.625 / 19,5 = 4.904 \text{ s} \Rightarrow t_2 = \underline{\sim 96, \text{ Minute}} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.7.15)}$$

$$Q_3 = 0,3 * 140.400 = \underline{42.120 \text{ MJ}} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.7.20)}$$

$$t_3 = 2 * 42.120 / 19,5 = 4.320 \text{ s} \Rightarrow t_3 = \underline{\sim 168, \text{ Minute}} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.7.17)}$$

(7) Die Heißgastemperaturen im Brandabschnitt für $q_{ref} = 1.300 \text{ MJ/m}^2$ zu den Zeiten t_1, t_2, t_3 :

$$\Theta_1 = -8,75 * 1 / 0,039 - 0,1 * 1.500 + 1.175 = \underline{800 \text{ }^\circ\text{C}} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.7.14)}$$

$$\Theta_2 = (0,004 * 1.500 - 17) * 1 / 0,039 - 0,4 * 1.500 + 2.175 < 1.340 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow \underline{1.293 \text{ }^\circ\text{C}} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.7.16)}$$

$$\Theta_3 = -5,0 * 1 / 0,039 - 0,16 * 1.500 + 1.060 = \underline{692 \text{ }^\circ\text{C}} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.7.18)}$$

Mit:

$$O = 9,9 * \sqrt{1,7} / 326 = \underline{0,039} \quad \text{vgl. (Gl.4.2.8.24)}$$

(8) Heißgastemperatur- Zeitverlauf im Brandabschnitt für $q_{fk} = 948 \text{ MJ/m}^2$ zu den Zeiten t_1, t_2, t_3 :

Die charakteristische Brandlastdichte ist nicht maßgebend, es erfolgt keine Bemessung.

(9) **Bemessungsbrandzenario mit Brandbekämpfungsmaßnahmen** durch die Löschbereitschaft der Berufsfeuerwehr Wien für ein < 20 MW Brandgeschehen -d.h. quantifizierbarer Löschdauer.

(9.1) **Die Bemessungsbrandentwicklungszeit $t_{f5,d}$ [min]** bis Beginn der Löscharbeiten:

$$t_{f5,k} = t_{f5,d} = \underline{\underline{30 \text{ Minuten}}}$$

(9.2) **Die Bemessungsbrandbekämpfungszeit $t_{f6,d}$ [min]:**

$$t_{f6,k} = t_{f6,d} = \underline{\underline{35 \text{ Minuten}}}$$

(9.3) Das Brandende auf Grund von brandbekämpfenden Maßnahmen t_{sub} [min]:

$$t_{sub} = 35 + 30 = \underline{\underline{65. \text{Minute}}}$$

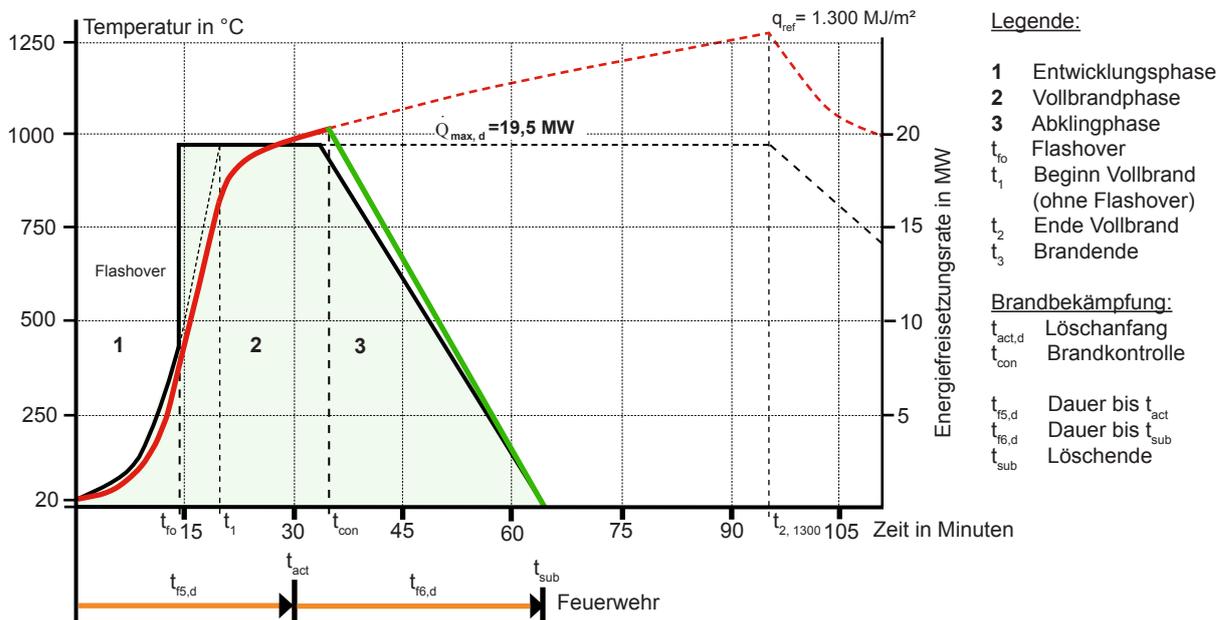
Dabei ist:

$t_{f5,d}$ Bemessungsbrandentwicklungszeit [min] mit 30 Minuten;

$t_{f6,d}$ Bemessungsbrandbekämpfungszeit [min] mit 35 Minuten.

(9.4) Die Vollbranddauer im gesamten Brandabschnitt Wohnung A mit: $t_{con} - t_{fo} = \underline{\underline{20 \text{ Minuten}}}$.

Grafische Darstellung des Bemessungsbrandzenarios < 20 MW:



Das Bemessungsbrandzenario der Wohnung A mit $A_{Brand} = 108 \text{ m}^2$ Brandabschnittsfläche. Abb.5.6

5.3.3.1 Ergebnis

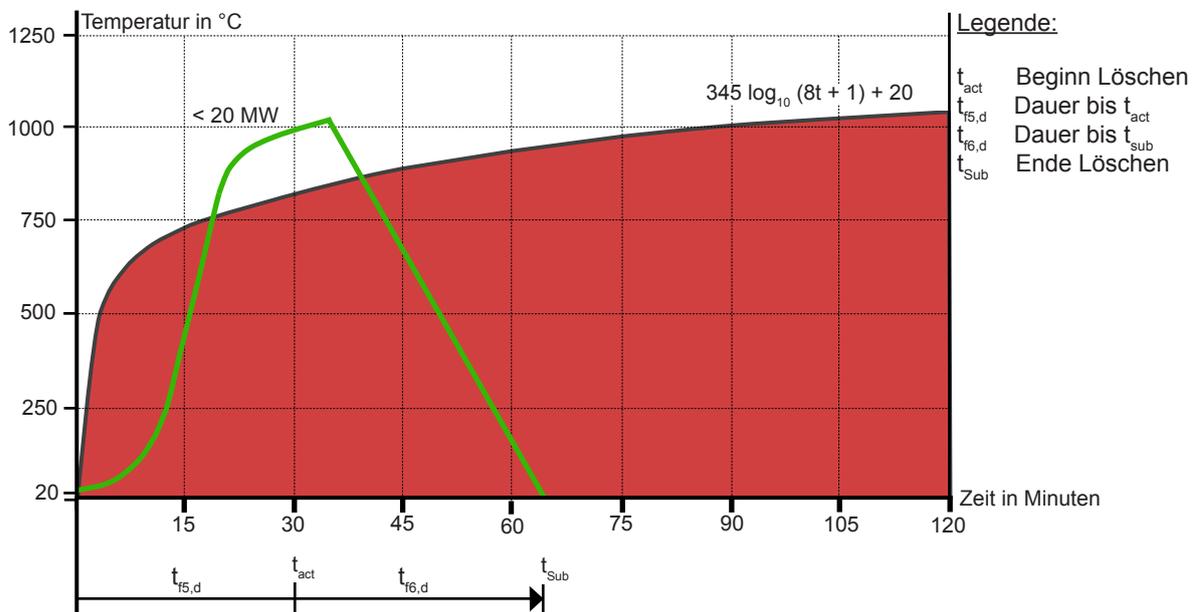
Das Bemessungsbrandzenario zeigt die Energiefreisetzungs- Zeitkurve und die Heißgastemperatur- Zeitkurve zu den gleichen Zeitpunkten (Ereignissen) t_0 , t_{fo} , t_1 , t_{con} und t_{sub} [min]. Der Flashover erfolgt in der ca. 15. Minute nach Brandbeginn, wären Zimmer in der Wohnung würde der Flashover in einem Zimmer früher erfolgen. Die Löschwirkung der Feuerwehr ist ab der 30. Minute nachweisbar. Auf Grund der Leistungsfähigkeit der Feuerwehr und der geringen maximalen Bemessungsenergiefreisetzungsrate im Brandgeschehen wird der Brand im Brandabschnitt innerhalb von ca. 35 Minuten abgelöscht.

(1) Vertikale Brandausbreitung auf andere Brandabschnitte:

Ab der ca. 15. Minute (Flashover) nach Brandbeginn ist von einer Brandausbreitung über übereinanderliegende Fensteröffnungen auszugehen, so dass bei Beginn der Brandbekämpfung durch die Feuerwehr ab ca. der 30. Minute auch der darüberliegende Brandabschnitt (Entstehungsbrand) abgelöscht werden muss.

(2) Vergleich zur ETK:

Der Temperaturzeitverlauf der parametrischen Brandkurve im Brandabschnitt zeigt gegenüber der normativen Temperaturzeitkurve, der ETK, in den ersten 20 Minuten deutlich geringere Temperaturen an. Ab der ca. 22. Minute werden deutlich höhere Temperaturen im Brandraum erreicht. Es kommt somit kurzzeitig zu einer erhöhten Brandbeanspruchung von nach ETK geprüften Bauteilen z.B. von Gipskartonfeuerschutzplatten, kurz GKF. Die einsetzende Löschwirkung der Feuerwehr in der begrenzten Brandabschnittsfläche ab der ca. 37. Minute verringert bereits die Brandbeanspruchung auf die Bauteile, bis zum Brandende in der ca. 60. Minute, siehe Abb.5.7.

Vergleich: Bemessungsbrandszenario < 20 MW und normative Brandkurve

Der Heißgastemperatur- Zeitverlauf der Wohnung A (grün) im Vergleich zur ETK (rot). Abb.5.7

5.3.3.2 Maßnahmen für den Holzmassivbau

Werden die tragenden und raumabschließenden Bauteile des Brandabschnittes in Schottenbauweise durch Holzmassivelemente erstellt, müssen diese bis zum Beginn des Flashovers und somit des Einleitens des Vollbrandes im Brandabschnitt durch eine nichtbrennbare brandschutztechnische Bekleidung geschützt werden, damit keine schnelle Brandausbreitung und somit ein erhöhtes Schadensmaß im Brandabschnitt erfolgen kann. Nach Beginn des Flashovers ist auf Grund der unzureichenden Sauerstoffzufuhr, die Abbrandrate der Brandlast aus der Nutzung und den tragenden und raumabschließenden Holzmassivbauteilen im Brandabschnitt beschränkt.

Fazit: Es wird für den Brandabschnitt eine brandschutztechnische Bekleidung von $K_2,30, A2^*$ für die tragenden und raumabschließenden Bauteile vorgeschlagen, die bis zum Erreichen des Flashovers im Brandraum eine schnelle Brandausbreitung über die brennbaren Innenraumbooberflächen unterbinden soll.

*** (Eine zugelassene $K_2,15, A2$ Platte würde in diesem Berechnungsbeispiel somit ebenfalls genügen)**

Eine gesamte Feuerwiderstandsdauer der tragenden und raumabschließenden, brennbaren Bauteile aus Holz, von **REI 60** ist für die Erfüllung der Schutzziele nach der BauPVo, Anhang 1 ausreichend und gewährleistet einen Feuerwiderstand bis zum Ende der Brandeinwirkung..

Es muss dabei zur Bemessung des Feuerwiderstandes der Bauteile die erhöhte Abbrandrate an der Holzkonstruktion bei Abfall der Brandschutzplatte $K_2,30, A2$ berücksichtigt werden und die dann im Gegensatz zur ETK vorherrschende höhere Brandbeanspruchung im Brandraum.

5.3.3.3 Maßnahmen für den Holzskelettbau

Werden die tragenden Bauteile im Brandabschnitt in der Skelettbauweise mit Holz erstellt, wird für diese Bauteile auf Grund des geringen Beitrags zur Brandausbreitung keine brandschutztechnische Bekleidung in A 2 notwendig. Raumabschließende Bauteile aus Holz müssen hingegen bis zum Erreichen des Flashovers brandschutztechnisch in A 2 bekleidet sein, damit diese keinen Beitrag zu einer schnellen Brandausbreitung leisten können, wenn keine Brandmeldeanlage installiert ist.

Fazit: Die sichtbaren tragenden, brennbaren Bauteile erfüllen die Schutzziele der BauPVo, Anhang 1 mit einer Feuerwiderstandsdauer von **R 90**.

Diese etwas höhere Feuerwiderstandsdauer wird als Vorschlag angestrebt, da dadurch bei einzelnen Stützen eine höhere Sicherheit erlangt wird und somit der Unterschied zwischen flächigen tragenden (gute Lastumlagerungsqualitäten) und einzelnen tragenden Bauteilen (eher wenig Möglichkeiten der Lastumlagerung) kompensiert wird.

Es wird für die Brandabschnittsbildung eine brandschutztechnische Bekleidung von $K_2,30, A2^*$ für raumabschließende Bauteile vorgeschlagen, die eine schnelle Brandausbreitung über die brennbaren Innenraumbooberflächen bis zum Erreichen des Flashovers im Brandraum lediglich unterbinden soll.

Eine Feuerwiderstandsdauer der raumabschließenden, brennbaren Bauteile (inkl. Decken) von (R)EI 60 ist ausreichend für die Erfüllung der Schutzziele nach der BauPVo, Anhang 1.

Es muss dabei zur Bemessung der Feuerwiderstandsdauer die erhöhte Abbrandrate an der Holzkonstruktion bei Abfall der Brandschutzplatte $K_2,30, A2$ berücksichtigt werden und die dann im Gegensatz zur ETK vorherrschende höhere Brandbeanspruchung im Brandraum.

5.3.4 Mehrgeschossiger Holzbau in der Kategorie: "geringe Brandleistung" < 20 MW

Es definieren sich nun abgesicherte Schlussfolgerungen aus den Untersuchungen und Literaturrecherchen der Kapitel 3 und Kapitel 4, für den Holzbau in der **Kategorie geringe Brandleistung < 20 MW:**

1. Die tragenden und brandabschnittsbildenden Holzmassivbauteile müssen bis zum Beginn des Vollbrandes vor dem Brand geschützt werden, damit diese **keinen Beitrag zu einer schnelleren Brandausbreitung und einem höherem Schadensausmaß liefern**. Es genügt eine Kapselung $K_2,30, A2$.

Es genügt eine Feuerwiderstandsdauer der Konstruktion von **REI 60**.

Insgesamt: REI 60 + $K_2,30, A2$.

2. Bei tragenden und brandabschnittsbildenden **sichtbaren Holzmassivbauteilen** muss eine **Brandmeldeanlage** mit einer Aufschaltung zur Feuerwehr installiert sein, damit eine schnelle Brandausbreitung über brennbare Innenraumoberflächen den frühzeitig erfolgenden Vollbrand und somit der frühzeitigen Brandweiterleitung über übereinanderliegende Ventilationsöffnungen verschiedener Brandabschnitte entgegen gewirkt werden kann. Die erhöhte Brandlast im Brandraum durch immobile Bauteile hat keinen Einfluss auf den frühzeitigen Löscherfolg durch die Feuerwehr.

Eine **Feuerwiderstandsdauer** der sichtbaren tragenden und raumabschließenden, brennbaren, massiven Holzbauteile von **REI 60** gewährleistet die Tragfähigkeit bzw. Raumabschluss bis zum Ende der Brandeinwirkung vor der 60. Minute.

3. Eine **sichtbare Holzkonstruktion** ist bei der **Holzskelettbauweise** möglich, durch den geringen zusätzlichen Beitrag immobiler Brandlasten. Durch die vereinzelt stehenden Holzbauteile ist eine schnelle Brandausbreitung und somit ein erhöhtes Schadensausmaß über immobile brennbare Bauteile nicht gegeben.

Eine Feuerwiderstandsdauer der **brennbaren, tragenden Bauteile mit R 90** gewährleistet die Tragfähigkeit bis zum Ende der Brandeinwirkung.

Die **brennbaren, brandabschnittsbildenden Bauteile** (inkl. Decken) sind mit einer **K₂ 30, A2** Kapselfüllung herzustellen und müssen eine Feuerwiderstandsdauer **(R)EI 60** aufweisen (oder Punkt 2), dies gewährleistet auch den Raumabschluss bei einem sehr selten anzutreffenden verspäteten Löscherfolg.

5.3.5 Mehrgeschossiger Holzbau in der Kategorie Sprinklerkonzept

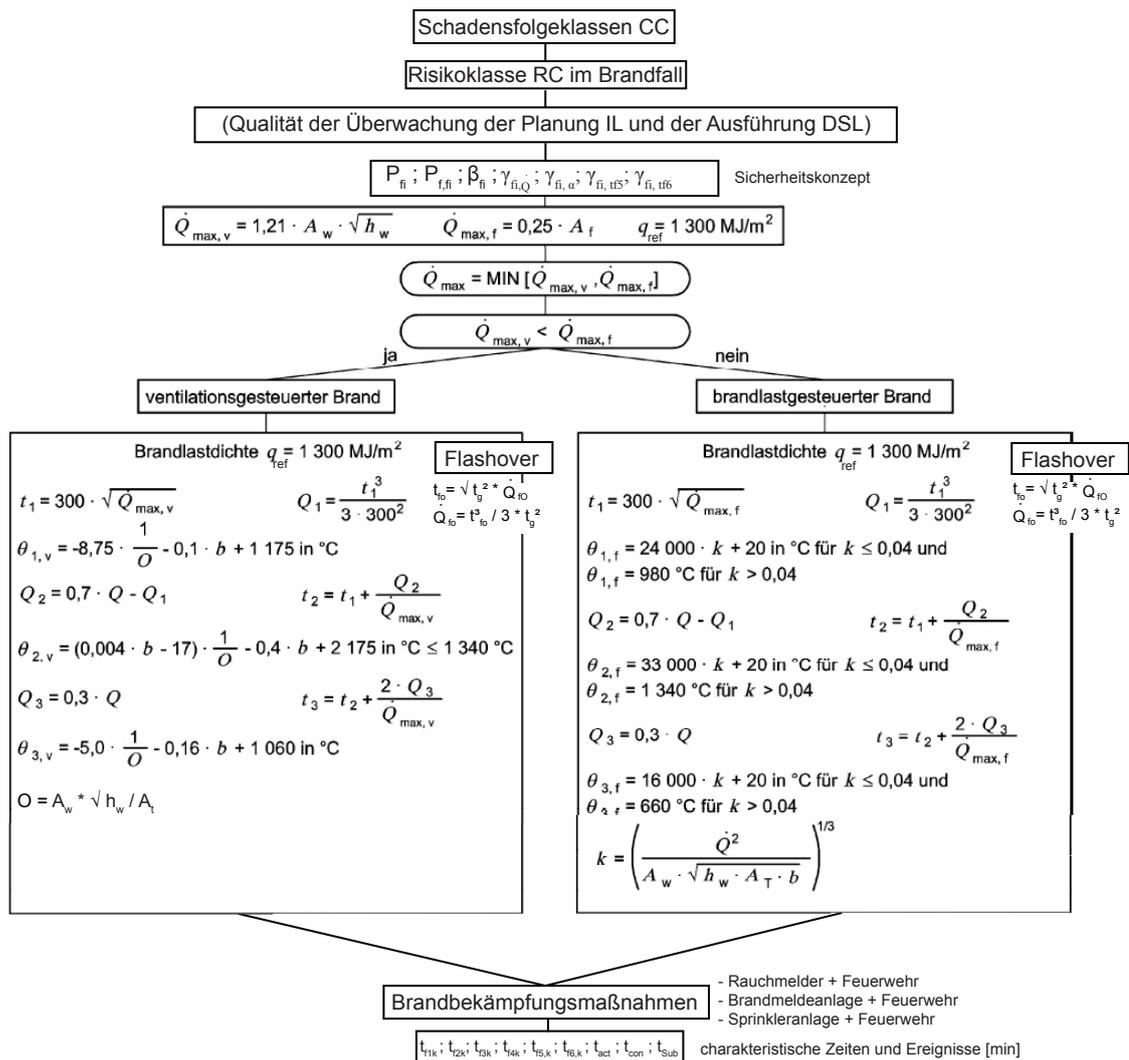
1. Eine **sichtbare Holzkonstruktion ist bei der Holzmassiv- oder -skelettbauweise** bei der **Kategorie Sprinklerkonzept** im Brandabschnitt möglich bei Einsatz einer **Sprinkleranlage + Brandmeldeanlage**. Eine schnelle Brandausbreitung über immobile brennbare Bauteile ist durch eine frühzeitige Brandbekämpfung und Begrenzung der Brandfläche entgegengewirkt, die Brandbekämpfung erfolgt somit in Kombination von Sprinkleranlage und Feuerwehr. Einer Feuerwiderstandsdauer **R 60** ist ausreichend bemessen, um die Schutzziele der BauPVo, Anhang 1 einzuhalten. Die Brandabschnittsgröße könnte sich nach der Versorgungsfläche der Sprinkleranlage richten. Eine Brandmeldeanlage mit Aufschaltung zur Feuerwehr ist bei nicht ständig besetzten Nutzungen z.B. Büro und Wohnen notwendig. Siehe Kapitel 5.2.3 Fallstudie B. (Die Sprinkleranlage ist Vorschriftsmäßig nach dem Stand der Technik zu warten)

5.3.6 Zusammenstellung der Ergebnisse

Kategorie:				
geringe Brandleistung < 20 MW				Sprinklerkonzept
Optik	nicht sichtbar	sichtbar	sichtbar	sichtbar
Bauweise	Holzmassiv	Holzmassiv	Holzskelett	Holzmassiv/ -skelett
Branderkennung	Rauchmelder	Brandmeldeanlage	Rauchmelder	Brandmeldeanlage
Brandbekämpfung	Feuerwehr	Feuerwehr	Feuerwehr	Sprinkler + Feuerwehr
tragende Bauteile/ raumabschließende Bauteile	K ₂ 30, A2 REI 60, D	REI 60, D	R 90, D/ K ₂ 30, A2 REI 60, D	REI 60, D

Tab.5.3: brandschutztechnische Auslegung für mehrgeschossige Gebäude aus Holz.

5.3.7 Flusdiagramm für das Bemessungsbrandszenario < 20 MW



Flusdiagramm nach Zehfuß, ergänzt für ein Bemessungsbrandszenario < 20 MW. Abb.5.8

Das Flusdiagramm in Abb.5.8 zeigt die Ergänzung zum Flusdiagramm der DIN EN 1991- 1- 2/NA, Anhang AA " Vereinfachtes Naturbrandmodell für vollentwickelte Raumbrände" nach Zehfuß, die für das Bemessungsbrandszenario vorgenommen worden ist mit:

- Einteilung des Gebäudes in die Schadensfolgeklasse/ Risikoklasse nach ÖNORM EN 1990, Anhang B
- Ermittlung des Zielwertes der Zuverlässigkeit des Tragwerkes im Brandfall P_{fi} ; $P_{f,fi}$; β_{fi}
- Festlegen der Teilsicherheitsbeiwerte der maßgebenden Variablen, die am Versagen der Bauteile beteiligt sind
- Bestimmung des Flashover- Zeitpunktes in Zellen (Zeitpunkt der Brandweiterleitung-, Detektierung);
- Da die charakteristische Brandlastdichte $q_{f,k}$ [MJ/m²] nicht maßgebend für den Bemessungsbrand < 20 MW ist, ist der Rechenweg entfallen und nur der Temperaturzeitverlauf durch q_{ref} [MJ/m²] dargestellt.
- Ermittlung des Beginns der Brandbekämpfungsmaßnahmen und der Dauer der Brandbekämpfung z.B. auf Grund quantifizierbarer Leistungen der Feuerwehr und Sprinkler durch $t_{f5,k}$; $t_{f6,k}$.

5.4 Zusammenfassung

Es wurden auf Grund der Ergebnisse aus dem Kapitel 3 Einteilungen in Kategorien für die Brandleistung des Brandgeschehens vorgenommen, dabei wird nun in Kategorie: geringe Brandleistung < 20 MW, mittlere bis hohe Brandleistung > 20 MW und Kategorie Sprinklerkonzept unterschieden, um eine Differenzierung für den mehrgeschossigen Holzbau bei der brandschutztechnischen Bewertung verschiedener Konstruktionen zu ermöglichen.

Weiterhin wurde die Brandausbreitungsgeschwindigkeit für sichtbare Holzskelett- und Holzmassivbauweisen differenziert. Dies geschah über die charakteristische Brandentwicklungszeit $t_{\alpha,k}$ [s] bis zum Erreichen von 1 MW im Brandraum, so dass in zellenartigen Wohn- und Büronutzungen $t_{\alpha,k} = 300$ s bis zum Erreichen von 1 MW angenommen wurde, für Holzskelettbauweisen das 10 % Quantil, auf Grund eines leicht erhöhten brennbaren Anteils, sowie $t_{\alpha,k} = 150$ s bis zum Erreichen von 1 MW für flächige Holzmassivbauteile.

Auf Grund einer Literaturrecherche im Kapitel 4 konnte eine Auswahl geeigneter Berechnungsmodelle, für eine Zuverlässigkeitsanalyse des Tragwerks im Brandfall und für die Darstellung des Brandverlaufes im Brandraum, erfolgen.

In einem Berechnungsbeispiel in Kapitel 5.3, für ein Bemessungsbrandszenario < 20 MW, nach Abb.4.4, in einer Wohnnutzung, wurde der **Zielwert der Zuverlässigkeit des Tragwerkes im Brandfall mit β_{fi}** ermittelt. Die **Teilsicherheitsbeiwerte γ_{fi}** zur Festlegung von Bemessungsvariablen der Einwirkung wurden dabei **global abgeschätzt**.

Dabei wird ersichtlich, dass die maximale Bemessungsenergiefreisetzungsrates im Brandraum mit < 20 MW ca. 1/4 über der charakteristischen liegt und somit ein hohes Sicherheitsniveau gegeben ist.

-d.h. auf Grund des globalen Sicherheitskonzeptes beträgt die maximale charakteristische Energiefreisetzungsrates im Brandabschnitt lediglich 3/4 der als, von der Löschbereitschaft der Berufsfeuerwehr Wien, quantifizierbares Maximum angegebenen.

In Zukunft sollte daher, um einer Überdimensionierung zu entgegnen, eine Kalibrierung der Teilsicherheitsbeiwerte erfolgen, um somit die globalen Teilsicherheitsbeiwerte für das Bemessungsbrandszenario < 20 MW anzupassen.

Ebenfalls sind statistische Erhebungen über die Brandentwicklungszeit bis zum Beginn der Löschmaßnahmen, sowie die Löschdauer bei unterschiedlichen Brandleistungen notwendig um hier eine Kalibrierung der zur Zeit angegebenen Nennwerte vorzunehmen.

Auf Grund der Ergebnisse im Berechnungsbeispiel erfolgte eine globale Auslegung für brandschutztechnische Maßnahmen im Holzmassiv- und Holzskelettbau in der Gebäudeklasse 5 für Wohnnutzungen bei Brandleistungen von < 20 MW im Brandabschnitt.

Hierbei gilt es lediglich eine schnelle Brandausbreitung über sichtbare flächige Holzbauteile über die Dauer bis zum Beginn des Vollbrandes im Brandraum zu verhindern, um ein erhöhtes Schadensausmaß bis zum Eintreffen der Feuerwehr zu unterbinden, insbesondere in darüberliegenden Brandabschnitten. Die Gewährleistung einer Feuerwiderstandsdauer tragender und brandabschnittsbildender Bauteile über das Brandereignis hinaus, mit den in Tab.5.3 definierten Massnahmen ist aufgrund der kleinen Brandabschnittsbildung und der Leistungsfähigkeit der Feuerwehr möglich.

Im nachfolgenden Kapitel 5.5 "Fallstudien" werden anhand von 3 Fallbeispielen die Annahmen in Tab.5.3 für brandschutztechnische Maßnahmen beim Holzmassivbau und den Holzskelettbau beispielhaft überprüft. Die Basisvariablen im Sicherheitskonzept werden dabei übernommen.

5.5 Projekt: „Bad Aibling“



Perspektive der „Nullenergiestadt“ Mietraching in Bad Aibling. Abb.5.9

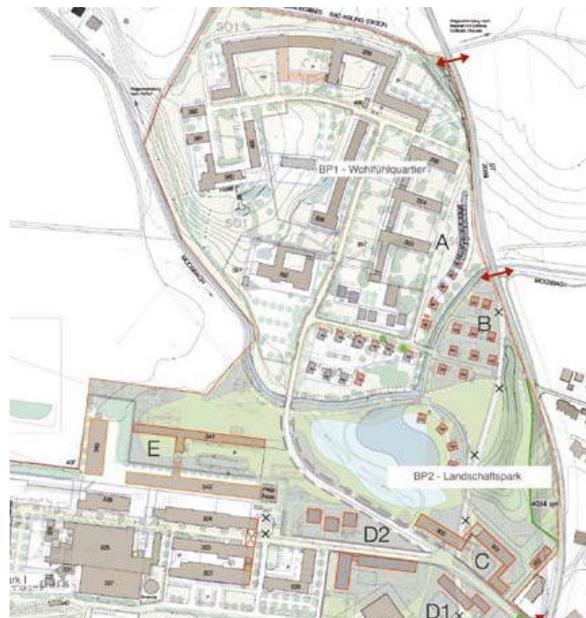
Das Gebäude „h 8“ befindet sich auf dem Parkgelände der geplanten Nullenergiestadt Mietraching in Bad Aibling. Die bestehenden Gebäude der ehemaligen US- Kaserne werden rückgebaut, modernisiert und ergänzt durch Neubauten, unter anderem errichtet in einem Holzbausystem.

Der Neubau „h8“ ist ein frei stehendes 8- stöckiges Wohnhaus in der Gebäudeklasse 5, aus tragenden und raumabschließenden Bauteilen in Holz- und Betonfertigteilen mit einer Holzfassade.

- Bauherr ist B&O Parkgelände GmbH, Anne-Frank-Straße 64, 83043 Bad Aibling.
- Architekten sind Schankula Architekten, Garmischer Straße 35, 81373 München.
- Brandschutzkonzeptplanung von Bauart GmbH, Destouchesstraße 65, 80796 München erstellt.

vgl. Holzhaus Bad Aibling (2011); vgl. Die Wohnwirtschaft, Sonderdruck, Jahrgang 63 (07/ 2010) „Bauen mit Holz an der Hochhausgrenze im Nullenergiequartier“

(1) Lage



Parkgelände Masterplanung Mietraching. Abb.5.10

(2) Ansicht

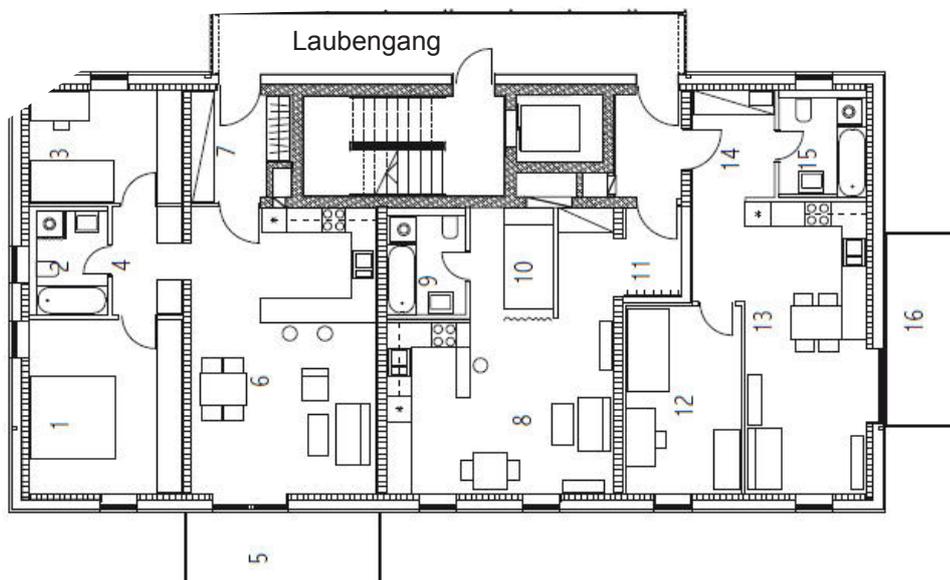


Ansicht Fassade „h8“. Abb.5.11

(3) Nutzung

Die ersten beiden Geschosse werden für Büronutzung vorgesehen, die sechs darüberliegenden Etagen beinhalten Wohnungen. Alle Geschosse werden über den Treppenhauskern und einen Aufzug erschlossen.

(4) Grundriss



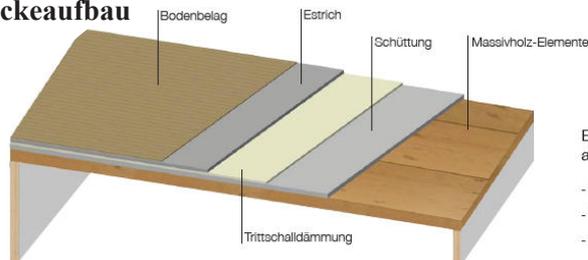
Grundriss Regelgeschoss mit Wohnungen, Stiegenhaus und Laubengang. Abb.5.12

(5) Schnitt



Schnitt durch das Gebäude und Fluchtstiegenhaus aus Beton- Fertigteilen. Abb.5.13

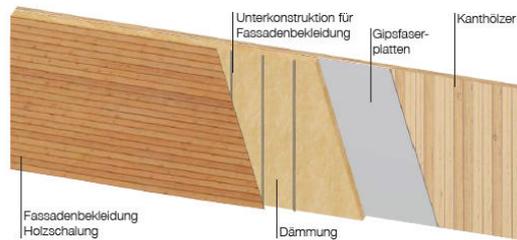
(6) Zwischendeckenaufbau



Brettstapel-Elemente als Decken

- Decken: Kreuzlagenholz-Elemente 125 cm breit
- Unterseite: teilweise sichtbare Holzoberfläche
- effizienter Schallschutz durch Schüttung

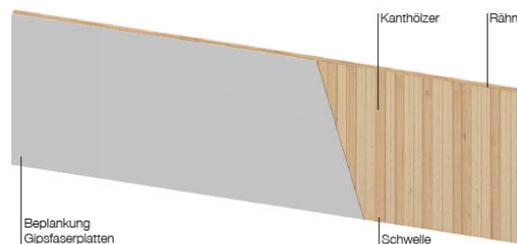
(7) Außenwandaufbau



Blockständer-Elemente als Außenwand

- vorgefertigte tragende / nichttragende Außenwände aus Vollholz-Stehern
- Kapselung der Wände mit Gipsfaserplatten
- 24 cm Wärmedämmung in einer außen durchgehenden Schicht
- werkseitig eingebaute Fenster und fertige Fassadenbekleidung

(8) Innenwandaufbau



Blockständer-Elemente als Innenwand

- vorgefertigte tragende Innenwände aus Vollholz-Stehern
- Elementlänge bis zu 12m
- Brandschutz und Aussteifung durch Gipsfaserplatten
- renovierungsfreundliche Gipsoberflächen
- gesundes Raumklima

Bauteilaufbauten, Geschossdecke, Außenwand und Innenwand. Abb.5.14

(9) Baukastensystem

Das Gebäude „h 8“ besteht aus einem Baukastensystem aus Beton- und Holzfertigteilen, das eine schnelle Montage erlaubt.



Fertigstellung Betonfertigteil Treppenturm, sowie die Auskragungen für den Laubengang. Abb.5.15



Errichten der vorgefertigten Holz- Wand- und Deckenfertigteile. Abb.5.16



Kurze Rohbauphase. Abb.5.17



Anschluss Stiegenhauskern aus Betonfertigteilen mit der elementierten Brettspertholzdecke. Abb.5.18

(10) Baukosten

Die Baukosten für das 8- stöckige Gebäude aus Massivholz und Stahlbeton beträgt ca. 2.000 €/m², insgesamt 2.5 Mio. €. Dabei werden eine Bürofläche von 340 m², eine Wohnfläche von 970 m² und ein gesamter Bruttorauminhalt von 5.320 m³ errichtet. vgl. Detail- Zeitschrift für Architektur + Baudetail (06/ 2012) „Vorgefertigtes Bauen mit Holz“; vgl. Peter, Winter (2012), (S.26- 31); vgl. Holzhaus Bad Aibling (2011)

5.5.1 Brandschutzkonzept**(1) Gebäudeeinstufung**

Das Gebäude mit seinen 8 Etagen ist lt. MBO in der Gebäudeklasse 5 einzuordnen, mit einem Aufenthaltsniveau der obersten Etage von nicht mehr als 22 m. Mit einem Brandschutzkonzept kann von der Musterbauordnung, kurz MBO und der Muster Holzbau Richtlinie, kurz M- HFHHolzR abgewichen werden, wenn das Schutzniveau und die Schutzziele der MBO und M- HFHHolzR eingehalten werden. vgl. MBO (2009); vgl. M- HFHHolzR (2004)

(2) Fluchtwegssicherung

Der erste Rettungsweg führt über den offenen, luftdurchspülten Laubengang und das Fluchtstiegenhaus, der zweite Rettungsweg führt über öffentbare Fenster und der Drehleiter der Feuerwehr. Kurze Fluchtwege von den Nutzungen in das sichere Fluchttreppenhaus ermöglichen eine schnelle Selbstrettung der Bewohner, sowie einen gezielten Einsatz der Rettungskräfte und der Feuerwehr.

Durch einen offenen Laubengang, der die Treppe mit den Wohnungen verbindet, kann eine Verrauchung des Treppenhauses, des ersten Rettungsweges im Brandfall verhindert werden.

(3) Brandabschnittsbildende Bauteile, bauliche vorbeugende Brandschutzmaßnahmen

Der Treppenturm ist in mineralischer Bauweise hergestellt mit einer Feuerwiderstandsdauer, Brandverhalten der Euroklasse REI 90, A2 lt. Vorgaben der MBO in der Gebäudeklasse 5.

Die tragenden und raumabschließenden Wände aus Holz mit einer Feuerwiderstandsdauer von REIM 90 sind, mit einer brandschutztechnischen Bekleidung, durch zwei Lagen Gipsfaserplatten im Innenraum und einer Lage Gipsfaserplatten Außen, sowie einer nichtbrennbaren Wärmedämmung, mit einem Schmelzpunkt von 1.000 °, ausgeführt, dieser Aufbau entspricht insgesamt einem Kapselkriterium K₂60 nach DIN EN 13501- 2 und ist baurechtlich für die GK 4 in der M- HFHHolzR definiert.

Somit leisten die aufgehenden Bauteile aus Holz im Brandfall für 60 Minuten keinen Beitrag zum Brandgeschehen. Das letzte Obergeschoss ist aus Brettsperreholzelementen mit einem Feuerwiderstand, Brandverhalten REI 90, D in Sichtqualität hergestellt.

Die Deckenelemente bestehen aus Brettsperreholzelementen in Sichtqualität mit einer Feuerwiderstandsdauer, Brandverhalten der Euroklasse REI 90, D. Die Rauchdichtheit im Massivholzbau ist gewährleistet. Die Brandabschnittsbildung erfolgt Wohnungsweise und ist somit sehr kleinteilig. Einer schnellen Brandausbreitung wird somit entgegengewirkt. Die maximale Energiefreisetzungsrates der Brandlast durch mobile und immobile Bauteile wird durch die Lochfassade beschränkt (ventilationsgesteuerter Brand).

