

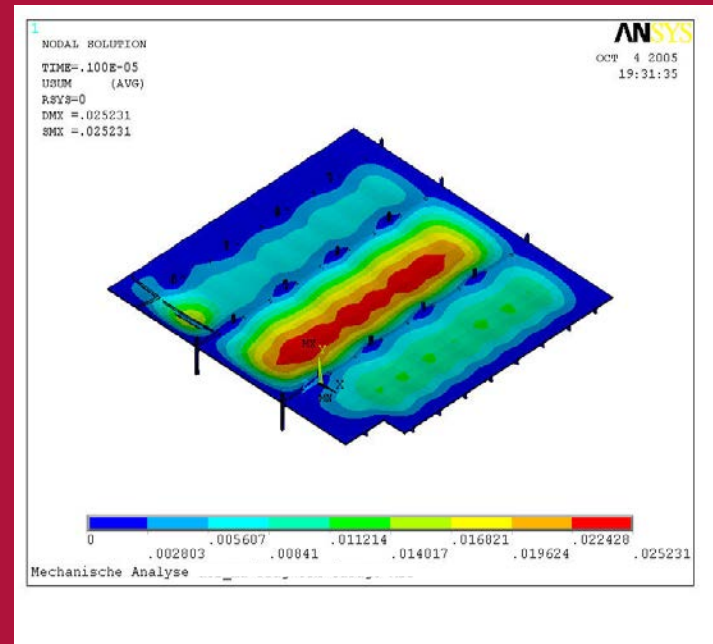
Praxis-Beispiele zur Heißbemessung mit EC

Univ.-Prof. Dr.-Ing.

Jochen Zehfuß

hhpberlin Ingenieure für Brandschutz

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig



Inhalt

- Einführung
- Eurocodes
 - Bauaufsichtliche Einführung
 - Alternative Bemessungsverfahren
- Beispiele
 - Stahlbeton Durchlaufplatte ETK-Beanspruchung
 - Stahl-Stütze Naturbrandbeanspruchung
- Zusammenfassung und Fazit

Beispiele Heißbemessung

- Alstertal Einkaufszentrum, Hamburg (Parkgaragendeck),
- Lehrter Bahnhof Berlin (Verbundstützen, Dachtragwerk)
- Eurobahnhof, Saarbrücken (Stahlbetondecken),
- National Convention Centre, Hanoi (Dachtragwerk),
- Flughafen Berlin-Brandenburg BBI (Dachtragwerk Terminal),
- Flughafen Frankfurt/M A-Plus (Spannbetonträger)
- Boulevard Berlin, Berlin (Parkgaragendeck),
- BBC Böblingen Center (Parkgaragendeck),
- Bahnhof Ostkreuz, Berlin (Bahnsteig- und Gleisbrückenkonstruktion),
- Ostbahnhof, Berlin (Hallendach),
- City-Tunnel, Leipzig (Fassadenkonstruktion),
- Volksbank Arena, Hamburg (Dachtragwerk, Stahlfachwerkträger),
- Bürogebäude Adidas LACES, Herzogenaurach (Stahlfachwerkträger)

Bauaufsichtl. Einführung Eurocodes

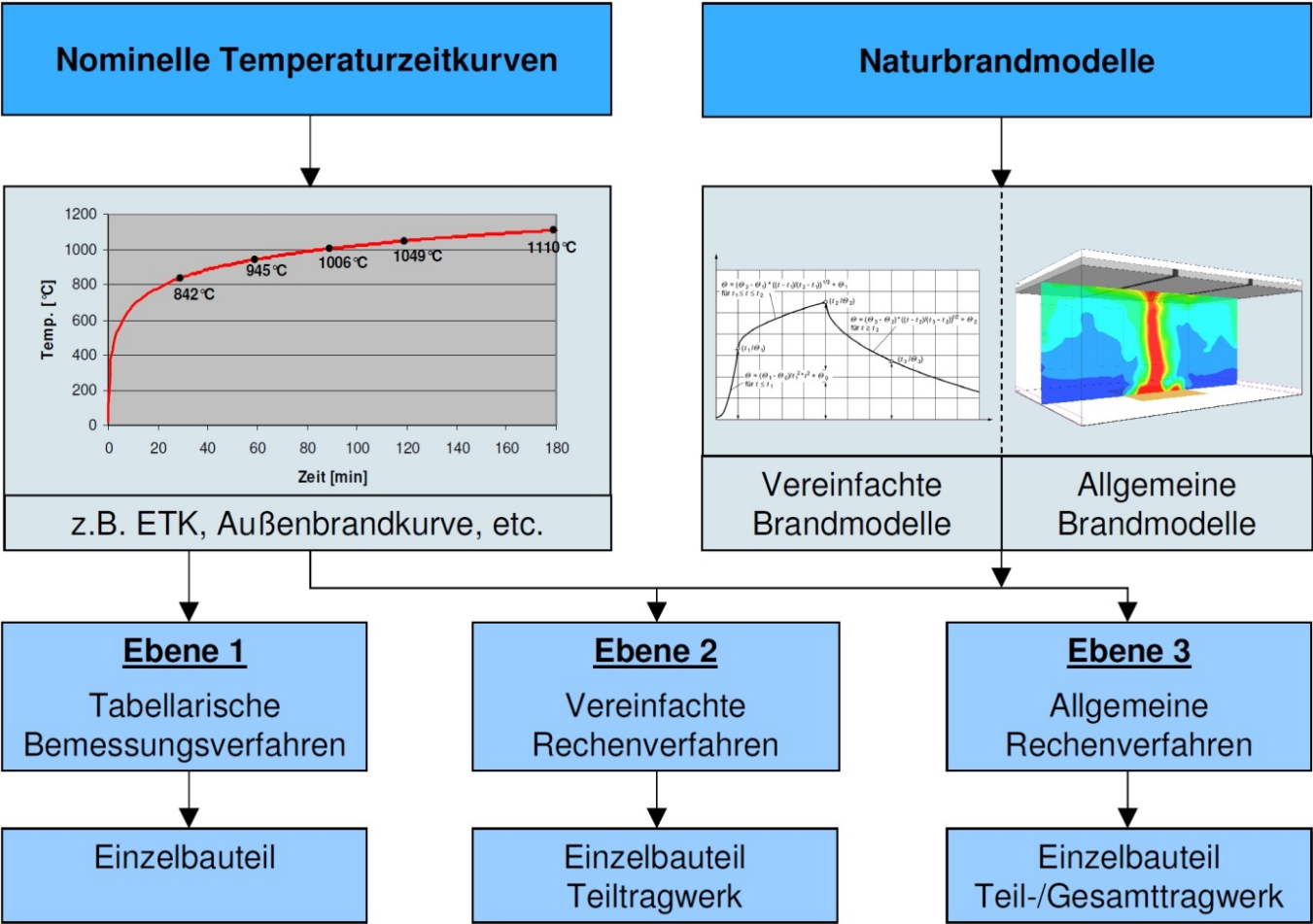
- Übernahme der ECs und NA in LTB zum 01.07.2012 auf Basis der MLTB 12/2011
- Bisher: Regeln zur Brandschutzbemessung unter Ziffer 3 LTB
- Neu: EC 1-1-2 unter Ziffer 1 „Einwirkungen“ in den LTB
- Neu: EC 2-1-2 bis EC 5-1-2 unter Ziffer 2 (baustoffbezogene Bemessungsvorschriften)