(4) Fassade

Bei Einhaltung von genügend Abstandsflächen ist eine brennbare Fassade lt. Bauordnung in der GK 5 möglich. Die Konstruktion der Fassade aus einer Holzschalung ist nach den Konstruktionsanforderungen eines vorangegangenen Forschungsprojektes erfolgt. Diese Untersuchungen fanden in Zusammenarbeit mit der schweizerischen Institution Lignum und der Material- und Prüfanstalt für das Bauwesen in Leipzig (MFPA- Leipzig) statt. Dabei wurden großmaßstäblich Brandversuche an verschiedenen Holzfassadensystemen durchgeführt und bewertet. Es ist somit geschossweise ein horizontales Stahlblech zur Verzögerung der Brandausbreitung über die brennbare Fassade angebracht. vgl. Winter, Merk (2008), Anlage 1; vgl. Peter, Winter (2012), (S.26- 31)

(5) Anlagentechnische Brandschutzmaßnahmen

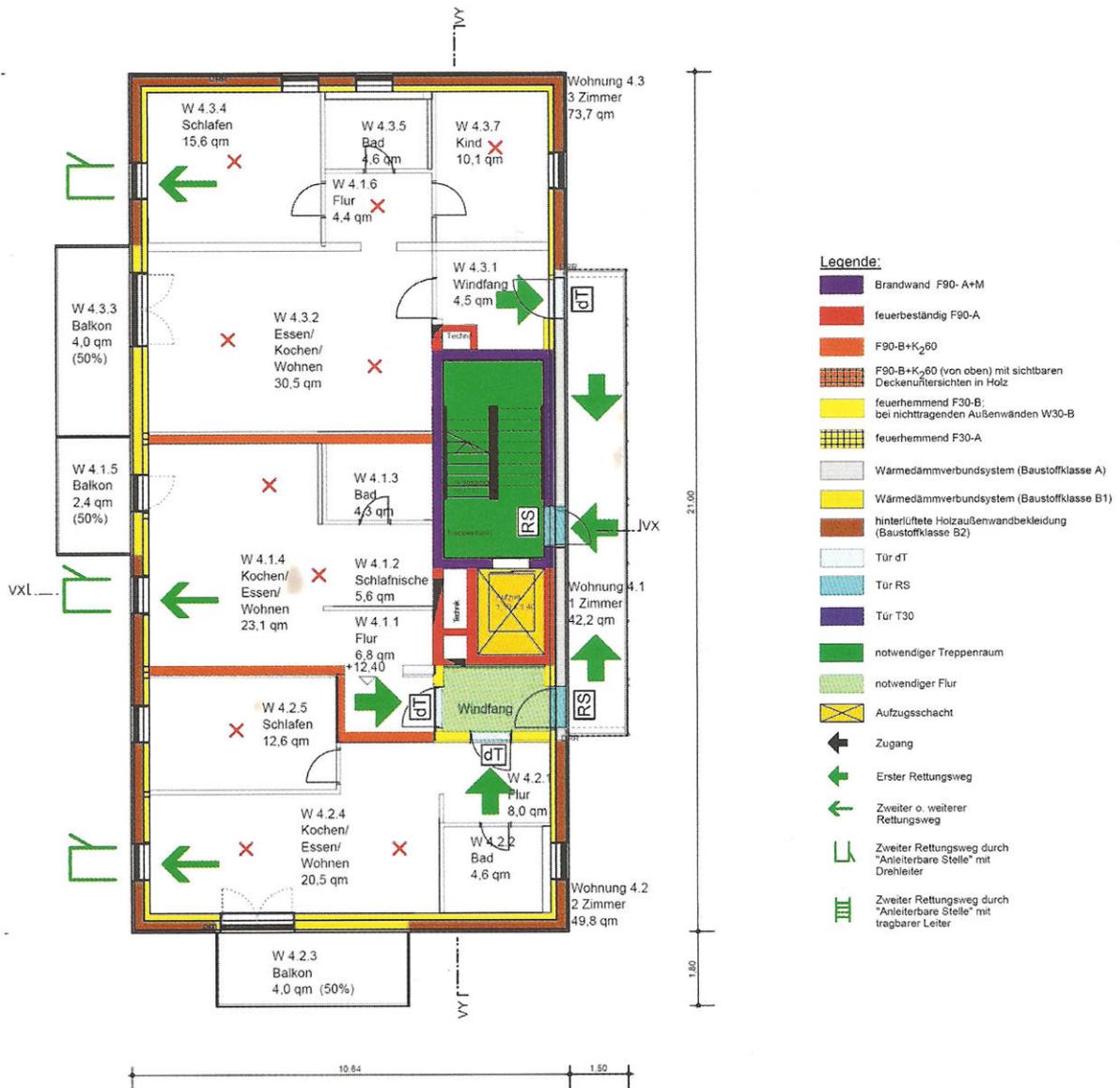
Kompensatorische Maßnahmen für die Verwendung der brennbaren, brandabschnittsbildenden Decken und der Fassade ist der Einbau einer Brandmeldeanlage, kurz BMA mit Aufschaltung zu einem Sicherheitsdienst, sowie der luftduchspühlte 1. Rettungsweg. vgl. Peter, Winter (2012), (S.26- 31)

Die Installationsführung im Gebäude erfolgt weitgehend ohne Vorsatzschale, da lt. M- HFHHolzR in der GK 4 maximal in einem nichtbrennbaren Hüllrohr 3 Kabel innerhalb der Wandkonstruktion verlegt werden dürfen konnte dieses Regelung auch in der GK 5 durchgesetzt werden.

(6) Qualität der Überwachung

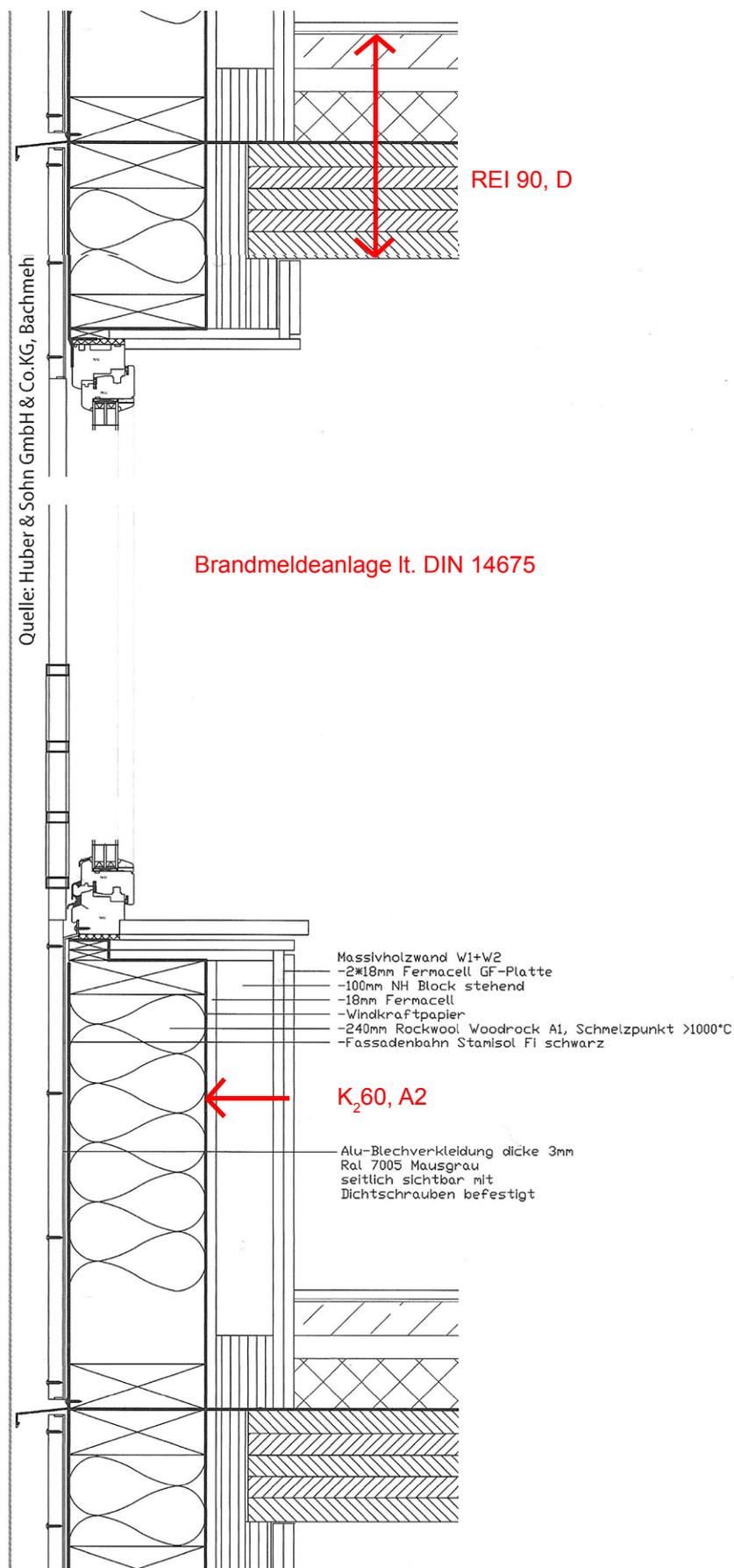
Die Qualitätssicherung der Überwachung der Ausführung des 8- stöckigen Holzbaus erfolgte gemäß § 24 MBO und nach Abschnitt 5 und 6 der M- HFHHolzR das ausführende Baufirmen eigen- und fremdüberwacht sein müssen. Weiterhin ist eine Zertifizierung nach Bauregelliste BRL A Teil 2 lfd. Nr. 2.44 für die Herstellung hochfeuerhemmender Bauteile erforderlich, sowie ein bauaufsichtlicher Verwendbarkeitsnachweis, z.B. in Form eines abP (allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis) notwendig. vgl. Peter, Winter (2012), (S.26- 31)

(7) Brandschutzkonzeptplan



Brandschutzkonzeptplan Regelgeschoss. Abb.5.19

(8) Detailausführung baulicher Brandschutz Außenwand

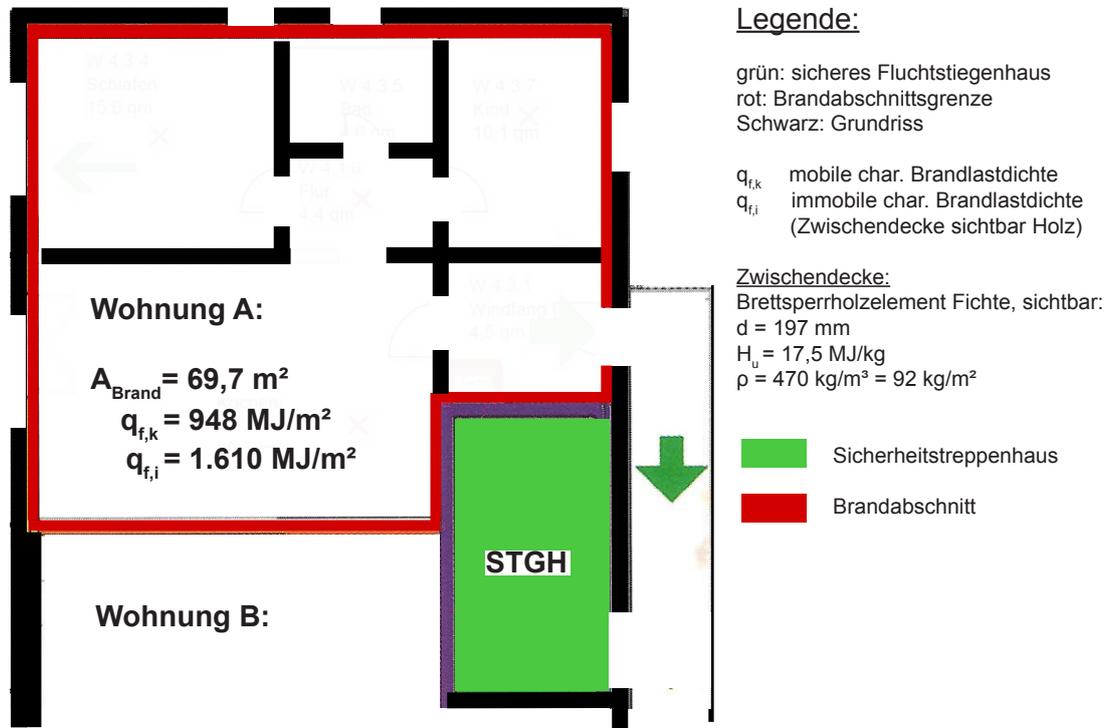


Detail Fassade- Deckenanschluss. Abb.5.20

5.5.2 Fallstudie A

Bemessung der Branddauer für eine Wohnung mit $A_{\text{Brand}} = 69,7 \text{ m}^2$.

(Die Fallstudie A nimmt keinen Bezug zum Brandschutzkonzept im Kapitel 5.5.1 „Brandschutzkonzept“, die Eingangsdaten sind vom Autor frei gewählt, die Schlussfolgerungen beziehen sich auf die Kapitel 3 und 4.)



Brandschutzkonzeptplan Regelgeschoss Wohnung $A_{\text{Brand}} = 69,7 \text{ m}^2$. Abb.5.21

5.5.2.1 Basisvariablen zur Berechnung parametrischer Brandkurven:

Bemessungsbrandszenario	kritischer Wohnungsbrand;
Lage des Brandabschnittes	6. OG; Aufenthaltsniveau 18,60 m über Straßenniveau;
Grundfläche/ Brandabschnitt	$A_{\text{Brand}} = 69,7 \text{ m}^2$;
(Info) charakteristische Brandlastdichte	$q_{f,k} + q_{f,i} = 2.558 \text{ MJ/m}^2$; (nicht maßgebend)
max. spezifische Brandleistung je m^2	$Q_{\text{max},k} = 0,25 \text{ MW/m}^2$
Brandausbreitungsgeschwindigkeit	$t_{\alpha,k} = 150 \text{ s bis } 1 \text{ MW}$; schnell (Möblierung + Holzdecke);
Verbrennungseffektivität der Brandlast	$\chi = 0,8$;
Ventilationengeometrie und Fläche	$A_w = 8,29 \text{ m}^2$ Fensterfläche; $h_w = 1,7 \text{ m}$ Fensterhöhe;
Umfassungsfläche Brandabschnitt	$A_t = 250 \text{ m}^2$ (inkl. Öffnungen);
Umfassungsbauteile (thermisch)	$b = 1.200 \text{ J/m}^2\text{s}^{0,5}$ (Baustoffeigenschaft definiert).

5.5.2.2 Basisvariablen im Sicherheitskonzept:

Schadensfolgeklasse CC 2	$1,3 \text{ E}^{-05}$ nach DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang BB.4;
Risikoklasse RC 1	$\beta = 4,2$, nach DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang BB.4;
Brandhäufigkeit in Wohnnutzungen	$4,8 \text{ E}^{-05}$ nach DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang BB.4;

maßgebende Variablen der Brandeinwirkung $\dot{Q}_{\text{max},k}$ [MW], $t_{\alpha,k}$ [s], $t_{f5,k}$ [min], $t_{f6,k}$ [min];

Sicherer Zugang über Treppenhaus	ja;
Löschwasserversorgung	Trockensteigleitung im STGH vorhanden;
Rauchfreihaltung im Stiegenhaus	1 m^2 Ventilationsöffnung;
1. Rettungsweg	ja (Selbstrettung);
2. Rettungsweg	ja (Fremdrettung);
Brandmeldeanlage (BMA)	ja (Brandfrüherkennung, Alarmierung der Feuerwehr);
öffentliche Feuerwehr	ja (Brandbekämpfung).

5.5.2.3 Ermittlung des Bemessungsbrandverlaufs im gesamten Brandabschnitt

(1) Die Bemessungswerte lt. Sicherheitskonzept ergeben sich zu:

$$\text{Sicherheitsindex} \quad P_{f,fi} = 1,3 * 10^{-5} / (4,8 * 10^{-5} * 69,7) = \underline{3,9 * 10^{-3}}$$

$$\beta_{fi} = \underline{2,65}$$

(1.1) Die globalen Teilsicherheitsbeiwerte auf Grund des Bemessungsbrandszenarios $\dot{Q}_{max,d} < 20 \text{ MW}$ ergeben sich durch $\beta_{fi} = 2,65$ mit:

$$\gamma_{fi,\alpha} = 1,0 ; \gamma_{fi,\dot{Q}} = 1,2 \quad (\text{abgelesen nach Abb.4.26})$$

(2) Die maximale charakteristische Energiefreisetzungsrate im Brandabschnitt ergibt sich mit:

$$\dot{Q}_{max,k} = 1,21 * 8,29 * \sqrt{1,7} ; 0,25 * (2 * 69,7) = \text{MIN} (13,08 ; 34,85)$$

$$\dot{Q}_{max,k} = \dot{Q}_{max,v} = \underline{12,9 \text{ MW}}$$

(3) Die maximale Bemessungsenergiefreisetzungsrate $\dot{Q}_{max,d}$ definiert sich aus:

$$\dot{Q}_{max,d} = 13,08 * 1,2 < 20 \text{ MW} = \underline{15,7 \text{ MW}}$$

(4) Die Phase der Brandausbreitung ist definiert mit:

$$t_1 = 150 * \sqrt{15,7} = \underline{594 \text{ s}} = \sim \underline{10. \text{ Minute}}$$

$$Q_1 = 594^3 / 3 * 150^2 = \sim \underline{3.105 \text{ MJ}}$$

Mit:

$$t_{\alpha,d} = 150 * \gamma_{fi,\alpha} = \underline{150 \text{ s}}$$

(5) Flashover:

$$\dot{Q}_{fo} = 0,0078 * 250 + 0,378 * 8,0 * \sqrt{1,7} = \underline{5,9 \text{ MW}}$$

$$t_{fo} = 150 * \sqrt{5,9} = \underline{364 \text{ s}} \Rightarrow t_{fo} = \underline{6. \text{ Minute}} \quad t_{fo} < t_1$$

$$Q_{fo} = 364^3 / 3 * 150^2 = \underline{714,5 \text{ MJ}}$$

(6) Für die Referenzbrandlastdichte von $q_{ref} = 1.300 \text{ MJ/m}^2$ ergibt sich:

$$Q_{gesamt} = 1.300 * 69,7 = \underline{90.610 \text{ MJ}}$$

$$Q_2 = 0,7 * 90.610 - 914,5 = \underline{62.512,5 \text{ MJ}}$$

$$t_2 = 62.512,5 / 15,7 = \sim 3.981,7 \text{ s} \Rightarrow t_2 = \underline{764. \text{ Minute}}$$

$$Q_3 = 0,3 * 90.610 = \underline{27.183 \text{ MJ}}$$

$$t_3 = 2 * 27.183 / 15,7 = \sim 3.463 \text{ s} \Rightarrow t_3 = \sim \underline{134,4. \text{ Minute}}$$

(7) Die Heißgastemperaturen im Brandabschnitt mit $q_{ref} = 1.300 \text{ MJ/m}^2$ zu den Zeiten t_1, t_2, t_3 :

$$\Theta_1 = -8,75 * 1 / 0,041 - 0,1 * 1.200 + 1.175 = \sim \underline{842 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$\Theta_2 = (0,004 * 1.200 - 17) * 1 / 0,041 - 0,4 * 1.500 + 2.175 < 1.340 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow \underline{1.277 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$\Theta_3 = -5,0 * 1 / 0,041 - 0,16 * 1.200 + 1.060 = \underline{746 \text{ }^\circ\text{C}}$$

Mit:

$$O = 8,0 * \sqrt{1,7} / 250 = \underline{0,041}$$

(8) Die Heißgastemperaturen im Brandabschnitt für $q_{f,k} = 2.456 \text{ MJ/m}^2$ zu den Zeiten t_1, t_2, t_3 :

Die charakteristische Brandlastdichte ist nicht maßgebend, es erfolgt keine Bemessung.

(9) **Bemessungsbrandszenario mit Brandbekämpfungsmaßnahmen** durch die Löschbereitschaft der Berufsfeuerwehr Wien für ein < 20 MW Brandgeschehen -d.h. quantifizierbarer Löschdauer.

(9.1) **Die Bemessungsbrandentwicklungszeit $t_{f5,d}$ [min]** bis Beginn der Löscharbeiten:

$$t_{f5,k} = t_{f5,d} = \underline{\underline{20 \text{ Minuten}}}$$

Dabei ist:

$t_{f5,k}$ charakteristische Brandentwicklungszeit bis zur Brandbekämpfung [min] mit 20 Minuten (Angen. Brandrüherkennung und Alarmierung der Feuerwehr durch Brandmeldeanlage)

(9.2) **Die Bemessungsbrandbekämpfungszeit $t_{f6,d}$ [min]:**

$$t_{f6,k} = t_{f6,d} = \underline{\underline{35 \text{ Minuten}}}$$

(9.3) Das Brandende auf Grund von brandbekämpfenden Maßnahmen t_{sub} [min]:

$$t_{sub} = 35 + 20 = \underline{\underline{55. \text{Minute}}}$$

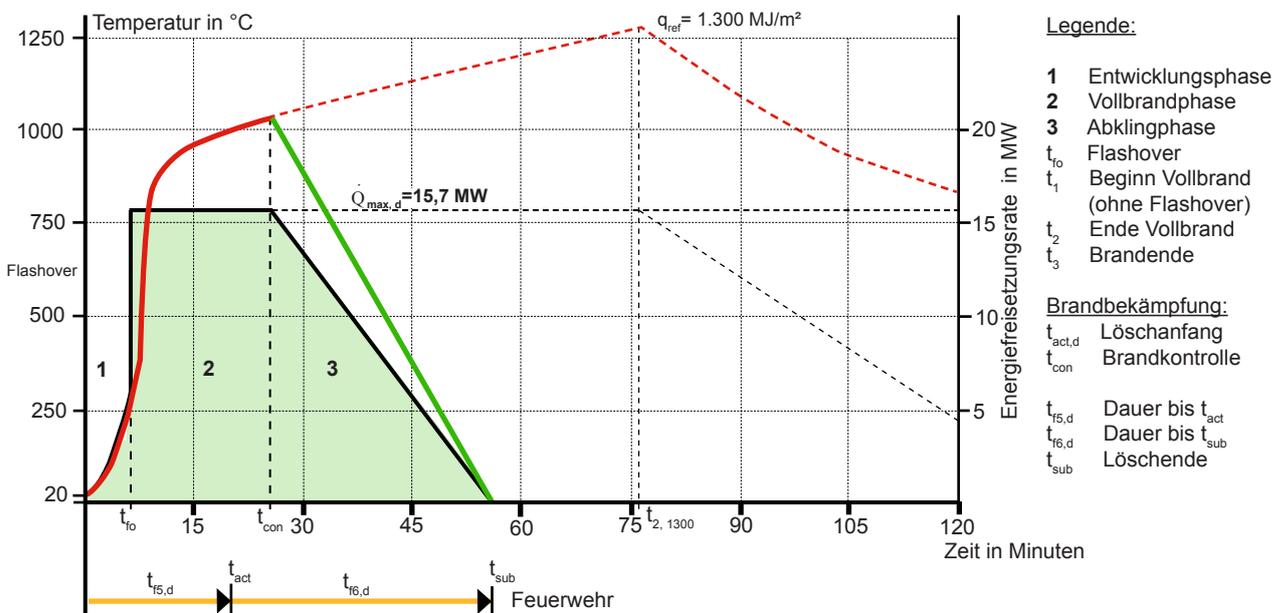
Dabei ist:

$t_{f5,d}$ Bemessungsbrandentwicklungszeit [min] mit 20 Minuten;

$t_{f6,d}$ Bemessungsbrandbekämpfungszeit [min] mit 35 Minuten.

(9.4) Die Vollbranddauer im gesamten Brandabschnitt Wohnung A mit: $t_{con} - t_{fo} = \underline{\underline{20 \text{ Minuten}}}$.

Grafische Darstellung des Bemessungsbrandszenarios < 20 MW:

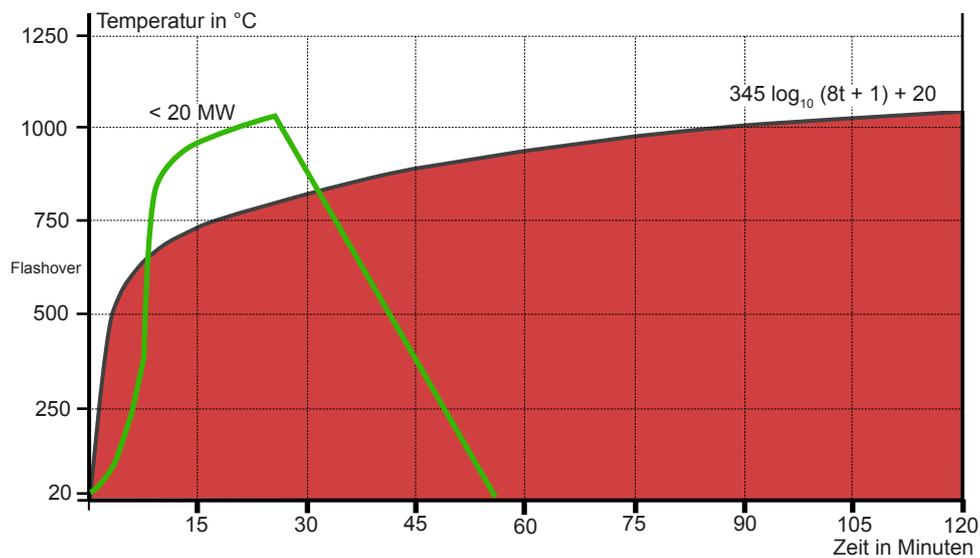


Das Bemessungsbrandszenario der Wohnung Wohnung A mit $A_{Brand} = 108 \text{ m}^2$. Abb.5.22

5.5.2.3.1 Ergebnis

Die Grafik in Abb.5.22 zeigt eine schnelle Brandausbreitung aufgrund des zusätzlichen Abbrandes der Holzdecke. Der Flashover erfolgt bereits ab der ca. 6. Minute nach Brandbeginn, so dass ab diesem Zeitpunkt eine Brandausbreitung über darüberliegende Brandabschnitte über übereinanderliegende Fensteröffnungen an der Fassade erfolgen kann. Die Löschwirkung (grün) der Berufsfeuerwehr erfolgt ab der ca. 20. Minute nach Brandbeginn im Brandabschnitt. Durch die Installation einer Brandmeldeanlage kann eine frühzeitige Brandbekämpfung die schnelle Brandausbreitung auf andere Brandabschnitte unterbinden. Das Brandende ist durch die Löschwirkung der Feuerwehr im Brandabschnitt vor der 60. Minute nach Brandbeginn.

Info: Gegenüber der normativen Brandkurve in Abb.5.23 zeigt der Bemessungsbrand < 20 MW in den ersten 5 Minuten eine leichte Unterschreitung der Temperatur im Brandraum. Eine Überschreitung der Temperatur im Brandraum gegenüber der ETK erfolgt ab ca. 5 Minuten nach Brandbeginn bis ca. 30 Minuten nach Brandbeginn.



Bemessungsbrandszenario der Wohnung A mit $A_{\text{Brand}} = 108 \text{ m}^2$ Brandabschnittsfläche (grün). Abb.5.23

5.5.2.3.2 Zusammenfassung Fallstudie A

Mit dem Einsatz einer Brandmeldeanlage (BMA) und dem Wirken der Berufsfeuerwehr kann eine Einteilung der Feuerwiderstandsdauer, Brandverhalten der tragenden und brandabschnittsbildenden Bauteile nach Tab.5.3 erfolgen.

5.6 Projekt: „Life Cycle Tower“



Perspektive Life Cycle Tower, LCT 1. Abb.5.24

Die Möglichkeiten eines vielgeschossigen Holzbaus im urbanen Raum mit Zielrichtung auf acht oder mehr Geschosse, war der Grundstein des Forschungsprojektes „Achtplus“, kurz „8+“ aus der Programmlinie „Haus der Zukunft“ im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften, welches 1999 als mehrjähriges Forschungs- und Technologieprogramm vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie gestartet wurde. Die durchgeführten Arbeiten am Forschungsprojekt wurden in mehrere zentrale Arbeitspakete (Ökologie, Tragwerk, Brandschutz, Energiedesign, Haustechnik, Ökonomie) gegliedert. vgl. Schluder Architektur ZT GmbH in: Berichte aus Energie- und Umweltforschung (70/ 2009)

Auf der Grundlage des Forschungsprojektes „8+“ entwickelte Rhomberg Bau GmbH in weiterer Folge ein eigenes Baukastensystem, das sich im „Life Cycle Tower“, kurz LCT 1, widerspiegelt und zur Errichtung energieeffizienter Bürohochhäuser, mit bis zu 20 Geschossen führt. vgl. Zangerl, M.; Kaufmann, H.; Hein, C. et al. (2010)

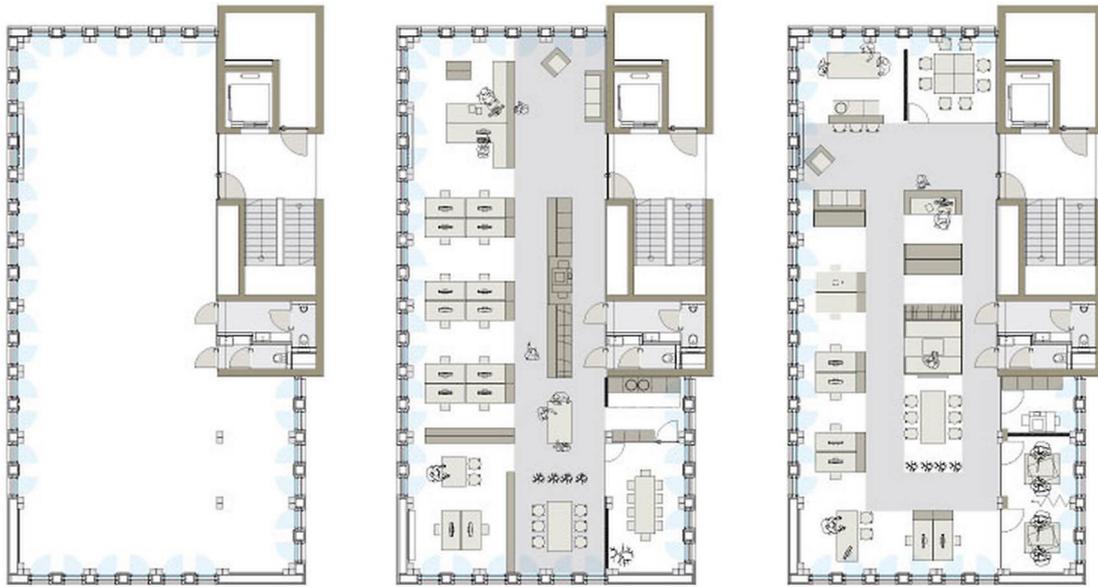
Die Realisierung des entwickelten Baukastensystems erfolgte im Jahr 2011- 2012 in Dornbirn, Vorarlberg, wobei 8 Geschosse errichtet wurden und als Büronutzung ausgewiesen sind.

(1) Ansicht



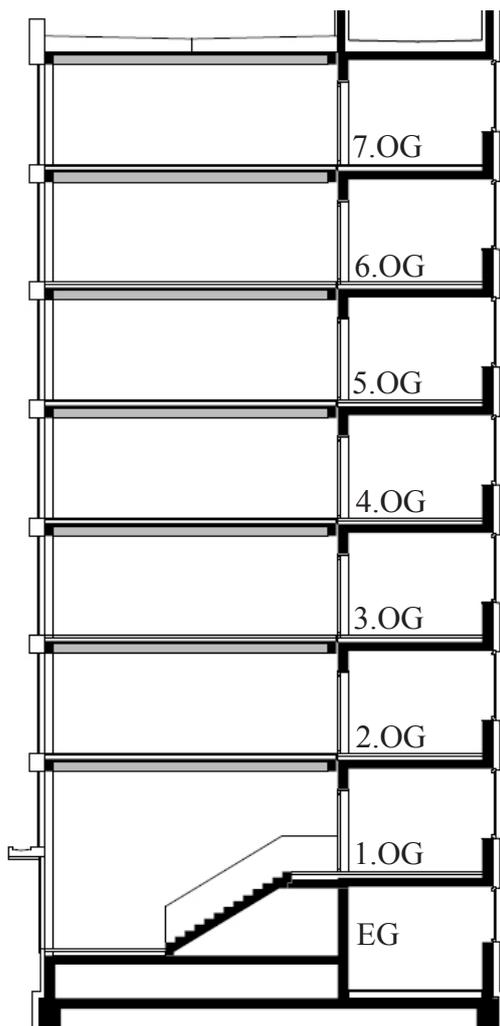
Ansichten und Querschnitt, LCT, Abb.5.25

(2) Regelgeschossvarianten für Büronutzung

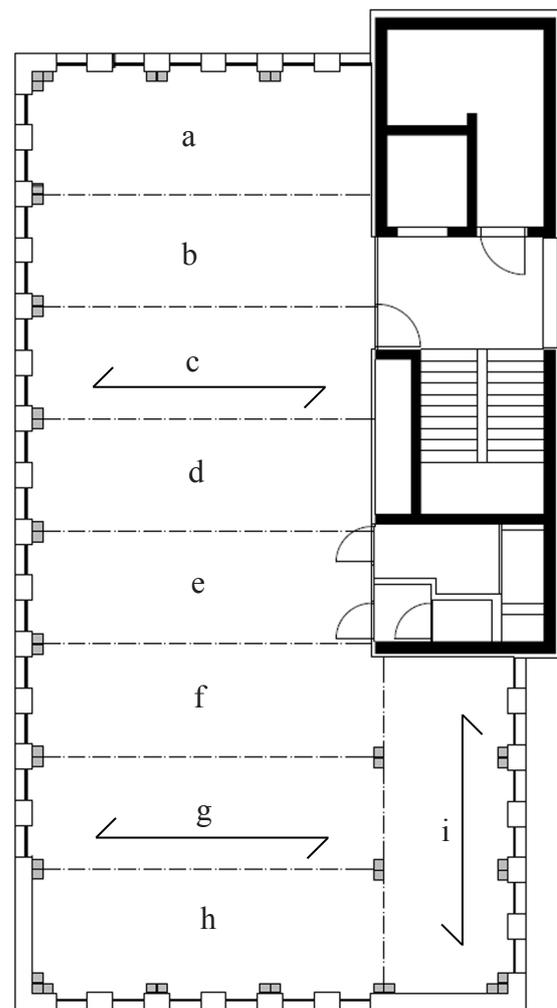


Grundrissvarianten für die Büronutzung, Regelgeschoss LCT 1, Abb.5.26

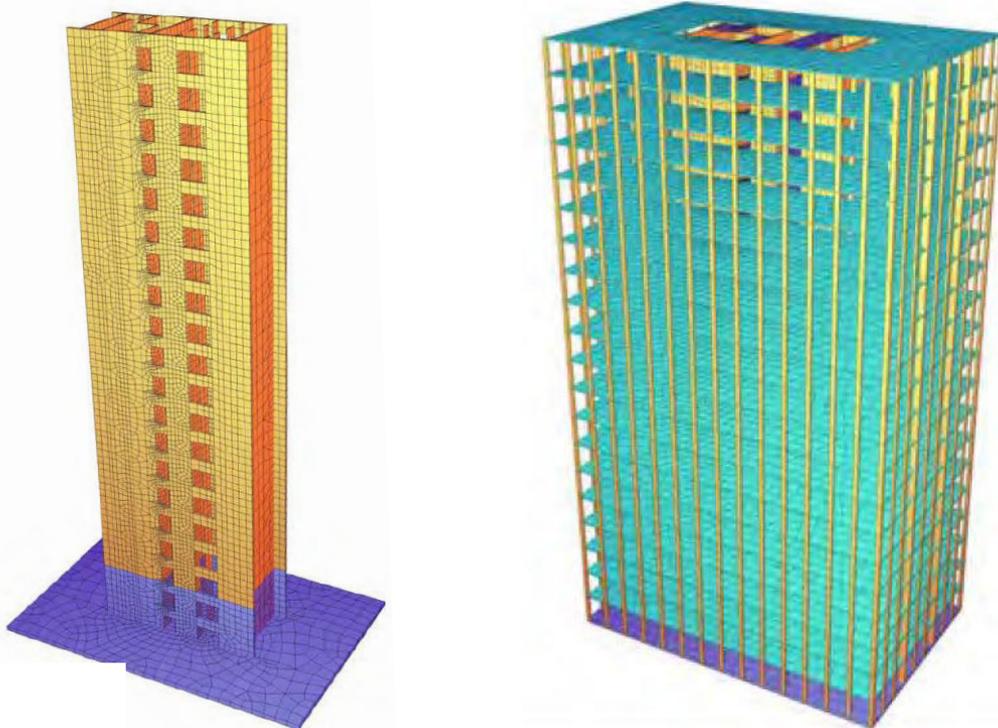
(3) Schnitt und Grundriss



Querschnitt Stigenhaus LCT 1, Abb.5.27



Grundriss Regelgeschoss LCT 1 mit der Spannrichtung der Deckenfelder, Abb.5.28

(4) Entwicklung 8 plus

Der rechteckige Kern des „8+“ Forschungsprojektes wurde in Brettschichtholz GL24 (gelb) mit einer Höhe von 76 m nach Eurocode dimensioniert. Das Erdgeschoss und das Untergeschoss bestehen dabei aus Stahlbeton C30/37 (blau), Abb.5.29

(5) Bauweise LCT One

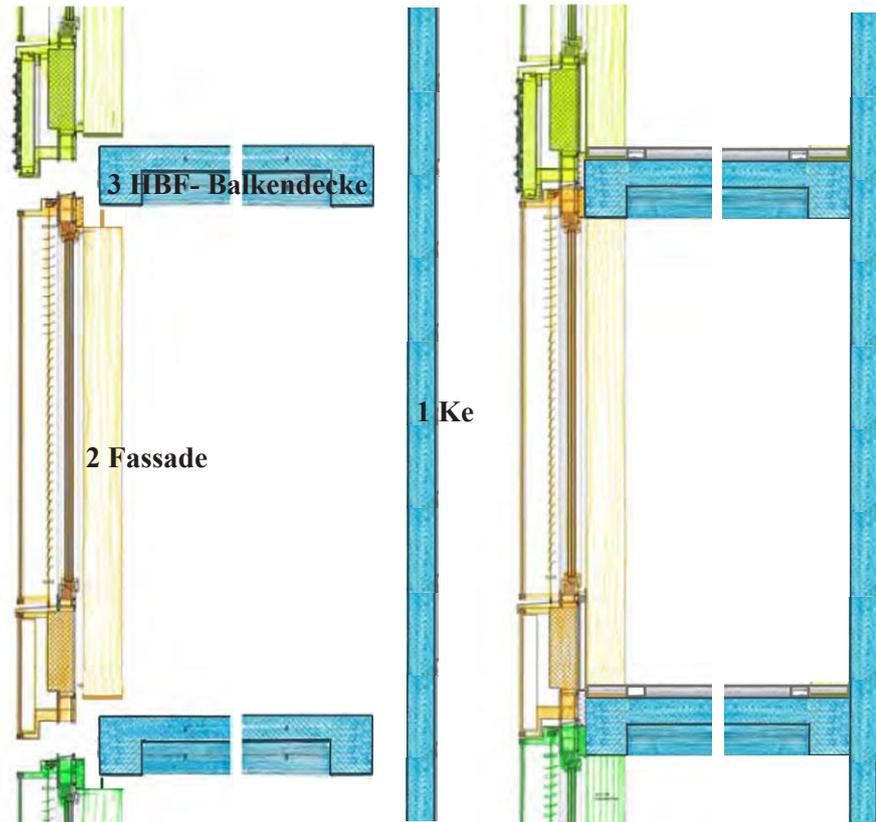
Der LCT 1 hat hingegen einen rechteckigen Kern aus Stahlbeton in der Gebäudeperipherie erhalten. In Brettschichtholzbauweise wäre ein Holz Kern mit nur einem Stiegenhauskern durch die entstehenden großen Momente im Gefüge aufgrund der Exzentrizität des Stiegenhauses nicht vorteilhaft für den Holzbau. Mit mehrere Stiegenhäuser in der Gebäudeperipherie oder einem Stiegenhauskern in der Gebäudemitte sind allerdings Stiegenhäuser aus tragenden und raumabschließenden Wänden in Brettsperrholz mit bis zu 20 Geschosse realisierbar. vgl. Mikado (07/2012), (S.25)

Die Elementierung des LCT 1 je Etage besteht aus 90 Fertigteilen aus Skelett- und Massivbauteilen und ermöglicht einen schnellen Arbeitsvorschritt, mit bis zu 1 Arbeitstag für die Errichtung eines Geschosses, so dass die Geschosse aus Holz- und Holzbetonfertigteilen in rund einer Woche fertiggestellt werden konnten, nachdem im Vorfeld der Stiegenhauskern in Stahlbetonbauweise errichtet worden war. Dabei sind 2 Elemente wesentlich für die schnelle Errichtung der Geschosse des LCT 1. Zum einen das Fassadenelement mit einer Breite von 8,10 m, bestehend aus Kastenfenster und Wände aus Holzrahmenbauweise, sowie Lastabtragenden Stützen und zum anderen das Deckenelement mit einer Breite von 2,70m als Holzbetonfertigteile Balkendecke. vgl. Zangerl, M.; Kaufmann, H.; Hein, C. et al. (2010)

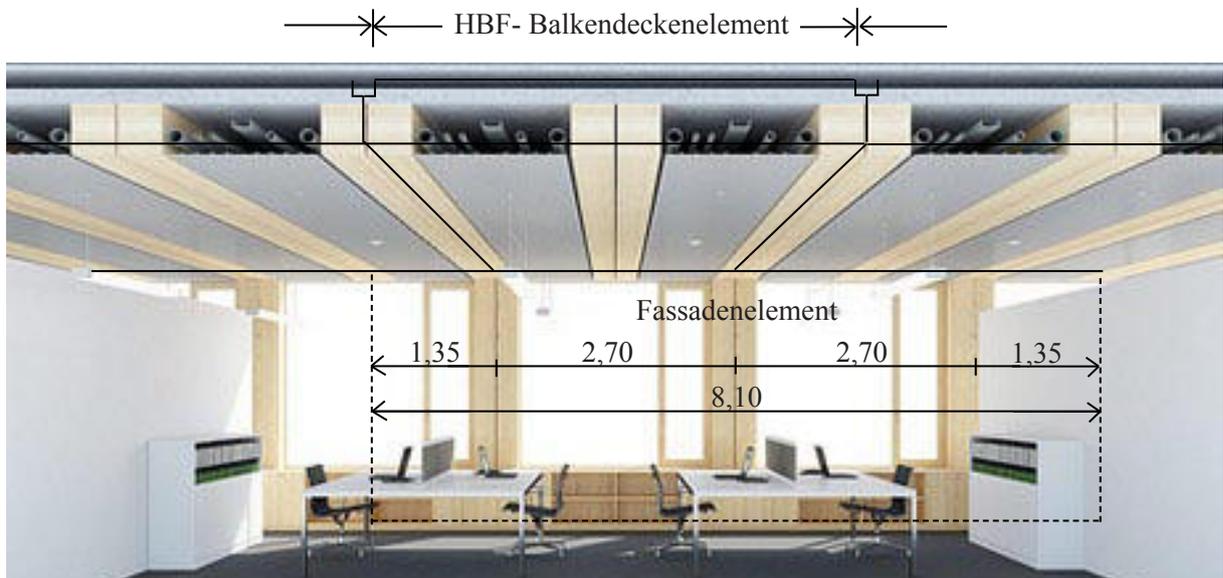


Links: aus den Forschungsergebnissen des Projektes „Achtplus“ die Elementierung von Fassade und Decke, Rechts: die Elementierung der Fassade und der Decke des LCT 1. Abb.5.30

(6) Bauweise Fassade



Bauteile des LCT 1 zur Herstellung der Geschosse: **1:** Kern aus Stahlbeton, **2:** Fassadenelement aus Kastenfenster in selbsttragender Holzrahmenbauweise mit lastabtragender Stütze aus BSH, **3:** Holzbetonfertigteile Balkendeckenelement bestehend aus einer HBF- Balkendecke und einem Stahlbetonunterzug als Abschluss. Durch die geschossweise Trennung der tragenden Bauteile aus Holz, durch ein Stahlbetonbauteil, kommt es nach Kolb nur zu minimalen Setzungen. vgl. Kolb (2007), (S. 86f.). Abb.5.31



Längsschnitt Regelgeschoss LCT One. Verdeutlichung der Elementierung der HBF- Balkendecke, im Bezug zur Fassadenelementierung, Abb.5.32

Im Fassadenelement werden am Anschluss zum nächsten Element jeweils 1 Kastenfenster links und rechts mit 2,70 Breite nachträglich eingebaut. Die HBF- Balkendeckenelemente übergreifen die Fassadenelemente, so dass eine biegesteife Verzahnung zwischen Decken und Fassadenelement entsteht. Die HBF- Balkendecken werden im Ortbetonverfahren miteinander verbunden, so dass nur ein minimaler Feuchteintrag in der Rohbauphase vorhanden ist. vgl. Zuschnitt (45/2012), (S.22f.)



Verheben der Fertigteil- Elemente durch einen Kran, Abb.5.33

(6) Elementierung

Der LCT 1 besteht aus einem sichtbaren Holz und Holzbetonverbund- Baukastensystem, das die geforderten Schutzziele und das Schutzniveau der OIB RL 2 mit einem Brandschutzkonzept erfüllt. Hierzu wird eine Sprinkleranlage im Vollschutz installiert, um das Brandverhalten der brennbaren, tragenden und raumabschließenden Bauteile aus Holz von der Euroklasse A 2 auf D, durch anlagentechnische Brandschutzmaßnahmen zu kompensieren.

vgl. Leitfaden Abweichungen im Brandschutz und Brandschutzkonzepte (2011); vgl. OIB RL 2 (2011)

(7) Kosten

Der Einbau einer Sprinkleranlage in einem Gebäude mit 8 Geschossen und rund 10.000 m² Nutzfläche ist jedoch ein Einzelfall, da die Mehrkosten nach Expertenmeinungen für die Ausrüstung des Gebäudes mit einer Sprinkleranlage nach TRVB S 127 keine Alternative zu einem in Stahlbeton errichteten Bauwerk in der GK 5 lt. OIB RL 2 darstellt. Weiterhin ist auch der Rohstoffpreis von Holz höher als der von Beton, so dass mit erhöhten Errichtungskosten für den Rohbau von mehr als 12 %, gegenüber reinen Stahlbetonbauweisen, gerechnet werden muss. vgl. Schluder Architektur ZT GmbH (2009), (S.187)

Der Zeitgewinn in der Rohbauphase, durch den hohen Vorfertigungsgrad der Holz und Holzbetonverbundelemente und die daraus resultierende schnelle Montage und Errichtung der einzelnen Geschosse ist jedoch sehr Vorteilhaft im urbanen Raum und kann die Kosten durch schnellen Bezug kompensieren. Durch die Serienproduktion der vorgefertigten Elemente zur Errichtung des LCT 1 erhofft sich die Firma Rhombergbau GmbH ab der Fertigung von 5 bis 7 baugleichen Gebäuden innerhalb von 2 bis 3 Jahren, eine Wirtschaftlichkeit im Bezug auf das Baukastensystem.

vgl. Mikado (07/2012), (S.28)

(8) Innenraum



Büroarbeitsplatz im LCT One. Abb.5.34

5.6.1 Brandschutzkonzept

(1) Gebäudeeinstufung

Der LCT 1 mit seinen 8 Geschossen ist baurechtlich durch die OIB RL 2 in die Gebäudeklasse 5 einzuordnen, da das letzte Geschoss ein Aufenthaltsniveau von 21,95 m hat, somit unter 22 m.

(1) Fluchtwegssicherung

Der erste Rettungsweg führt über das Fluchttiegenhaus, der zweite Rettungsweg führt über öffnenbare Fenster und der Drehleiter der Feuerwehr. Kurze Fluchtwege ermöglichen eine schnelle Selbstrettung, sowie einen gezielten Einsatz der Rettungskräfte und der Feuerwehr.

(2) Brandabschnittsbildende Bauteile, baulich vorbeugende Brandschutzmaßnahmen

Begrenzung der Größe von Brandabschnitten in den Nutzungseinheiten auf maximal 140 m².

Das Fluchttiegenhaus besteht aus mineralischen Bauteilen mit einem Feuerwiderstand, Brandverhalten REI 90, A2 wie nach OIB RL 2 in der GK 5 gefordert. Die brandabschnittsbildenden Geschossdecken der Nutzungseinheiten bestehen aus einer Holzbetonfertigteilm-Balkendecke mit einem Feuerwiderstand, Brandverhalten REI 90, D. Die tragenden Stützen in der Gebäudeperipherie und am Kern bestehen aus Brettschichtholz mit einer Feuerwiderstandsdauer, Brandverhalten REI 90, D

(3) Anlagentechnische Brandschutzmaßnahmen

Die Sprinkleranlage im Vollschutz nach TRVB S 127 kompensiert das Brandverhalten der tragenden und raumabschließenden Bauteile lt. OIB RL 2 geforderten Euroklasse A2, somit ist D zulässig.

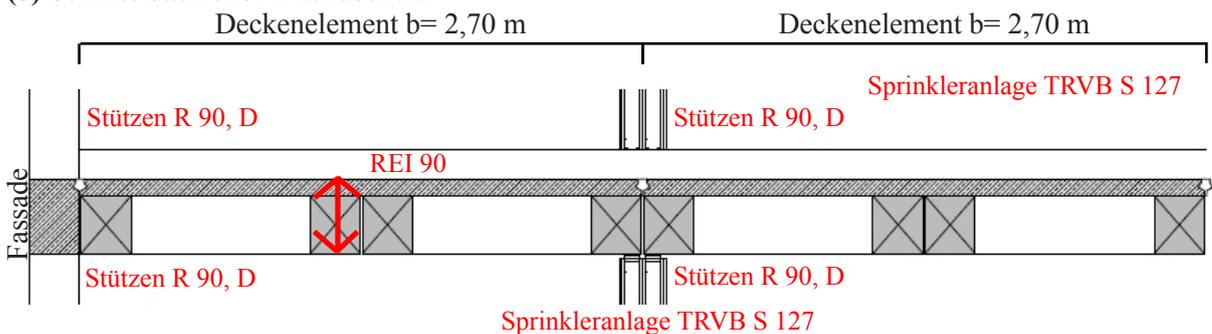
Ein Brandüberschlag über die Fassade wird durch die Sprinkleranlage im Vollschutz kompensiert, so dass eine raumhohe Verglasung möglich ist. Die Haustechnik wird, wenn auf Holzoberflächen verlegt, sichtbar ausgeführt.

(4) Qualitätssicherung der Überwachung

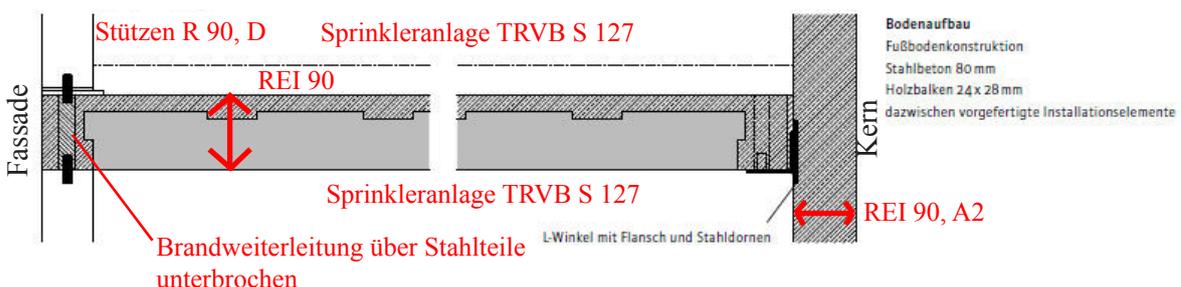
Einführen eines Qualitätsmanagements für die Errichtung und Betreibung des Gebäudes als weitere Kompensationsmaßnahme zur Abweichung von der Bauordnung.

vgl. Mikado (07/2012), (S.24f.); vgl. Zangerl, M.; Kaufmann, H.; Hein, C. et al. (2010)

(5) Schnitt baulicher Brandschutz



Längsschnitt der HBF- Balkendecke. Lediglich die Stöße der HBF- Balkendecke und Anschlüsse an aufgehende tragende und raumabschließende Bauteile werden vor Ort ausbetoniert. Abb.5.35

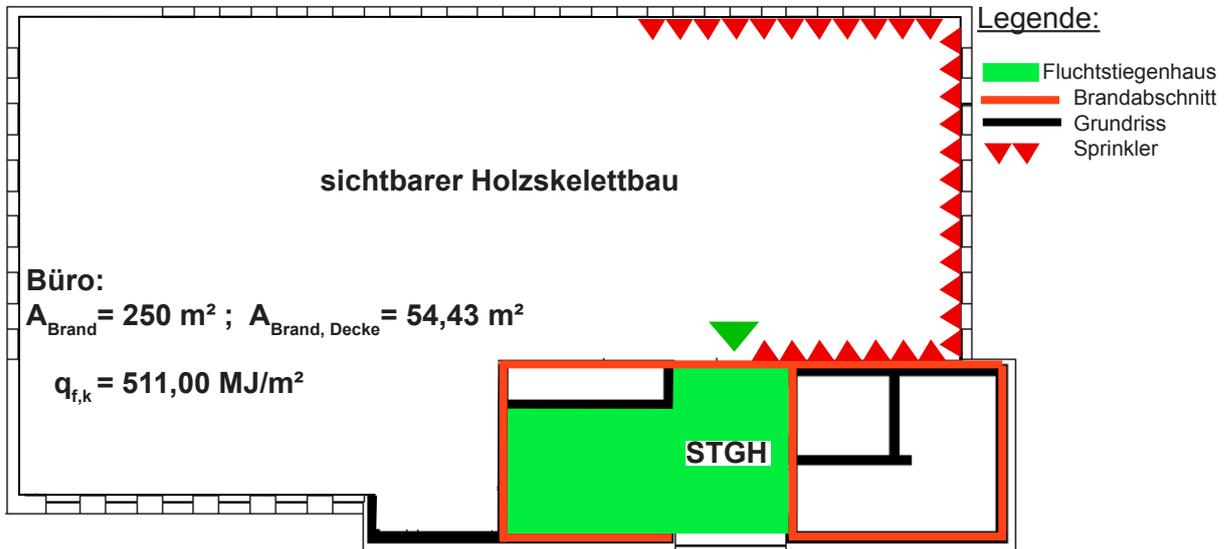


Querschnitt der HBF- Balkendecke. Die Brandweiterleitung durch Schubverbinder etc. in den Holzbau- teilen in den nächsten Brandabschnitt (Geschoss) ist konsequent durch Betonbauteile getrennt. Abb.5.36

5.6.2 Fallstudie B

Bemessung der Branddauer für ein Büro $A_{\text{Brand}} = 250 \text{ m}^2$.

(Die Fallstudie B nimmt keinen Bezug zum Brandschutzkonzept im Kapitel 5.2.2 „Brandschutzkonzept“, die Eingangsdaten sind vom Autor frei gewählt, die Schlussfolgerungen beziehen sich auf die Kapitel 3 und 4.)



Regelgeschossplan: geschossweise Brandabschnittsbildung durch eine Sprinkleranlage. Abb.5.37

5.6.2.1 Basisvariablen zur Berechnung parametrischer Brandkurven:

Bemessungsbrandszenario	Brand in einer Büronutzung;
Lage des Brandabschnittes	6. OG; Aufenthaltsniveau 18,60 m über Straßenniveau;
Grundfläche/ Brandfläche	$A_{\text{Brand}} = 250 \text{ m}^2 + 54,43 \text{ m}^2 = 306,4 \text{ m}^2$;
(Info) charakteristische Brandlastdichte	$q_{f,k} = 511 \text{ MJ/m}^2$; (nicht maßgebend)
max. spezifische Brandleistung je m^2	$Q_{\text{max},k} = 0,25 \text{ MW/m}^2$;
Brandausbreitungsgeschwindigkeit	$t_{\alpha,k} = 241 \text{ s}$ bis 1 MW; (Möblierung + Holzskelett);
Verbrennungseffektivität der Brandlast	$\chi = 0,8$;
Ventilationgeometrie und Fläche	$A_w = 86,4 \text{ m}^2$ Fensterfläche; $h_w = 2,7 \text{ m}$ Fensterhöhe;
Umfassungsfläche Brandabschnitt	$A_i = 674,60 \text{ m}^2$ (inkl. Öffnungen);
Umfassungsbauteile (thermisch)	$b = 1.500 \text{ J/m}^2\text{s}^{0,5}$ (Baustoffeigenschaft definiert).

5.6.2.2 Basisvariablen im Sicherheitskonzept:

Schadensfolgeklasse CC 2	$1,3 \text{ E}^{-05}$ nach DIN EN 1991-1-2/NA, Anhang BB.4;
Risikoklasse RC 1	$\beta = 4,2$, nach DIN EN 1991-1-2/NA, Anhang BB.4;
Brandhäufigkeit in Wohnnutzungen	$5,9 \text{ E}^{-05}$ nach DIN EN 1991-1-2/NA, Anhang BB.4;
maßgebende Variablen der Brandeinwirkung	$\dot{Q}_{\text{max},k}$ [MW], $t_{\alpha,k}$ [s], $t_{fS,k}$ [min], $t_{f6,k}$ [min];
Sicherer Zugang über Treppenhaus	ja;
Löschwasserversorgung	Trockensteigleitung im STGH vorhanden;
Rauchfreihaltung im Stiegenhaus	1 m^2 Ventilationsöffnung;
1. Rettungsweg	ja (Selbstrettung);
2. Rettungsweg	ja (Fremdrettung);
Brandmeldeanlage (BMA)	ja (Brandfrüherkennung);
öffentliche Feuerwehr (Leistungsfähigkeit)	ja (Brandbekämpfung);
Sprinkleranlage im Vollschutz	ja (Brandbekämpfung).

5.6.2.3 Ermittlung des Bemessungsbrandverlaufs im gesamten Brandabschnitt

(1) Die Bemessungswerte lt. Sicherheitskonzept ergeben sich zu:

$$P_{f,fi} = 1,3 \cdot 10^{-5} / (5,9 \cdot 10^{-5} \cdot 306,4) = 7,2^{-4}$$

Sicherheitsindex $\beta_{fi} = 3,19$

(1.1) Die globalen Teilsicherheitsbeiwerte auf Grund des Bemessungsbrandszenarios „Sprinklerkonzept“, ergeben sich durch $\beta_{fi} = 3,19$ mit:

$$\gamma_{fi, a} = 1,05 ; \gamma_{fi, \dot{Q}} = 1,34 \quad (\text{abgelesen nach Abb.4.26})$$

(2) Die maximale charakteristische Energiefreisetzungsrate im Brandabschnitt ergibt sich mit:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\max, k} &= 1,21 * 86,4 * \sqrt{2,7} ; 0,25 * 306,4 = \text{MIN} (171,78 ; 76,6) \\ \dot{Q}_{\max, k} &= \dot{Q}_{\max, f} = \underline{76,6 \text{ MW}} \end{aligned}$$

(3) Die maximale Bemessungsenergiefreisetzungsrate $\dot{Q}_{\max, d}$ definiert sich aus:

$$\dot{Q}_{\max, d} = 76,6 * 1,34 = \underline{102,6 \text{ MW}}$$

(4) Die Phase der Brandausbreitung ist definiert mit:

$$\begin{aligned} t_1 &= 253 * \sqrt{102,6} = \underline{2.563 \text{ s}} = \sim 43. \text{ Minute} \\ Q_1 &= 2.563^3 / 3 * 300^2 = \sim \underline{87.676,6 \text{ MJ}} \end{aligned}$$

Mit:

$$t_{a, d} = 241 * \gamma_{fi, a} = \underline{253 \text{ s}}$$

Dabei ist:

$t_{a, k}$ Brandausbreitungsgeschwindigkeit mittel, als **10 % Quantil** mit 241 s bis Erreichen 1 MW.
(Da sichtbare Holzskelettkonstruktion)

(5) Flashover:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{fo} &= 0,0078 * 674,60 + 0,378 * 86,4 * \sqrt{2,7} = \underline{58,8 \text{ MW}} \\ t_{fo} &= 253 * \sqrt{58,8} = \underline{1.940 \text{ s}} \Rightarrow t_{fo} = \sim \underline{32. \text{ Minute}} \quad t_{fo} < t_1 \\ Q_{fo} &= 1.940^3 / 3 * 253^2 = \sim \underline{38.022,7 \text{ MJ}} \end{aligned}$$

(6) Für die Referenzbrandlastdichte von $q_{ref} = 1.300 \text{ MJ/m}^2$ ergibt sich:

$$\begin{aligned} Q_{\text{gesamt}} &= 1.300 * 250 = \underline{325.000 \text{ MJ}} \\ Q_2 &= 0,7 * 325.000 - 38.022,7 = \sim \underline{189.477 \text{ MJ}} \\ t_2 &= 189.477 / 102,6 = 1.846,75 \text{ s} \Rightarrow t_2 = \underline{63. \text{ Minute}} \\ Q_3 &= 0,3 * 325.000 = \underline{97.500,0 \text{ MJ}} \\ t_3 &= 2 * 97.500 / 102,6 = 1.900 \text{ s} \Rightarrow t_3 = \sim \underline{95. \text{ Minute}} \end{aligned}$$

(7) Die Heißgastemperaturen im Brandabschnitt mit $q_{ref} = 1.300 \text{ MJ/m}^2$ zu den Zeiten t_1, t_2, t_3 :

$$\Theta_1 = 980 \text{ }^\circ\text{C}; \Theta_2 = 1.340 \text{ }^\circ\text{C}; \Theta_3 = 660 \text{ }^\circ\text{C}$$

Dabei ist:

$$K = \sqrt[3]{42,5^2 / 86,4 * \sqrt{2,7} * 674,60 + 1.500} = \underline{0,264} > 0,04$$

(8) Die Heißgastemperaturen im Brandabschnitt mit $q_{f, k} = 511 \text{ MJ/m}^2$ + immobile brennbare Bauteile zu den Zeiten t_1, t_2, t_3 :

Die charakteristische Brandlastdichte ist nicht maßgebend, es erfolgt keine Bemessung.

(9) Bemessungsbrandszenario mit Brandbekämpfungsmaßnahmen: Sprinkleranlage + Feuerwehr

(9.1) charakteristische Brandentwicklungszeit bis Beginn Löschen (bis Erreichen von ca. 65 °C Raumtemperatur):

$$t_{\text{act, Sprinkler}} = t_{f5,k} = \sqrt{65 / (980 - 20) * 24,01^2 - 20} = \underline{4,9 \text{ Minute}}$$

Dabei ist:

$t_{f5,k}$ Zeitspanne bis zum Auslösen der Sprinkler [min];
 $t_{\text{act, Sprinkler}}$ Zeitpunkt Löschanfang Sprinkler (65 °C Auslösetemperatur) [min];

Info: Die Brandlast aus immobile Bauteile wird bei einer Sprinkleranlage nicht aktiviert, da die Auslösetemperatur des Sprinklers mit ca. 65 °C niedriger ist, als die Entzündungstemperatur von Holz, vgl. Tab.3.1.

(9.2) Bemessungsbrandentwicklungszeit bis Beginn Löschen $t_{f5,d, \text{ Sprinkler}}$ [min]:

$$t_{f5,k} = t_{f5,d, \text{ Sprinkler}} = \underline{4,9 \text{ Minuten}} = \underline{294 \text{ s}}$$

(9.3) Bemessungsenergiefreisetzungsrate bei $t_{\text{act, Sprinkler}}$ [min] im Brandabschnitt:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\text{act, Sprinkler}} &= 0,015 * 294^2 / 1000 \\ \dot{Q}_{\text{act, Sprinkler}} &= \underline{1,3 \text{ MW}} \end{aligned}$$

Dabei ist:

α_k Brandausbreitungsgeschwindigkeit mittel als 90 % Quantil mit 0,014 kW/s² * $\gamma_{fi, \alpha} = \underline{0,015}$

(9.4) Zeitpunkt der Brandkontrolle durch Sprinkler $t_{\text{con, Sprinkler}}$ [min]:

$$t_{\text{con, Sprinkler}} = 5 + 4,9 = \sim \underline{10 \text{ Minute}}$$

Dabei ist:

$t_{f3,k}$ Dauer bis zur Brandkontrolle 300 Sekunden = 5 Minuten [min];
 $t_{f5,d, \text{ Sprinkler}}$ Zeitbedarf bis Sprinklerauslösung [min] mit 4,9 Minuten.

(9.5) Die charakteristische Brandbekämpfungszeit $t_{f6,k, \text{ Sprinkler}}$ [min]:

$$t_{f6,k, \text{ Sprinkler}} = 5 + 25 = \underline{30 \text{ Minuten}}$$

Dabei ist:

$t_{f3,k}$ Dauer bis zur Brandkontrolle 300 Sekunden = 5 Minuten [min];
 $t_{f4,k, \text{ Sprinkler}}$ Zeitbedarf für das Ablöschen des Brandes. Die Löschdauer wird bei Annahme einer Brandbekämpfung durch Sprinkler auf 25 Minuten festgesetzt [min];

(9.6) Bemessungsbrandbekämpfungszeit $t_{f6,d, \text{ Sprinkler}}$ [min]:

$$t_{f6,k, \text{ Sprinkler}} = t_{f6,d, \text{ Sprinkler}} = \underline{30 \text{ Minuten}}$$

(9.7) Bemessungsbrandentwicklungszeit $t_{f5,d, \text{Feuerwehr}}$ bis Beginn der Löscharbeiten:

$$t_{f5,k, \text{Feuerwehr}} = t_{f5,d, \text{Feuerwehr}} = \underline{20 \text{ Minuten}}$$

Dabei ist:

$t_{f5,k, \text{Feuerwehr}}$ charakteristischer Brandentwicklungszeit bis zur Brandbekämpfung [min] mit 20 Minuten; (Brandfrüherkennung durch Brandmeldeanlage mit Aufschaltung zur Feuerwehr und Alarmierung nach ca. 5 Minuten nach Brandbeginn).

(9.8) Kombinierte Brandbekämpfungszeit Sprinkler + Feuerwehr ab $t_{f6,d, \text{Sprinkler + Feuerwehr}}$

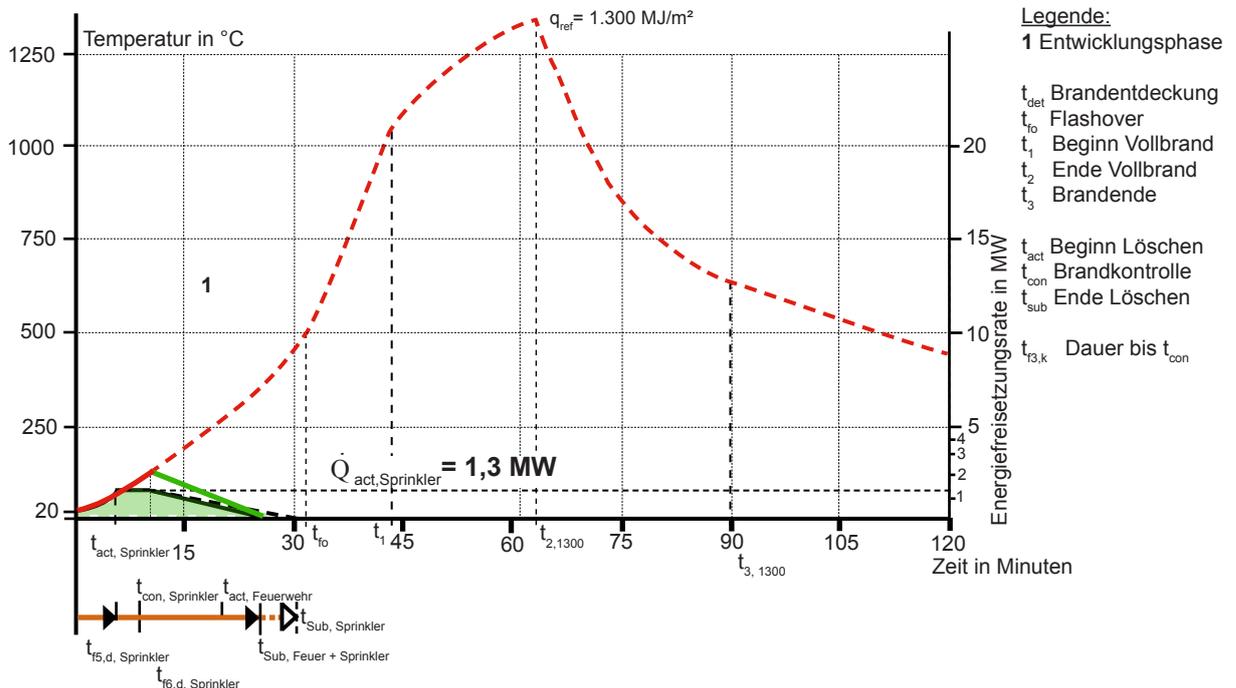
Bei Kombination der Brandbekämpfung durch eine selbsttätige Löschanlage und der Löschwirkung der öffentliche Feuerwehr wird die Löschdauer ab dem Zeitpunkt $t_{act, \text{Feuerwehr}}$ auf 5 Minuten begrenzt.

$$t_{Sub, \text{Sprinkler + Feuerwehr}} = 20 + 5 = \underline{25. \text{ Minute}}$$

Dabei ist:

$t_{f5,d, \text{Feuerwehr}}$ Bemessungsbrandentwicklungszeit der Feuerwehr [min], mit 20 Minuten;
 $t_{f6,d, \text{Sprinkler + Feuerwehr}}$ Kombinierte Brandbekämpfungszeit Sprinkler + Feuerwehr [min] mit 5 Minuten.

Grafische Darstellung des Bemessungsbrandszenarios „Sprinklerkonzept“:



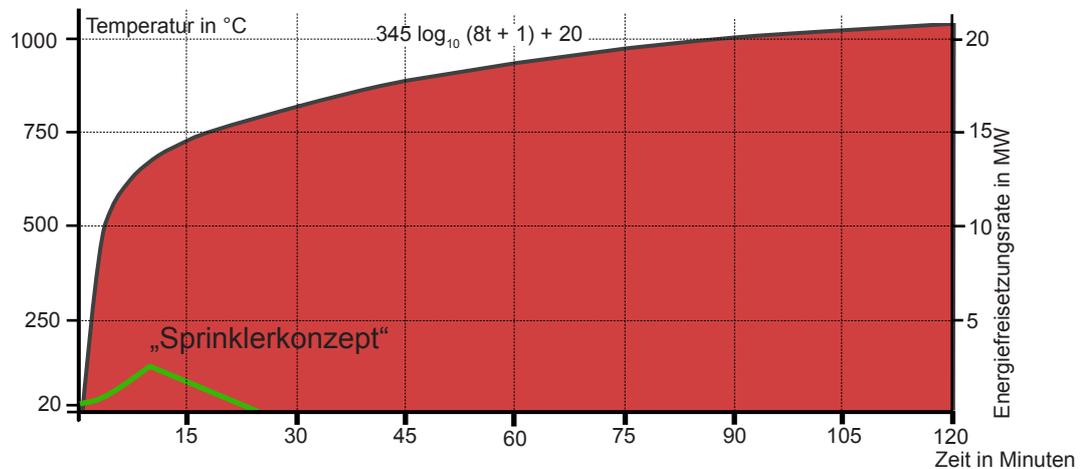
Das Bemessungsbrandszenario der Büronutzung mit auslösen einer Sprinkleranlage. Abb.5.38

5.6.2.3.1 Ergebnis

Das Bemessungsbrandszenario stellt sich in Abb.5.38 als Brandgeschehen in der Entwicklungsphase dar, dass durch die frühe Auslösung des Sprinklers im Brandabschnitt kontrolliert wird.

Die gemeinsame Löschwirkung der Sprinkleranlage und der Feuerwehr ab der ca. 21. Minute nach Brandbeginn erwirkt ein Brandende bis zur ca. der 26. Minute nach Brandbeginn. **Tragende und raumabschließende Bauteile werden im Bemessungsbrandszenario nicht beansprucht.**

Info: Gegenüber der normativen Brandkurve in Abb.5.39 zeigt der Realbrand „Sprinklerkonzept“ im Bemessungsbrandszenario kontinuierlich eine deutliche Unterschreitung der Temperatur im Brandraum, aufgrund des Wirkens der automatischen Löschanlage.



Das Bemessungsbrandszenario (grün) der Büronutzung im Vergleich zur ETK. Abb.5.39

5.6.2.3.2 Zusammenfassung Fallstudie B

Mit dem Einsatz der Sprinkleranlage, der Brandmeldeanlage und dem Wirken der Berufsfeuerwehr kann eine Einteilung der Feuerwiderstandsdauer, Brandverhalten der tragenden und brandabschnittsbildenden Bauteile nach Tab.5.3 erfolgen.

Die frühzeitige Alarmierung der Feuerwehr erfolgt durch die BMA, da im Bürogebäude nicht sichergestellt werden kann, dass jemand außerhalb der Arbeitszeit den Alarm durch die Sprinkleranlage akustisch wahrnimmt.

Es wird in der Abb.5.38 auch ersichtlich, dass die Bemessungsenergiefreisetzungsraten im Brandabschnitt zum Zeitpunkt des Beginns der Brandbekämpfungsmaßnahmen durch die Feuerwehr deutlich unter 20 MW liegt. -d.h. dass hier wahrscheinlich auf den Einsatz einer Sprinkleranlage verzichtet werden kann.

Der späte Flashover ab ca. der 30. Minute nach Brandbeginn ist auf die große Brandabschnittsbildung zurückzuführen, die eine Zeit bis zum Aufheizen bis zum Flashoverkriterium benötigt.

Ein nachträglicher Einbau von Bürozellen in den Brandabschnitt würde wiederum zeitlich zu einem schnelleren Flashover führen.

5.7 Projekt: „Sihlbogen“

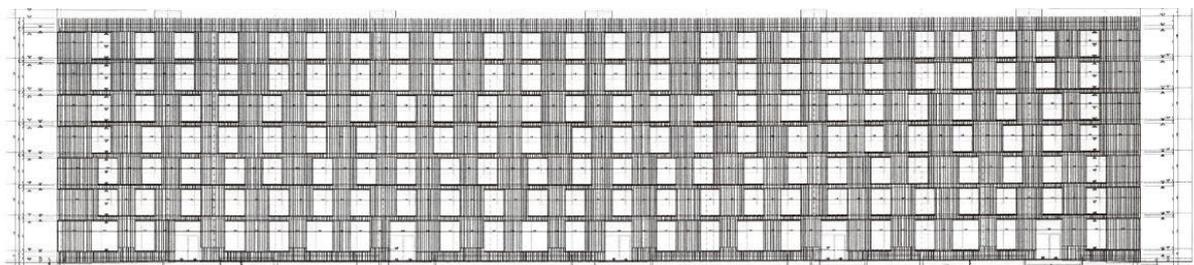


Perspektive Sihlbogen, Zürich- Leimbach, Dachtler Partner Architekten AG, Leimbachstrasse 5, 25, 33, Frymannstrasse 2 + 4, Abb.5.40

Für die Legislaturperiode 2006 bis 2010 hat der Zürcher Stadtrat den Schwerpunkt „Nachhaltige Stadt Zürich – auf dem Weg zur 2000- Wattgesellschaft“ festgelegt. Darin setzt die Stadt Zürich eine Umwelt-, Energie- und Klimaschutzpolitik um, die auch in einer langfristigen Perspektive nachhaltig sein soll. Deshalb plant, baut und bewirtschaftet die Stadt Zürich unter der Leitung des Hochbaudepartements ihre Gebäude auf nachhaltige Art und Weise. Als erste Gemeinde der Schweiz hat Zürich außerdem den Ausstieg aus der Kernenergie und die Änderung der Gemeindeordnung, die eine Umsetzung der 2000- Watt-Gesellschaft im Gesetz verankert, beschlossen. vgl. Baublatt (06.02.2009), vgl. 2000- Watt Gesellschaft: Novatlantis c/o Competence Center Energy and Mobility CCEM, info@novatlantis.ch

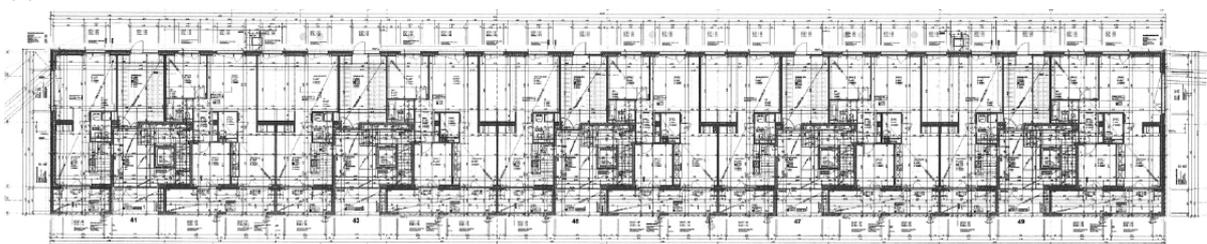
Auf dem Areal Sihlbogen in Zürich- Leimbach wird eine Wohn- und Gewerbeüberbauung mit 140 Familienwohnungen, 80 Alterswohnungen sowie Dienstleistungs- und Gewerbeflächen geplant. Zwei Scheibenbauten auf dem Teilareal B (7- geschossig, 100 m lang und 20 m hoch, je 8.636 m²) und ein lang gezogener Hofbau auf dem Areal A mit 6.000 m² verbinden sich zu einer einheitlichen städtebaulichen Figur. Die gesamte Überbauung gilt als Pilotprojekt der 2000- Watt-Gesellschaft. Der Auftrag geht aus einem zweistufigen Wettbewerb im Jahre 2005/ 2006 hervor. Die Bausumme beläuft sich auf CHF 90- 100 Millionen Franken. Die Bauherrschaft ist die BGZ Baugenossenschaft Zurlinden, Zürich. vgl. Dachtler und Partner AG homepage, Projektbeschreibung. <http://www.dachtlerpartner.ch>, vgl. Faktor, Architektur Technik Energie (20/ 2008), (S.38)