Altern. Bemessungsverf. für Bauteile

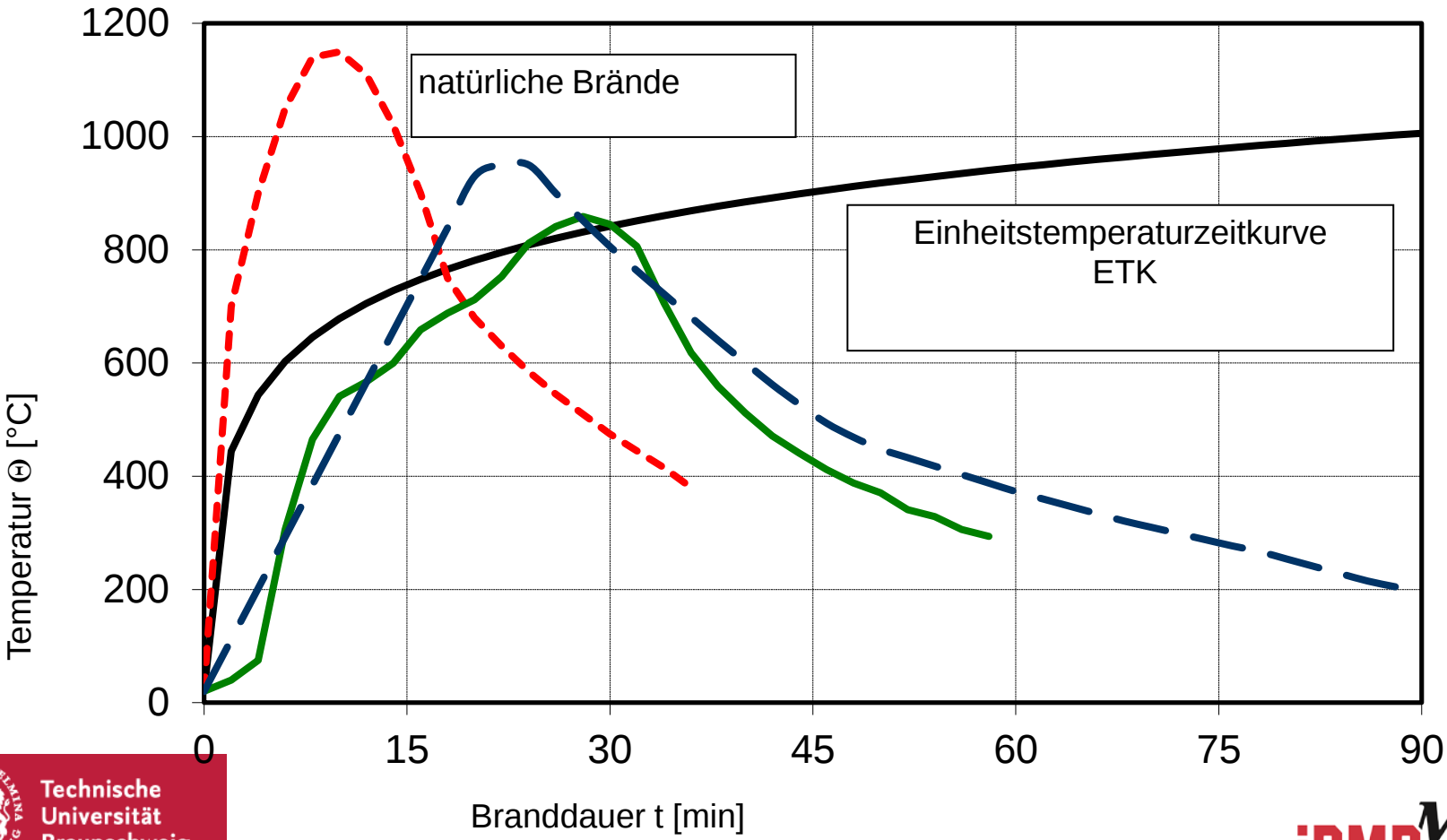
- Bemessungstabellen (Nachweisstufe 1) wie bisher in DIN 4102-4
 - Einzelbauteile bei Normbrand
 - Mindestabmessungen
- Vereinfachte Rechenverfahren (Nachweisstufe 2)
 - Einzelbauteile (ggf. Teiltragwerke) bei Normbrand
 - ingenieurmäßige Nachweise für die Praxis
- Allgemeinen Rechenverfahren (Nachweisstufe 3)
 - Einzelbauteile, Teiltragwerke, Gesamttragwerk bei Normbrand oder Naturbrand
 - „exakte“ rechnerische Simulation für Sonderfälle mit FE-Programmen analog zur „Kaltbemessung“