(1) Ansicht



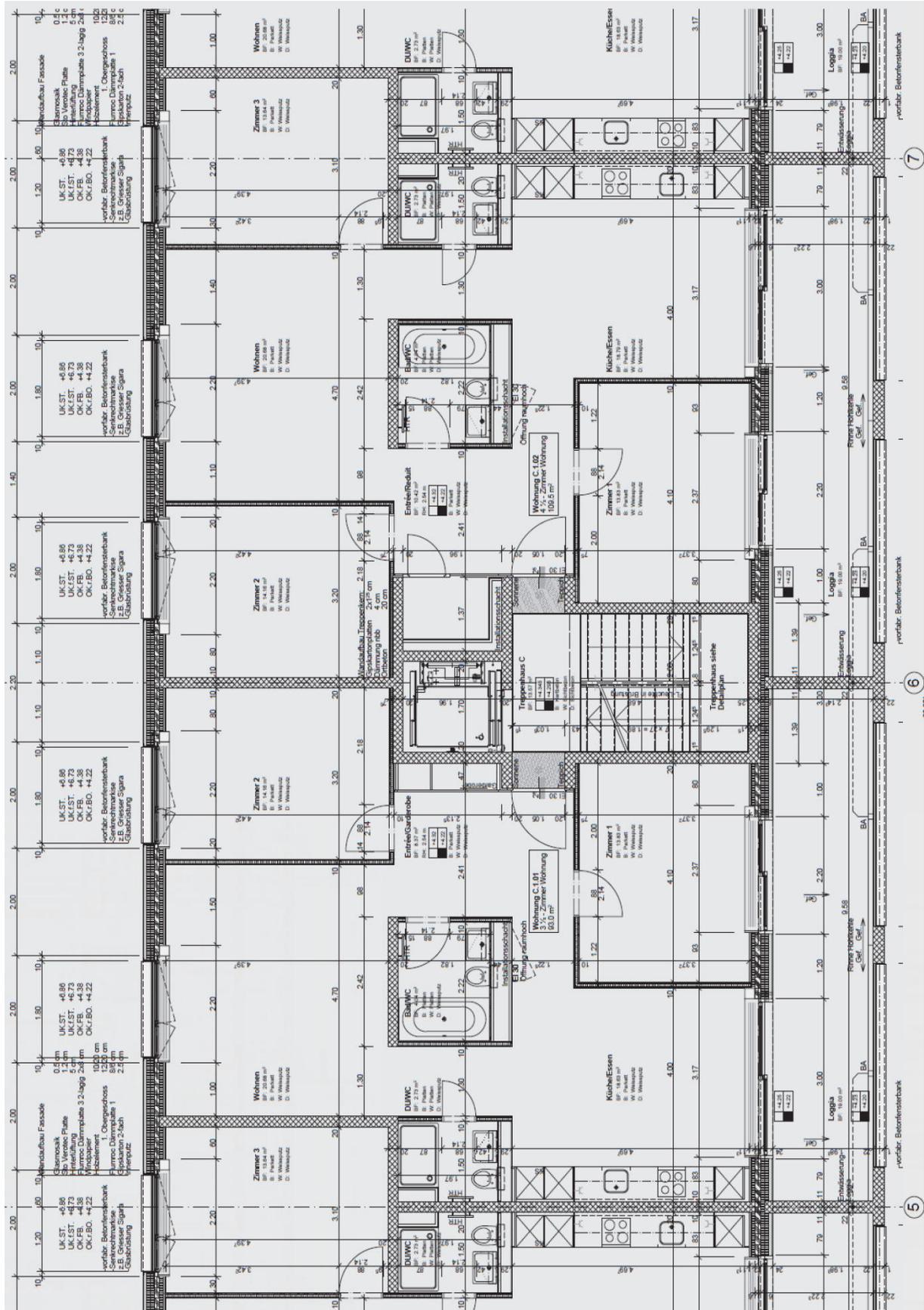
Ansicht Ostfassade Bauteil B1, Abb.5.41

(2) Grundriss



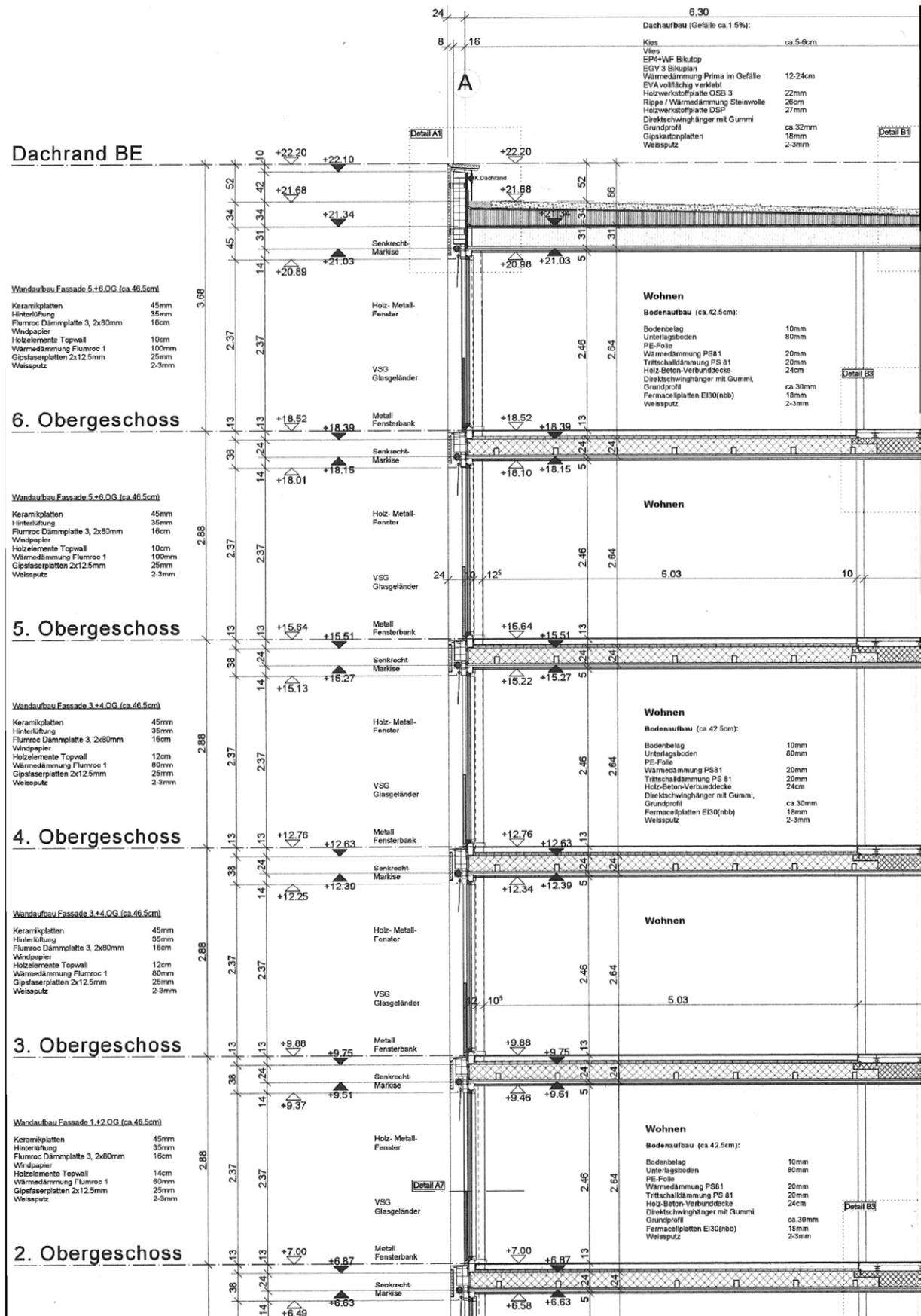
Grundriss Regelgeschoss Bauteil B1, Abb.5.42

(3) Wohnung C 1.01 und C 1.02 im Grundriss



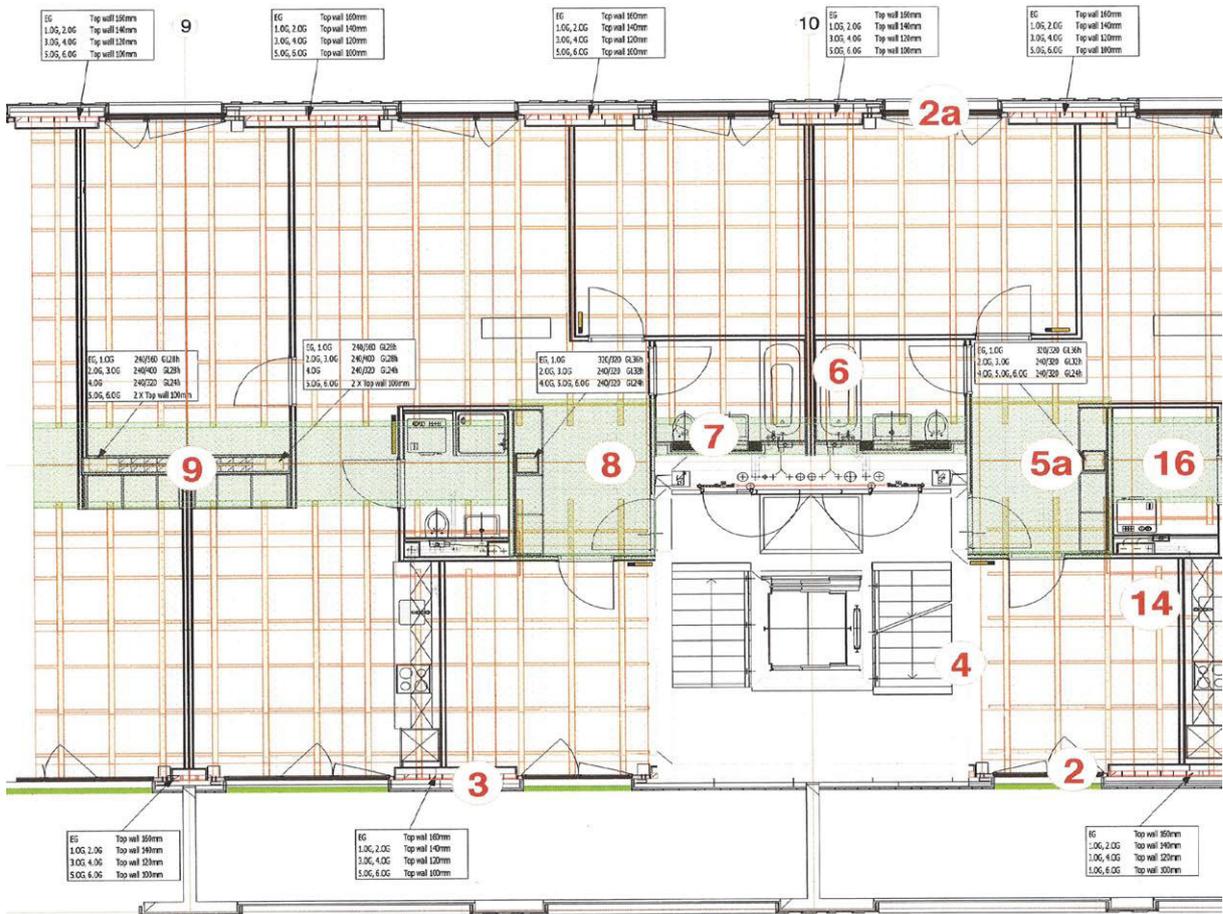
Grundriss Wohnungen Regelgeschoss Bauteil B1, Verkaufsplan. Abb.5.43

(4) Schnitt



Schnitt Ausführungsplanung Ostfassade, Abb.5.44

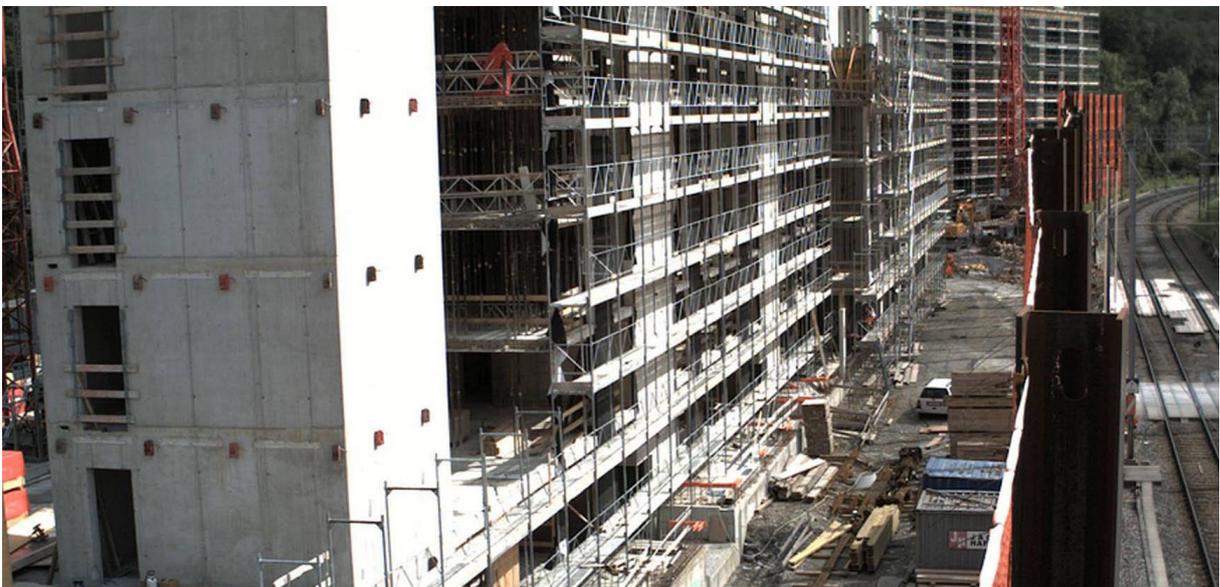
(5) Ausführungsplan



Positionsplan Regelgeschossgrundriss, Detail 9, SJB Kempter und Fitze AG. Abb.5.45

(6) Bauweise

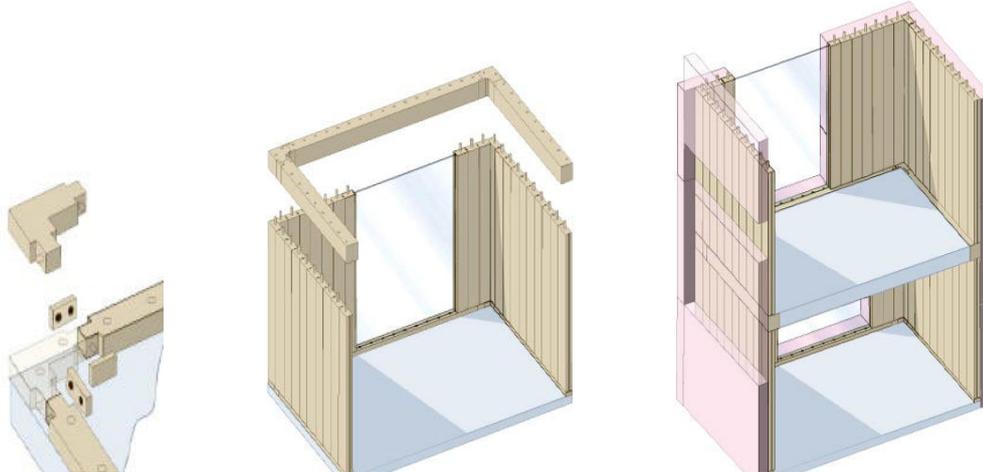
Die 5 Stiegenhauskerne sowie das Untergeschoss sind in konventioneller Ortbetonbauweise hergestellt. Nach der Herstellung der Ortbeton Bauteile, beginnt der Aufbau der Wohneinheiten mit dem Top-Wall-System und dem X-Floor-System. Das X-Floor System lagert dabei an der Fassade auf den Top-Wall Elementen auf und zur Gebäudemitte hin auf einen Ortbetonstreifen je Etage, zwischen dem Treppenhaus.



Baufortschritt, Webcam: 03.08.2012. Abb.5.46

Das Toppwall Holzelemente Wandsystem ist eine Massivholzbauweise die vom Holzbauingenieur Hermann Blumer entwickelt wurde. Erstmals wurde das System mit Laubholz eingesetzt im Projekt Badenerstrasse in Zürich 2009. vgl. Baublatt (6.02.2009); Baublatt (17.07.2009); Blumer (2010); Mikado (3/2011), (S.22-24) „Massivholz statt Backstein“

Im Projekt Sihlbogen bestehen die industriell vorgefertigten Holzbohlen aus 20 Zentimeter breiten und zehn Zentimetern dicken Nadelholz (Fichte). Die Holzbohlen werden auf einer mit Holzdübeln versehene Schwelle händisch und ohne Kran senkrecht aneinandergereiht und durch einen Pfettenkranz abgeschlossen. Dieser bildet auch gleichzeitig den Verbund zur HBV- Decke. (X- Floor- Elemente)



Aufbauprinzip Topp- Wall- System, Abb.5.47

Üblicherweise wird an der Außenseite eine 16 cm dicke Wärmedämmung aufgebracht mit einer hinterlüfteten Fassade, sowie einer 8cm starken Dämmung auf der Innenseite. Die Top Wall- Systembauweise hat im Projekt Badenerstrasse eine Bauzeitverkürzung der Rohbauphase von 3 Monaten gegenüber einer Mauerwerksbauweise gebracht. vgl. mikado (3/ 2011), (S.24).

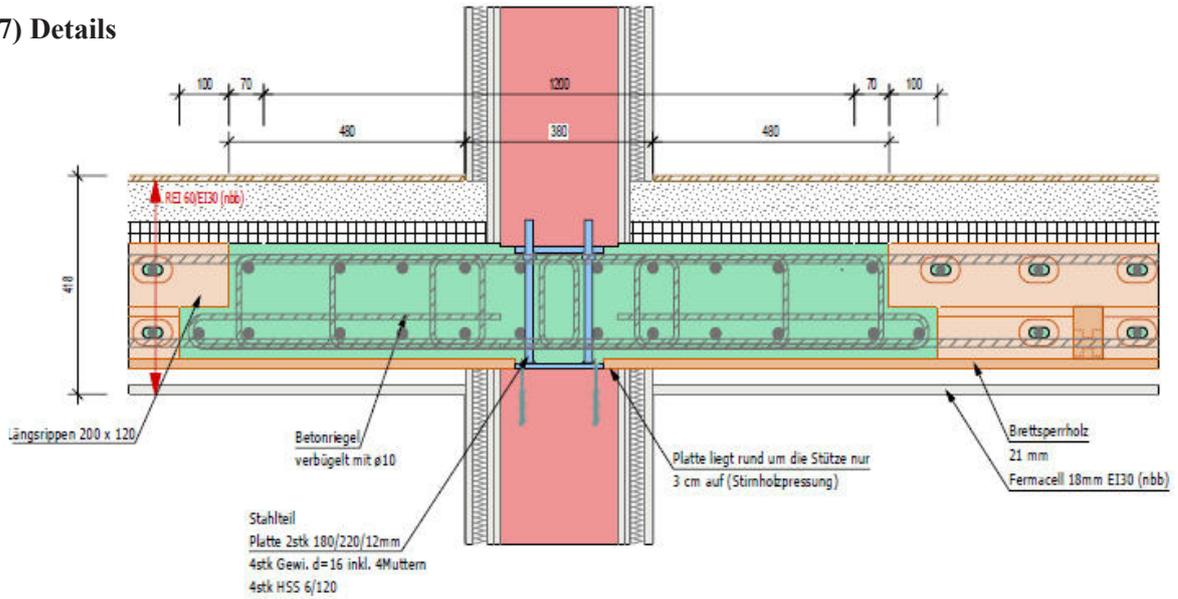
Die Wohnungstrennwände werden doppelt gestellt mit dazwischenliegender Steinwolle. In nur 1,5 Stunden haben zwei Bauarbeiter eine knapp zwölf Meter lange Innenwand fertig gestellt. vgl. Baublatt (17.07.2009), (S.18)

Die HBV- Decke als **X- Floor- System** Ausführung, ebenfalls entwickelt vom Holzbauingenieur Hermann Blumer kommt im Projekt Sihlbogen zum Einsatz. Die Verbunddecke wird im Werk Elementweise (max. 2,40 x 13 m) hergestellt und auf der Baustelle mit Beton vergossen. Es sind lt. Hersteller 90 Minuten Brandwiderstand möglich. Der Vorfertigungsgrad beinhaltet das Einlegen der Bewehrung und der Installationen, der Vorteil hier ist ebenfalls der Zeitfaktor und der hohe Stützenabstand. Nach dem Betonieren vor Ort der Holzrippenkonstruktion ist die HBV- Decke nach 24 Std. bereits tragfähig und der Fensterbauer, bzw. der Innenausbau kann beginnen. vgl. Swiss Engineering, Bau und Architektur (2012)

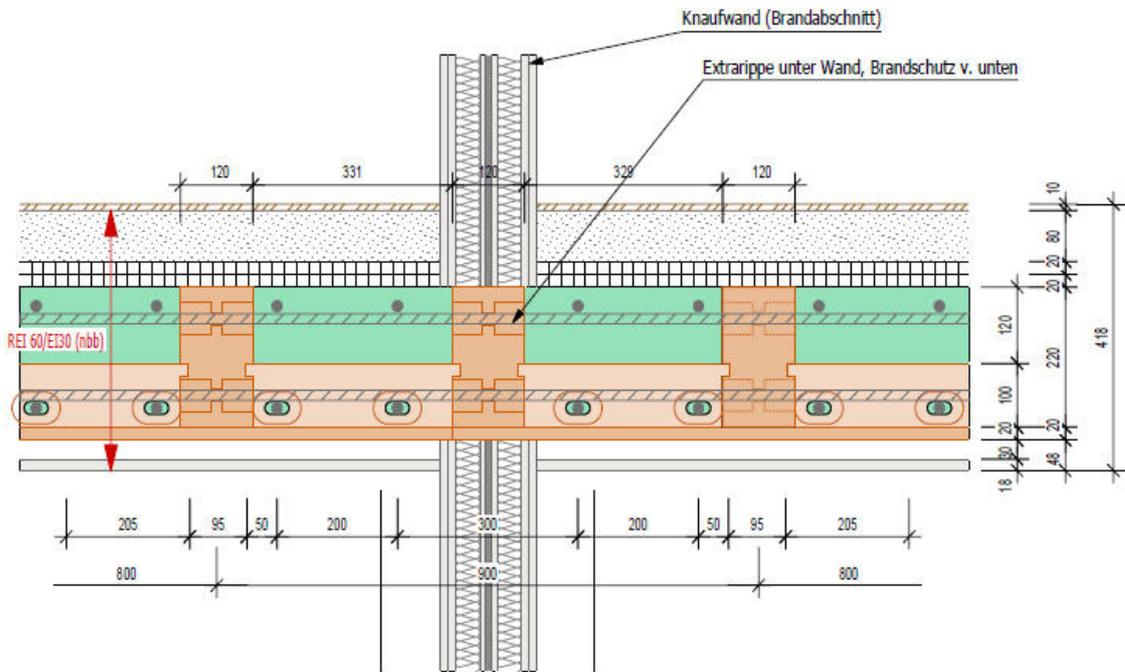


Verlegen der X- Floor Elemente, Abb.5.48

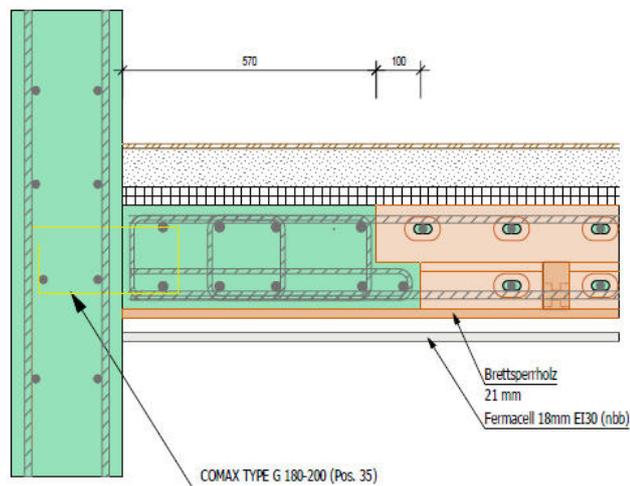
(7) Details



Stütze- X- Floor Detail mit Stahlverbindung, Detail 5, SJB Kempster und Fitze AG. Abb.5.49



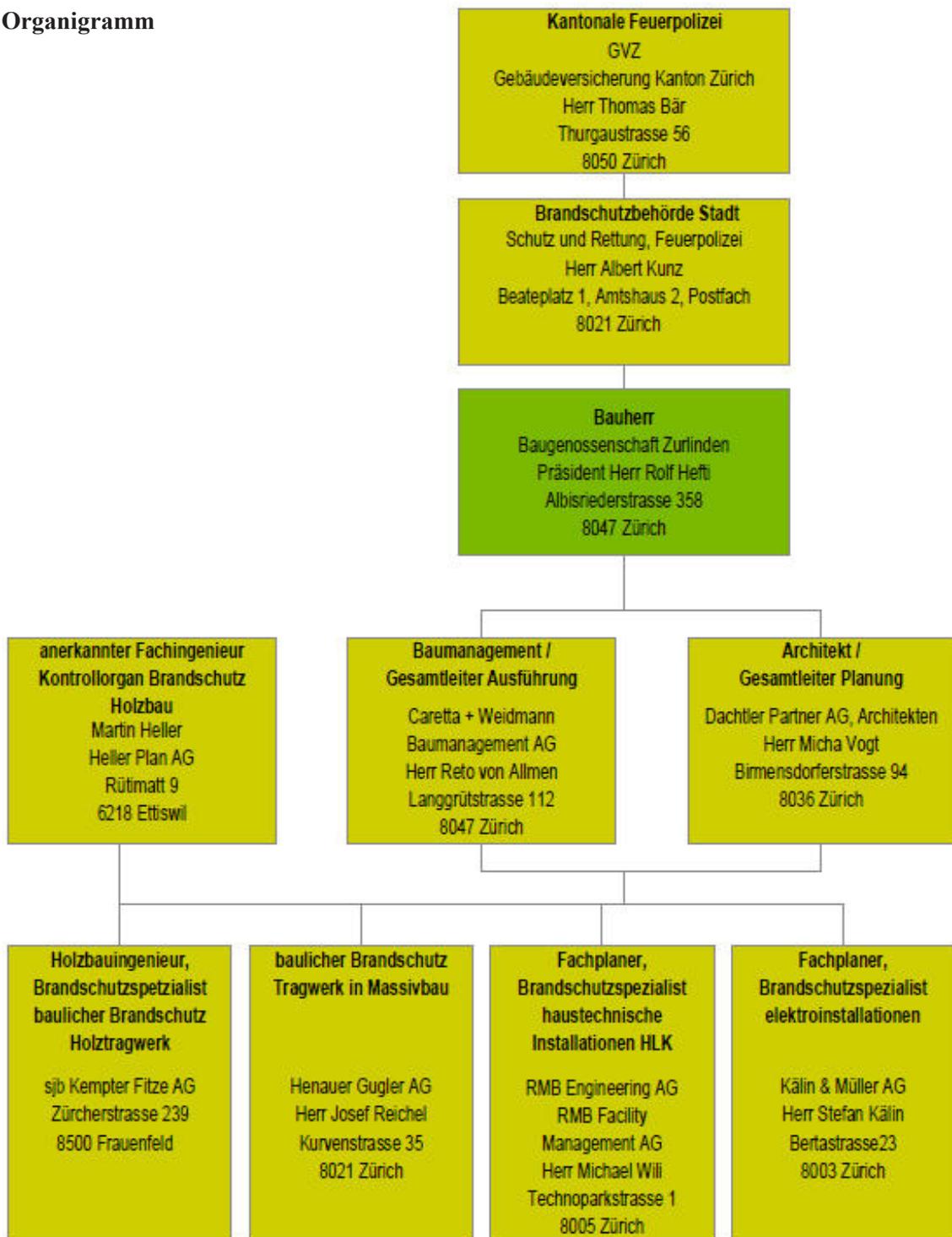
X- Floor -Wohnungstrennwand Detail 6, SJB Kempster und Fitze AG. Abb.5.50



X- Floor -Treppenhauswand Detail 7, SJB Kempster und Fitze AG. Abb.5.51

5.7.1 Brandschutzkonzept

(1) Organigramm



Brandschutz Organigramm Projekt Sihlbogen. Abb.5.52

(2) Ziele

Das Brandschutzkonzept lt. Brandschutzplaner SJB Kempter und Fitze AG dient insbesondere der Umsetzung folgender Anforderungen:

- im Brandfall keine Toten und Schwerverletzte
- keine Personengefährdung durch Vergiftung aufgrund toxischer Gase
- schnelle und konfliktfreier Zugang der Wehrkräfte ohne übermässige Gefährdung dieser
- Tragkonstruktion während Fluchtvorgang ausreichend gesichert

(3) Qualitätssicherung der Überwachung der Planung und Ausführung

		QS-Stufen				
		Q1	Q2	Q3	Q4	
		siehe Ziffer 3.1	siehe Ziffer 3.2	siehe Ziffer 3.3	siehe Ziffer 3.4	
Grundanforderungen¹⁾						
Organisation	Brandschutz-QS-Verantwortlicher für das Projekt	●	●	●	●	DP / C+W
	Beizug eines Brandschutzspezialisten (siehe Ziffer 3.4.3)		○	○	●	Sjb
	Anerkannter Fachingenieur als Kontrollorgan (siehe Ziffer 3.4.6)			○	●	MH
	Qualitätsmanagement für die Projektierung		●	●	●	DP
	Qualitätsmanagement in den Ausführungsfirmen		●	●	●	C+W
QS-Massnahmen am Prozess¹⁾						
Projektierung	Vorprojekt (inkl. Vorstudie zum Brandschutzkonzept)		○	○	○	Sjb
	Voranfrage an die Behörde/Vorentscheid			○	○	DP
	Brandschutzkonzept als Bestandteil des Baugesuchs		○	●	●	DP / sjb
	QS-Konzept zur Brandsicherheit als Bestandteil des Baugesuchs			●	●	Sjb
	Baugesuch, Prüfung durch die Behörde	●	●	●	●	FP
	Prüfung der Baueingabe durch anerkannten Fachingenieur			○	●	MH
	Brandschutzauflagen im Baubewilligungsverfahren durch Behörde SOLL-Anforderung	●	●	●	●	FP
	Endkontrolle der Planung durch Brandschutz-QS-Verantwortlichen		○	●		DP / C+W
	Freigabe zur Ausführung durch Brandschutz-QS-Verantwortlichen		○	●		DP / C+W
	Endkontrolle der Planung durch anerkannten Fachingenieur			○	●	MH
	Protokoll/Checkliste an die Behörde und den Bauherrn			○	●	DP
	Freigabe zur Ausführung durch anerkannten Fachingenieur				●	MH
Ausführung	Werkstatt- und Rohbaukontrollen durch Vertreter des Bauherrn	●	●	●	●	-
	Protokoll/Checkliste an die Behörde		●	●		-
	Rohbaukontrolle durch anerkannten Fachingenieur			○	●	MH
	Protokoll/Checkliste an die Behörde und den Bauherrn			○	●	Sjb
	Rohbaukontrolle durch Behörde			○	○	FP
	Endkontrolle durch Vertreter der Bauherrschaft	●	●	●	●	C+W
	Protokoll/Checkliste an die Behörde		●	●		-
	Endkontrolle durch anerkannten Fachingenieur			○	●	MH
	Protokoll/Checkliste an die Behörde und den Bauherrn			○	●	MH
	Schlussabnahme und Freigabe zur Nutzung durch Behörde IST-Vergleich	●	●	●	●	FP
Nutzung	Archivierung der Revisionspläne in den Projektakten			●	●	DP / sjb
	Gebäudenutzung: Gewährleistung der Sicherheit von Personen, Tieren und Sachen durch den Eigentümer und die Nutzerschaft	●	●	●	●	BGZ
	Umbauarbeiten/Umnutzungen: Neubeurteilung und Erhaltung der Sicherheit von Personen, Tieren und Sachen durch den Eigentümer und die Nutzerschaft	●	●	●	●	-
	Periodische Kontrollen durch die Behörden	je nach Nutzung				FP

○ Empfehlung
 ● verbindliche Anforderung resp. QS-Massnahme
 1) Die Behörde kann je nach Bauobjekt erweiterte oder reduzierte Anforderungen resp. Massnahmen verfügen.

Liste Kürzel:

- FP Feuerpolizei Schutz und Rettung Stadt Zürich
- BGZ Baugenossenschaft Zurlinden
- DP Dachtler Partner AG
- C+W Caretta + Weidmann
- MH Martin Heller
- sjb sjb Kempfer Fitze AG
- Prozess für Projekt nicht vorgesehen

Qualitätssichernde Anforderungen Q 4 und Maßnahmen zum Projekt Sihlbogen. Abb.5.53

(4) Gebäudeeinstufung

Die Mehrfamilienhäuser B 1 und B 2 sind 6- geschossig und bestehen aus einer Holz und Holzmischbauweise auf einem mineralsichen Sockelgeschoss. Die tragenden und raumabschließende Bauteile aus Holz auf 6 Etagen erfüllen somit die brandschutztechnischen Anforderungen der VKF „Brandschutznorm“. Ein Brandschutzkonzept zum Nachweis der Erfüllung der Schutzziele und des Schutzniveau lt. VKF- Brandschutznorm ist zu erbringen. vgl. VKF Brandschutznorm (2003)

(5) Brandabschnittsbildende Bauteile, baulich vorbeugende Brandschutzmaßnahmen

Die Anforderungen an die Feuerwiderstandsdauer für das Tragwerk ist R 60 / EI 30 (nbb). Die tragenden Innenwände werden mit Fermacellplatten nicht brennbar verkleidet. Der Wandaufbau der tragenden Elemente erfüllt die Anforderungen REI 60 / EI 30 (nbb) gemäss Lignum Dokumentationen.

Damit kein Abbrand an der Tragstruktur entsteht wird sie nicht nur EI 30 (nbb) verkleidet sondern EI 60 (nbb) nach Lignum 2 x 12.5mm Fermacell.

Die Umfassungen der Brandabschnitte müssen den Forderungen der EI 60 / EI 30 (nbb) genügen, können aber brennbar ausgeführt werden. Die Wohnungstrennwände werden voraussichtlich mit einem Knaufsystem erstellt.

Die Treppenhauswände sind mit nicht brennbaren Materialien zu erstellen und erfüllen die Forderung der REI 60 (nbb). (massiv Beton, im EG teilweise Knaufsystem). Die Fluchttreppen und Podeste sind mit nicht brennbaren Materialien zu erstellen.

Das Untergeschoss ist in Stahlbeton Massivbauweise erstellt und erfüllt die Brandschutzanforderungen REI 60 (nbb).

In brandabschnittsbildenden Bauteilen sind Durchbrüche, Leitungsdurchführungen und Installationschächte mit feuerwiderstandsfähigen Abschottungen dicht zu verschließen. Abschottungen müssen mindestens eine Feuerwiderstandsdauer in EI 30 (nbb) aufweisen.

(6) Fassade

Die Fassade besteht aus einer nichtbrennenden Keramikplatte. Es dürfen am gesamten Bauwerk nur nichtbrennbare Dämmungen verwendet werden. Die Tragstruktur der Aussenwände besteht aus massiven Holzbalken die rauchdicht nebeneinander stehen. Der Brandschutz wird dabei auf der Innenseite durch eine Fermacellbekleidung 2 x 12.5 mm und auf der Aussenseite durch die Flumrocdämmung 160 mm erbracht. Die Keramik Fassadenplatten sind nicht brennbar. Im Bereich der Loggias wird die Wand aussen mit Holz bekleidet, durch die Balkone in Beton wird aber diese Verkleidung in jedem Geschoss abgeschottet. Die Anforderungen an die Feuerwiderstandsdauer für die Aussenwand ist R 60 / EI 30 (nbb).

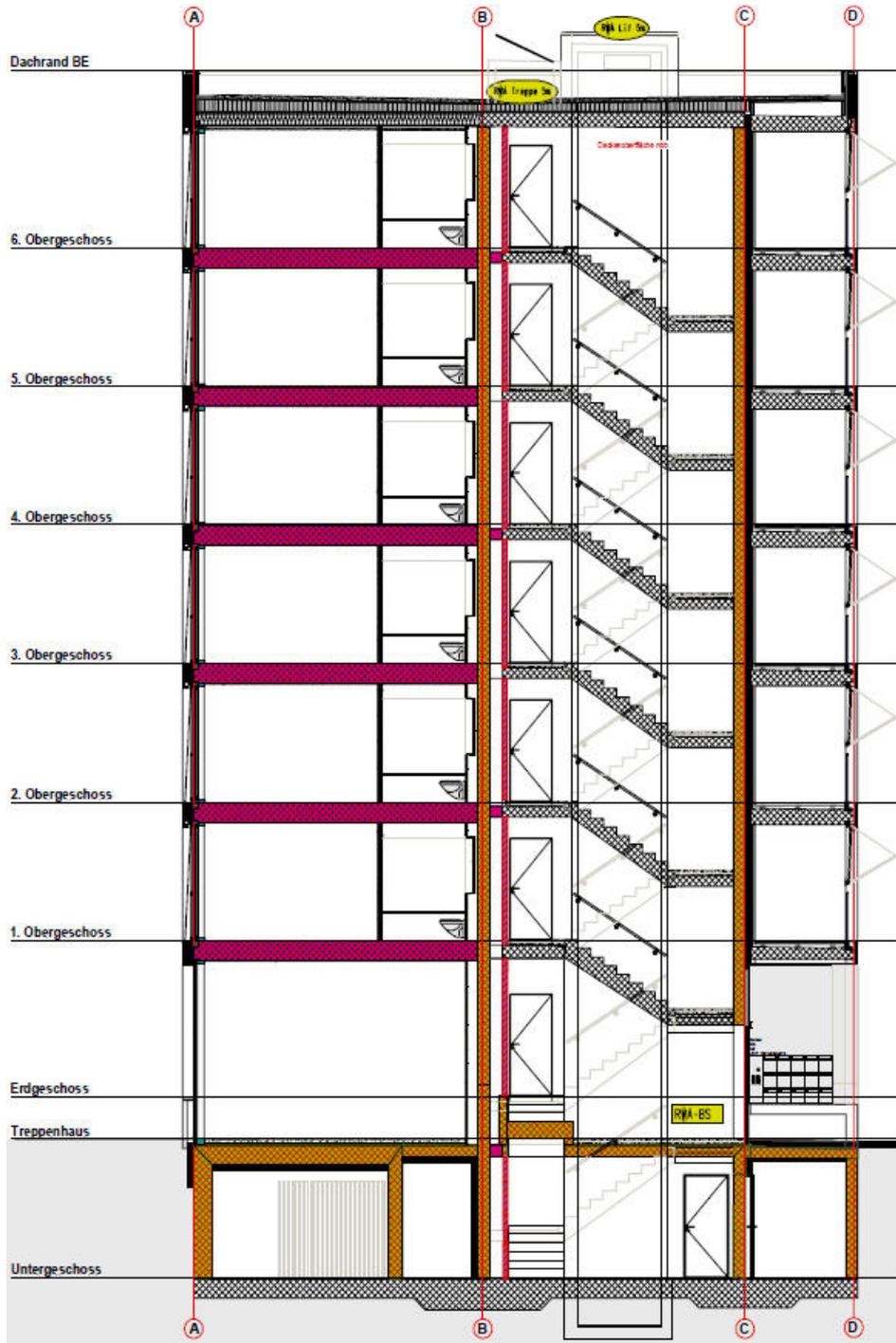
(7) Anlagentechnische Brandschutzmaßnahmen

Bei den Aussenwänden sind nur vereinzelte Rohre, Schalter oder Dosen zulässig. Weitere Elektroleitungen sowie Steckdosen sind in den Innenwänden ohne brandabschnittsbildende Funktionen unterzubringen. Grundsätzlich erfüllen die Bauteile die Standartanforderungen nach Lignum, so dass keine kompensierenden anlagentechnischen Brandschutzmaßnahmen erforderlich sind.

vgl. SJB Kempter und Fitze AG, Ingenieure + Planer SIA USIC (2011) „Brandschutzkonzept für Sihlbogen Areal B, 8047 Zürich“, Bericht Nr. 810.048- 010 - BSK, Frauenfeld, 28. März 2011, Rev. 13.April 2011, 15.April 2011, Zürcherstrasse 239, 8501 Frauenfeld

(8) Brandschutzkonzeptplan Schnitt

Schnitt E-E M.1:50



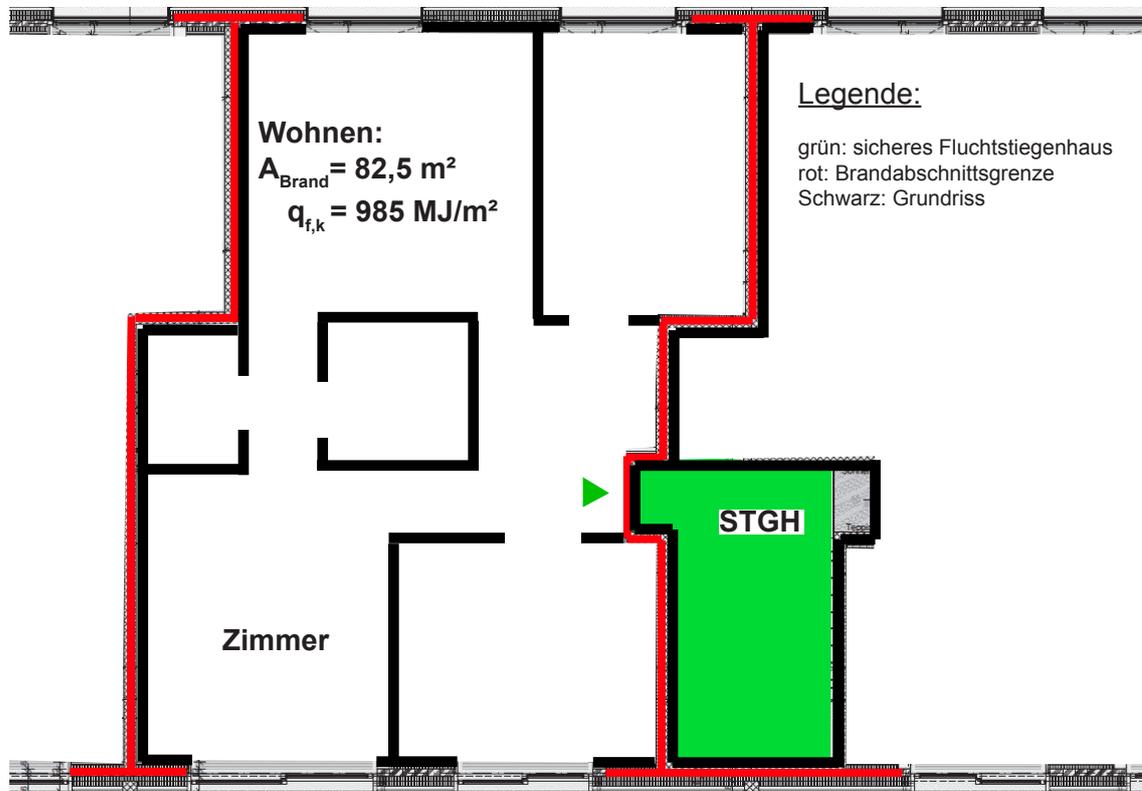
- | | | | |
|--|---|--|------------------------------------|
| | Brandzelle / Brandabschnitt | | Steigzonen Schocht EI 60 (nbb) |
| | Brandmauer auf Grenze REI180(nbb) Stahlbeton | | Steigzonen Schocht EI 60/EI30(nbb) |
| | Treppenhaus, 2. UG Feuerwiderstand REI60(nbb) | | Fluchtwege Treppenhaus / Korridor |
| | Tragwerk, Aussenwände tragend Feuerwiderstand R60/EI30(nbb) | | Fluchtrichtung |
| | Wohnungstrennwände/Decken als Brandabschnitt tragend Feuerwiderstand REI60/EI30 (nbb) | | Türe EI30 |
| | Brandabschnitt nicht tragend Feuerwiderstand EI60/EI30(nbb) | | Türe EI30 nbb |
| | Abschottung EI30 | | |

Schnitt E- E aus dem Brandschutzkonzept von SJB Kempfer und Fitze AG. Abb.5.54

5.7.2 Fallstudie C

Bemessung der Branddauer für eine Wohnung $A_{\text{Brand}} = 82,5 \text{ m}^2$.