neu

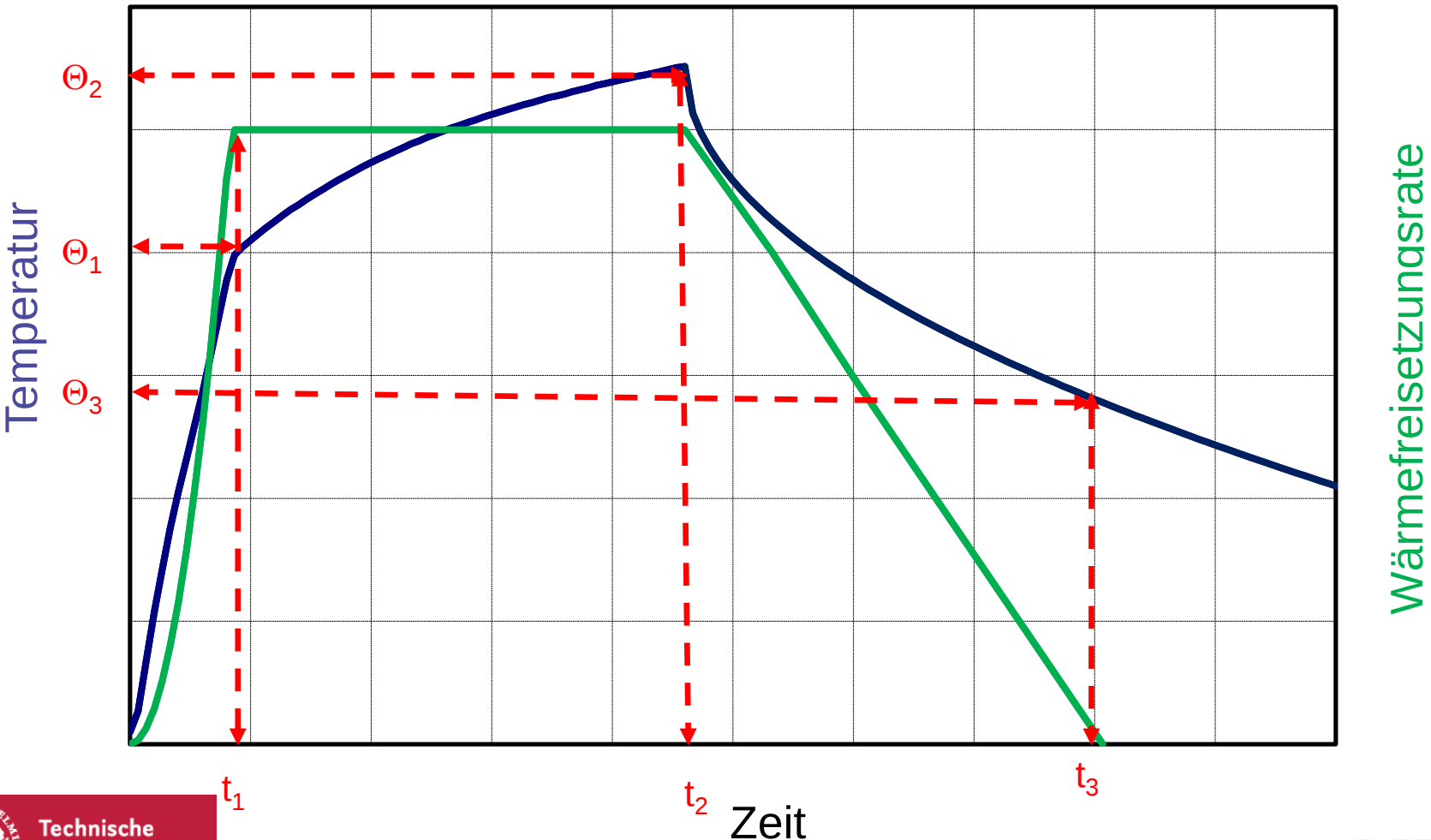
Eurocode-Bemessungsverfahren



Naturbrandverfahren



Naturbrandverfahren



➤ Änderungen MLTB 09/2012

Festlegung von Randbedingungen für Naturbrandverfahren

- Beantragung Abweichung für Naturbrandverfahren erforderlich
- Naturbrandnachweise sollen in Brandschutzkonzept eingebettet sein
- Prüfung durch Prüfenieur erforderlich
- „Verschärfung“ von Eingangsparametern (z. B. Verbrennungseffektivität $X = 0.8$; Ausfallwahrscheinlichkeit öffentl. Feuerwehr pauschal 0,5)
- Wärmefreisetzungsrate nach max. 10 Min auf Maximum
 - Unklar, ob Branddauer insgesamt verlängert?
 - Konservativer Ansatz für große Räume
 - Besser: Anwendung des flash-over Ansatzes gemäß Gl. AA.29 EC 1-1-2/NA

➤ Änderungen MLTB 09/2012

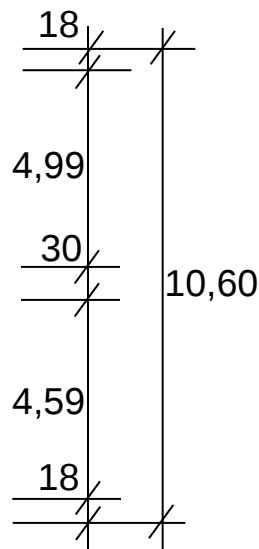
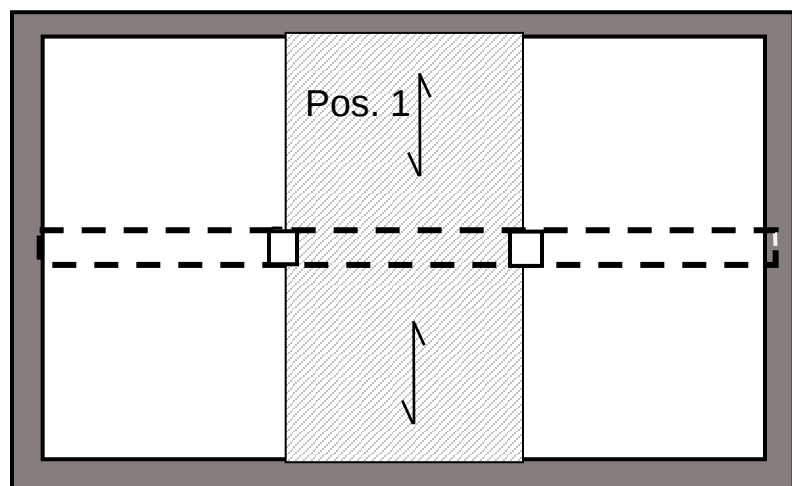
Festlegung von Randbedingungen für Naturbrandverfahren

- Regelungen dienen der Klarheit
- Unterstützung im Abstimmungsprozess mit Genehmigungsbehörden
- Grundsätzlich Anwendbarkeit der Naturbrandverfahren sichergestellt

Praxisbeispiele

- Zeigen: wann ist welches Verfahren sinnvoll anwendbar?
- Beispiel 1: Bürodecke Stahlbetondurchlaufplatte
 - ETK-Beanspruchung
 - Vereinfachtes Rechenverfahren
- Beispiel 2: Stahl-Stütze Dachtragwerk
 - Naturbrandbeanspruchung
 - Allgemeines Rechenverfahren

Beispiel 1: Bemessung einer Bürodecke



Pos 1:
Stahlbetondurchlaufplatte

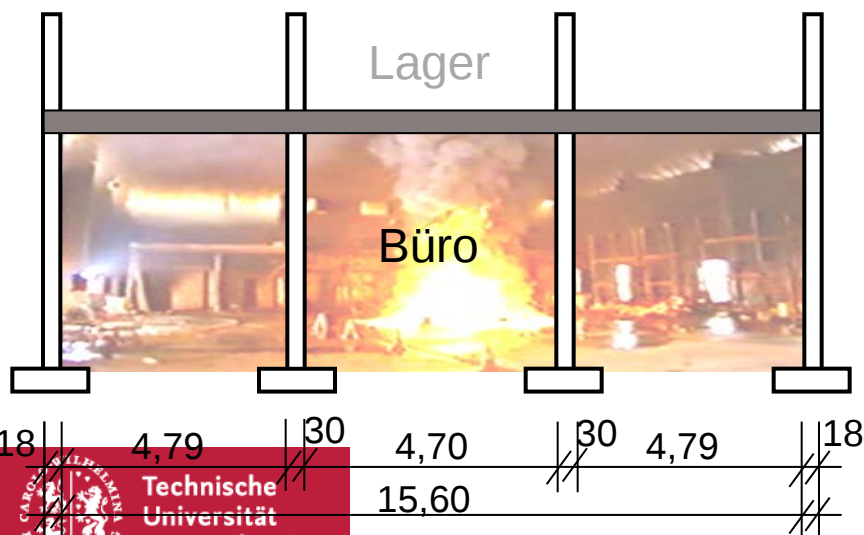
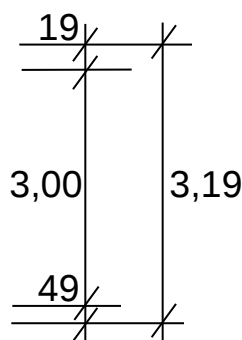
Beton C20/25
(quarzithalt. Gesteinskörnung)
 $f_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2$
mit $\gamma_C = 1,5$ und $\gamma_{C,fi} = 1,0$

Betonstahl B500B
 $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$
mit $\gamma_S = 1,15$ und $\gamma_{S,fi} = 1,0$

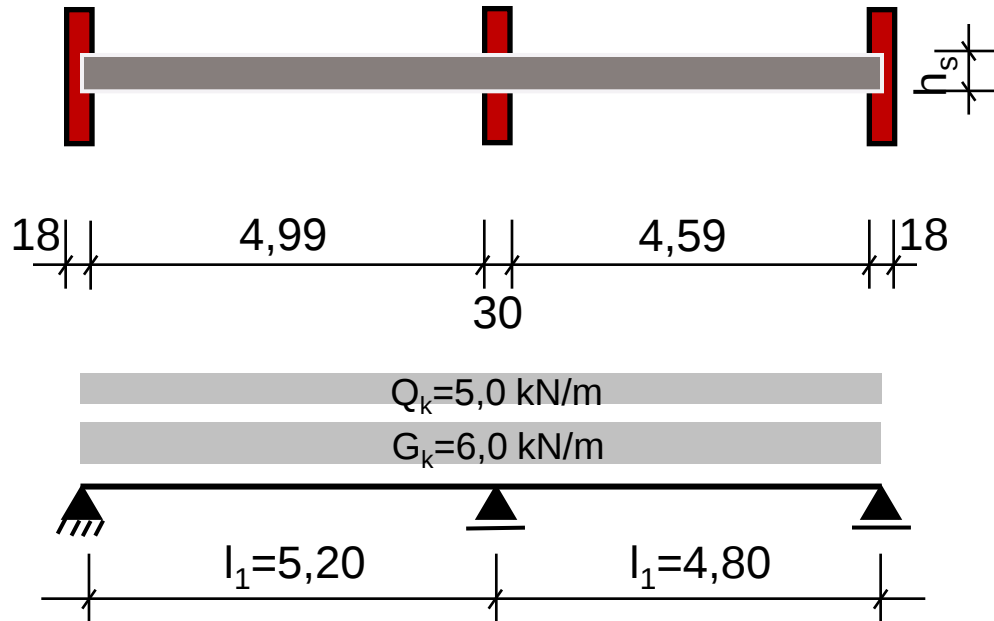
Nachweis für REI 90
mit

$\gamma_{GA} = 1,0$
und

$\psi_{2,1} = 0,8$



Stahlbetondurchlaufplatte



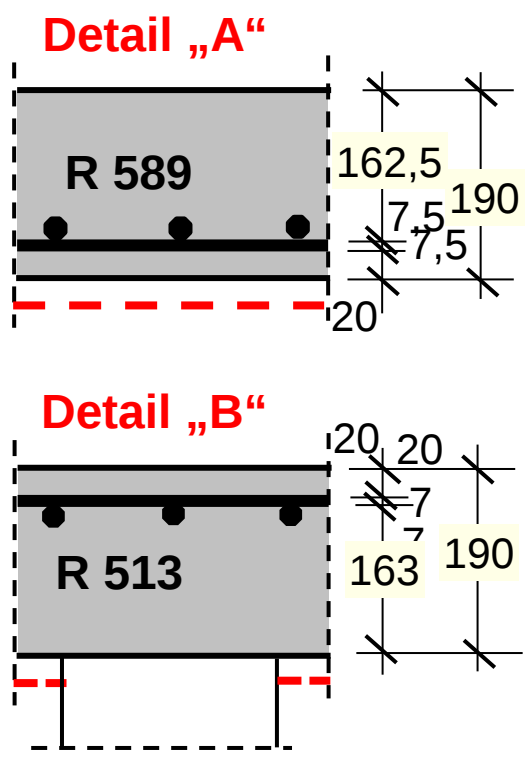
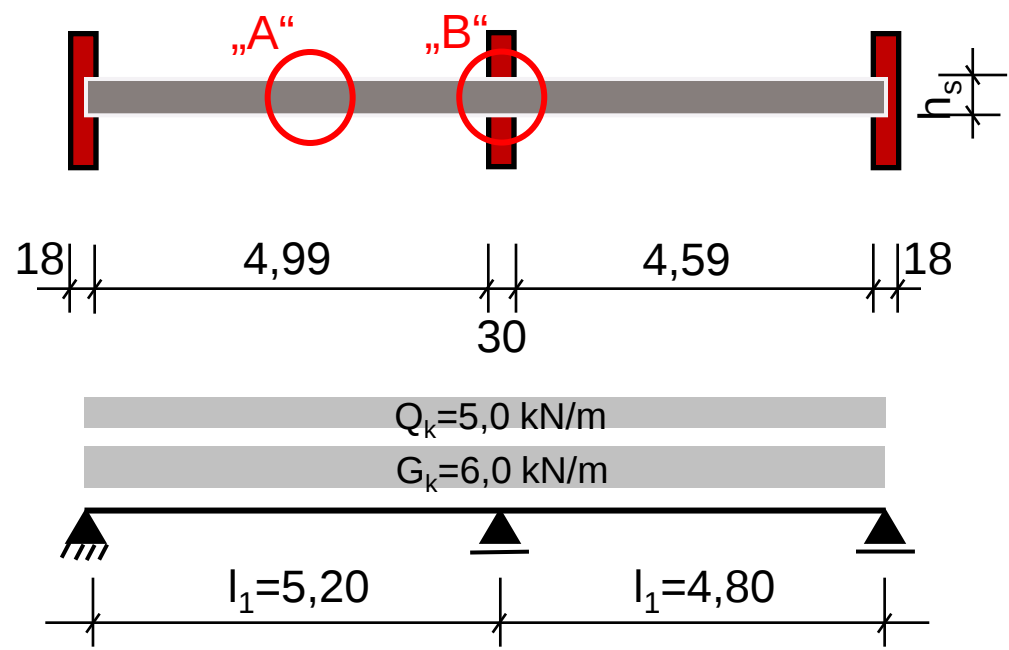
Bemessung bei Normaltemperatur

- Schnittgrößen nach Elastizitätstheorie mit anschließender Momentenumlagerung
- Stützmoment gegenüber Elastizitätstheorie um 30 % abgemindert

Bemessungsmoment [kNm/m]		erf a_s [cm ² /m]	gew. a_s [cm ² /m]
in Feld 1 $M_{Ed,F1}$	37,0	5,56	5,89 (R 589)
über der Stütze B $M_{Ed,B}$	-31,6	4,70	5,13 (R 513)

Brandschutz der nächsten Generation

Stahlbetondurchlaufplatte



Bewehrung	Betondeckung nom c [mm]	Achsabstand vorh a [mm]
in Feld 1	20	23,7
über der Stütze B	20	23,5

Tabellarischer Nachweis

Brandschutznachweis nach EC 2-1-2 mit Tabelle 5.8

- gilt für statisch bestimmt und statisch unbestimmt gelagerte Platten (Durchlaufplatten)
- Momentenumlagerung bei Normaltemperatur $\leq 15 \%$
 - Nachweis als Durchlaufplatte möglich
- Momentenumlagerung bei Normaltemperatur $> 15 \%$:
 - jedes Feld der Durchlaufplatte wie statisch bestimmt gelagerte Platte nachweisen

Fazit: Statisch bestimmt gelagerte Platte nachweisen

Nachweis mit Tabelle 5.8

Feuerwiderstandsklasse	Mindestabmessungen (mm)			
	Plattendicke h_s (mm)	einachsig	Achsabstand a	
			zweiachsig $l_y/l_x \leq 1,5$	$1,5 < l_y/l_x \leq 2$
1	2	3	4	5
REI 30	60	10*	10*	10*
REI 60	80	20	10*	15*
REI 90	100	30	15*	20
REI 120	120	40	20	25
REI 180	150	55	30	40

für REI 90: erf $h_s = 100 \text{ mm} < \text{vorh } h_s = 190 \text{ mm}$
 erf $a = 30 \text{ mm} > \text{vorh } a = 23,7 \text{ mm}$

keine Klassifizierung REI 90 möglich

Nachweis nach Anhang E (Stufe 2)

- Vereinfachtes Rechenverfahren für Balken und Platten (Stufe 2)