(Die Fallstudie C nimmt keinen Bezug zum Brandschutzkonzept im Kapitel 5.3.2 „Brandschutzkonzept“ die Eingangsdaten sind vom Autor frei gewählt, die Schlussfolgerungen beziehen sich auf die Kapitel 3 und 4. - Insbesondere mussten die Öffnungsflächen aufgrund des „Bemessungskonzeptes < 20 MW Brand“ reduziert werden.)



Brandabschnittsbildung der Wohnung. Abb.5.55

5.7.2.1 Basisvariablen zur Berechnung parametrischer Brandkurven:

Bemessungsbrandszenario	kritischer Wohnungsbrand;
Lage des Brandabschnittes	6. OG; Aufenthaltsniveau 18,52 m über Straßenniveau;
Grundfläche	$A_{\text{Brand}} = 82,5 \text{ m}^2$;
(Info) charakteristische Brandlastdichte	$q_{f,k} = 985 \text{ MJ/m}^2$; 80 % Quantil; (nicht maßgebend)
max. spezifische Brandleistung je m^2	$Q_{\text{max,k}} = 0,25 \text{ MW/m}^2$;
Brandausbreitungsgeschwindigkeit	$t_{\alpha,k} = 300 \text{ s}$ bis 1 MW, (Möbliering);
Verbrennungseffektivität der Brandlast	$\chi = 0,8$;
Ventilationengeometrie und Fläche	$A_w = 16,2 \text{ m}^2$ Fensterfläche; $h_w = 2,0 \text{ m}$ Fensterhöhe;
Umfassungsfläche Brandabschnitt	$A_t = 288 \text{ m}^2$ (inkl. Öffnungen);
Umfassungsbauteile (thermisch)	$b = 1.200 \text{ J/m}^2\text{s}^{0,5}$ (Baustoffeigenschaft definiert).

5.7.2.2 Basisvariablen im Sicherheitskonzept:

Schadensfolgeklasse CC 2	$1,3 \text{ E}^{-05}$ nach DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang BB.4;
Risikoklasse RC 1	$\beta = 4,2$, nach DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang BB.4;
Brandhäufigkeit in Wohnnutzungen	$4,8 \text{ E}^{-05}$ nach DIN EN 1991- 1- 2/ NA, Anhang BB.4;
maßgebende Variablen der Brandeinwirkung	$\dot{Q}_{\text{max,k}}$ [MW], $t_{\alpha,k}$ [s], $t_{f5,k}$ [min], $t_{f6,k}$ [min];
Sicherer Zugang über Treppenhaus	ja;
Löschwasserversorgung	Trockensteigleitung im STGH vorhanden;
Rauchfreihaltung im Stiegenhaus	1 m^2 Ventilationsöffnung;
1. Rettungsweg	ja (Selbstrettung);
2. Rettungsweg	ja (Fremdrettung);
Rauchmelder	ja (Brandfrüherkennung);
öffentliche Feuerwehr (Leistungsfähigkeit)	ja (Brandbekämpfung).

5.7.2.3 Ermittlung des Bemessungsbrandverlaufs im gesamten Brandabschnitt

(1) Die Bemessungswerte lt. Sicherheitskonzept ergeben sich zu:

$$\begin{aligned} P_{fi} &= (4,8 * 10^{-5}) * 82,5 = \underline{3,9 * 10^{-3}} \\ P_{f,fi} &= 1,3 * 10^{-5} / 3,9 * 10^{-3} = \underline{3,3 * 10^{-3}} \\ \text{Sicherheitsindex} \quad \beta_{fi} &= \underline{2,7} \end{aligned}$$

(1.1) Die globalen Teilsicherheitsbeiwerte auf Grund des Bemessungsbrandszenarios $\dot{Q}_{max,d} < 20 \text{ MW}$ ergeben sich durch $\beta_{fi} = 2,7$ mit:

$$\gamma_{fi,\alpha} = 1,0 ; \gamma_{fi,\dot{Q}} = 1,23 \quad (\text{abgelesen nach Abb.4.26})$$

(2) Die maximale Energiefreisetzungsrate im Brandabschnitt ergibt sich mit:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{max} &= 1,21 * 9,5 * \sqrt{2,0} ; 0,25 * 82,5 = \text{MIN} (16,2 ; 20,61) \\ \dot{Q}_{max} &= \underline{16,2 \text{ MW}} \end{aligned}$$

(3) Die maximale Bemessungsenergiefreisetzungsrate $\dot{Q}_{max,d}$ definiert sich aus:

$$\dot{Q}_{max,d} = 16,2 * 1,23 < 20 \text{ MW} = \underline{19,9 \text{ MW}}$$

(4) Die Phase der Brandausbreitung ist definiert mit:

$$\begin{aligned} t_1 &= 300 * \sqrt{19,9} = \sim \underline{1.340 \text{ s}} = \sim \underline{22. \text{ Minute}} \\ Q_1 &= 1.340^3 / 3 * 300^2 = \sim \underline{8.912 \text{ MJ}} \end{aligned}$$

(5) Flashover:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{fo} &= 0,0078 * 264,47 + 0,378 * 16,2 * \sqrt{2,0} = \underline{11,5 \text{ MW}} \\ t_{fo} &= 300 * \sqrt{11,5} = \sim \underline{1.019 \text{ s}} \Rightarrow t_{fo} = \sim \underline{17. \text{ Minute}} \quad t_{fo} > t_1 \\ Q_{fo} &= 1.019^3 / 3 * 300^2 = \sim \underline{3.919 \text{ MJ}} \end{aligned}$$

(6) Für die Referenzbrandlastdichte von $q_{ref} = 1.300 \text{ MJ/m}^2$ ergibt sich:

$$\begin{aligned} Q_{gesamt} &= 1.300 * 82,5 = \underline{107.250 \text{ MJ}} \\ Q_2 &= 0,7 * 107.250 - 3.919 = \underline{71.156 \text{ MJ}} \\ t_2 &= 71.156 / 19,9 = 3.575,67 \text{ s} \Rightarrow t_2 = \sim \underline{77. \text{ Minute}} \\ Q_3 &= 0,3 * 107.250 = \underline{32.175 \text{ MJ}} \\ t_3 &= 2 * 32.175 / 19,9 = 3.234 \text{ s} \Rightarrow t_3 = \sim \underline{131. \text{ Minute}} \end{aligned}$$

(7) Die Heißgastemperaturen im Brandabschnitt für $q_{ref} = 1.300 \text{ MJ/m}^2$ zu den Zeiten t_1, t_2, t_3 :

$$\begin{aligned} \Theta_1 &= -8,75 * 1 / 0,07 - 0,1 * 1.200 + 1.175 = \underline{865 \text{ }^\circ\text{C}} \\ \Theta_2 &= (0,004 * 1.200 - 17) * 1 / 0,07 - 0,4 * 1.200 + 2.175 < 1.340 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow \underline{1.429 \text{ }^\circ\text{C}} \\ \Theta_3 &= -5,0 * 1 / 0,04 - 0,16 * 1.200 + 1.060 = \underline{695 \text{ }^\circ\text{C}} \end{aligned}$$

Mit:

$$O = 9,5 * \sqrt{2,0} / 288 = \underline{0,046}$$

Info: Aufgrund des hohen Öffnungsfaktors $O = 0,046$ kann die Formel für einen ventilationsgesteuerten Heißgastemperaturverlauf nicht angewandt werden, die maximale Temperatur ist somit 1.340 °C.

(8) Heißgastemperatur- Zeitverlauf im Brandabschnitt für $q_{f,k} = 948 \text{ MJ/m}^2$ zu den Zeiten t_1, t_2, t_3 :

Die charakteristische Brandlastdichte ist nicht maßgebend, es erfolgt keine Bemessung.

(9) Bemessungsbrandszenario mit Brandbekämpfungsmaßnahmen durch die Löschbereitschaft der Berufsfeuerwehr Wien für ein < 20 MW Brandgeschehen -d.h. quantifizierbarer Löschdauer.

(9.1) Die Bemessungsbrandentwicklungszeit $t_{f5,d}$ [min] bis Beginn der Löscharbeiten:

$$t_{f5,k} = t_{f5,d} = \underline{\underline{30 \text{ Minuten}}}$$

(9.2) Die Bemessungsbrandbekämpfungszeit $t_{f6,d}$ [min]:

$$t_{f6,k} = t_{f6,d} = \underline{\underline{35 \text{ Minuten}}}$$

(9.3) Das Brandende auf Grund von brandbekämpfenden Maßnahmen t_{sub} [min]:

$$t_{sub} = 35 + 30 = \underline{\underline{65. \text{Minute}}}$$

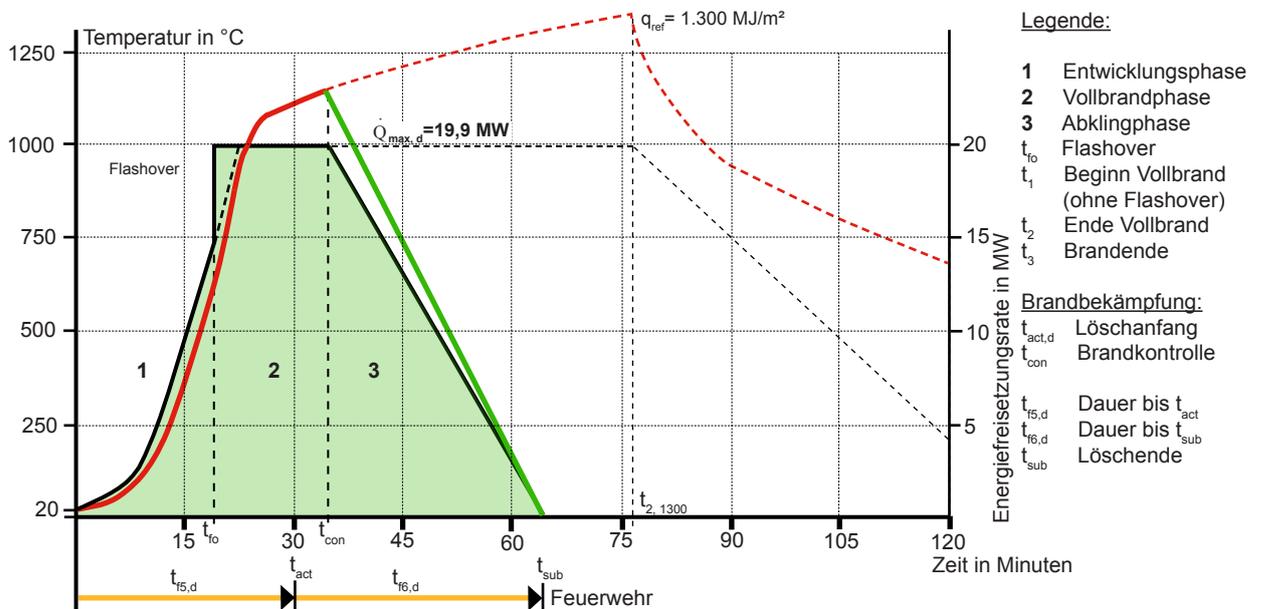
Dabei ist:

$t_{f5,d}$ Bemessungsbrandentwicklungszeit [min] mit 30 Minuten;

$t_{f6,d}$ Bemessungsbrandbekämpfungszeit [min] mit 35 Minuten.

(9.4) Die Vollbranddauer im gesamten Brandabschnitt Wohnung A mit: $t_{con} - t_{fo} = \underline{\underline{18 \text{ Minuten}}}$.

Grafische Darstellung des Bemessungsbrandszenarios < 20 MW:

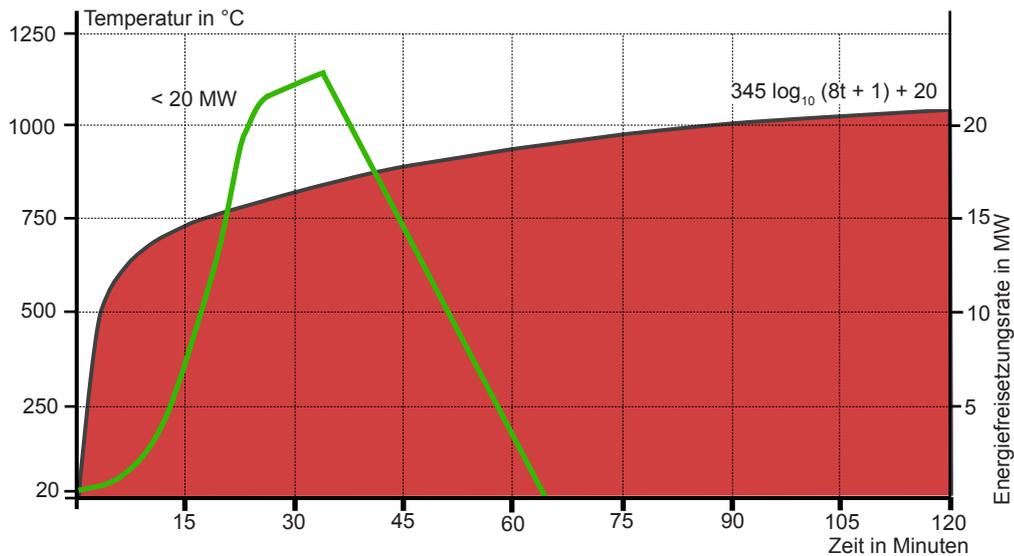


Das Bemessungsbrandszenario der Wohnung A mit $A_{Brand} = 82,5 \text{ m}^2$ Brandabschnittsfläche. Abb.5.56

5.7.2.3.1 Ergebnis

Das Ergebnis der Berechnung der Realbrandkurve in Abb.5.56 für den Brandabschnitt zeigt die Löschwirkung der Berufsfeuerwehr ab der 30. Minute nach Brandbeginn, mit dem Brandende in der. ca. 65 Minute nach Brandbeginn. Bei Löschanfang betragen die Heißgastemperaturen im Brandabschnitt um die ca. 1.150 °C.

Info: Gegenüber der normativen Brandkurve in Abb.5.57 zeigt der Realbrand in den ersten 17 Minuten eine Unterschreitung der Temperatur im Brandraum. Eine Überschreitung der Temperatur im Brandraum gegenüber der ETK erfolgt ab ca. 17 Minuten nach Brandbeginn bis ca. 40 Minuten nach Brandbeginn.



BemessungsbrandszENARIO der Wohnung A mit $A_{\text{Brand}} = 82,5 \text{ m}^2$ Brandabschnittsfläche (grün). Abb.5.57

5.7.2.3.2 Zusammenfassung Fallstudie C

Durch den Schutz der brennbaren tragenden und raumabschließenden Bauteile vor einer Brandeinwirkung bis zum Vollbrand im Brandraum, mit einer brandschutztechnischen Bekleidung in der Euroklasse A2 und dem Wirken der Berufsfeuerwehr, kann eine Einteilung der Feuerwiderstandsdauer, Brandverhalten der tragenden und brandabschnittsbildenden Bauteile nach Tab.5.3 erfolgen.

5.8 Zusammenfassung Fallstudien

Die in der Tab. 5.3 getroffenen Annahmen für ein Bemessungsbrandszenario < 20 MW, zum Brandverhalten und der Feuerwiderstandsdauer für brennbare tragende und raumabschließende Bauteile, konnten in den Fallbeispielen überprüft und für die Stadt Wien bestätigt werden. Im Stadtraum Wien ist somit der mehrgeschossige Holzbau in Holzmassiv- und Holzskelettbauweise im vorliegenden Sicherheitsformat möglich.

Brandabschnittsgrößen von 100 m^2 mit einer maximalen Bemessungsbrandleistung im Brandabschnitt von < 20 MW, auf Grund beschränkter Ventilationsbedingungen im Brandraum, ermöglichen einen frühzeitigen Löscherfolg der Löschbereitschaft der Berufsfeuerwehr und bieten somit die Möglichkeit einer zusätzlichen Brandbelastung durch immobile brennbare Bauteile.

Die schnelle Brandausbreitung über die brennbaren, sichtbaren, flächigen Holzoberflächen (Holzmassivbau) kann bis zum Beginn des Flashover bzw. Vollbrandes über eine brandschutztechnische Bekleidung (K - Kriterium) der Euroklasse A2 verhindert werden, siehe Fallbeispiel C.

Sichtbare flächige Holzoberflächen (Holzmassivbau) sind möglich, wenn eine Brandmeldeanlage mit einer Aufschaltung zur Feuerwehr eine frühzeitige Brandbekämpfung gewährleistet, damit ein erhöhtes Schadensausmaß auch über die Brandweiterleitung, über übereinanderliegende Fensteröffnungen, unterbunden werden kann, siehe Fallbeispiel A.

Eine Sprinkleranlage hingegen kann darüberhinaus brandraumgrößenunabhängig eine erfolgreiche Brandbekämpfung der Feuerwehr gewährleisten, da diese in der Brandentwicklungsphase aktiviert wird, somit einen Entstehungsbrand mit einer sehr geringen Brandleistung bekämpft, siehe Fallbeispiel B.

Da die Festlegungen zur Höhe der Bemessungsbrandleistung im Brandabschnitt ausschlaggebend in Wohn- und Büronutzungen für den frühzeitigen Löscherfolg der Feuerwehr ist, kann eine allgemeine Einführung der getroffenen brandschutztechnischen Maßnahmen, in der Tabelle 5.3, in die Bauordnung erfolgen.

Im folgenden Kapitel wird die OIB RL 2 „Brandschutz“ vorgestellt und eine Erweiterung der Vorgaben über tragende und raumabschließende Bauteile aus Holz in der Gebäudeklasse 5 unternommen.

6 Mehrgeschossiger Holzbau in der OIB RL 2

6.1 Ordnung und Zusammenhang der Brandschutzmaßnahmen

Nach Schneider beschäftigt sich der vorbeugende Brandschutz mit der Gesamtheit der Maßnahmen die geeignet sind, um ein Ausbrechen oder ein Ausbreiten des Brandes zu verhindern. Die vorbeugenden Brandschutzmaßnahmen gliedern sich dabei in bauliche, anlagentechnische und organisatorische Brandschutzmaßnahmen, siehe Abb.6.1 und 6.2. Die abwehrenden Brandschutzmaßnahmen beschränken sich auf die Brandbekämpfung. vgl. Schneider et al. (2008), (S.12f.)

(1) Der technische Brandschutz unterteilt sich in vorbeugenden baulichen und vorbeugenden anlagentechnischen Brandschutz, dessen Zielsetzung aus den Schutzzielen des Anhang 1 der BaupVVo hervor geht und aus dem Schutzniveau der Baugesetzgebung der einzelnen Länder der EU.

(1.1) Der vorbeugende bauliche Brandschutz umfasst die bauplanerischen Aspekte auf Grundlage der anerkannten Regeln der Technik, die ein Gebäude innerhalb einer bestimmten Zeit dazu befähigt, die Brandausbreitung zu verhindern, die Rettung der Gebäudebenutzer sowie die sichere Brandbekämpfung durch die Feuerwehr zu gewährleisten.

(1.2) Der vorbeugende anlagentechnische Brandschutz umfasst die anlagentechnischen Maßnahmen die in der Lage sind, den Brand zu detektieren, einzudämmen und die baulichen Maßnahmen zur Sicherheit der Gebäudenutzer, zur Brandeindämmung und der sicheren Brandbekämpfung für eine bestimmte Zeit zu gewährleisten.

(2) Der betriebliche/ organisatorische Brandschutz ist innerhalb eines Gebäudes auszuführen auf Grundlage der anerkannten Regeln der Technik, dessen Zielsetzung aus den Schutzzielen des Anhangs 1 der Verordnung (EU) Nr. 305/ 2011 hervorgeht und aus dem Schutzniveau der Baugesetzgebung der einzelnen Länder der EU, wozu ein Brandschutzbeauftragter, Brandschutzpläne zur Entfluchtung des Gebäudes, ein Aushang zur Brandverhütung etc. gehören können.

(3) Der abwehrende Brandschutz ist durch die erste und erweiterte Löschhilfe, durch die werkseigene Feuerwehr oder die öffentliche Feuerwehr und das Löschwesen sicherzustellen und in Landesgesetzen definiert. vgl. Schneider et al. (2008), (S.12f.)

Aus diesen vorbeugenden technischen, organisatorischen und abwehrenden Brandschutzmaßnahmen generiert sich auf nationaler Ebene ein Sicherheitsniveau, das mit zunehmender Gebäudehöhe, zunehmender Anzahl der Personen, zunehmender Anzahl der Nutzungen etc. höher wird, um die genannten Schutzziele der Bauproduktenverordnung der EU gewährleistet. Weitere Schutzziele können je nach Nutzung und Anforderung des Gebäudes dazu kommen (z.B. Schutz von kulturellem Erbe bei denkmalgeschützten Gebäuden, Datensicherung bei Bankgebäuden, etc.).

Obgleich es die europäischen Normen (EUROCODES) auf technischer Ebene gibt, wird die Brandsicherheit von Gebäuden durch die nationale Gesetzgebung geregelt und ist daher eine Angelegenheit auch auf politischer Ebene. vgl. SP INFO (68/ 2010)

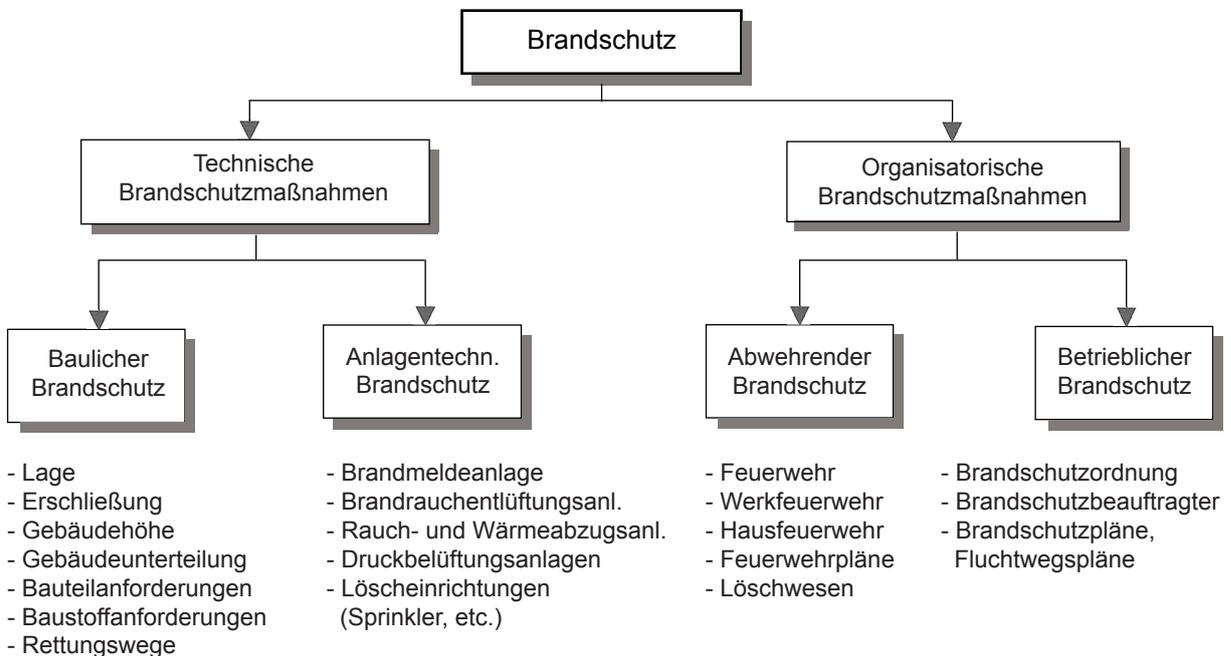
Anmerkung: Grundsätzlich sollten sich, die Ergebnisse aus den Bemessungsmethoden der europäischen Normen, der EUROCODES, für Maßnahmen des vorbeugenden Brandschutzes von Gebäuden, gültig durch nationale Anwenderdokumente, mit den nationalen bautechnischen Regelungen, den OIB- Richtlinien 2 „Brandschutz“ im Sicherheitsniveau gleichen.

(1) Struktur des Brandschutzes im Bauwesen nach Kordina:



Tab.6.1: Struktur des Brandschutzes im Bauwesen nach Kordina (1999).

(2) Struktur des Brandschutzes im Bauwesen nach Schneider:



Tab.6.2: Ordnung und Zusammenhang der Brandschutzmaßnahmen nach Schneider et al. (2008).

Anmerkung: Schneider und Kordina fassen den Brandschutz von Gebäuden im Bezug zu abwehrenden Brandschutzmaßnahmen verschieden auf, so dass bei der Tab.6.1 der abwehrende Brandschutz nicht in den organisatorischen Brandschutz von Gebäuden einfließen kann, in Tab.6.2 aber durchaus zu gesamtplanerischen, organisatorischen Brandschutzmaßnahmen dazugezählt wird -d.h. eine quantitative Beteiligung durch das Löschwesen kann im Brandschutzkonzept nach Schneider aufgeführt werden.

6.2 Vorbeugender Brandschutz nach den OIB- Richtlinien 2 „Brandschutz“

In Österreich ist die Kompetenz für das Bauordnungsrecht den Bundesländern vorbehalten. Um eine Harmonisierung in den verschiedenen Bauordnungen der Länder zu erzielen, wurden die OIB- Richtlinien im April 2007 beschlossen. Diese basieren auf den Beratungsergebnissen der Landesdirektorenkonferenz eingesetzten Länderexpertengruppe und wurde von der Generalversammlung des Österreichischen Instituts für Bautechnik (OIB) beschlossen und publiziert. Die OIB- Richtlinien werden ständig von der Länderexpertengruppe dem neuesten Stand der Technik angepasst. vgl. OIB RL 1 (2011); Peter (2011), (S.1)

6.2.1 Schutzziele

Die Landesbauordnungen in Österreich orientieren sich hinsichtlich der brandschutztechnischen Schutzziele an der Definition der wesentlichen Anforderung „Brandschutz“ im Anhang 1 der BauPVo, z.B. festgehalten in der LBO für Wien im 3. Abschnitt „Brandschutz“ § 91- § 96. Danach muss ein Bauwerk derart entworfen und ausgeführt sein, dass bei einem Brand:

- die Tragfähigkeit des Bauwerks während eines bestimmten Zeitraums erhalten bleibt,
- die Entstehung und Ausbreitung von Feuer und Rauch innerhalb des Bauwerks begrenzt wird,
- die Ausbreitung von Feuer auf benachbarte Bauwerke begrenzt wird,
- die Bewohner das Gebäude unverletzt verlassen oder durch andere Maßnahmen gerettet werden können,
- die Sicherheit der Rettungsmannschaften berücksichtigt wird und wirksame Löscharbeiten möglich sind.

6.2.2 Schutzniveau

Durch die Übernahme in die Bauordnungen der einzelnen Bundesländer (LBO) werden die OIB- Richtlinien per Gesetz für verbindlich erklärt. Im 9. Abschnitt der Bauordnung für Wien verweist diese auf die Wiener Bautechnikverordnung, kurz WBTV in der die bautechnischen Vorschriften geregelt werden, um die definierten Schutzziele einzuhalten. Mit den zitierten OIB- Richtlinien 2, 2.1, 2.2, 2.3 und ÖNORMEN wird das Schutzniveau für das Erreichen der definierten Schutzziele der LBO's im Brandschutz von Gebäuden dekriptiv festgelegt, so dass Anforderungen an das Brandverhalten von Baustoffen und an die Feuerwiderstandsdauer von Bauteilen nach europäisch genormten Klassen gestellt werden. Nach § 2 der WBTV kann aber von den Anforderungen abgewichen werden, wenn die Schutzziele auf gleichem Niveau wie bei Anwendung der OIB- Richtlinie erreicht werden, wobei der OIB- Leitfaden „Abweichungen im Brandschutz und Brandschutzkonzepte“ anzuwenden ist. vgl. OIB- Leitfaden (2011); vgl. WBTV (2012); vgl. Bauordnung für Wien - BO für Wien LGBL vom 05.11.2012

6.2.3 Anforderungen

Die OIB RL 1 „Mechanische Festigkeit und Standsicherheit“ gibt Grundlagen der Tragwerksplanung vor und verweist dabei auf die ÖNORM EN 1990 „Grundlagen der Tragwerksplanung“, die im Brandfall auf die ÖNORM EN 1991- 1- 2 „Brandwirkungen auf Tragwerke“ verweist. Es können somit grundsätzlich die im Kapitel 4 vorgestellten ingenieurmäßigen Berechnungsmethoden der beiden ÖNORMEN angewandt werden, um die Feuerwiderstandsdauer tragender und raumabschließender Bauteile zu ermitteln, wenn nicht im nationalen Anhang anders beschrieben wurde.

vgl. OIB RL 1 (2012); vgl. ÖNORM EN 1990 (2013); vgl. ÖNORM EN 1991- 1- 2 (2013)

Als gängige Methode für den Brandschutznachweis werden die tabellarisch aufgeführten Anforderungen an tragende und raumabschließende Bauteile normaler Nutzungen (Wohnen, Büro, etc.) der OIB RL 2 „Brandschutz“ angewandt, um ein bauordnungsrechtlich konformes Gebäude herzustellen. Es wird dabei im Sicherheitskonzept nach den OIB- Richtlinie 2 ein Zusammenhang mit den Baustoffeigenschaften, dem Bauteilverhalten und dessen Feuerwiderstandsdauer, nach den Euroklassen gemäß der ÖNORM EN 13501- 1 und ÖNORM EN 13501- Teil 2- 6 hergestellt. Das Sicherheitsniveau der Bauteile mit Anforderungen an ein Brandverhalten und dessen Feuerwiderstandsdauer, beruht dabei auf der Prüfung nach der nominellen Einheitstemperatur- Zeitkurve, ETK und reflektiert somit das Standard- Sicherheitsniveau auf Basis der Festigkeit im Brandfall in der OIB- Richtlinien 2 „Brandschutz“. Die OIB- Richtlinie 2 „Brandschutz“ führt die Anforderungen an das Brandverhalten, die Feuerwiderstandsdauer von Bauteilen tabellarisch auf. Den Anforderungen vorangestellt ist die generelle Festlegung, das Bauteile mit der Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten -sofern in der Tabelle keine Ausnahmen vorgesehen sind aus Baustoffen der

Euroklasse, des Brandverhaltens nach ÖNORM EN 13501- 1 mindestens A2 bestehen müssen. Diese Bauprodukte liefern unter den Bedingungen eines voll entwickelten Brandes keinen wesentlichen Beitrag zur Brandlast. Durch eine Einteilung der Gebäude nach Risikogruppen als definierte Gebäudeklassen, werden gewisse in der Praxis häufig anzutreffende Gebäudetypen definiert, so dass konkrete Voraussetzungen und Randbedingungen vorliegen und somit eindeutige brandschutztechnische Regelungen festgelegt werden können. Den nunmehr gebäudeklassenabhängigen Anforderungen hinsichtlich des Brandverhaltens von Baustoffen und der Feuerwiderstandsdauer von Bauteilen und liegt die Sicherheitsphilosophie zugrunde, dass mit steigender Geschoßanzahl, größerer Brandabschnittsfläche, höherer Personenbelegung, sowie mit Zunahme der Nutzungsmöglichkeiten auch das Gefährdungspotential generell zunimmt und auch der Löscheinsatz durch die Feuerwehr schwieriger wird.

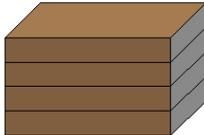
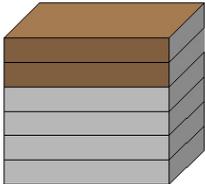
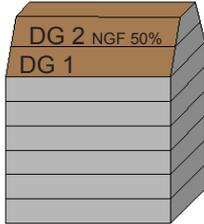
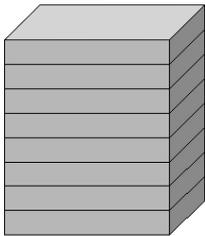
Deshalb werden mit steigender Gebäudeklasse, zunehmende Anforderungen an die brandschutztechnischen Eigenschaften von Baustoffen bzw. Bauteilen gestellt, - die Feuerwiderstandsdauer wird erhöht. vgl. ÖNORM EN 13501- 1 (2010); vgl. OIB RL 2 (2011)

6.2.4 Gebäudeklassen

- GK 1: maximal 3 Geschosse, mit letztem Aufenthaltsniveau von 7 m Höhe über angrenzendes Gelände, insgesamt 1 Wohnung mit maximal 400 m².
 - GK 2: maximal 3 Geschosse, mit letztem Aufenthaltsniveau von 7 m Höhe über angrenzendes Gelände, insgesamt 5 Wohnung mit je 400 m².
 - GK 3: maximal 3 Geschosse, mit letztem Aufenthaltsniveau von 7 m Höhe über angrenzendes Gelände, die nicht unter Gebäudeklassen 1 oder 2 fallen.
 - GK 4: maximal 4 Geschosse, mit letztem Aufenthaltsniveau von 11 m Höhe über angrenzendes Gelände, 400 m² Grundfläche pro Wohnung oder Brandabschnitt.
 - GK 5: mit letztem Aufenthaltsniveau von 22 m Höhe über angrenzendes Gelände, alle Gebäude die nicht in die GK 1, 2, 3 oder 4 fallen, sowie Gebäude mit ausschließlich unterirdischen Geschossen. Die maximale Brandabschnittsgröße beträgt für Wohnen 1.200 m² für Büro 1.600 m².
- Bei Gebäude mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m gelten die für den Brandschutz relevanten bau- und anlagentechnischen Bestimmungen der OIB- Richtlinie 2.3. vgl. OIB RL 2.3 (2011)

Zusammenfassung: Die Tabelle 6.3 zeigt die Risikoeinteilung der Gebäude nach OIB RL 2 und die Risikoklassen nach Kapitel 4.2.3.4.2. Die Umsetzung der in der Bauordnung für Wien im 10. Teil geregelten Qualitäten der Überwachung von Planung und Ausführung spiegelt sich nach Anhang 1 wieder. vgl. Bauordnung für Wien - BO Wien LGBL vom 05.11.2012; vgl. OIB RL 1 (2011); vgl. OIB RL 2 (2011)

(1) Risikoeinteilung der Gebäude nach ÖNORM EN 1990 und nach OIB RL 2:

CC 2 / RC 1 IL 1 + DSL 3				
OIB RL 2	GK 4 BA: max. 400 m²	GK 5/ max. 6 Etagen BA: 1200 m² Wohnungen, 1600 m² Büro	GK 5/ max. 8 Etagen BA: 1200 m² Wohnungen, 1600 m² Büro	GK 5/ max. 8 Etagen BA: 1200 m² Wohnungen, 1600 m² Büro
Flächenwidmung	Stadtrand Bauklasse BK II 	Urban Bauklasse BK III 	> BK III 	
 tragende und raumabschließende Bauteile in Holzbauweise, REI 60, D tragende und raumabschließende Bauteile in mineralsicher Bauweise, REI(M) 90, A2				

Tab.6.3: Bauordnungsrechtlich geregelte Bauweisen lt. OIB RL 2, siehe Anhang A, Tab. A1.

(2) Allgemeine tabellarische Anforderungen an das Brandverhalten und die Dauer des Feuerwiderstandes von Bauteilen in der OIB RL 2:

Gebäudeklassen (GK)		GK 1	GK 2	GK 3	GK 4	GK 5
1 tragende Bauteile (ausgenommen Decken und brandabschnittsbildende Wände)						
1.1	im obersten Geschoß	-	R 30	R 30	R 30	R 60 ⁽¹⁾
1.2	in sonstigen oberirdischen Geschoßen	R 30 ⁽²⁾	R 30	R 60	R 60	R 90 und A2
1.3	in unterirdischen Geschoßen	R 60	R 60	R 90 und A2	R 90 und A2	R 90 und A2
2 Trennwände (ausgenommen Wände von Treppenhäusern)						
2.1	im obersten Geschoß	nicht zutreffend	REI 30 EI 30	REI 30 EI 30	REI 60 EI 60	REI 60 ⁽¹⁾ EI 60 ⁽¹⁾
2.2	in oberirdischen Geschoßen	nicht zutreffend	REI 30 EI 30	REI 60 EI 60	REI 60 EI 60	REI 90 und A2 EI 90 und A2
2.3	in unterirdischen Geschoßen	nicht zutreffend	REI 60 EI 60	REI 90 und A2 EI 90 und A2	REI 90 und A2 EI 90 und A2	REI 90 und A2 EI 90 und A2
2.4	zwischen Wohnungen bzw. Betriebseinheiten in Reihenhäusern	nicht zutreffend	REI 60 EI 60	nicht zutreffend	REI 60 EI 60	nicht zutreffend
3 brandabschnittsbildende Wände und Decken						
3.1	brandabschnittsbildende Wände an der Grundstücks- bzw. Bauplatzgrenze	REI 60 EI 60	REI 90 ⁽³⁾ EI 90 ⁽³⁾	REI 90 und A2 EI 90 und A2	REI 90 und A2 EI 90 und A2	REI 90 und A2 EI 90 und A2
3.2	sonstige brandabschnittsbildende Wände oder Decken	nicht zutreffend	REI 90 EI 90	REI 90 EI 90	REI 90 EI 90	REI 90 und A2 EI 90 und A2
4 Decken und Dachschrägen mit einer Neigung ≤ 60°						
4.1	Decken über dem obersten Geschoß	-	R 30	R 30	R 30	R 60 ⁽¹⁾
4.2	Trenndecken über dem obersten Geschoß	-	REI 30	REI 30	REI 60	REI 60 ⁽¹⁾
4.3	Trenndecken über sonstigen oberirdischen Geschoßen	-	REI 30	REI 60	REI 60	REI 90 und A2
4.4	Decken innerhalb von Wohnungen bzw. Betriebseinheiten in oberirdischen Geschoßen	R 30 ⁽²⁾	R 30	R 30	R 30	R 90 ⁽¹⁾ und A2
4.5	Decken über unterirdischen Geschoßen	R 60	REI 60 ⁽⁴⁾	REI 90 und A2	REI 90 und A2	REI 90 und A2
5 Balkonplatten						
		-	-	-	R 30 oder A2	R 30 und A2
(1) Bei Gebäuden mit nicht mehr als sechs oberirdischen Geschoßen genügt für die beiden obersten Geschoße die Feuerwiderstandsdauer von 60 Minuten ohne A2;						
(2) Nicht erforderlich bei Gebäuden, die nur Wohnzwecken oder der Büronutzung bzw. büroähnlichen Nutzung dienen;						
(3) Bei Reihenhäusern genügt für die Wände zwischen den Wohnungen bzw. Betriebseinheiten auch an der Grundstücks- bzw. Bauplatzgrenze eine Ausführung in REI 60 bzw. EI 60;						
(4) Für Reihenhäuser sowie Gebäude mit nicht mehr als zwei Wohnungen oder zwei Betriebseinheiten mit Büronutzung bzw. büroähnlicher Nutzung genügt die Anforderung R 60.						

Tab.6.4: Feuerwiderstandsdauer, Bauteilverhalten je Gebäudeklasse lt. OIB RL 2 „Brandschutz“.