- Anwendung

- wenn vorhandener Achsabstand a kleiner als in den Tabellen
 - wenn Momentenumlagerungen $> 15 \%$

- Voraussetzungen

Belastung überwiegend gleichförmig verteilt

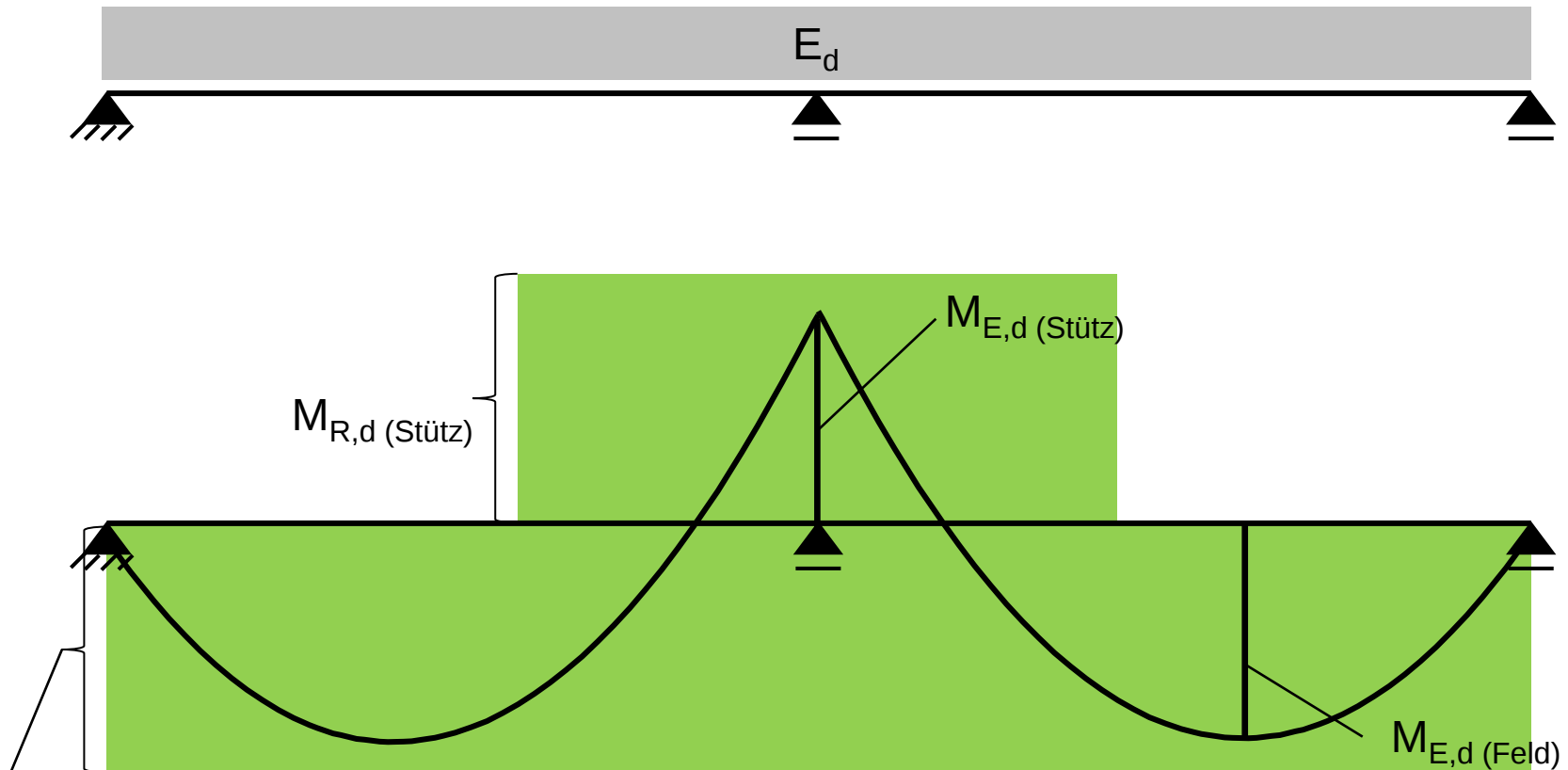
tabellierte Mindestquerschnittsabmessungen eingehalten

Temperatur der Stützbewehrung $< 350 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$A_{\text{svorh}}/A_{\text{serf}} < 1,3$$

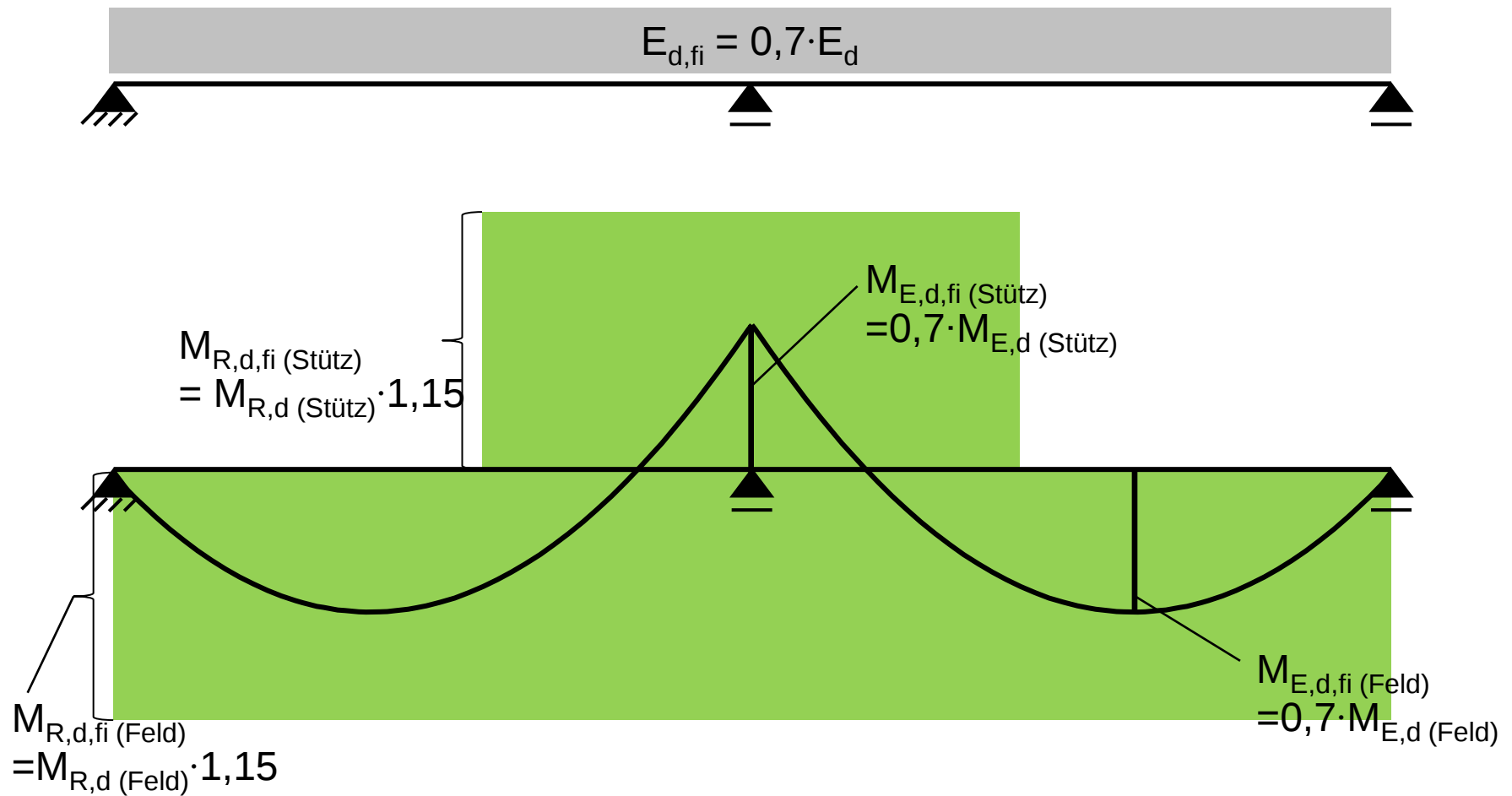
ausreichende Rotationsfähigkeit an den Auflagern

Momentenverteilung bei Normaltemperatur

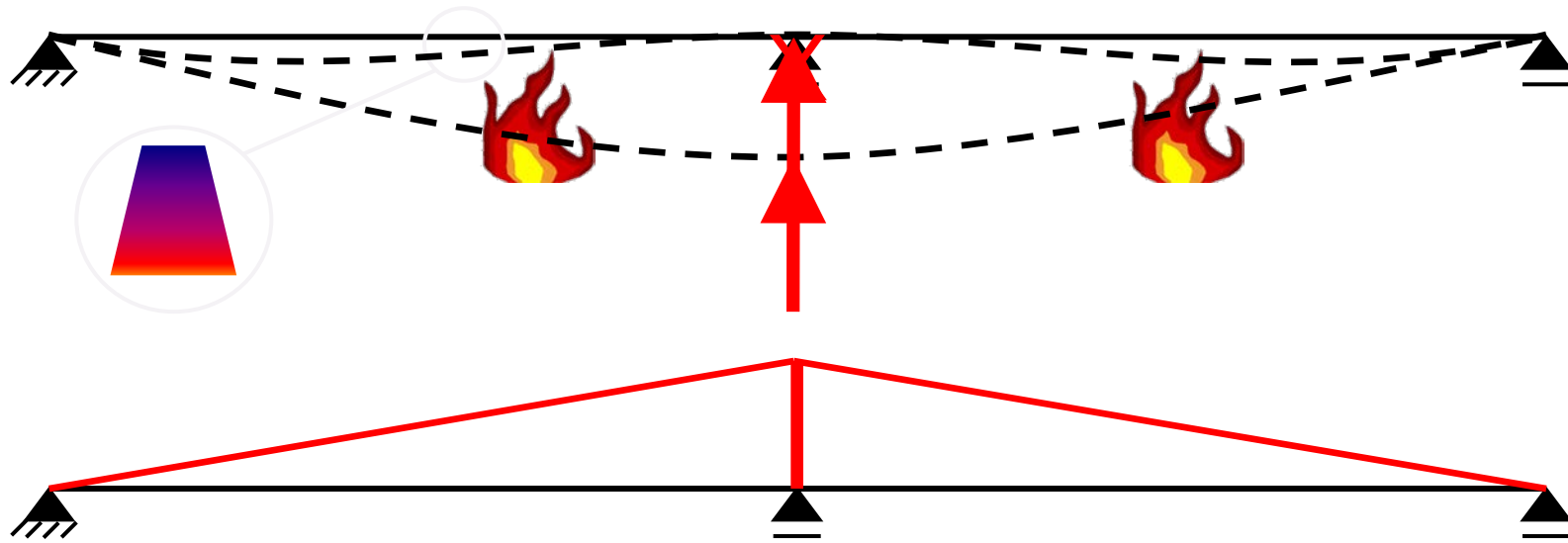


$M_{R,d}(\text{Feld})$

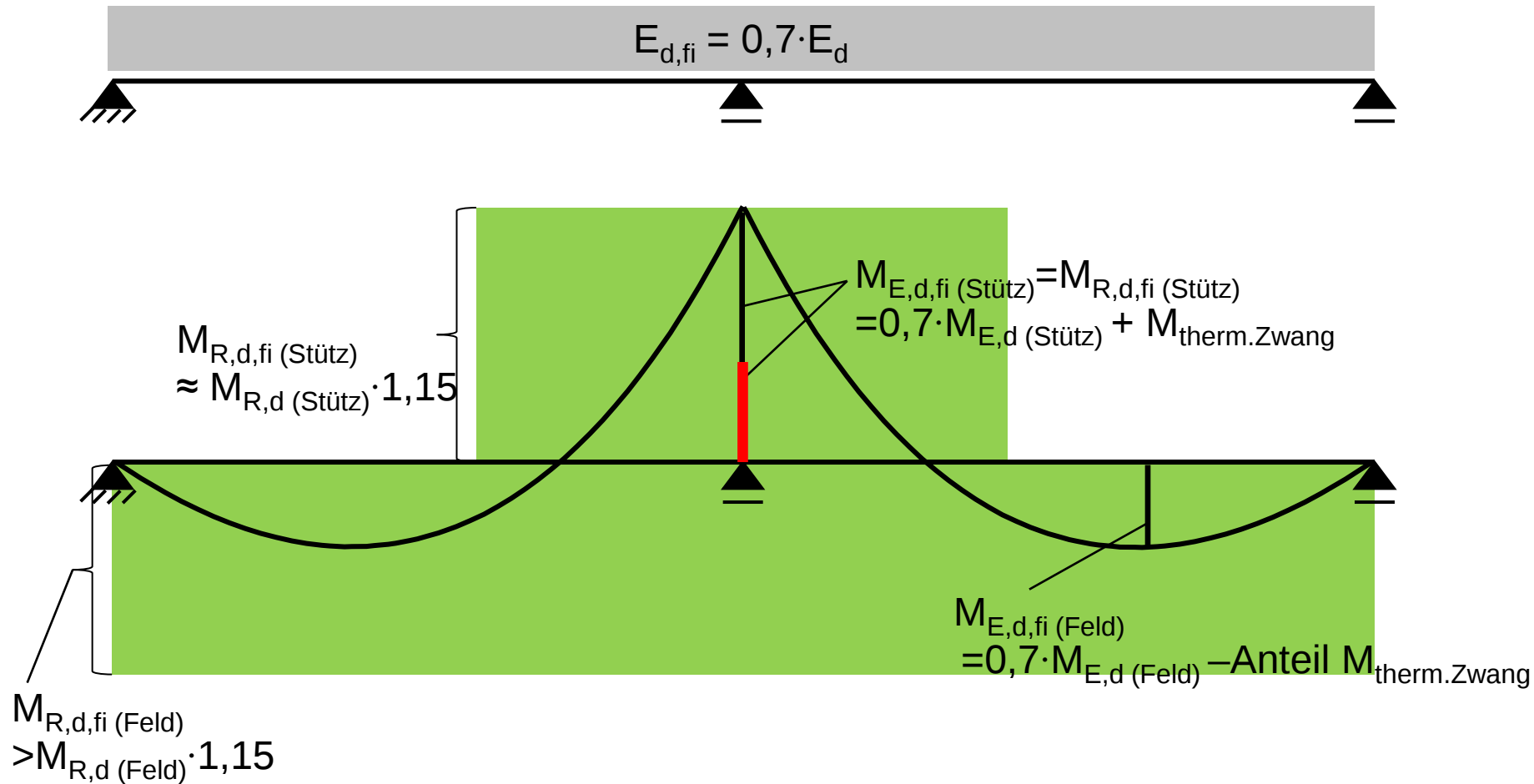
Brandfall: 0. Minute



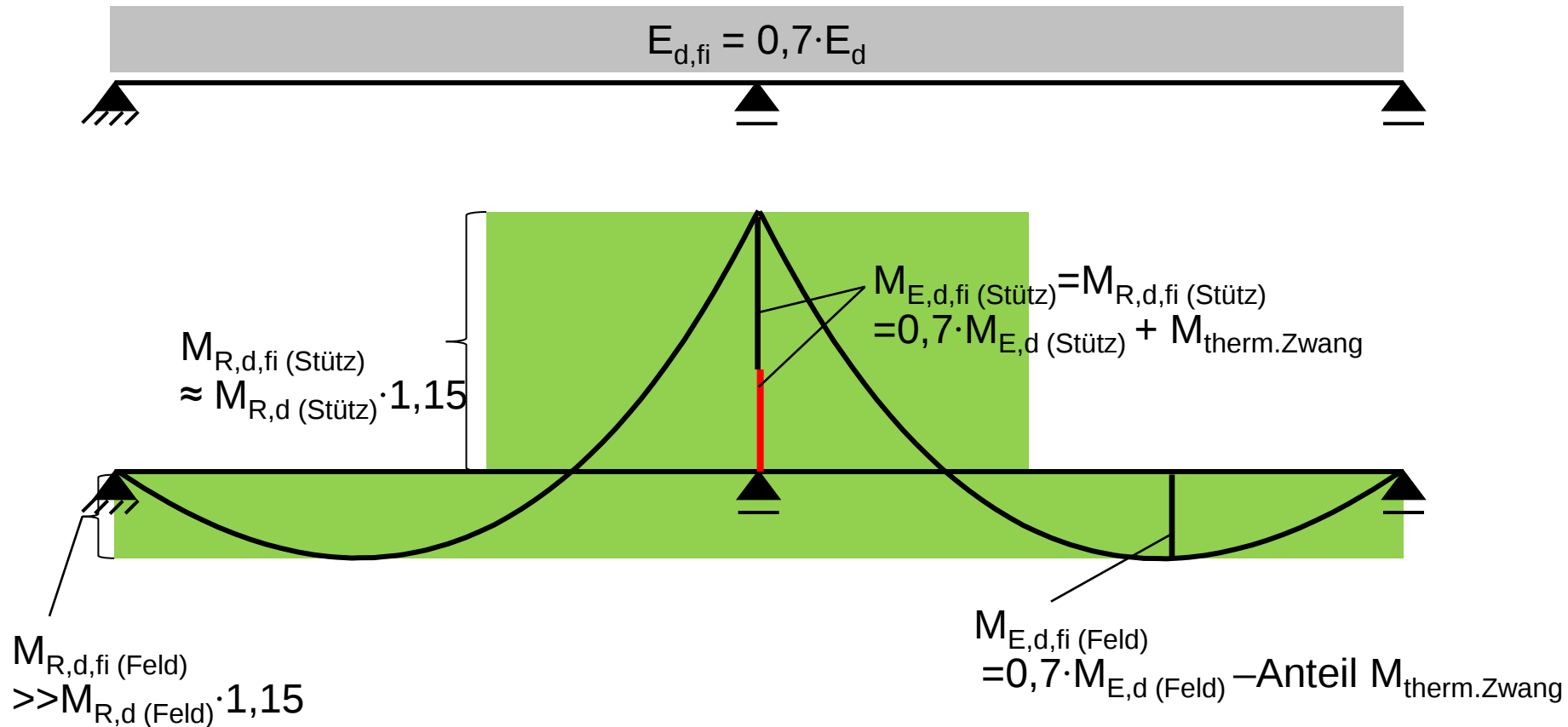