(3) Allgemeine tabellarische Anforderungen an das Brandverhalten in der OIB RL 2:

Gebäudeklassen (GK)		GK 1	GK 2	GK 3	GK 4	GK 5
1 Fassaden						
1.1	Außenwand-Wärmedämmverbundsysteme	E	D	D	C-d1	C-d1
1.2	Fassadensysteme, vorgehängte hinterlüftete, belüftete oder nicht hinterlüftete					
1.2.1	Klassifiziertes Gesamtsystem <i>oder</i>	E	D-d1	D-d1	B-d1 ⁽¹⁾	B-d1 ⁽²⁾
1.2.2	Klassifizierte Einzelkomponenten					
	- Außenschicht	E	D	D	A2-d1 ⁽³⁾	A2-d1 ⁽⁴⁾
	- Unterkonstruktion stabförmig / punktförmig	E / E	D / D	D / A2	D / A2	C / A2
	- Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	E	D	D	B ⁽³⁾	B ⁽⁴⁾
1.3	Sonstige Außenwandbekleidungen oder -beläge	E	D-d1	D-d1	B-d1 ⁽⁵⁾	B-d1 ⁽⁶⁾
1.4	Geländerfüllungen bei Balkonen, Loggien u. dgl.	-	-	-	B ⁽⁵⁾	B ⁽⁶⁾
2 Gänge und Treppen jeweils außerhalb von Wohnungen: Bekleidungen und Beläge sowie abgehängte Decken						
2.1	Wandbekleidungen ⁽⁷⁾					
2.1.1	Klassifiziertes Gesamtsystem <i>oder</i>	-	D	D	C	B
2.1.2	Klassifizierte Einzelkomponenten					
	- Außenschicht	-	D	D	C ⁽⁵⁾	B
	- Unterkonstruktion	-	D	D	A2 ⁽⁵⁾	A2 ⁽⁵⁾
	- Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	-	C	C	C	A2
2.2	abgehängte Decken	-	D-d0	D-d0	C-s1, d0	B-s1, d0
2.3	Wand- und Deckenbeläge	-	D-d0	D-d0	C-s1, d0	B-s1, d0
2.4	Bodenbeläge	-	D _n	D _n	C _n -s1 ⁽⁸⁾	C _n -s1
3 Treppenhäuser: Bekleidungen und Beläge sowie abgehängte Decken						

3 Treppenhäuser: Bekleidungen und Beläge sowie abgehängte Decken						
3.1 Wandbekleidungen ⁽⁷⁾						
3.1.1	Klassifiziertes Gesamtsystem <i>oder</i>	-	D	C	B	A2
3.1.2 Klassifizierte Einzelkomponenten						
	- Außenschicht	-	D	C ⁽⁵⁾	B	A2
	- Unterkonstruktion	-	D	A2 ⁽⁵⁾	A2 ⁽⁵⁾	A2 ⁽⁵⁾
	- Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	-	C	C	A2	A2
3.2	abgehängte Decken	-	D-s1, d0	C-s1, d0	B-s1, d0	A2-s1, d0
3.3	Wand- und Deckenbeläge	-	D-s1, d0	C-s1, d0	B-s1, d0	A2-s1, d0
3.4 Bodenbeläge						
3.4.1	in Treppenhäusern gemäß Tabelle 2a, 2b	-	D _F -s1	C _F -s1	B _F -s1	A2 _F -s1
3.4.2	in Treppenhäusern gemäß Tabelle 3	-	D _F -s1	C _F -s1 ⁽⁸⁾	C _F -s1	A2 _F -s1 ⁽⁹⁾
4 Dächer mit einer Neigung ≤ 60°						
4.1	Bedachung (Gesamtsystem) ⁽¹⁰⁾	B _{ROOF} (t1)	B _{ROOF} (t1)	B _{ROOF} (t1)	B _{ROOF} (t1)	B _{ROOF} (t1) ⁽¹¹⁾
4.2	Dämmschicht bzw. Wärmedämmung in der Dachkonstruktion	E	E	E	B ⁽¹²⁾	B ⁽¹³⁾
5 nicht ausgebaute Dachräume: Fußbodenkonstruktionen und Beläge						
5.1 Fußbodenkonstruktionen (Bekleidungen)						
5.1.1	Klassifiziertes Gesamtsystem <i>oder</i>	-	E	D	D	B
5.1.2 Klassifizierte Einzelkomponenten						
	- Außenschicht	-	C	C	B	B
	- Dämmschicht bzw. Wärmedämmung	-	E	E	B ⁽¹²⁾	B ⁽¹³⁾
5.2	Bodenbeläge	-	E _F	D _F	C _F -s1	B _F -s1
(1) Es sind auch Holz und Holzwerkstoffe in D zulässig, wenn das klassifizierte Gesamtsystem die Klasse D-d0 erfüllt;						
(2) Bei Gebäuden mit nicht mehr als fünf oberirdischen Geschossen und einem Fluchtniveau von nicht mehr als 13 m sind auch Holz und Holzwerkstoffe in D zulässig, wenn das klassifizierte Gesamtsystem die Klasse D-d0 erfüllt;						
(3) Bei einer Dämmschicht/Wärmedämmung in A2 ist eine Außenschicht in B-d1 oder aus Holz und Holzwerkstoffen in D zulässig;						
(4) Bei einer Dämmschicht/Wärmedämmung in A2 ist eine Außenschicht in B-d1 zulässig; bei Gebäuden mit nicht mehr als fünf oberirdischen Geschossen und einem Fluchtniveau von nicht mehr als 13 m sind bei einer Dämmschicht/Wärmedämmung in A2 auch Holz und Holzwerkstoffe in D zulässig;						
(5) Es sind auch Holz und Holzwerkstoffe in D zulässig;						
(6) Bei Gebäuden mit nicht mehr als fünf oberirdischen Geschossen und einem Fluchtniveau von nicht mehr als 13 m sind auch Holz und Holzwerkstoffe in D zulässig;						
(7) Fehlen in Gängen und Treppenhäusern Wand- bzw. Deckenbeläge, gelten für die Bekleidung (als Gesamtsystem) bzw. die Außenschicht der Bekleidung die Anforderungen für Wand- bzw. Deckenbeläge gemäß Zeile 2.3 bzw. 3.3;						
(8) Laubhölzer (z.B. Eiche, Rotbuche, Esche) mit einer Mindestdicke von 15 mm sind zulässig;						
(9) Bei Gebäuden mit nicht mehr als fünf oberirdischen Geschossen genügt B _F -s1;						
(10) Sofern bei Dächern mit einer Neigung < 20° eine oberste Schicht mit 5 cm Kies oder Gleichwertigem vorhanden ist, ist Eindeckung in E ausreichend;						
(11) Bei Dächern mit einer Neigung ≥ 20° müssen Eindeckung, Lattung, Konterlattung und Schalung der Klasse A2 entsprechen; abweichend davon sind für Lattung, Konterlattung und Schalung auch Holz und Holzwerkstoffe in D zulässig;						
(12) In folgenden Fällen sind auch EPS, XPS und PUR der Klasse E zulässig: - auf Dächern mit einer Neigung < 20° bzw. auf der obersten Geschosdecke oder - auf Dächern mit einer Neigung ≥ 20°, die in A2 hergestellt sind und die gemäß Tabelle 1b erforderliche Feuerwiderstandsdauer auch hinsichtlich der Leistungseigenschaften E und I erfüllen;						
(13) Es sind auch EPS, XPS und PUR der Klasse E bei Dächern mit einer Neigung < 20° bzw. auf der obersten Geschosdecke zulässig, sofern diese in A2 hergestellt sind und die gemäß Tabelle 1b erforderliche Feuerwiderstandsdauer auch hinsichtlich der Leistungseigenschaften E und I erfüllt wird.						

Tab.6.5: Anforderungen an das Brandverhalten im Bezug auf die Gebäudeklasse lt. OIB RL 2.

Anmerkung zur Gebäudeklasse 4: In der Gebäudeklasse 4 sind sichtbare brennbare tragende und raumabschließende Bauteile mit einer maximalen Brandabschnittsbildung von 400 m² zugelassen. Wie in den vorigen Kapiteln 3.2.3.1.10 „Löschdauer“ und 4.1.2 „Ausbreitung der Brandleistung“ festgestellt, würde bei einem Brandgeschehen somit eine schnelle Brandausbreitung über die brennbaren Bauteile stattfinden und aufgrund der großen Brandabschnittsbildung eine Brandleistung erreicht werden, die von der Feuerwehr nurmehr in der Abklingphase des Brandgeschehens abgelöscht werden kann. -d.h. dass ein Abbrand der gesamten Brandlast (inkl. tragende und raumabschließende Bauteile) erfolgen wird und die tragenden und raumabschließenden Bauteile somit nach 60 Minuten versagen. Die Brandeinwirkungsdauer wäre somit höchstwahrscheinlich größer als die Feuerwiderstandsdauer, was in der Gebäudeklasse 4 ein akzeptiertes Risiko, aufgrund der Seltenheit des Lastfalls Brand darstellt.

Anmerkung zur Gebäudeklasse 5: Es wird allgemein in der Gebäudeklasse 5 ein Brandverhalten, Feuerwiderstandsdauer der tragenden und raumabschließenden Bauteile in der Euroklasse A2 mit REI(M) 90 Minuten verlangt, -d.h. dass für Nutzungen Wohnen und Büro ein „Ausbrennen des Brandabschnittes“ (Brandlast aus Nutzung) als Brandszenario ermöglicht werden soll und grundsätzlich ein Löscherfolg der Feuerwehr im späteren Brandverlauf, Brandabschnittsgrößen unabhängig, erfolgt. Das Gebäude soll somit ein Brandgeschehen überstehen können. Die Brandeinwirkungsdauer wäre somit kleiner als die Feuerwiderstandsdauer. **Fazit Schutzniveau:** Ein Brandschutzkonzept für ein Gebäude in der Gebäudeklasse 5 muss somit als Schutzniveau nachweisen, dass ein Versagen der tragenden und raumabschließenden Bauteile, innerhalb eines Brandgeschehens, bei einem Brand nicht erfolgt -d.h. die Feuerwiderstandsdauer tragender und raumabschließender Bauteile, muss größer als die Branddauer sein.

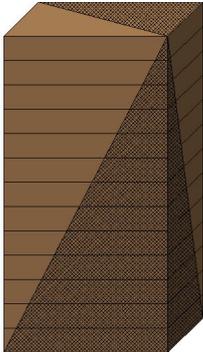
6.2.5 Abweichungen 1

Durch die Möglichkeit nach § 2 der WBTv im Zusammenhang mit dem Leitfaden „Abweichungen im Brandschutz und Brandschutzkonzepte“, von den bautechnischen Anforderungen abzuweichen, wenn die Schutzziele auf gleichem Niveau wie bei Anwendung der OIB- Richtlinie erreicht werden kann mit einem **deskriptiven Brandschutzkonzept** die Verwendung einer sichtbaren Holzbauweise erfolgen, wenn eine Sprinkleranlage im Vollschutz nach TRVB S 127 nachgewiesen wird, um das geforderte Brandverhalten A2 zu kompensieren oder, das tragende und raumabschließende Bauteile aus Holz für wenigstens 90 Minuten keinen Beitrag zum brandgeschehen leisten, somit zu Kapseln sind, K₂90. Aufgrund der großen Brandabschnittsbildung in der GK 5 also ein logischer Schluss. vgl. TRVB S 127 (2001); vgl. ÖNORM EN 13501- 2 (2010); vgl. OIB- Leitfaden (2011)

Hierzu gab es Untersuchungen, z.B. vom MA 39- Bauphysiklabor der Stadt Wien, mit brandschutztechnischen Bekleidungen für tragende und raumabschließende Bauteile aus Holz, im Zuge von Bauvorhaben in der GK 5.

Das Ergebnis ist eine Machbarkeitsäußerung, die aber kein K₂ 90 Nachweis nach Aussage des Autors lt. ÖNORM EN 13501- 2 darstellt, sondern eine gutachterliche Stellungnahme im Einzelfall (z.B. Projekt: „Aspanggründe“) für eine brandschutztechnische Bekleidung. vgl. Pöhn (2010); vgl. Zangerl, Kaufmann, Hein et al. (2010)

Beispiele für brandschutztechnische Anforderungen an Gebäude mit Holzbauteilen:

CC 2 IL 2 + DSL 3			
OIB RL 2	GK 5/ max. 8 Etagen BA: 1200 m ² Wohnungen, 1600 m ² Büro	GK 5/ max. 8 Etagen BA: 1200 m ² Wohnungen, 1600 m ² Büro	Hochhaus/ OKFF 32 m BA: 800 m ² Wohnungen, 800 m ² Büro
Flächen- widmung	Bauklasse > BK III	Bauklasse > BK III	

-  tragende und raumabschließende Bauteile in Holzbauweise, REI 90, D + Sprinkleranlage in Vollschutz oder
-  tragende und raumabschließende Bauteile in Holzbauweise, REI 90, D + K, 90
-  tragende und raumabschließende Bauteile in mineralischer Bauweise, REI(M) 90, A2 (Erdgeschoss)

Tab.6.6: Bauordnungsrechtlich nicht geregelte Bauweisen lt. OIB RL 2, 2.3 mit Holzbauteile, aber grundsätzlich in Verbindung mit einem deskriptiven Brandschutzkonzept möglich.

Fazit: Bei der Verwendung von Holz als tragende und raumabschließende Bauteile ist es somit notwendig diese mineralisch zu kapseln und eine Feuerwiderstandsdauer in der Gebäudeklasse 5, von 90 Minuten zu gewährleisten, wenn keine Sprinkleranlage installiert wurde. Hinzu kommen verstärkte Überwachungsmaßnahmen in der Qualität der Planung und Ausführung, die im Brandschutzkonzept beschrieben werden müssen. Als Beispiel kann das Projekt „Wagramer Straße“ herangezogen werden, bei dem diese Maßnahmen beschrieben wurden. vgl. Peter (2011) „Brandschutzkonzept für das Projekt Wohnanlage Wagramer Straße Version 2 vom 27.01.2011“

Anmerkung: Nach Untersuchungen von De Sanctis et al. führen präskriptive Brandschutzmaßnahmen für die Tragsicherheit von z.B. Stahlbauteilen (R- Kriterium) gerade bei kleinen Brandabschnittsgrößen zu teilweise sehr kleinen Versagenswahrscheinlichkeiten der Bauteile, die deutlich über den lt. EURO-CODE geforderten Zuverlässigkeiten liegen. vgl. De Sanctis et al. (2013)

(2.1) Außenwand tragend und raumabschließend mit REI 90 + K₂ 90, A2

Feuerwiderstand REI mit einer Feuerwiderstandsdauer von über 90 Minuten und einem Schutz vor dem Entzünden der brennbaren Konstruktion von 90 Minuten nach gutachterliche Stellungnahme im Einzelfall von Pöhn (2010). Abb.6.1

6.2.6 Abweichungen 2

Durch die Möglichkeit nach § 2 der WBTv im Zusammenhang mit dem Leitfaden „Abweichungen im Brandschutz und Brandschutzkonzepte“ von den bautechnischen Anforderungen abzuweichen, wenn die Schutzziele auf gleichem Niveau wie bei Anwendung der OIB- Richtlinie erreicht werden, kann mit den Methoden des Brandschutzingenieurwesens ein **Holzbau in der GK 5 nach Tab.5.3**, zur Kategorie „geringe Brandleistung“ < 20 MW im Bemessungsbrandszenario, bauordnungskonform hergestellt werden. -d.h. die Brandeinwirkungsdauer ist kleiner als die Feuerwiderstandsdauer. Nach Punkt 4.4.7 des OIB- Leitfadens müssen dabei folgende **Zusatzangaben** erfolgen:

- Angaben für die Festlegung der Brandszenarien (z.B. Verwendung von Ergebnissen aus Brandexperimenten, Verwendung sogenannter „Designfires“, Ableitung von Brandszenarien unmittelbar aus der konkreten Brandbelastung): **ist erfolgt**. [Kapitel 3, 4 und 5]
- Bezeichnung der anerkannten Verfahren bei Verwendung von Rechenmodellen und von physikalischen Modellen: **ist erfolgt**. [Kapitel 4]
- Nennung der herangezogenen Veröffentlichungen (z.B. Normen, Eurocodes, Leitfaden über Ingenieurmethoden im Brandschutz, international gebräuchliche Lehrbücher): **ist erfolgt**. [Kapitel 3 und 4]

Nach Punkt 4.5.2 „Beurteilung von Brandschutzkonzepten mit Methoden des Brandschutzingenieurwesens“ des OIB- Leitfadens geben nachfolgende Fragestellungen Hinweise für die Durchführung der **Prüfung auf Schlüssigkeit im Rahmen des behördlichen Genehmigungsverfahrens**:

- Ist die Aufgabenstellung inklusive des Schutzzieles formuliert?
- Wird die Lösungsstrategie schlüssig und nachvollziehbar beschrieben und erscheint sie danach für die vorliegende Aufgabenstellung als geeignet?
- Liegt ein Beleg für die Verwendbarkeit und Eignung des gewählten Nachweisverfahrens vor?
- Sind die Eingabedaten für das Gebäude, seine Nutzung und die spezielle Aufgabenstellung in sich schlüssig und dokumentiert?
- Liegt eine verständliche und nachvollziehbare Dokumentation darüber vor, dass die Anfangs- und Randbedingungen in das Modell übertragen und bei den Berechnungen berücksichtigt wurden?
- Lässt die Darstellung der Ergebnisse einen klaren Bezug auf die wesentlichen Aufgabenstellungen zu?
- Beinhaltet die vorgelegte Interpretation der Ergebnisse nachvollziehbare Schlussfolgerungen/ Konsequenzen aus den Ergebnissen der Berechnungen in Bezug auf die vorher festgelegten Schutzziele?
- Liegt eine Erklärung des Verfassers des Brandschutzkonzeptes über die Einhaltung der „Grundsätze für die Aufstellung von Nachweisen mit Methoden des Brandschutzingenieurwesens“ vor?

6.3 Vorschlag zur Ergänzung der OIB RL 2 „Brandschutz“

6.3.1 Entwurf Tabelle 1 b' < 20 MW „mehrgeschossiger Holzbau“

Auf Grundlage der Untersuchungen aus den Kapiteln 3 und 4, geschlussfolgert im Kapitel 5, in der Tabelle 5.3, erfolgt nun ein Vorschlag für den Austausch der Bauteilanforderungen für die Gebäudeklasse 5 mit Wohn- und Büronutzungen bei der Anwendung von Holzmassiv- oder Holzskelettbauweisen, mit der Voraussetzung der Erfüllung der Kategorie: **geringe Brandleistung < 20 MW** im Bemessungsbrandszenario, ohne dabei andere Festlegungen der OIB RL 2 zu berühren, das Schutzniveau bleibt somit erhalten, da die Brandeinwirkungsdauer kleiner als die Feuerwiderstandsdauer der Bauteile ist.

6.3.1.1 Qualitäten

Siehe dazu Tab. 6.7 und Anhang A. REI 60 bedeutet generell das Brandverhalten D, brennbar.

6.3.1.2 Bezug zur OIB RL 2 „Brandschutz“

(1) Es werden lediglich Anforderungen an tragende und brandabschnittsbildende Bauteile eingefügt oder der Einsatz anlagentechnischer Brandschutzmaßnahmen vorgeschrieben nach Tabelle 5.3.

(2) Bauteilanforderungen mehrgeschossiger Holzbau für die Nutzungen **Wohnen und Büro** implementiert in die OIB RL 2. Als **Holzmassivbauweise**, kurz **HM** und **Holzskelettbauweise**, kurz **HSK**.

Gebäudeklassen (GK)		HM GK 5	HM GK 5	HSK GK 5
1 tragende Bauteile (ausgenommen Decken und brandabschnittsbildende Wände)				
1.1	im obersten Geschoß	R 60	R 60	R 60
1.2	in sonstigen oberirdischen Geschoßen	R 60 / K ₂ 30, A2	R 60	R 90
1.3	in unterirdischen Geschoßen	R 90 und A2	R 90 und A2	R 90 und A2
2 Trennwände (ausgenommen Wände von Treppenhäusern)				
2.1	im obersten Geschoß	REI 60 EI 60	REI 60 EI 60	REI 60 EI 60
2.2	in oberirdischen Geschoßen	REI 60 / K ₂ 30, A2 EI 60 / K ₂ 30, A2	REI 60 EI 60	REI 60 / K ₂ 30, A2 EI 60 / K ₂ 30, A2
2.3	in unterirdischen Geschoßen	REI 90 und A2 EI 90 und A2	REI 90 und A2 EI 90 und A2	REI 90 und A2 EI 90 und A2
2.4	zwischen Wohnungen bzw. Betriebseinheiten in Reihenhäusern	nicht zutreffend	nicht zutreffend	nicht zutreffend
3 brandabschnittsbildende Wände und Decken				
3.1	brandabschnittsbildende Wände an der Grundstücks- bzw. Bauplatzgrenze	REI 60 / K ₂ 30, A2 EI 60 / K ₂ 30, A2	REI 60 REI 60	REI 60 / K ₂ 30, A2 EI 60 / K ₂ 30, A2
3.2	sonstige brandabschnittsbildende Wände oder Decken	REI 60 / K ₂ 30, A2 EI 60 / K ₂ 30, A2	REI 60 EI 60	REI 60 / K ₂ 30, A2 EI 60 / K ₂ 30, A2
4 Decken und Dachschrägen mit einer Neigung ≤ 60°				
4.1	Decken über dem obersten Geschoß	R 60	R 60	R 60
4.2	Trenndecken über dem obersten Geschoß	REI 60	REI 60	REI 60
4.3	Trenndecken über sonstigen oberirdischen Geschoßen	REI 60 / K ₂ 30, A2	REI 60	REI 60 / K ₂ 30, A2
4.4	Decken innerhalb von Wohnungen bzw. Betriebseinheiten in oberirdischen Geschoßen	REI 60 / K ₂ 30, A2	REI 60	REI 60 / K ₂ 30, A2
4.5	Decken über unterirdischen Geschoßen	REI 90 und A2	REI 90 und A2	REI 90 und A2
5 Balkonplatten				
		R 30 und A2	R 30 und A2	R 30 und A2
Anlagentechnik:				
 Rauchmelder;  Brandmeldeanlage mit Aufschaltung zur Feuerwehr.				
Eine Brandmeldeanlage mit Aufschaltung zur Feuerwehr + Sprinkleranlage im Vollschutz bedeutet generell REI 60 mit Brandabschnittsgrößen von: 1.200 m ² Wohnen, 1600 m ² Büronutzung)				
Qualitäten:				
CC 2 Schadensfolgeklasse für Gebäude der Gebäudeklasse 5 Wohnen und Büro;				
RC 1 Risikoklasse im Brandfall für Gebäude der Gebäudeklasse 5 Wohnen und Büro;				
DSL 2 Verstärkte Eigenüberwachung der Planung lt. OIB RL 1 (z.B. Nachweis der Rauchdichtheit);				
IL 3 Fremdüberwachung der Bauausführung lt. OIB RL 1 und BO- Wien (Statik, Brandschutz).				

Tab.6.7: Entwurf Tabelle 1 b' < 20 MW, Bauteilverhalten und Feuerwiderstandsdauer, in der GK 5.

6.4 Zusammenfassung

Die OIB RL 2 „Brandschutz“ und ihre Teile zitiert als Norm in der Wiener Bautechnikverordnung, sind performance based, so das nach dem Stand der Technik von den Anforderungen abgewichen werden kann, **wenn das Schutzniveau lt. der OIB RL 2 eingehalten wird -somit in der Gebäudeklasse 5 nachgewiesen werden kann, dass die Feuerwiderstandsdauer über der Brandeinwirkungsdauer liegt.**

Das Schutzniveau der OIB RL 2 kann für den mehrgeschossigen Holzbau in der Gebäudeklasse 5 generell mit den in Kapitel 6.2.5 „**Abweichungen 1**“ dargestellten **deskriptiven Brandschutzmaßnahmen** eingehalten werden, oder mit den in Kapitel 6.2.6 „**Abweichungen 2**“ dargestellten Ergebnissen, durch **Methoden des Brandschutzingenieurwesens**, bilanziert nach Tabelle Tab.5.3 bei Bemessungsbränden < 20 MW, mit der Differenzierung in Holzskelett- und Holzmassivbausweise für Wohn- und Büronutzungen.

Es muss nun lediglich die zu erreichende Zuverlässigkeit des Tragwerkes im Brandfall β_n bestimmt werden und somit die Bemessungsenergiefreisetzungsrate mit < 20 MW im Brandabschnitt. Ist dies erfolgt kann ein ablesen der Brandschutzmaßnahmen nach Tab.6.7 erfolgen.

Der Vorschlag zum Einfügen der Tab.6.7 in die OIB RL 2 „Brandschutz“ würde eine generelle bauordnungskonforme Bauweise für den mehrgeschossigen Holzbau in der Gebäudeklasse 5 für die Nutzungen Wohnen und Büro in den vorgeschriebenen Grenzen ermöglichen.

7 Zusammenfassung und Ausblick

7.1 Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit Einflussgrößen zur Regulierung der Brandeinwirkung auf Bauteile in Wohn- und Bürogebäuden und hat zum Ziel festzustellen, ob auch mehrgeschossige Gebäude aus Holz sicher im urbanen Raum eingefügt werden können.

Es wurde im **Kapitel 2** der notwendige Weg über die Jahrhunderte zur nichtbrennbaren Stadt aufgezeigt.

Aufgrund der Steigerung, der Qualität der Überwachung von Planung und Ausführung baulicher und anlagentechnischer Brandschutzmaßnahmen, z.B. Brandabschnittsbildung und Brandfrüherkennung, sowie der Steigerung der Leistungsfähigkeit der Feuerwehr und Sprinkleranlagen ist die Sicherheit für Menschen im Brandfall in Gebäuden, gegenüber vorherigen Jahrhunderten stark gestiegen.

Im Kapitel 3 wurde der Naturbrand im Raum anhand von verschiedenen Forschungsvorhaben nachvollzogen, um Einflussgrößen im Entwurf von Gebäuden zu erkennen, die das Brandgeschehen beeinflussen können. Dabei konnten maßgebende Variablen der Brandeinwirkung identifiziert werden, die am Versagen von Bauteilen beteiligt sind:

- Die Höhe der Brandlastdichte definiert abhängig vom Sauerstoffangebot die Branddauer und ist maßgebend am Versagen der Bauteile beteiligt, wenn keine Brandbekämpfung erfolgt. (oder eine Brandbekämpfung erst in der Abklingphase wirksam wird).

- Die maximale Energiefreisetzungsrate im Brandabschnitt ist bei der Brandeinwirkung auf Bauteile maßgebend, wenn diese innerhalb quantitativer Angaben der Brandbekämpfungsmaßnahmen liegen, dabei werden diese ebenfalls zu maßgebende Variablen.

Untersuchungen der Leistungsfähigkeit von Brandbekämpfungsmaßnahmen der Feuerwehr im **Kapitel 3** führen im **Kapitel 4** zu verschiedenen Lösch- bzw. Brandszenarien für Wohn- und Büronutzungen in der Gebäudeklasse 5:

1. Der Brand übersteigt oder liegt innerhalb die Grenze der Leistungsfähigkeit der Berufsfeuerwehr. Die Höhe der Brandlastmenge hat den maßgebenden Anteil an der Dauer der Brandeinwirkung. Die tragenden und raumabschließenden Bauteile im Brandabschnitt müssen die Vollbranddauer überdauern können, bis eine wirksame Brandbekämpfung durch die Feuerwehr erfolgen kann (wahrscheinlich in der Abklingphase des Brandgeschehens) und zum Löscherfolg führt. Siehe Brandszenario nach Abb.4.3.

2. Die Brandleistung eines Brandgeschehens, aufgrund einer Begrenzung der Brandabschnittsgröße und der Ventilationsflächen, liegt innerhalb einer quantifizierbaren Löschdauer der Feuerwehr. Die Höhe der Brandlastmenge im Brandabschnitt ist nicht mehr maßgebend am Versagen der Bauteile. Siehe Brandszenario nach Abb.4.4. Am Beispiel für Wien wird dabei ein Brandgeschehen mit einer Brandleistung von < 20 MW als Grenze im Bezug zur quantifizierbaren Löschdauer angenommen.

3. Bei Einsatz einer Sprinkleranlage konnte eine sehr frühe Brandbekämpfung und Brandbegrenzung festgestellt werden, die im Zusammenwirken mit der Feuerwehr innerhalb kurzer Zeit zum Löscherfolg führt. Durch die Begrenzung der Brandfläche durch eine automatische Löschanlage sind hier große Brandabschnittsflächen in Holzbauweise möglich.

Die maximale Brandleistung im Brandabschnitt wurde somit in 3 Kategorien eingeteilt, um geeignete Brandschutzmaßnahmen für den mehrgeschossigen Holzbau im urbanen Raum abzuleiten.

Weiterhin konnten geeignete Berechnungsmodelle für den Vollbrand im Raum identifiziert werden, die ein Sicherheitsniveau und ein realitätsnahes Abbild des Brandgeschehens im Raum liefern und somit Ermittlung eines Brandverlaufs ermöglichen ohne auf Naturbrandversuche zurückgreifen zu müssen. Dazu wurden Berechnungsmodelle aus Literaturrecherchen aufgezeigt, angewandt und bewertet.

Dazu zählt vor allem ein probabilistisches Sicherheitskonzept zur Festlegung von Teilsicherheitsbeiwerten für maßgebende Variablen der Brandeinwirkung. Hierbei wird nun die notwendige Zuverlässigkeit des Tragwerkes im Brandfall bestimmt. Anhand der notwendigen Zuverlässigkeit die es zu erreichen gilt, können Bemessungswerte der maßgebenden Variablen aufgrund von Teilsicherheitsbeiwerten angegeben werden. Dies wird normativ in der ÖNORM EN 1990 globale Sensitivitätsfaktoren zur Abschätzung der Teilsicherheitsbeiwerte ermöglicht. Können die Teilsicherheitsbeiwerte aufgrund statistischer Grundlagen auf das Bemessungsbrandszenario hin kalibriert werden (z.B. nach FORM) wird eine optimale Festlegung von Bemessungswerten, ermöglicht.

Im Kapitel 5 wurde ein Berechnungsbeispiel für ein Bemessungsbrandszenario < 20 MW für eine Wohnnutzung dargestellt. Die Teilsicherheitsbeiwerte der maßgebenden charakteristischen Variablen, die am Versagen der Bauteile beteiligt sind, konnten für die Brandentwicklungszeit bis zum Flasshover $t_{\alpha,k}$ [s] und die maximale Energiefreisetzungsrate im Brandraum $\dot{Q}_{\max,k}$ [MW] global abgeschätzt werden.

Die Brandentwicklungszeit bis zum Beginn der Löschmaßnahmen $t_{fs,k}$ [min], sowie die Dauer der Brandbekämpfungsmaßnahmen $t_{fb,k}$ [min] wurden im Sicherheitskonzept als charakteristische Nennwerte aufgrund von Expertenmeinungen angenommen.

Die charakteristische Brandentwicklungszeit $t_{\alpha,k}$ [s] wurde zu dem für sichtbare Holzskelett- und Holzmassivbauweisen differenziert, so dass in zellenartigen Wohn- und Büronutzungen $t_{\alpha,k} = 300$ s bis zum Erreichen von 1 MW angenommen wurde, für Holzskelettbauweisen das 10 % Quantil vorgeschlagen wird auf Grund eines leicht erhöhten brennbaren Anteils, sowie $t_{\alpha,k} = 150$ s bis zum Erreichen von 1 MW für flächige Holzmassivbauteile.

Das Bemessungsbrandkonzept für ein < 20 MW Brandgeschehen konnte an 3 Fallbeispielen, die vom Autor geforderten brandschutztechnische Auslegung der Bauteile in Tab.5.3, differenziert in Holzskelett- und Holzmassivbau, nachvollzogen werden.

Die brandschutztechnischen Maßnahmen könnten somit für Gebäude aus Holz (Massivholz- und Holzskelettbauweise), im urbanen Raum, generell in die Bauordnung implementiert werden, wenn das Kriterium eines Bemessungsbrandszenarios < 20 MW eingehalten wird.

Im **Kapitel 6** wurde dazu die Stellung der OIB RL 2 innerhalb der Bauordnung aufgezeigt, sowie 2 Möglichkeiten zum Nachweis einer bauordnungskonformen Abweichung vom geforderten Brandverhalten und dessen Feuerwiderstandsdauer von Bauteilen in der Gebäudeklasse 5.

Der Vorschlag zur Tabelle 1 b' < 20 MW ist auf der Grundlage der Ergebnisse der geführten Untersuchungen in dieser Arbeit erfolgt.

7.2 Ausblick

Weitere Untersuchungen und statistische Erhebungen zur Leistungsfähigkeit von Berufsfeuerwehren, im Bezug zum Zeitpunkt des Beginns der Löschmaßnahmen nach Brandbeginn, sowie der Dauer der Brandbekämpfung auf Grund einer vorhandenen Brandleistung im Brandabschnitt sind zwingend notwendig, um den vereinfachten Nachweis zu kalibrieren -d.h. das eine genauere Ermittlung der Bemessungswerte erfolgt und so Überdimensionieren vermieden werden.

Untersuchungen der Wirkung von Löschwasser oder anderer Löschmittel bei Einsatz auf mittlere bis große Brandgeschehen in verschiedenen Nutzungen, wären darüber hinaus sinnvoll, um auch hier ingenieurmäßige Bemessungen, für die Dauer des Lastfalls Brand auf das Tragwerk unter Hinzunahme von brandbekämpfenden Maßnahmen, vormehmen zu können.

Der Bau eines Hochhauses mit dem Einsatz von Holz als tragendes oder raumabschließendes Bauteil ist dann in naher Zukunft denkbar, so dass in Verbindung mit unterschiedlichen Baustoffen eine höhere Verdichtung im urbanen Raum, mit nachwachsenden Rohstoffen, unter Einhaltung des gesellschaftlich anerkannten Schutzniveaus erreicht werden kann. vgl. Kist (2012) „Woodstock“

Literaturnachweis

2000- Watt-Gesellschaft Bilanzierungskonzept (2012), Hrsg.: Energie Schweiz für Gemeinden, Stadt Zürich, SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, WWF World Wildlife Fund, Novatlantis, URL: http://www.2000watt.ch/fileadmin/user_upload/2000Watt-Gesellschaft/de/Dateien/2000-Watt-Gesellschaft/Bilanzierungskonzept_2kW_Experten2012_neu.pdf, 28.10.2012, 15:37 Uhr

Abram, Z. (2001), „Episoden der Holzgeschichte“, In: Turrisbabel (52/ 2001) „Holzhäuser, Historische Betrachtung, Episoden der Holzgeschichte“, Mitteilungsblatt der Architektenkammer, Bozen, S.6- 12.

Aspern + Die Seestadt Wiens- Zielgebiet U2 Donaustadt, URL: <http://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/projekte/zielgebiete/donaustadt-aspern/seestadt/index.html>, 28.10.2012, 18:23 Uhr

Austrian Standards Institute (2011), „Sektorbericht Bauphysik- Schwerpunkte und Trends in der Normung 2011“ Hrsg. Austrian Standards Institute, Wien

Archivmeldung der Rathauskorrespondenz vom 14.01.2010, „Wiener Rettung nimmt zu jedem Punkt der Grünen-PK Stellung“, URL: <http://www.wien.gv.at/rk/msg/2010/0114/013.html>, 07.10.2012, 18:36

Baublatt (06.02.2009), „Überbauung Ibisriederplatz, Neuartige Bauweise verhilft Zürich zur 2000-Watt-Gesellschaft“ Docu Media Schweiz GmbH, Rüslikon, S.32

Baublatt (17.07.2009), (S.18) „Die Überbauung Badenerstrasse wurde im Top-Wall-Prinzip erstellt“ Docu Media Schweiz GmbH, Rüslikon

Beard, A. N. (2000), „On a priori, blind and open comparison between theory and experiment“, Fire Safety Journal 35, S. 63- 66

Belvedere Quartier „Wo Wien Welt Wird“, Hrsg.: S IMMO AG, Wien, URL: http://www.simmoag.at/fileadmin/redakteur/downloads/Broschueren/Interaktiv_QB_Magazin.pdf, 28.10.2012, 18:20 Uhr

Benevolo, L. (1982), „Die Geschichte der Stadt“ Campus Verlag GmbH, Frankfurt/ New York

Berger, P. (2004) „Brandschutz- Gestaltungsparameter in der Stadt“, In: „Steeldoc (2004) „Bauen in Stahl“, Baudokumentation des Stahlbauzentrums Schweiz, Hrsg. Stahlbauzentrums Schweiz- SZS, Zürich, S.4-7. URL: http://www.szs.ch/user_content/editor/files/steeldoc%20archipool/steeldoc_04_04_d_x.pdf, 10.05.2013, 13:07 Uhr

Beyler, C. L. (1986), „Fireplumes and Ceiling Jets“, Fire Savety Journal, Vol.11, pp53/57

Blume, G. W. (2003), „Ingenieurmodell zur brandschutztechnischen Bemessung auf der Basis von experimentell ermittelten Verbrennungseffektivitäten“, Dissertation, Fachbereich Bauingenieurwesen TU Braunschweig, Braunschweig

Blumer, H. (2010), „Möglichkeiten und Grenzen von Laubholz als Baumaterial“, Referat, Infoveranstaltung 29. Sept. 2010, Olten

Böhm, G. (2007), „Vertikale Verdichtungsformen im Wohnbau“, Vorlesungsskript 2007/ 2008, Institut für Architektur und Entwerfen, Abteilung Wohnbau und Entwerfen, TU Wien, Wien

Bobacz, D.; Luggin, W. F.; Bergmeister, K.; (2008) „Neue Erkenntnisse zum Brandverhalten von Holz und Holzwerkstoffen“, http://www.luggin.at/files_addon/projekte/Tagungsband_Brand_BO+LU.pdf, 20.07.2012, 22:09 Uhr

Bottke, H.-D. (1999), Dissertation: „Römische Mietshäuser: die Wohnverhältnisse sozialer Unterschichten von der ausgehenden Republik bis zur hohen Kaiserzeit und deren bautechnische sowie ökonomische Ursachen“, Universität Duisburg, Essen

- Bouzek, H. (1990), „Wien und seine Feuerwehren“, Wiener Landesfeuerwehrverband, Wien
- Breckinridge, S. et al. (1936), „The Tenements of Chicago, 1908–1935“, The University of Chicago Press
- Bryl, S. (1975) „Brandbelastung im Hochbau“, Schweizerische Bauzeitung- 93. Jahrgang, Heft 17, 24.04.1975, Winterthur
- Bürgerhäuser (2009), „8.4 Konstruktion und Baumaterialien“, Essay, Garwain Presse & Verlag e.K., Verlag & Kunstprojekte Kallenbach, Inh. Kallenbach, R., Koblenz und Bonn, URL: http://wp.garwain-media.de/?page_id=1440, 12.07.2012, 01:27 Uhr
- CEN/ CENELEC- Geschäftsordnung (2008), Teil 2: Gemeinsame Regeln für die Normungsarbeit, Hrsg: CEN- CENELEC Management Centre, Brüssel, URL: <http://www.cen.eu/boss/Documents/2008InternalRegulationpart2GermanFinal.pdf>, 25.10.2012, 12:47 Uhr
- Charles II, 1666: „An Act for rebuilding the City of London.“, Statutes of the Realm: Volume 5: 1628-80 (1819), pp. 603-612. URL: <http://www.british-history.ac.uk/report.aspx?compid=47390>, Date accessed: 13. July 2012
- Client Report (2004), „Results and observations from full-scale fire test at BRE Cardington, 16 January 2003“, Client report number 215- 741, Prepared for Dowling, J., Building Research Establishment Ltd.
- Dautermann, D.; Merk, M. (2010?), „Ermittlung von Einsatzzeiten der Feuerwehr im Brandfall mit dem Fokus auf die Personenrettung in mehrgeschossigen Gebäuden“ Studienarbeit am Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion der TU München, München
- Dehne, M. (2003), „Probabilistisches Sicherheitskonzept für die brandschutztechnische Bemessung“, Dissertation, Fachbereich Bauingenieurwesen TU Braunschweig, Braunschweig
- De Sanctis, G.; Faber, M. H.; Fontana, M. (2013) „Assessing the Level of Safety for Performance Based and Prescriptive Structural Fire Design of Steel Structures“, Abstract, ETH Zürich, Zürich
- Detail- Zeitschrift für Architektur + Baudetail (06/2012), „Vorgefertigtes Bauen mit Holz“, Hrsg. Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG, München
- Devereux, B. (1978), „The Poorhouse, Subsidized Housing in Chicago 1895-1976“, Southern Illinois University Press, Carbondale, IL
- Die Wohnwirtschaft, Sonderdruck, Jahrgang 63 (07/2010), „Bauen mit Holz an der Hochhausgrenze im Nullenergiequartier“, Hammonia-Verlag GmbH, Hamburg
- Faktor, Architektur Technik Energie (20/2008), (S.38) „Holz statt Beton“, Hrsg.: Conrad U. Brunner, Faktor Verlag AG, Zürich
- Enzyklopädia of Chicago, Building Codes and Standards, URL: <http://www.encyclopedia.chicagohistory.org/pages/179.html>, 16.07.2012, 18:48 Uhr
- Einsatz- Statistik - Berufsfeuerwehr Wien (2011), Hrsg. Stadt Wien, URL: <http://www.wien.gv.at/menschen/sicherheit/feuerwehr/organisation/einsatzstatistik.html>, 12.04.2013, 10:16 Uhr
- Eurogate (2007), Öffentlicher Bauträgerwettbewerb 03. EUROGATE - Aspanggründe, zum Themenschwerpunkt „Passivhaustypologische Weiterentwicklung“, Siegerübersicht, Hrsg. Wohnfonds Wien, URL: http://www.wohnfonds.wien.at/btw_e/Siegeruebersicht_Eurogate.pdf, 31.05.2013, 12:05 Uhr
- Faktor, Architektur Technik Energie (20/ 2008), „Holz statt Beton“, Hrsg.: Conrad U. Brunner, Verlag Faktor Verlag AG, Zürich, S.38
- Fehl, G. (2003), „Stadt im National Grid‘: Zu einigen historischen Grundlagen US- amerikanischer Stadtproduktion“, In: Ursula von Petz (Hg.)(2004): „Going West?“ Stadtplanung in den USA - gestern ->

-> und heute. Dortmunder Beiträge zur Raumplanung, Bd. 116, URL: https://eldorado.tu-dortmund.de/bitstream/2003/27650/14/116_03_going%20west-gerhardfehl.pdf, 15.07.2012, 12:04 Uhr

Feuerwehrsystem - O.R.B.I.T. (1978), „Entwicklung eines Systems zur optimierten Rettung, Brandbekämpfung mit Integrierter Technischer Hilfeleistung“, Forschungsbericht KT 7612 des Bundesministeriums für Forschung und Technologie, Weissach, Düsseldorf

Fischer, K.; Kohler, J; Fontana, M.; Faber, M. H. (2012), „Wirtschaftliche Optimierung im vorbeugenden Brandschutz“, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Zürich

Fischer L. (2001) „Das neue Sicherheitskonzept im Bauwesen. Ein Leitfaden für Bauingenieure, Architekten und Studenten“, in: Bautechnik Spezial 2001, Verlag Ernst und Sohn, Berlin, 184 S.