Thermische Zwangsmomente



Momentenverteilung im Brandfall



Brandfall: Versagenszeitpunkt

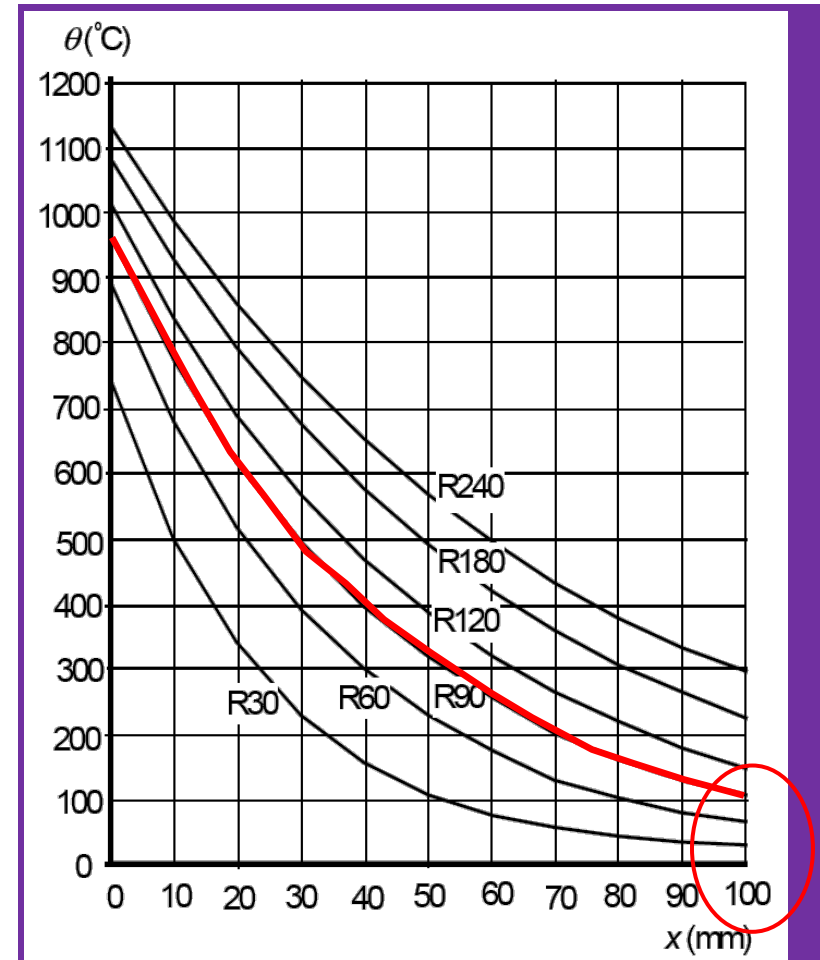
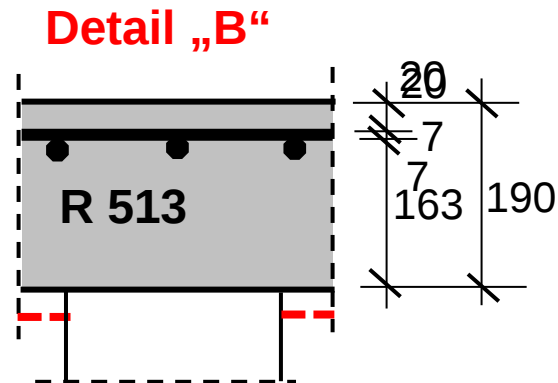