Frangi, A. (2001) „Brandverhalten von Holz-Beton-Verbunddecken“, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Zürich

Frangi, A.; Bochicchio, G.; Ceccotti, A.; Lauriola, M. P. (2008), „Natural Full-Scale Fire Test on a 3 Storey XLaM Timber Building“, Abstract Project SOFIE, WCTE 2008Geoepoche,

Frangi, A.; Schleifer, V.; Fontana, M.; Hugi, E. (2008), „Fire performance of gypsum plasterboards“, Abstract, Fifth International Conference Structures in Fire SiF'08, Nanyang Technological University, Singapore

Fontana, M. (1996), „Required Fire Resistance of Building Elements“ - Part A: Fire Load in Buildings, Probability Density Function - , NFSC WG 4, Zürich

Fritzen, K.; Dehne, M.; Kruse, D. (2008), „Nahe der Hochhausgrenze“ in: Bauen mit Holz (1/2008), (S. 12-19), Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Köln

Geoepoche (5/ 2001), „Das Römische Imperium“, -Rom – Hauptstadt der Welt, Hrsg.: GEO.de GmbH, Hamburg, S.1- 6.

Giselbrecht, K. (2012), „Gebäudebrände mit Todesfolgen - Versuch einer statistischen Analyse“ in: OIB Aktuell (12/ 2012) Heft 4, Hrsg.: Österreichisches Institut für Bautechnik OIB, Wien

Guttchen, M. (2008), „Personenrettung mit Rettungsmitteln der Feuerwehr aus Nutzungseinheiten in Obergeschossen“, Abschnittsarbeit, Stadt Braunschweig- Fachbereich 37, Braunschweig, URL: http://agbf.feuerwehr-essen.com/agbf/downloads/AK%20Vorbeugender%20Brandschutz/2.Rettungsweg_Personenrettung_mit_Rettungsgeraeten_Feuerwehr.pdf, 20.11.2012, 11:51 Uhr

Gerner, M. (2007), „Fachwerk, Entwicklung Instandsetzung Neubau“, Deutsche Verlags-Anstalt, München

Hadjisophocleous, G. V.; Richardson, J. K. (2005), „Water Flow Demands for Firefighting“, In: Fire Technology 41(3): 173- 191, Springer Science and Businessmedia Inc., Manufactured in The United States

Heath, K.W. (1996), „Balloon Frame, In The Dictionary of Art“, edited by Jane Turner, Vol. 30, Macmillan Publishers Limited, London

Henn, W. (1952), „Holzbalkendecken“, Holzbau- Taschenbuch, R. v. Halasz, Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin

Herden, R. B. (1982), „Roter Hahn und rotes Kreuz Chronik der Geschichte des Feuerlösch- und Rettungswesen“, in: Band 2002; Band 2004 von Diskussionspapiere, Fachhochschule Kehl Diskussionspapiere der Hochschule für öffentliche Verwaltung in Kehl, BoD – Books on Demand, 2005

Höbarth, M. (2006), „Vorrat, Verbreitung und Aufkommen von Baumarten in Österreich“, In: Zuschnitt (23/ 2006) „Holzarten“, Hrsg. proHolz Austria Arbeitsgemeinschaft der Österreichischen Holzwirtschaft, Wien, S.12- 13

Holborn, P. G.; Nolan, P. F.; Golt, J. (2004), „An analysis of fire sizes, fire growth rates and times between events using data from fire investigations“, Fire Safety Journal.

- Holst, J. C. (2002), „Lübisches Baurecht im Mittelalter“, in: Historischer Hausbau zwischen Elbe und Oder (49/ 2002) 115–182, Jonas Verlag, Marburg
- Howard , F. (1979) „Sailing Ships of War 1400-1860“, Conway Maritime Press, London
- Hosser, D. et al. (2009), „Sicherheitskonzept zur Brandschutzbemessung“, Abschlussbericht, , Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz -iBMB TU Braunschweig, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart
- Hosser, D.; Kampmeier, B. (2008), „Brandverhalten massiver flächiger Holzbauteile“, Kurzbericht, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB), TU Braunschweig, Braunschweig
- Hosser, D.; Zehfuß, J. (2002), „Theoretische und experimentelle Untersuchungen zum vorhandenen Brandschutz bei mehrgeschossigen Gebäuden in Stahlbauweise“, Forschungsvorhaben im Auftrag der Industrieforschung Köln, Abschlussbericht, iBMB der TU Braunschweig, Braunschweig
- Hosser, D.; Dobbernack, R.; Siegfried, W. (1997), „Rauchabzug in ausgedehnten Räumen ohne und mit Sprinkleranlage - am Beispiel des Industriebaus“, In: Vfdb- Zeitschrift Forschung, Technik und Management im Brandschutz, Jg.: 46, Nr.4, 1997, Seite 147-152, ISSN: 0042-1804
- Holzhaus Bad Aibling (2011), Hrsg.: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow URL: <http://www.natur-baustoffe.info/fileadmin/bauen/pdf/referenzgebäude/bad-aibling.pdf>, 30.09.2012, 15:52 Uhr
- Humer, F. (2010), „Brandschutzbedarfsplanung“, Master of Science in Fire Safety Management, Zentrum für praxisorientierte Informatik, Donau Universität Krems, Krems
- Hürlimann, K. (2004), „Schlussbericht Projekt Holznot 18./19. Jahrhundert“, Departement Umweltwissenschaften Forsteinrichtung und Waldwachstum, ETH, Zürich
- Innovative Klimastrategien für die österreichische Wirtschaft (2007), „Das Guide Book Leitlinien für Entscheidungen in den Sektoren Mobilität, Gebäude, Industrie & Energie“, Hrsg.: Innovation & Klima, Studie im Auftrag der Wirtschaftskammer Österreich, der Industriellenvereinigung, des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit und des Verbands der Elektrizitätsunternehmen Österreichs, URL: http://www.innovation-klima.at/docs/I%26K_Modul-2.pdf, 28.10.2012, 15:32 Uhr
- Johnson, R. (2007), „American Building Construction History, The Advantages of Balloon Frame“, Essay, URL: <http://rljart.com/blog/wp-content/balloonframing.pdf>, 29.10.2012, 16:38 Uhr
- Kaiser, G. (2010) „O.R.B.I.T. 2010“- Aktuelle Erkenntnisse zu medizinischen und rettungstechnischen Grundlagen der Planung im Feuerwehrewesen, Universitätsmedizin Göttingen, Giftinformationszentrum-Nord der Länder Bremen, Hamburg, Niedersachsen und Schleswig-Holstein (GIZ-Nord), URL: http://www.giz-nord.de/cms/images/stories/Science/PCYAN/kaiser_vfdb2012.pdf, 12.04.2013, 11:10 Uhr
- Kampmeier, B. (2008), „Risikogerechte Brandschutzlösungen für den mehrgeschossigen Holzbau“, Dissertation, TU Braunschweig, Braunschweig, URL: http://rzbl04.biblio.etc.tu-bs.de:8080/docportal/servlets/MCRFileNodeServlet/DocPortal_derivate_00005632/iBMB_Heft-206_Kampmeier.pdf, 26.09.2012, 18:24 Uhr
- Karlsson, B.; Quintiere, J. G. (2000), „Enclosure Fire Dynamics“, Hrsg.: CRC Press, New York
- Kist, M. (2012), „176 m made from Wood and Concrete“, In: EUSAS Journal No.8 June 2012, EUSAS e.V., Universität Duisburg- Essen, S. 25- 30.
- Klein, J. (2009), „Zum Verhalten von Tragwerken bei natürlicher Brandeinwirkung unter Berücksichtigung technischer Massnahmen“, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Zürich
- Klima aktiv Bauen und Sanieren (2012), „Kriterienkatalog Wohngebäude Neubau“, Version 5.0, Hrsg.: Energieinstitut Vorarlberg Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, Dornbirn, URL: <http://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=%E2%80%9Ekriterienkatalog%20wohngeb%C3%A4ude%20> ->

-> neubau%E2%80%9C%2C%20version%205.0%2C&source=web&cd=1&ved=0CCMQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.klimaaktiv.at%2Ffilemanager%2Fdownload%2F82576&ei=AUCNUKXcGtDJsgbd1YCgDg&usq=AFQjCNHsGccS1BKK00KpygNZYr1gE_v7JQ, 28.10.2012, 15:24 Uhr

Knaust, C. (2010), „Modellierung von Brandszenarien in Gebäuden“, Dissertation, Fakultät für Bauingenieurwesen TU Wien, Wien

Koch, W. (2006), „Baustilkunde“, Wissen Media Verlag GmbH, Gütersloh/ München

Kohl, Pleß (2007), „Entwicklung von Grundlagen für ingenieurtechnische Methoden zur Berechnung der erforderlichen Löschintensitäten für das Löschen von Bränden mit Wasser“, IMK-Bericht Nr. 147, Institut der Feuerwehr Sachsen-Anhalt, Heyrothsberge

Kolb, F. (2002), „Rom, Die Geschichte der Stadt in der Antike“, Verlag C.H. Beck, München

Kolb, J. (2007), „Holzbau mit System“, Lignum, Holzwirtschaft Schweiz, Birkhäuser Verlag AG, Basel

Kotthoff (2012), „Mechanismen der Brandausbreitung an der Gebäudeaußenwand Brandverhalten von WDVS unter besonderer Berücksichtigung von Polystyrol-Hartschaum“, 9. Hessischer Energieberaterntag am 22. November 2012 in Frankfurt, URL: http://www.energiesparaktion.de/downloads/Kacheln/Brande/Mechanismen_der_Brandausbreitung_an_der_Gebaeudeaussenwand.pdf, 12.04.2013, 11:28 Uhr

Kruse, D.; Dehne, M.; Kaden, T.; Klingbeil, T. (2008), „7-geschossiges Stadthaus in Berlin“ in: Feuertrutz Magazin (2/2008), (S.10- 15), Feuertrutz GmbH Verlag für Brandschutzpublikationen, Köln

Kyoto Protokoll to the United Nations framework convention on climate change (1998), United Nations, New York, URL: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>, 28.10.2012, 13:50 Uhr

Lampugnani, V. M. (1997), „Von der Antike zum Barock, die alte Stadt“ Band I aus „Texte zur Geschichte des Städtebaus“, Hrsg.: Lampugnani, V. M., Abteilung für Architektur ETH Zürich, Zürich

Legant-Karau, G. (1998), „Zur Siedlungsgeschichte des ehemaligen Lübecker Kaufleuterviertels im 12. und frühen 13. Jahrhundert“ Dissertation, Universität Hamburg

Lichtenberg, G. C. (1793–1796), „Sudelbuch J“, (J183), Hrsg.Promies, W. (1968) „Schriften und Briefe, Bd.1 Sudelbüche“, München: Hanser Bd.1 1968

Lindemann, T. (2011), „Rettungszeiten der Feuerwehr beim kritischen Wohnungsbrand“, in: Brandschutz 65 (12), S. 946-952, W. Kohlhammer GmbH Buchverlag, Stuttgart

Maag, T.; Fontana, M. (2000), „Brandversuche an Modulhotels in Holzbauweise“, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Zürich, URL: <http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:23648/eth-23648-01.pdf>, 13.09.2012, 15:30 Uhr

McGrattan, K.; Hostikka, S.; Floyd, J. (2007), “Fire dynamics simulator (Version 5) User guide”, NIST Special Publication 1019-5, URL: <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire07/PDF/f07053.pdf>, 07.11.2012, 18:24 Uhr

Mikado, Unternehmermagazin für Holzbau und Ausbau (03/ 2011), „Massivholz statt Backstein“ (S.22-24), Weka Media GmbH & Co. KG, Kissing

Mikado, Unternehmermagazin für Holzbau und Ausbau (03/ 2011), „Massivholz statt Backstein“ (S.22-24), Weka Media GmbH & Co. KG, Kissing

Mikado, Unternehmermagazin für Holzbau und Ausbau (07/ 2012), „Mehrgeschossiger Holzbau: Schneller nach oben“ (S.20-29), Weka Media GmbH & Co. KG, Kissing

- Nadjai, A.; Goodfellow, N. ; Fah Tee, K. ; Ali, F. ; Choi, S. (2010), „Analysis of Composite Floor Cellular Steel Beams in Fire“, Journal of Structural Fire Engineering, 1 (3). pp. 161- 175.
- Offb 20, 9, URL: <http://www.combib.de/bibel/lb/offe20.html>, 10.05.2013, 11:46 Uhr
- Oltendorf, F. (1908), „Die Geschichte des Dachwerks“, Th. Schäfer, Druckerei GmbH, Hannover
- Peter (2011) „Brandschutzkonzept für das Projekt Wohnanlage Wagramer Straße -Version 2 vom 27.01.2011“, Brandrat Ziviltechniker GmbH, Strobachgasse 4/8, 1050 Wien
- Peter, F. (2011) „Holzbau und Brandschutz ein Widerspruch, Lösungsmöglichkeiten für die Gebäudeklasse 5“, Aufsatz, Brandrat Ziviltechniker GmbH, Strobachgasse 4/8, 1050 Wien
- Peter, M.; Winter, S. (2012), „Holz 8- Brandschutz im höchsten Holzbau Deutschlands“ in: Feuertrutz Magazin (3/2012), (S.26- 31), Feuertrutz GmbH Verlag für Brandschutzpublikationen, Köln
- Peters, N. (2006) „Technische Verbrennung“, Institut für technische Verbrennung- ITV- RWTH Aachen, Skript, URL: http://www.itv.rwth-aachen.de/fileadmin/LehreSeminar/TechnischeVerbrennung/VL_Technische_Verbrennung/Technische_Verbrennung_1-7.pdf, 10.07.2013, 23:29 Uhr
- Phleps, H.(1942), „Holzbaukunst, Der Blockbau“, Bruderverlag, Karlsruhe
- Pleß, G.; Sehliger, U. (2007), „Entwicklung von Kohlenmonoxyd bei Bränden in Räumen Teil 1“, Konferenz, Verf. Dr. rer. nat. Pleß Georg und Dipl.-Chem. Seliger Ursula, Forschungsbericht Nr. 145. - Heyrothsberge: [s.n.]
- Pleß, G.; Sehliger, U. (2008), „Entwicklung von Kohlenmonoxyd bei Bränden in Räumen Teil 2“, Konferenz, Verf. Dr. rer. nat. Pleß, (Projektleiter) Georg und Dipl.-Chem. Seliger Ursula, Forschungsbericht 152. - Heyrothsberge: [s.n.]
- Pro Holz Austria (2012), „Pressegespräch und Besichtigung 23. März 2012“, Hrsg. Pro Holz Austria Arbeitsgemeinschaft der österreichischen Holzwirtschaft, Wien, URL: http://www.proholz.at/fileadmin/proholz/media/PI_Hoehster_Wohnbau_OEsterreichs_in_Holzbauweise_Wagramer_Strasse_120323.pdf, 30.09.2012, 16:24 uhr
- Pothharts R. (1977), „Zur Wahl eines einheitlichen Sicherheitskonzeptes für den Konstruktiven Ingenieurbau“, Mitteilung aus dem Institut aus dem Institut Massivbau der TH Darmstadt, Heft 22. Ernst & Sohn, Berlin
- Pöhn, C. (2010), „Studie Holz 5 plus“, Hrsg.: Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle der Stadt Wien Magistratsabteilung 39 VFA – Labors für Bautechnik, Wien, URL: http://www.wohnbauforschung.at/Downloads/Holz_5_plus_LF.pdf, 04.09.2012, 11:16 Uhr
- Rackwitz, R. (2006), „Zuverlässigkeit und Lasten im konstruktiven Ingenieurbau“ -Teil I: Zuverlässigkeitstheoretische Grundlagen, Technische Universität München, 1993- 2006, URL: <http://www.mb.bv.tum.de/index-d/lehre/vertiefung/vorlws06.pdf>, 12.04.2013, 11:37 Uhr
- Radkau, J. (1986), „Zur angeblichen Energiekrise des 18. Jahrhunderts. Revisionistische Betrachtungen zur Holznot“. In: Vierteljahrschrift für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte. (73/1986), S. 1–37. Franz Steiner Verlag, Stuttgart
- Reddaway, T. F. (1940), „The rebuilding of London after the great fire“, J. Cape, London
- Russel, H. (1998), „Feuer- Die größten Katastrophen“, Gondrom Verlag GmbH, Bindlach
- Rashbash, D. J. (1986), „The Extinction of Fire with Plain Water, Proceedings of the First International Symposium Fire safety science“, pp. 1145-1163, Hemisphere Pub. Corp., Washington

- Schatz, H. (1987), „Löscheinsatz bei gelagerten Stoffen“- Löschversuche mit Sprinklern, Forschungsstelle für Brandschutztechnik, Universität Karlsruhe (TH)
- Scheer, M.; Peter, M. et al. (2009), „Holz Brandschutz Handbuch“, Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Holzforschung, DGfH, Verlag Ernst & Sohn, München
- Schleich, J. B. (2000), „Das globale Brandsicherheitskonzept“, In: Bauen mit Stahl- „Neues aus Forschung, Entwicklung und Normung“ - Dokumentation 654 - Vortragsreihe I - Deutscher Stahlbautag 2000, Bauen mit Stahl e.V., Düsseldorf, S.15- 31
- Schleich, J. B. (2001), „Valorisation Projekt- Natural Fire Safety Concept“, Product-Structural Dept. (PRF), ARBED-Research Centre, Esch, Alzette, URL: http://www.arcelormittal.com/sections/fileadmin/redaction/pdf/36_NFSC_Valorisation.pdf, 12.04.2013, 11:47 Uhr
- Schleich, J. B. et al. (2002), „technical steel research- Steel structures- Competitive steel buildings through natural fire safety concepts“, Final report, European Commission, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2002, ISBN 92-894-3830-4
- Schluder Architektur ZT GmbH in: Berichte aus Energie- und Umweltforschung (70/ 2009), „Möglichkeiten eines vielgeschossigen Holzbaus im urbanen Raum mit Zielrichtung auf acht oder mehr Geschosse“, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, URL: http://download.nachhaltigwirtschaften.at/hdz_pdf/endbericht_0970_achtplus.pdf, 03.09.2012, 20:48Uhr
- Schneider, U.; Lebeda, C. (2000), „Baulicher Brandschutz“, 1. Auflage, Schriftenreihe „Brand- und Explosionsschutz“, Band 4, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart
- Schneider, U. (2004), „Grundlagen der Ingenieurmethoden im Baulichen Brandschutz“, 3. Auflage, Werner Verlag, Düsseldorf, 2004. ISBN 3-8041-4189-7
- Schneider, U. et al. (2008), „Baulicher Brandschutz“, 2. Auflage, Bauwerk Verlag GmbH, Berlin
- Schramm, H. (2008), „Low Rise- High Density- Horizontale Verdichtungsformen im Wohnbau“, 2. Auflage, Springer- Verlag, Wien, New York
- Schweizer Holzzeitung (09/2012), „Jeder neunte Neubau ist aus Holz“, Verlag Holzmann Medien Schweiz GmbH, Baden-Dättwil
- Schweizer Holzbau Fachzeitschrift (9/2006), „Ein Sechsgeschosser markiert eine neue Aera im Holzhausbau“, Verband Schweizer Holzbau-Unternehmungen, Hrsg. AG Verlag Hoch- und Tiefbau, Zürich
- Sherwood, G.; Moody, R. C. (1989), „Light-Frame Wall and Floor Systems Analysis and Performance“ Gen, Tech. Rep. FPL- GTR-59. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, S.12f.
- Sherwood, G.; Moody, R. C. (1989), „Light-Frame Wall and Floor Systems Analysis and Performance“ Gen, Tech. Rep. FPL -GTR-59. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory
- SJB.Kempton und Fitze AG, Ingenieure + Planer SIA USIC (2011), „Brandschutzkonzept für Sihlbogen Areal B, 8047 Zürich“, Bericht Nr. 810.048- 010 - BSK, Frauenfeld, 28. März 2011, Rev. 13.April 2011, 15.April 2011, Zürcherstrasse 239, 8501 Frauenfeld
- Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M. et al. (2007), „Climate Change 2007, The Physical Science Basis“, Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, New York, IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. ->

-> Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp. URL: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm, 28.10.2012, 15:23 Uhr

Sprague, P. E. (1983), "Chicago Balloon Frame: The Evolution during the 19th Century of George W. Snow's System for Erecting Light Frame Buildings from Dimension Lumber and Machine-made Nails" -> In: The Technology of Historic American Buildings: Studies of the Materials, Craft Processes, and the Mechanization of Building Construction, edited by H. Ward Jandl. Washington, D.C.: Foundation for Preservation Technology for the Association for Preservation Technology

SP INFO (68/2010), „Fire safety in timber buildings- Technical guideline for Europe“ - „Die allererste europaweite Richtlinie zur brandsicheren Verwendung von Holz in Gebäuden“ - „Die wichtigsten Ergebnisse des WoodWisdom-Net Forschungsprojekts FireInTimber“ - „Feuerfestigkeit innovativer Holzbauten“, Hrsg.: SP Trätekt / Wood Technology. Trätekt – Swedish Institute for Wood Technology, URL: <http://www.holzindustrie.at/Publikationen/Technical%20Guideline%20in%20German-final%20draft.pdf>, 15.11.2012, 15:04 Uhr

Sprague, Paul E. (1981), "The Origin of Balloon Framing", Journal of the Society of Architectural Historians, 40 no. 4

State of the World's Cities 2010/2011, Bridging The Urban Divide (2008), First published by Earthscan 2008 in the UK and USA in 2008 for and on behalf of the United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT). Copyright © United Nations Human Settlements Programme, 2008, URL: <http://www.unhabitat.org/pmss/listItemDetails.aspx?publicationID=2917>, 28.10.2012, 15:57 Uhr

Stade, F. (1904) „Die Holzkonstruktionen“, Verlag von Moritz Schäfer, Reprint- Verlag- Leipzig, Leipzig

Studhalter, J. (2012), „Probabilistic comparison of times to flashover in a compartment with wooden and non- combustible linings considering variable fuel loads“, Research Projekt Report, University of Canterbury, Christchurch, Neuseeland

Sundström, B. (2002), „A methodology to create a design fire“, NIST Workshop Gaithersburg, SP-Fire Technology, Sweden, URL: <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire03/PDF/f03148.pdf>, 12.04.2012, 12:11 Uhr

Swiss Engineering, Bau und Architektur, Schweizerische technische Zeitschrift (April/ 2012), "X-Floor: schneller, präziser, trockener", STV- Verlags AG der Ingenieure und Architekten, Verlag Kömedia AG, St. Gallen

Teibinger, M. (?), „Brandverhalten von Holz- und Holzwerkstoffen“, Anforderungen – Entwicklungen, Hrsg.: Holzforschung Austria, Wien, URL: <http://www.holzforschung.at/fileadmin/Content-Pool/PDFs/Brandverhalten.pdf>

Teibinger M.; Busch, T. (2007), „Machbarkeitsstudie eines Holzbaus in der Gebäudeklasse 5“, Endbericht, Holzforschung Austria, gefördert durch die MA 50 Wien, Wien

Teibinger, M. (2004), „Zum Einsatz von Holzkonstruktionen bei Gebäudehüllen im mineralischen Geschossbau unter besonderer Berücksichtigung der bauphysikalischen und konstruktiven Probleme der Anschlüsse sowie der Auswirkungen der Feuchtebelastung“, Dissertation, TU Wien, Wien

Teibinger, M.; Kocher, M. (2005), „Wissenschaftliche Begleitung der Planungsphase der Holzbauprojekte Mühlweg“ Kurzbericht, Holzforschung Austria, Wien, URL: http://www.wohnbauforschung.at/Downloads/Abstract_Planungsphase_Muehlweg_DE.pdf, 30.09.2012, 16:17 Uhr

Tomasson, B; Bengston, J.; Thorsteinsson, D.; Karlsson, B. (2008), „ A Probabilistic Risk Analysis Methodology for High- rise Buildings talking into Account Fire Department Intervention Time, Proceedings of the 9 th International Symposium on Fire Safety Science, Karlsruhe, Gemany

Uhde, C. (1903), „Der Holzbau“, Reprint- Verlag- Leipzig, Holzminden

Vassart, O. (2012), „Basic design methods Worked examples“- Basic design methods of EN1991-1-2 Fire part of Eurocode 1, Chairman of the CEN/TC250 EC1/ Fire E.G. ArcelorMittal R&D, URL: http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/2012_11_WS_fire/presentations/03a-VASSART-EC-FireDesign-WS.pdf, 12.04.2013, 12:17 Uhr

Vfdb (2009), TB 04- 01 „Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes“, Hrsg. Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb), Technisch- Wissenschaftlicher Beirat (TWB), Referat 4, Dietmar Hosser, Braunschweig

Wald, F.; Burgess, I.; Horová, K.; Kallerová, P.; Jirks, J. (2013) „COST TU 0904 - Integrated Fire Engineering and Response Fire Brigade Reports and Investigations“, CTU Publishing House, Czech Technical University in Prague, ISBN-978-80-01-05200-6, (S.23 - 27), URL: http://people.fsv.cvut.cz/~wald/fire/ifer/WP3/Fire%20brigade%20reports_sm.pdf, 06.10.2013, 19:41 Uhr

Warth, O. (1900), „Die Konstruktionen in Holz“, Verlag Th. Schäfer, Hannover

WBTV (2012), 73. Verordnung der Wiener Bautechnikverordnung, CELEX-Nr.: 32010L0031, Druck: MA 53 – Presse- und Informationsdienst der Stadt Wien (PID), URL: <http://www.wien.gv.at/recht/landesrecht-wien/landesgesetzblatt/jahrgang/2012/pdf/lg2012073.pdf>, 18.04.2013, 14:35 Uhr

Weidner, M. (2008), „15. April 1768 - Feuer! Die Einrichtung einer Brandversicherung im Fürstbistum Münster“, URL: <http://www.westfaelische-geschichte.de/web603>, 28.06.2012, 22:52 Uhr

Wickström U. (1985), „Application of the standard fire curve for expressing natural fires for design purposes“. ASTM STP 882, pp. 145-159.

Wiederkehr, R. (2013), „Die Entwicklung von Brandschutzvorschriften auf Grund des technischen Fortschritts“, Vortrag, Forum- Holz- Bau- Spezial, Akustik und Brand 13.03.2013, Bad Wörishofen

Wilk, Lessig, Walther (2011), „Zum Nutzen häuslicher Rauchwarnmelder“, In: Vfdb 4/ 2011, Hrsg. Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb), Mülheim an der Ruhr, S.190- 196

Winter, S.; Merk, M. (2008), „TP 02 Brandsicherheit mehrgeschossiger Holzbau“, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion TU München, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart

Winter, W. et al. (2010), „Steel reinforced timber structures for multi storey buildings“, Abstract, World Conference of Timber Engineering 2010, WCTE 2010, Institute of Architectural Sciences, Structural Design and Timber Engineering, Vienna University of Technology, Wien

Wohnen im Sonnwendviertel, Hrsg.: Helmut Redl, Michaela Mischek Bauträger GmbH, Wien, URL: <http://www.sonnwendviertel.at/Default.aspx>, 28.10.2012, 18:16 Uhr

Wohnfonds Wien (2007), „Bauträgerwettbewerb Eurogate- Ein neues Wohngebiet im 3. Wiener Gemeindebezirk“, Hrsg. Wohnfonds Wien, Wien, URL: http://www.langconsulting.at/files/Networking/Leuchtt%C3%BCrme/Eurogate_1710.pdf, 05.09.2012, 11:21 Uhr

Zangerl, M.; Kaufmann, H.; Hein, C. et al. (2010), in: Berichte aus Energie- und Umweltforschung (86/ 2010) „LifeCycle Tower Energieeffizientes Holzhochhaus mit bis zu 20 Geschossen in Systembauweise“, Hrsg. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, URL: http://download.nachhaltigwirtschaften.at/hdz_pdf/endbericht_1186_lifecycle_tower.pdf, 05.09.2012, 11:53 Uhr

Zehfuß, J. (2004), „Bemessung von Tragsystemen mehrgeschossiger Gebäude in Stahlbauweise für realistische Brandbeanspruchung“, Dissertation, TU Braunschweig, Braunschweig

Zehfuß, J.; Hosser, D.; Haß, S. (2002), „Versuchsbericht, Validierungsversuch mit Mobiliarbrandlasten im Rahmen des Forschungsvorhabens: Theoretische und experimentelle Untersuchungen zum erforderlichen Brandschutz bei mehrgeschossigen Gebäuden in Stahlbauweise, Braunschweig: Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, Braunschweig

Zuschnitt (43/ 2011), „Die Außenwand Holzrahmenwand, tragend I“, Hrsg. proHolz Austria, S.6f

Zuschnitt (45/2012), „Holz Beton Verbund“, Hrsg. proHolz Austria Arbeitsgemeinschaft der Österreichischen Holzwirtschaft, Wien, S.22 f.

Normenverzeichnis

AGBF (1998), „Qualitätskriterien für die Bedarfsplanung von Feuerwehren in Städten“, Arbeitsgemeinschaft der Leiter der Berufsfeuerwehren in der Bundesrepublik Deutschland, Hrsg: AGBF BUND, Bonn

Bauproduktenverordnung Nr. 305/ 2011 der EU (2011), „Verordnung (EU) Nr. 305/2011 Des europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/ 106/ EWG des Rates“, Amtsblatt der Europäischen Union, L 88/5

BO- Wien LGBL vom 05.11.2011, Wiener Stadtentwicklungs-, Stadtplanungs- und Baugesetzbuch (Bauordnung für Wien - BO für Wien), Hrsg. Stadt Wien, Wien

DIN 18230- 1 (2010), „Baulicher Brandschutz im Industriebau“ - Teil 1: Rechnerisch erforderliche Feuerwiderstandsdauer, Hrsg: Beuth Verlag GmbH, Berlin

DIN EN 1991- 1- 2/NA (2010), Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: „Einwirkungen auf Tragwerke“ - Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke, Hrsg: Beuth Verlag GmbH, Berlin

Fire Engineering Guidelines, ABCB (1996), Australian Building Codes Board (ABCB), Australian Fire Authorities Council (AFAC), The Institution of Engineers, Australia (IEAust)

FwDV 3 (2008) - Feuerwehr Dienstvorschrift 3 -, „Einheiten im Lösch- und Hilfeleistungseinsatz“, ausschuss für Feuerwehrangelegenheiten Katastrophenschutz und zivile Verteidigung -AFKzV, Kassel

ISO 2394 (1998), „Allgemeine Grundlagen der Zuverlässigkeit von Tragwerken“, Beuth Verlag, Berlin

ISO 9705 (1993), „Brandprüfungen; Prüfungen für Oberflächenprodukte im Originalmaßstab“, Beuth Verlag GmbH, Berlin

ISO 13943 (2008), „Fire safety“ - Vocabulary, TC/SC: TC 92, Hrsg.: International Organization for Standardization ISO, Genf

ISO CD 13388 (1997), „Fire safety engineering“ - Design fire scenarios and design fires, Hrsg.: International Organization for Standardization ISO, Genf

MBO 2002 zuletzt geändert durch den Beschluss der Baumisnisterkonferenz vom Oktober 2008 (2008) Hrsg.: Fachkommission Bauaufsicht ARGEBAU, Deutsches Institut für Bautechnik DIBt, Berlin

M-HFH HolzR (2004), „Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise“, Hrsg: Fachkommission Bauaufsicht ARGEBAU, Deutsches Institut für Bautechnik DIBt, Berlin

M- IndBauRL (2000), „Muster-Richtlinie über den baulichen Brandschutz im Industriebau (Muster-Industriebaurichtlinie“ - M IndBauRL

ÖBFV- RL VB- 01 (1999), „Die Löschwasserversorgung“, FAFT- Sachgebiet 3.6- Bauliche Angelegenheiten, Österreichischer Berufsfeuerwehrverband, Wien

OIB RL 1 (2011), „Mechanische Festigkeit und Standsicherheit“, Hrsg.: Österreichisches Institut für Bautechnik, Austrian Standards Institute, Wien

OIB RL 2 (2011), „Brandschutz“, Hrsg.: Österreichisches Institut für Bautechnik, Austrian Standards Institute, Wien

OIB RL 2.3 (2011), „Brandschutz bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m“, Hrsg.: Österreichisches Institut für Bautechnik, Austrian Standards Institute, Wien

ÖNORM B 1991- 1- 2 (2003), Eurocode 1 - „Einwirkungen auf Tragwerke“ - Teil 1- 2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke - Nationale Festlegungen zu ÖNORM EN 1991- 1- 2, Hrsg.: Austrian Standards plus GmbH, Wien

ÖNORM B 1995- 1- 2 (2008), „Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauten“ - Teil 1-2: „Allgemeine Regeln“ - „Bemessung für den Brandfall“ - Nationale Festlegungen, nationale Erläuterungen und nationale Ergänzungen zur ÖNORM EN 1995- 1- 2, Hrsg.: Austrian Standards plus GmbH, Wien

ÖNORM EN 1363- 1 (2012), „Feuerwiderstandsprüfungen“ - Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Hrsg.: Austrian Standards plus GmbH, Wien

ÖNORM EN 1364 - Teile 1- 5 (2012), „Feuerwiderstandsprüfungen für nichttragende Bauteile“ - Teil 1: Wände; Teil 2: Unterdecken; Teil 3: Vorhangfassaden - Gesamtausführung; Teil 4: Vorhangfassaden - Teilausführung, Hrsg.: Austrian Standards plus GmbH, Wien

ÖNORM EN 1365- 1 (1994), „Prüfung der Feuerwiderstandsdauer von tragenden Gebäudeteilen“ - Teil 1: Innenwände; Teil 2: Außenwände; Teil 3: Balken; Teil 4: Stützen; Teil 5: Balkone und Laubengänge; Teil 6: Treppen, Hrsg.: Austrian Standards plus GmbH, Wien

ÖNORM EN 1990 (2013), Eurocode - „Grundlagen der Tragwerksplanung“, Hrsg.: Austrian Standards plus GmbH, Wien

ÖNORM EN 1991- 1- 2 (2013), Eurocode 1 - „Einwirkungen auf Tragwerke“ - Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke, Hrsg.: Austrian Standards plus GmbH, Wien

ÖNORM EN 1992- 1- 2 (2010), EUROCODE 2 - „Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton“- und Spannbetontragwerken - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall, Hrsg.: Austrian Standards plus GmbH, Wien

ÖNORM EN 1993- 1- 2 (2012), EUROCODE 3: „Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten“ - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall, Hrsg.: Austrian Standards plus GmbH, Wien

ÖNORM EN 1994- 1- 2 (2009), EUROCODE 4: „Bemessung und Konstruktion von Verbundtragwerken aus Stahl und Beton“ - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung im Brandfall, Hrsg.: Austrian Standards plus GmbH, Wien

ÖNORM EN 1995- 1- 2 (2011), Eurocode 5: „Bemessung und Konstruktion von Holzbauten“ - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Bemessung für den Brandfall, Hrsg.: Austrian Standards plus GmbH, Wien

ÖNORM EN 1996 (2006), EUROCODE 6: „Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten“ - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall, Hrsg.: Austrian Standards plus GmbH, Wien

- ÖNORM EN 1999 (2010), Eurocode 9 - „Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken“ - Teil 1-2: Tragwerksbemessung für den Brandfall, Hrsg.: Austrian Standards plus GmbH, Wien
- ÖNORM EN 12101- 2 (2003), „Rauch- und Wärmefreihaltung“ - Teil 2: Festlegungen für natürliche Rauch- und Wärmeabzugsgeräte, Hrsg: Austrian Standards plus GmbH, Wien
- ÖNORM EN 12845 (2009), „Ortsfeste Brandbekämpfungsanlagen“ - Automatische Sprinkleranlagen - Planung, Installation und Instandhaltung, Hrsg: Austrian Standards plus GmbH, Wien
- ÖNORM EN 13501- 1 (2009), „Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten“ - Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten, Hrsg: Austrian Standards plus GmbH, Wien
- ÖNORM EN 13501- 2 (2010), „Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten“ - Teil 2: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Feuerwiderstandsprüfungen, mit Ausnahme von Lüftungsanlagen, Hrsg: Austrian Standards plus GmbH, Wien
- ÖNORM EN 13823 (2010), „Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten“ - Thermische Beanspruchung durch einen einzelnen brennenden Gegenstand für Bauprodukte mit Ausnahme von Bodenbeläge, Hrsg.: Austrian Standards plus GmbH, Wien
- ÖNORM EN 14135 (2004), „Brandschutzbekleidungen“ - Bestimmung der Brandschutzwirkung, Hrsg.: Austrian Standards plus GmbH, Wien
- ÖNORM EN 14604 (2009), „Rauchwarnmelder“, Hrsg: Austrian Standards plus GmbH, Wien
- ÖNORM ISO 834- 1 (1993), „Brandprüfungen der Feuerwiderstandsdauer“ - Bauteile - Teil 1: Allgemeine Anforderungen für Brandprüfungen zur Feuerwiderstandsdauer, Hrsg: Austrian Standards plus GmbH, Wien
- Richtlinie E 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, EUR- Lex, Luxemburg, URL: http://eur-lex.europa.eu/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexplus!prod!CELEXnumdoc&numdoc=302L0091&lg=de, 24.04.2013, 08:59 Uhr
- Richtlinie 2010/ 31/ EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung), EUR- Lex, Luxemburg, URL: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:DE:PDF>, 24.04.2013, 08:59 Uhr
- TRVB A 100 (2010), „Brandschutzeinrichtungen, Rechnerischer Nachweis“, Hrsg. Österreichischer Bundesfeuerwehrverband, Die österreichischen Brandverhütungsstellen, Wien
- TRVB N 115 (2000), „Brandschutz in Büro- und Wohngebäuden“, Hrsg. Österreichischer Bundesfeuerwehrverband, Die österreichischen Brandverhütungsstellen, Wien
- TRVB F 124 (1997), „Erste und Erweiterte Löschhilfe“, Hrsg. Österreichischer Bundesfeuerwehrverband, Die österreichischen Brandverhütungsstellen, Wien
- TRVBA 126(1987), „Brandschutztechnische Kennzahlen verschiedener Nutzungen, Lagerungen, Lagergüter“, Hrsg. Österreichischer Bundesfeuerwehrverband, Die österreichischen Brandverhütungsstellen, Wien
- TRVB S 127 (2001), „Sprinkleranlagen“, Hrsg. Österreichischer Bundesfeuerwehrverband, Die österreichischen Brandverhütungsstellen, Wien
- TRVB F 128 (2000), „Steigleitungen und Wandhydranten“, Hrsg. Österreichischer Bundesfeuerwehrverband, Die österreichischen Brandverhütungsstellen, Wien

TRVB F 134 (1987), „Flächen für die Feuerwehr auf Grundstücken“, Hrsg. Österreichischer Bundesfeuerwehrverband, Die österreichischen Brandverhütungsstellen, Wien

TRVB F 137 (2003), „Löschwasserbedarf“, Hrsg. Österreichischer Bundesfeuerwehrverband, Die österreichischen Brandverhütungsstellen, Wien

VKF (2003), „Brandschutznorm“, Hrsg.: VKF-Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen, Bern

VKF (2003), „Brandschutzarbeitshilfe Wohnbauten“, Hrsg.: VKF-Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen, Bern

VKF (2003), -Brandschutzrichtlinie - „Tragwerke“, Hrsg.: VKF-Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen, Bern

Abbildungsverzeichnis Kapitel 1

Abb.1.1: a) DAB online, Deutsches Architektenblatt (01. 08.2012), „Holzbau- Premiere“, Hrsg: corps. Corporate Publishing Services GmbH, Düsseldorf, URL: <http://dabonline.de/2012/08/01/holzbau-premiere/>, 29.10.2012, 15:26 Uhr; Bauwelt (21/2012), (S.40) „Holzbau für die Stadt“, Hrsg.: Bauwelt Bauverlag BV GmbH, Berlin;

b) Mit freundlicher Genehmigung von Dachtler und Partner AG, Zürich

c) Mit freundlicher Genehmigung von Herrn Architekt Schankula, Bad Aibling;

d) Rolf Mühlenthaler Architekt BSA, SIA, Altenbergstrasse 42 a, 3013 Bern

Abb.1.2, 1.3: Zeichnung: DI Michael Kist, Wien

Abb.1.4: Belvedere Quartier „Wo Wien Welt Wird“, Hrsg.: SIMMOAG, Wien, URL: http://www.simmoag.at/fileadmin/redakteur/downloads/Broschueren/Interaktiv_QB_Magazin.pdf, 28.10.2012, 18:20 Uhr;

Abb.1.5: Flächenwidmungs- und Bebauungsplan Wien, URL: <http://www.wien.gv.at/flaechenwidmung/public/>, 31.05.2013, 12:13 Uhr;

Abbildungsverzeichnis Kapitel 2

Abb.2.1, Gerner, M (2007) „Fachwerk, Entwicklung Instandsetzung Neubau“, Deutsche Verlags-Anstalt, München;

Abb.2.2, Abb.2.6, Abb.2.7, Abb.2.9, Abb.2.10 : Uhde, C. (1903) „Der Holzbau“, Reprint- Verlag- Leipzig, Holzminden;

Abb.2.3: eigene Zeichnung nach Aussagen von vgl. Bottke (1999);

Abb.2.4: Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Archäologie des Mittelalters und der Neuzeit e. V. (24/2012) „Holzbau in Mittelalter und Neuzeit“, Paderborn, Neumann Druck, Heidelberg;

Abb.2.11: Abb.2.13; Abb.2.15: pd- Art;

Abb.2.12: eigene Zeichnung auf Grundlage Bild von Abb. 2.8;

Abb.2.13: Abb.2.24: Russel, H. (1998) „Feuer- Die größten Katastrophen, Gondrom Verlag GmbH, Bindlach;

Abb.2.16: URL: http://rma2k2.servepex.com/uxdAFhqq9ps/Frankfurt_Am_Main-Roemer-Schnitt-A-1900.jpg, 11.05.2013, 12:38 Uhr;

Abb.2.17: American Journal of Public Health (9/2003) „Public Health Then and Now“ American Public Health Association;

Abb.2.18: Wiss, Janney, Elstner Associates, Inc. (2009) „Rural Historic Structural Survey of Channahon Township, Will County, Illinois“ Wiss, Janney, Elstner Associates, Inc., Illinois

Abb.2.19: Fehl, G. (2003) „Stadt im ‚National Grid‘: Zu einigen historischen Grundlagen US-amerikanischer Stadtproduktion“, In: Ursula von Petz (Hg.)(2004): „Going West?“ Stadtplanung in den USA - gestern und heute. Dortmunder Beiträge zur Raumplanung, Bd. 116, URL: https://eldorado.tu-dortmund.de/bitstream/2003/27650/14/116_03_going%20west-gerhardfehl.pdf, 15.07.2012, 12:04 Uhr;

Abb.2.20: Van Ness Avenue Houses, built in the 1880s, shown in San Francisco in 1940. A.J. Whittlock / Library of Congress, Historic American Buildings Survey, In: „House & Home“ at the National Building Museum, In: The Washington Post, URL: http://www.washingtonpost.com/lifestyle/style/house-and-home-at-the-national-building-museum/2012/04/30/gIQAsJsDsT_gallery.html#photo=2, 16.07.2012, 21:58 Uhr;

Abb.2.21, Abb.2.22: Johnson, R. (2007) „American Building Construction History, The Advantages of Balloon Frame“ Essay;

Abb.2.24: William Le Baron Jenney, the Home Insurance Building, Chicago, 1884-85, detail of the metal columns wrapped in terracotta, URL: <http://www.bu.edu/av/ah/fall2008/ah382/lecture19/Picture24.jpg>, 11.05.2013, 12:41 Uhr;

Abb.2.25: Columbia University, Structures I Lecture Materials, URL: http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/STRUCTI/WEEK1/st1.19_a.jpg, 11.05.2013, 12:42 Uhr.

Abbildungsverzeichnis Kapitel 3

Abb.3.1: Zeichnung DI Michael Kist, Wien, in Anlehnung an Schneider, U.; Lebeda, C.; Franssen, M. (2008) „Baulicher Brandschutz“, 2. Auflage, Bauwerk Verlag GmbH, Berlin;

Abb.3.2: Schneider, U.; Lebeda, C.; Franssen, M. (2008) „Baulicher Brandschutz“, 2. Auflage, Bauwerk Verlag GmbH, Berlin;

Abb.3.3: Klein, J. (2009), „Zum Verhalten von Tragwerken bei natürlicher Brandeinwirkung unter Berücksichtigung technischer Massnahmen“, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Zürich;

Abb.3.4, Abb.3.5, Abb.3.6: Zeichnung DI Michael Kist, Wien;

Abb.3.7: Hosser et al. (2009), „Sicherheitskonzept zur Brandschutzbemessung“, Abschlussbericht, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz -iBMB TU Braunschweig, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart;

Abb.3.8, Abb.3.9, Abb.3.10, Abb.3.11: Maag, T.; Fontana, M. (2000), „Brandversuche an Modulhotels in Holzbauweise“, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Zürich, URL: <http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:23648/eth-23648-01.pdf>, 13.09.2012, 15:30 Uhr;

Abb.3.12, Abb.3.13: Zehfuß, J. (2004), „Bemessung von Tragsystemen mehrgeschossiger Gebäude in Stahlbauweise für realistische Brandbeanspruchung“, Dissertation, TU Braunschweig, Braunschweig;

Abb.3.14, Abb.3.15: Frangi, A.; Bochicchio, G.; Ceccotti, A.; Lauriola, M. P. (2008) „Natural Full-Scale Fire Test on a 3 Storey XLam Timber Building“, Institute of Structural Engineering, ETH Zurich, Switzerland, Timber Engineering, Florence, Italy, CNR-IVALSA, San Michele all’Adige, Italy;

Abb.3.16, Abb.3.17: Client Report (2004) „Results and observations from full-scale fire test at BRE Cardington“, 16 January 2003, Client report number 215-741, Prepared for Dowling, J., Building Research Establishment Ltd 2004;

Abb.3.18, Abb.3.19: Vassart, O. (2012), „Basic design methods Worked examples“- Basic design methods of EN1991-1-2 Fire part of Eurocode 1, Chairman of the CEN/TC250 EC1/ Fire E.G. ArcelorMittal R&D, URL: http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/2012_11_WS_fire/presentations/03a-VASSART-EC-FireDesign-WS.pdf, 12.04.2013, 12:17 Uhr;

Abb.3.20: Zeichnung DI Michael Kist, Wien;

Abb.3.21, Abb.3.22, Abb.3.23: Kotthoff (2012), „Mechanismen der Brandausbreitung an der Gebäudeaußenwand Brandverhalten von WDVS unter besonderer Berücksichtigung von Polystyrol-Hartschaum“, 9. Hessischer Energieberaterntag am 22. November 2012 in Frankfurt, URL: http://www.energiesparaktion.de/downloads/Kacheln/Braende/Mechanismen_der_Brandausbreitung_an_der_Gebaeudeaussenwand.pdf, 12.04.2013, 11:28 Uhr;

Abb.3.24: Dehne, M. (2003), „Probabilistisches Sicherheitskonzept für die brandschutztechnische Bemessung“, Dissertation, Fachbereich Bauingenieurwesen TU Braunschweig, Braunschweig; Zusammenstellung der Bilder nach DI Michael Kist, Wien;

Abb.3.25, Abb.3.26: Wilk, Lessig, Walther (2011) „Zum Nutzen häuslicher Rauchwarnmelder“, In: Vfdb 4/ 2011, Hrsg. Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb), Mülheim an der Ruhr, S.190- 196;

Abb.3.27: Zeichnung DI Michael Kist, Wien, nach Humer (2010);

- Abb.3.28:** Dehne, M. (2003), „Probabilistisches Sicherheitskonzept für die brandschutztechnische Bemessung“, Dissertation, Fachbereich Bauingenieurwesen TU Braunschweig, Braunschweig;
- Abb.3.29:** Hosser et al. (2009), „Sicherheitskonzept zur Brandschutzbemessung“, Abschlussbericht, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz -iBMB TU Braunschweig, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart;
- Abb.3.30:** Maag, T.; Fontana, M. (2000), „Brandversuche an Modulhotels in Holzbauweise“, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Zürich, URL: <http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:23648/eth-23648-01.pdf>, 13.09.2012, 15:30 Uhr;
- Abb.3.31:** Dehne, M. (2003), „Probabilistisches Sicherheitskonzept für die brandschutztechnische Bemessung“, Dissertation, Fachbereich Bauingenieurwesen TU Braunschweig, Braunschweig;

Abbildungsverzeichnis Kapitel 4

- Abb.4.1:** Vfdb (2009), TB 04-01 „Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes“, Hrsg. Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb), Technisch- Wissenschaftlicher Beirat (TWB), Referat 4, Dietmar Hosser, Braunschweig;
- Abb.4.2, Abb.4.3, Abb.4.4, Abb.4.5:** Zeichnung DI Michael Kist, Wien;
- Abb.4.6:** <http://www.oib.or.at/CE.jpg>; 16.06.2013, 17:25 Uhr;
- Abb.4.7:** Vfdb (2009), TB 04-01 „Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes“, Hrsg. Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb), Technisch- Wissenschaftlicher Beirat (TWB), Referat 4, Dietmar Hosser, Braunschweig;
- Abb.4.8:** Knaust, C. (2010), „Modellierung von Brandszenarien in Gebäuden“, Dissertation, Fakultät für Bauingenieurwesen TU Wien, Wien;
- Abb.4.9:** Workshop „Structural Fire Design of Buildings according to the Eurocodes“- Brussels, 27-28 November 2012;
- Abb.4.10, Abb.4.11:** WP1: Thermische & mechanische Einwirkungen, L.G. Cajot, M. Haller & M. Pierre, Profilabred, S.A, Esch/Alzette, Grand- Duchy of Luxembourg
- Abb.4.12:** Maag, T.; Fontana, M. (2000), „Brandversuche an Modulhotels in Holzbauweise“, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Zürich, URL: <http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:23648/eth-23648-01.pdf>, 13.09.2012, 15:30 Uhr;
- Abb.4.13:** Vfdb (2009), TB 04-01 „Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes“, Hrsg. Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb), Technisch- Wissenschaftlicher Beirat (TWB), Referat 4, Dietmar Hosser, Braunschweig;
- Abb.4.14, Abb.4.15:** Zeichnung DI Michael Kist, Wien;
- Abb.4.16, Abb.4.17, Abb.4.18, Abb.4.19:** Teibinger M.; Busch, T. (2007) „Machbarkeitsstudie eines Holzbaus in der Gebäudeklasse 5“, Endbericht, Holzforschung Austria, gefördert durch die MA 50 Wien, Wien;
- Abb.4.20:** Vassart, O. (2012), „Basic design methods Worked examples“- Basic design methods of EN1991-1-2 Fire part of Eurocode 1, Chairman of the CEN/TC250 EC1/ Fire E.G. ArcelorMittal R&D, URL: http://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/2012_11_WS_fire/presentations/03a-VASSART-EC-Fire-Design-WS.pdf, 12.04.2013, 12:17 Uhr;
- Abb.4.21:** Zeichnung DI Michael Kist, Wien, in Anlehnung an Abb.4.22 nach Zehfuß (2004);
- Abb.4.22:** Zehfuß, J. (2004), „Bemessung von Tragsystemen mehrgeschossiger Gebäude in Stahlbauweise für realistische Brandbeanspruchung“, Dissertation, TU Braunschweig, Braunschweig;
- Abb.4.23:** Zeichnung DI Michael Kist, Wien
- Abb.4.24, Abb.4.25:** ÖNORM EN 1990 (2013), Eurocode - „Grundlagen der Tragwerksplanung“, Hrsg.: Austrian Standards plus GmbH, Wien;
- Abb.4.26, Abb.4.27:** Zeichnung DI Michael Kist, Wien;
- Abb.4.28:** Hosser et al. (2009), „Sicherheitskonzept zur Brandschutzbemessung“, Abschlussbericht, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz -iBMB TU Braunschweig, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart;
- Abb.4.29, Abb.4.30, Abb.4.31:** Zehfuß, J. (2004), „Bemessung von Tragsystemen mehrgeschossiger Gebäude in Stahlbauweise für realistische Brandbeanspruchung“, Dissertation, TU Braunschweig, Braunschweig;
- Abb.4.32, Abb.4.33, Abb.4.34:** Dehne, M. (2003), „Probabilistisches Sicherheitskonzept für die brandschutztechnische Bemessung“, Dissertation, Fachbereich Bauingenieurwesen TU Braunschweig, Braunschweig;

Abbildungsverzeichnis Kapitel 5

Abb.5.1: Scheer, M.; Peter, M. et al. (2009), „Holz Brandschutz Handbuch“, Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Holzforschung, DGfH, Verlag Ernst & Sohn, München;

Abb.5.1: Schneider, U.; Lebeda, C.; Franssen, M. (2008) „Baulicher Brandschutz“, 2. Auflage, Bauwerk Verlag GmbH, Berlin;

Abb.5.3: Winter, S.; Merk, M. (2008), „TP 02 Brandsicherheit mehrgeschossiger Holzbau“, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion TU München, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart;

Abb.5.4, Abb.5.5, Abb.5.6, Abb.5.7, Abb.5.8: Zeichnung DI Michael Kist, Wien

Abb.5.9, Abb.5.10: Die Wohnwirtschaft, Sonderdruck, Jahrgang 63 (07/2010) „Bauen mit Holz an der Hochhausgrenze im Nullenergiequartier“, Hammonia-Verlag GmbH, Hamburg;

Abb.5.11: Abb.5.12, Abb.5.13, Abb.5.14: Abb.5.15, Abb.5.16, Abb.5.17, Abb.5.18: Mit freundlicher Genehmigung von Schankula Architekten, Bad Aibling;

Abb.5.19, Abb.5.20: Peter, M.; Winter, S. (2012), „Holz 8- Brandschutz im höchsten Holzbau Deutschlands“ in: Feuertrutz Magazin (3/2012), (S.26- 31), Feuertrutz GmbH Verlag für Brandschutzpublikationen, Köln;

Abb.5.21, Abb.5.22, Abb.5.23: Zeichnung DI Michael Kist, Wien;

Abb.5.24, Abb.5.25, Abb.5.26: Cree GmbH (2012) „LCT One“, URL: <http://www.cree.at/>, 04.09.2012, 11:14 Uhr;

Abb.5.27, Abb.5.28: Zuschnitt (45/2012) (S.22 f.) „Holz Beton Verbund“, Hrsg. proHolz Austria Arbeitsgemeinschaft der Österreichischen Holzwirtschaft, Wien;

Abb.5.29, Abb.5.30, Abb.5.31: Zangerl, M.; Kaufmann, H.; Hein, C. et al. (2010) „LifeCycle Tower Energieeffizientes Holzhochhaus mit bis zu 20 Geschossen in Systembauweise“, Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien;

Abb.5.32: Cree GmbH (2012) „LCT One“, URL: <http://www.cree.at/>, 04.09.2012, 11:14 Uhr;

Abb.5.33: rechtes Bild: Cree GmbH (2012) „LCT One“, URL: <http://www.cree.at/>, 04.09.2012, 11:14 Uhr; linkes Bild: Mikado Unternehmermagazin für Holzbau und Ausbau (07/ 2012), „Nachhaltig in die Höhe“, Weka Media GmbH & Co. KG, Kissing, S. 20- 29, URL: http://www.wiehag.com/uploads/tx_lbrdownloadsimple/LCT_One_Mikado_Juli_2012_01.pdf;

Abb.5.34, Abb.5.35: Abb.5.36: Zuschnitt (45/2012) (S.22 f.) „Holz Beton Verbund“, Hrsg. proHolz Austria Arbeitsgemeinschaft der Österreichischen Holzwirtschaft, Wien;

Abb.5.37, Abb.5.38, Abb.5.39: Zeichnung DI Michael Kist, Wien;

Abb.5.40: Faktor, Architektur Technik Energie (20/ 2008), „Holz statt Beton“, Hrsg.: Conrad U. Brunner, Verlag Faktor Verlag AG, Zürich, S.38;

Abb.5.41, Abb.5.42, Abb.5.43, Abb.5.44: Mit freundlicher Genehmigung von Dachtler + Partner Zürich und SJB Kempter + Fitze AG, Herisau;

Abb.5.45: „Projekt Sihlbogen“, http://www.bgzurlinden.ch/html/fileadmin/user_upload/PDFs/Medien/Medienmitteilungen/Sihlbogen/Projekt_Sihlbogen.pdf_06.07.2012_12:07_Uhr;

Abb.5.35, Abb.5.36: Mit freundlicher Genehmigung von Dachtler + Partner Zürich und SJB Kempter + Fitze AG, Herisau;

Abb.5.46: Baufortschritt, Webcam: 03.08.2012

Abb.5.47: Baublatt (06.02.2009), „Überbauung Ibisriederplatz, Neuartige Bauweise verhilft Zürich zur 2000-Watt-Gesellschaft“ Docu Media Schweiz GmbH, Rüslikon, S.32,?; Baublatt (17.07.2009), (S.18) „Die Überbauung Badenerstrasse wurde im Top-Wall-Prinzip erstellt“ Docu Media Schweiz GmbH, Rüslikon,?; Blumer, H. (2010), „Möglichkeiten und Grenzen von Laubholz als Baumaterial“, Referat, Infoveranstaltung 29. Sept. 2010, Olten;

Abb.5.48: Swiss Engineering, Bau und Architektur, Schweizerische technische Zeitschrift (12.04.2012) „X-Floor: schneller, präziser, trockener“ STV-Verlags AG der Ingenieure und Architekten, Verlag Kömedia AG, St. Gallen;

Abb.5.49; Abb.5.50, Abb.5.51, Abb.5.52, Abb.5.53, Abb.5.54: SJB.KEMPTER.FITZE AG, INGENIEURE + PLANER SIA USIC, Zürcherstrasse 239, 8501 Frauenfeld, Brandschutzkonzept für Sihlbogen Areal B, 8047 Zürich, Bericht Nr. 810.048 – 010 - BSK, Frauenfeld, 28. März 2011, Rev. 13.April 2011, 15.April 2011;

Abb.5.46, Abb.5.47, Abb.5.48: Zeichnung DI Michael Kist, Wien;

Abbildungsverzeichnis Kapitel 6

Abb.6.1: Peter, F. (2011), „Brandschutzkonzept für das Projekt Wohnanlage Wagramer Straße“, Version 2 vom 27.01.2011, Brandrat ZT GmbH, Wien.

Tabellenverzeichnis Kapitel 3

Tab.3.1: Schneider, U.; Lebeda, C.; Franssen, M. (2008) „Baulicher Brandschutz“, 2. Auflage, Bauwerk Verlag GmbH, Berlin;

Tab.3.2: Schneider, U. (2002) „Grundlagen der Ingenieurmethoden im Brandschutz“, Werner Verlag, Düsseldorf

Tab.3.3, Tab.3.4, Tab.3.5, Tab.3.6, Tab.3.7: DI Michael Kist, Wien;

Tab.3.8: Guttchen, M. (2008) „Personenrettung mit Rettungsmitteln der Feuerwehr aus Nutzungseinheiten in Obergeschossen“, Abschnittsarbeit, Stadt Braunschweig- Fachbereich 37, Braunschweig, URL: http://agbf.feuerwehr-essen.com/agbf/downloads/AK%20Vorbeugender%20Brandschutz/2.Rettungsweg_Personenrettung_mit_Rettungsgeraeten_Feuerwehr.pdf, 20.11.2012, 11:51 Uhr

Tab.3.9: Holborn, P. G.; Nolan, P. F.; Colt, J. (2004), „An Analysis of fire sizes, fire growth rates and times between events using data from fire investigations, Fire Safety Journal

Tab.3.10: Wald, F.; Burgess, I.; Horová, K.; Kallerová, P.; Jirka, J. (2013) „COST TU 0904 - Integrated-FireEngineeringandResponse Fire Brigade Reports and Investigations“, CTU Publishing House, Czech Technical University in Prague, ISBN–978-80-01-05200-6, (S.23 - 27), URL: http://people.fsv.cvut.cz/~wald/fire/ifer/WP3/Fire%20brigade%20reports_sm.pdf, 06.10.2013, 19:41 Uhr

Tab.3.11: Hosser et al. (2009), „Sicherheitskonzept zur Brandschutzbemessung“, Abschlussbericht, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz -iBMB TU Braunschweig, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.

Tabellenverzeichnis Kapitel 4

Tab.4.1: Vfdb (2009), TB 04-01 „Leitfaden Ingenieurmethoden des Brandschutzes“, Hrsg. Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e. V. (vfdb), Technisch- Wissenschaftlicher Beirat (TWB), Referat 4, Dietmar Hosser, Braunschweig, verändert durch DI Michael Kist, Wien;

Tab.4.2: DI Michael Kist, Wien;

Tab.4.3: ÖNORM EN 1991- 1- 2 (2013), Eurocode 1 - „Einwirkungen auf Tragwerke“ - Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke, Hrsg.: Austrian Standards plus GmbH, Wien;

Tab.4.4: DIN EN 1991- 1- 2/NA (2010) Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: „Einwirkungen auf Tragwerke“ - Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke, Hrsg: Beuth Verlag GmbH, Berlin;

Tab.4.5: TRVB A 126 (1987), „Brandschutztechnische Kennzahlen verschiedener Nutzungen, Lagerungen, Lagergüter“, Hrsg. Österreichischer Bundesfeuerwehrverband, Die österreichischen Brandverhütungsstellen, Wien;

Tab.4.6, Tab.4.7, Tab.4.8: DI Michael Kist, Wien;

Tab.4.9: Schleich, J. B. (2001), „Valorisation Projekt- Natural Fire Safety Concept“, Product-Structural Dept. (PRF), ARBED-Research Centre, Esch, Alzette, URL: http://www.arcelormittal.com/sections/fileadmin/redaction/pdf/36_NFSC_Valoration.pdf, 12.04.2013, 11:47 Uhr, verkürzt dargestellt;

Tab.4.10, Tab.4.11, Tab.4.12, Tab.4.13: ÖNORM EN 1991- 1- 2 (2013), Eurocode 1 - „Einwirkungen auf Tragwerke“ - Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke, Hrsg.: Austrian Standards plus GmbH, Wien;

Tab.4.14: Teibinger M.; Busch, T. (2007) „Machbarkeitsstudie eines Holzbaus in der Gebäudeklasse 5“, Endbericht, Holzforschung Austria, gefördert durch die MA 50 Wien, Wien;

Tab.4.15: DI Michael Kist, Wien

Tab.4.16: ÖNORM EN 1991- 1- 2 (2013), Eurocode 1 - „Einwirkungen auf Tragwerke“ - Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke, Hrsg.: Austrian Standards plus GmbH, Wien;

Tab.4.17, Tab.4.18: ÖNORM EN 1990 (2013), Eurocode - „Grundlagen der Tragwerksplanung“, Hrsg.: Austrian Standards plus GmbH, Wien

Tab.4.19: DIN EN 1991- 1- 2/NA (2010) Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: „Einwirkungen auf Tragwerke“ - Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke, Hrsg: Beuth Verlag GmbH, Berlin

Tab.4.20: Schleich, J. B. et al. (2002) „technical steel research- Steel structures- Competitive steel buildings through natural fire safety concepts“, Final report, European Commission, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2002, ISBN 92-894-3830-4

Tab.4.21: Rahikainen, J.; Keski-Rahkonen, O.; Statistical Determination of Ignition Frequency of Structural Fires in Different Premises in Finland; Fire Technology 40; S. 335-353; 2004 und Tillander, K.; Keski-Rahkonen, O.; The Ignition Frequency of Structural Fires in Finland 1996-99; Fire Safety Science – Proceedings of the seventh international symposium; 2003; ISBN 0-9545348-0-8; S. 1051-1062 gefunden in Hosser et al. (2009), „Sicherheitskonzept zur Brandschutzbemessung“, Abschlussbericht, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz -iBMB TU Braunschweig, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart;

Tab.4.22: DIN EN 1991- 1- 2/NA (2010) Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 1: „Einwirkungen auf Tragwerke“ - Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf Tragwerke, Hrsg: Beuth Verlag GmbH, Berlin;

Tab.4.23: DI Michael Kist, Wien;

Tab.4.24: Hosser et al. (2009), „Sicherheitskonzept zur Brandschutzbemessung“, Abschlussbericht, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz -iBMB TU Braunschweig, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart;

Tab.4.25, Tab.4.26, Tab.4.27: DI Michael Kist, Wien;

Tabellenverzeichnis Kapitel 5

Tab.5.1: ÖNORM EN 13501- 1 (2009), „Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten“ - Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten, Hrsg: Austrian Standards plus GmbH, Wien;

Tab.5.2: ÖNORM EN 1995- 1- 2 (2011), Eurocode 5: „Bemessung und Konstruktion von Holzbauten“ - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Bemessung für den Brandfall, Hrsg.: Austrian Standards plus GmbH, Wien

Tab.5.3: DI Michael Kist, Wien;

Tabellenverzeichnis Kapitel 6

Tab.6.1: Naumann, S. (2007) „Parameterstudie zur brandschutztechnischen Bemessung von Stahlbetonstützen“, Diplomarbeit, Fachhochschule Lippe und Höxter, URL: <http://www.hausarbeiten.de/fachbereich/vorschau/121557.html#inside>, 07.10.2012, 16:50 Uhr;

Tab.6.2: Schneider, U.; Lebeda, C.; Franssen, M. (2008) „Baulicher Brandschutz“, 2. Auflage, Bauwerk Verlag GmbH, Berlin;

Tab.6.3, Tab.6.6: DI Michael Kist, Wien;

Tab.6.4, Tab.6.5: OIB RL 2 (2011), „Brandschutz“, Hrsg.: Österreichisches Institut für Bautechnik, Austrian Standards Institute, Wien

Tab.6.7: Grundlage aus OIB RL 2 (2011), „Brandschutz“, Hrsg.: Österreichisches Institut für Bautechnik, Austrian Standards Institute, Wien, verändert durch DI Michael Kist, Wien;

Tabellenverzeichnis Anhang A

Tab.A1: DI Michael Kist, Wien

(1) Qualitätssicherung der Überwachung

OIB RL 1: 1.1 Für den Neubau gilt

Die Einreichunterlagen sind in der Form darzustellen, dass eine genaue Aussage und Beurteilung über die Einteilung der Schadensfolgeklassen des Bauwerkes oder auch einzelner Bauwerksteile möglich ist. Das bedeutet, dass die jeweils festgelegten Schadensfolgeklassen in den Einreichplänen anzuführen sind. vgl. OIB RL 1 (2011)

(1.1) Einteilung der Schadensfolgeklassen:

Bei der Einteilung eines Bauwerkes oder Bauwerksteiles in die jeweilige Schadensfolgeklasse ist gemäß ÖNORM B 1990- 1 Tabelle B.1 (Klassen für Schadensfolgen) bzw. Kapitel B.3.1 vorzugehen.

(1.2) Ermittlung der Personenanzahl:

Für die Ermittlung der Personenanzahl (widmungsgemäßen Fassungsvermögen) eines Bauwerkes ist gemäß ÖNORM B 1990 - 1 Tabelle B.2 (Personenanzahl je Nutzungsmerkmal) bzw. Kapitel B.3.1 vorzugehen.

(1.3) Einteilung der Überwachungsmaßnahmen:

Eine Überwachung (während der Planung und während der Ausführung) durch eine unabhängige Prüf-stelle in der eigenen Organisation bzw. die Eigenüberwachung kann grundsätzlich durch jene einer unabhängigen Drittstelle ersetzt werden.

Die Behörde kann unabhängig von dem vorgesehen Stufen der Überwachungsmaßnahmen für gewisse Bauwerke bzw. Bauwerksteile eine Überwachung durch eine unabhängige Drittstelle vorschreiben.

(2) Einteilungen der Überwachungsmaßnahmen während der Planung:

Für die Differenzierung der Überwachungsmaßnahmen bei der Planung, der statischen Berechnung und den Arbeitsanweisungen ist gemäß ÖNORM B 1990 - 1 Tabelle B.6 (Überwachungsmaßnahmen bei der Planung (**DSL**) bzw. Kapitel B.4 vorzugehen.

(2.1) Die Differenzierung der Überwachungsmaßnahmen bei der Planung kann auch eine Klassifizierung der Planer oder Prüfer (Prüfingenieure, Gutachter usw.) je nach Kompetenz und Erfahrung und organisatorischer Zugehörigkeit abhängig von der Bauart bedeuten.

Die Klassifizierung kann von Bauart, Werkstoff und Art des Tragwerks abhängig sein.

(2.2) Die Differenzierung der Überwachungsmaßnahmen kann auch in der unterschiedlichen Modellierung der Einwirkungen nach Art und Größe oder in Aktiv- oder Passivmaßnahmen zur Begrenzung der Einwirkungen bestehen.

(3) Einteilung der Überwachungsmaßnahmen während der Ausführung bzw. Überwachungsstufen für die Herstellung:

Für die Differenzierung der Überwachungsmaßnahmen bei der Ausführung bzw. Herstellung ist gemäß ÖNORM B 1990 - 1 Tabelle B.7 (Überwachungsstufen (**II**) für die Herstellung) bzw. Kapitel B.5 vorzugehen. Betreffend den Prüfumfang gelten die einschlägigen Fachnormen bzw. das „Leistungsbild Prüfingenieur“ der Kammer der Architekten und Ingenieurkonsulenten für Wien, Niederösterreich und Burgenland (www.wien.arching.at). Alle Überwachungsmaßnahmen sind zu dokumentieren und durch entsprechend Befugte durchzuführen. Diese Dokumente sind gemäß § 127 Abs. 2 BO auf der Baustelle und dem Baufortschritt entsprechend aufzulegen.

Anmerkung: Nach Fertigstellung bewilligungspflichtiger Bauführungen gemäß § 128 BO sind diese Unterlagen (Überprüfungs-befunde, Grundlagen der Bestätigung) und eine Abschlussfeststellung entsprechend den Anforderun-gen der jeweiligen Überwachungsmaßnahmen der Fertigstellungsanzeige anzuschließen.

(3.1) Aufgaben des Prüflingenieurs während der Bauführung:: Leistungsbild des Prüflingenieurs:

a) Bis zur Fertigstellung des Rohbaus: Veranlassung der Abnahmen gem. § 127 (3) a) b) c) und Kontrollen der Geometrie

zu a) Abnahmen gem. § 127 (3) a) b) c)

Abnahmen gemäß den entsprechenden Konstruktionsnormen (Fachnormen für die Überwachung der Ausführung, siehe auch Wiener Leitfaden zur OIB RL 1)

b) Nach der Rohbaubeschau bis zur Fertigstellung: Kontrollen der Ausbauteile und der Geometrie

zu b) Ausbauteile:

Attestierung aller konsensrelevanten 10 Bauteileigenschaften.

Für Überprüfungen, welche nicht in den Auftrags- bzw. Befugnisumfang des Prüflingenieurs fallen, **sind jedenfalls entsprechende Hilfsgutachten zu veranlassen** (z.B. Abnahme sicherheitsrelevanter haustechnischer Einrichtungen, Rauchfangbefund etc.).

Atteste sind durch eigene Wahrnehmung, Messungen etc. geeignet zu kontrollieren (z.B.: Stichproben, ...)

c) Bei sicherheitsrelevanten Bauteileigenschaften ist eine erhöhte Sorgfalt anzuwenden, z.B. eine hierfür akkreditierte Prüfanstalt, ein hierfür berechtigter SV oder ZT.

Sicherheitsrelevant sind insbesondere z.B.:

Bauteileigenschaften hinsichtlich Brandschutz

Bauteileigenschaften hinsichtlich Evakuierung

Anlagen zur Aufrechterhaltung von Notsystemen bzw. zur Fluchtwegsicherung (CO-Lüftung und Warnung in der Garage), BMA, Sicherheitsbeleuchtung, Fluchtwegs- und Orientierungsbeleuchtung, erste- und erweiterte Löschhilfe, RWA, Druckbelüftungsanlagen, Feuerwehraufzug u. dgl.

d) Fertigstellungsanzeige

§ 128.

(1) Nach Fertigstellung bewilligungspflichtiger Bauführungen gemäß § 60 Abs. 1 lit. a bis c und Anlagen (§ 61) ist der Behörde vom Bauwerber, vom Eigentümer (einem Miteigentümer) des Bauwerkes oder vom Grundeigentümer (einem Grundmitemigentümer) eine Fertigstellungsanzeige zu erstatten.

(2) Der Fertigstellungsanzeige sind folgende Unterlagen anzuschließen:

1. eine im Rahmen seiner Befugnis ausgestellte Bestätigung eines Ziviltechnikers, der vom Bauwerber und vom Bauführer verschieden sein muss und zu diesen Personen in keinem Dienst- oder Organisationsverhältnis stehen darf, über die bewilligungsgemäße und den Bauvorschriften entsprechende Bauausführung.....

2. wenn während der Bauausführung Abänderungen erfolgt sind, ungeachtet der hierfür erwirkten Bewilligung, ein der Ausführung entsprechender Plan, der von einem nach den für die Berufsausübung maßgeblichen Vorschriften hierzu Berechtigten verfasst und von ihm sowie vom Bauführer unterfertigt sein muss;

2a. wenn während der Bauausführung Abänderungen erfolgt sind,

3. sofern ein Prüflingenieur zu bestellen war, die von ihm aufgenommenen Überprüfungsberichte;

4. positive Gutachten über die vorhandenen Abgasanlagen;

5. ein positives Gutachten über den Kanal, die Senkgrube bzw. die Hauskläranlage;

6. im Falle besonderer sicherheitstechnischer Einrichtungen (Brandmeldeanlage, Sprinkleranlage, Notstromanlage und dergleichen) positive Gutachten über deren Funktionsfähigkeit;

(7) Verantwortlichkeit bei der Bauausführung

§ 125.

(1) Bei der Bauausführung sind verantwortlich:

a) für die Einhaltung der Baupläne, die nach diesem Gesetz ausgeführt werden dürfen, sowie aller Auflagen der Baubewilligung, für die werksgerechte Bauausführung, für die Tauglichkeit der verwendeten Baustoffe und Konstruktionen sowie überhaupt für die Einhaltung aller auf die Bauführung Bezug habenden Vorschriften dieses Gesetzes, seiner Nebengesetze und der auf Grund dieser Gesetze erlassenen Verordnungen der Bauführer;

(8) Überprüfungen während der Bauführung

§ 127.

(1) Den Vertretern der Behörde ist jederzeit der Zutritt zur Baustelle zu gestatten. Bauwerber, Bauführer, Planverfasser und Prüflingenieur sowie die beim Bau Beschäftigten sind verpflichtet, der Behörde alle erforderlichen Auskünfte zu erteilen.

(2) Bauwerber und Bauführer sind verpflichtet, auf der Baustelle die Baupläne, die nach diesem Gesetz ausgeführt werden dürfen, die nach dem Fortschritt des Baues erforderlichen statischen Unterlagen sowie Nachweise des Prüflingenieurs über die gemäß Abs. 3 vorgenommenen Überprüfungen aufzulegen. Die Behörde ist berechtigt, die Unterlagen auf Vollständigkeit und Schlüssigkeit zu überprüfen. Diese Überprüfung schafft nicht die Vermutung, dass die Unterlagen vollständig und richtig sind.

(3) Bei den nach § 60 Abs. 1 lit. A, b und c bewilligungspflichtigen Bauführungen hat der Bauwerber grundsätzlich durch einen Ziviltechniker oder einen gerichtlich beeideten Sachverständigen für das einschlägige Fachgebiet (Prüflingenieur) folgende Überprüfungen der Bauausführung vornehmen zu lassen:

a) die Beschau des Untergrundes für alle aufgehenden Tragkonstruktionen vor Beginn der Fundierungs- oder Betonierungsarbeiten;

b) die Beschau jener Bauteile, die nach deren Fertigstellung nicht mehr möglich ist (Fundamente, Stahleinlagen, Träger, Stützen, Schweißverbindungen u. ä.);

c) die Rohbaubeschau.

(3a) Der Prüflingenieur muss vom Bauwerber und vom Bauführer verschieden sein und darf zu diesen Personen in keinem Dienst- oder Organschaftsverhältnis stehen. Er ist der Behörde vor Baubeginn vom Bauwerber schriftlich anzuzeigen und hat diese Anzeige gegenzuzeichnen. Ein Wechsel des Prüflingenieurs ist in gleicher Weise unverzüglich anzuzeigen.

Übersetzung BO Wien nach ÖNORM EN 1990		
Qualität der Planung	DSL 1	(Eigenüberwachung)
Qualität der Ausführung	IL 3	(Fremdüberwachung in statischen Bereichen)

Tab.A1: In Wien lt. LBO ist somit allgemein eine Eigenüberwachung der Qualität der Planung und eine Fremdüberwachung der Qualität der Ausführung der wesentlichen statischen Bauteile vorhanden.

Lebenslauf Michael Kist

Geboren: am 10.04.1982 in Hansestadt Stralsund, D

Wohnort: Wallensteinstraße 9/3, 1200 Wien, A

Email: michael.kist@gmx.at

Mobilfon: 0043 69918120221

Berufliche Entwicklung

10.13	Lehrbeauftragter	TU Wien, Wien
10.13	Projektleiter	Kolb AG, Romannshorn
06.11 - 05.12	Planungsleiter [LPH 1 bis 8]	Obenauf GmbH, Wien
02.10 - 06.11	Projektarchitekt [LPH 2 bis 8]	Szyszkowitz + Kowalski ZT, Graz
10.08 - 02.09	Tutor [Entwerfen und Konstruktion]	TU Wien, Wien
04.08 - 06.11	Projektassistent [LPH 3 und 4]	BrandRat ZT, Wien
02.04 - 09.08	Praktikant Architektur	Szyszkowitz + Kowalski ZT, Graz DKO Architekten, Berlin OWP Architects, Oeyenhausen

Studium

10.10 - 10.13	Dr.tech. Architektur	TU Wien
09.07 - 02.10	DI Architektur	TU Wien
02.07 - 06.07	DI Architektur	TU Graz
09.03 - 01.07	BA/ MA Architektur	HS Wismar

Stipendium

09.07 - 06.08	Graduierten Stipendium	DAAD, Bonn
---------------	------------------------	------------

Holzbau/ Brandschutz

08.13	Koautor, „13th Conference WCTE“	TU Wien, Tragwerkslehre Institut
09.11	Referent, „Urbaner Holzbau“	PH.D. Kolloquium 2011 TU Wien
06.12	Autor „176 m made from wood and concrete“	EUSAS Journal 8/12, S.25 -30.
05.11	Referent, „Holzbau und Brandschutz“	EUSAS Conference Vienna 2011
07.10	Koautor, „FireIn“ Work Package C	TU Wien, Tragwerkslehre Institut
06.10	Koautor, „11th Conference WCTE“	TU Wien, Tragwerkslehre Institut

Ausbildung

10.02 - 06.03	Grundwehrdienstleistender	FmBtl 801, Neubrandenburg
09.01 - 07.02	Fachoberschule Wirtschaft	Berufliche Schule OVP, Wolgast
08.98 - 08.01	Auszubildender Zimmerer	Zimmerei Friedrich, Greifswald
09.88 - 07.98	Realschule, Abschluss, Klasse 10	Realschule Lassan

Wien, im Oktober 2013