Temperatur der Stützbewehrung

Temperatur in der oberen Bewehrung über dem Auflager

- Abstand der Bewehrung von der brandbeanspruchten Unterseite der Stahlbetondurchlaufplatte

$$x = 190 - 20 - 7,0 / 2 = 166,5 \text{ mm}$$



- $x > 100 \text{ mm} \rightarrow \Theta \leq 350 \text{ °C}$

Bemessungsmoment $M_{R,fi,d,B}$

$$M_{R,fi,d,B} = M_{Ed,B} \cdot \frac{\gamma_s}{\gamma_{s,fi}} \cdot \frac{A_{s,vorh}}{A_{s,erf}} \cdot \frac{d-a}{d}$$

$M_{Ed,B}$ Bemessungsmoment bei Normaltemperatur -31,6 kNm/m

$\gamma_s / \gamma_{s,fi}$ Sicherheitsbeiwerte Stahl (1,15 / 1,0)

$A_{s,vorh}$ Matte R 513 mit $a_s = 5,13 \text{ cm}^2/\text{m}$ } $\frac{5,13}{4,70} = 1,09 < 1,3$
 $A_{s,erf}$ 4,70 cm^2/m

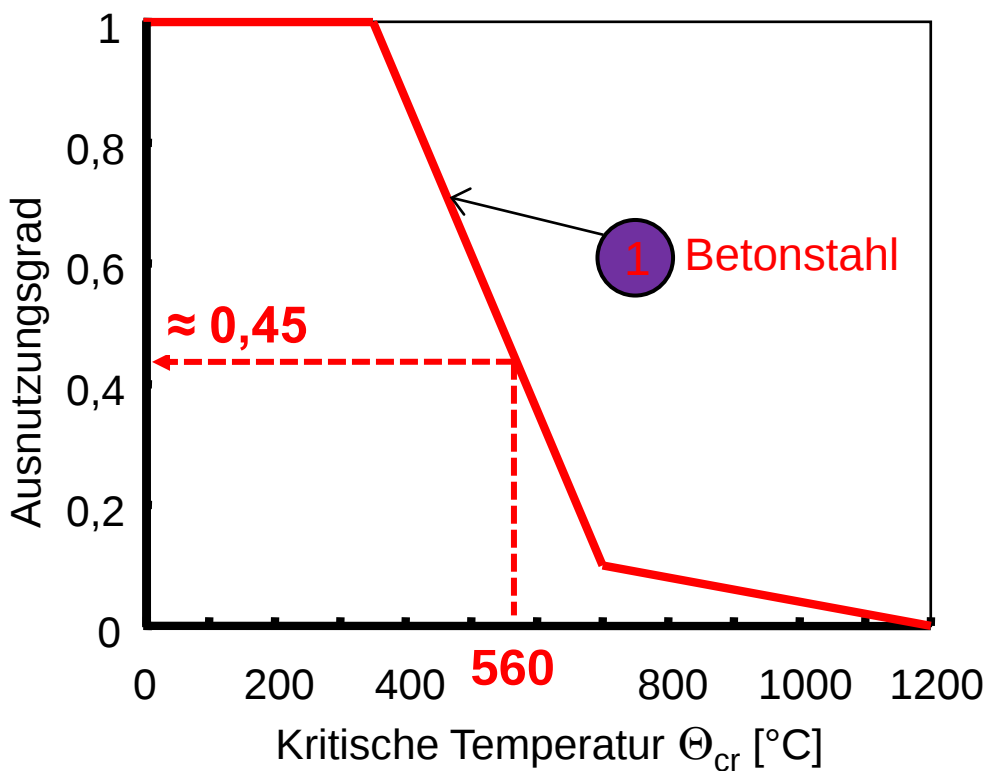
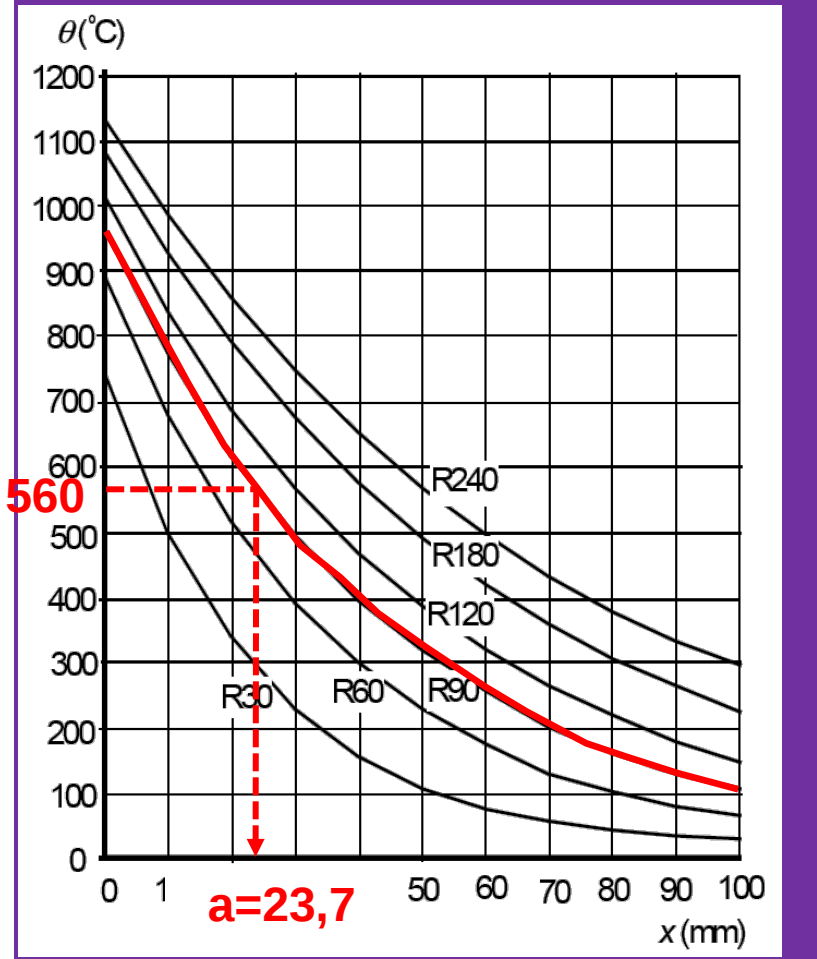
d Nutzhöhe 166,5 mm

a erf. Achsabstand für REI 90: $a = 30 \text{ mm}$

$$M_{R,fi,d,B} = (-31,6) \cdot \frac{1,15}{1,0} \cdot \frac{5,13}{4,70} \cdot \frac{166,5 - 30}{166,5} = -31,5 \text{ kNm/m}$$

Temperatur der Feldbewehrung

$$M_{R,fi,d,F1} = M_{E,d,F1} \cdot \frac{\gamma_s}{\gamma_{s,fi}} \cdot \frac{A_{s,vorh}}{A_{s,erf}} \cdot k_s(\Theta)$$



Aufnehmbares Feldmoment $M_{R,fi,d,F1}$

$$M_{R,fi,d,F1} = M_{E,d,F1} \cdot \frac{\gamma_s}{\gamma_{s,fi}} \cdot \frac{A_{s,vorh}}{A_{s,erf}} \cdot k_s(\Theta)$$

$M_{Ed,F1}$ Bemessungsmoment bei Normaltemperatur -37,0 kNm/m

$\gamma_s / \gamma_{s,fi}$ Sicherheitsbeiwerte Stahl (1,15 / 1,0)

$A_{s,vorh}$ Matte R 589 mit $a_s = 5,89 \text{ cm}^2/\text{m}$

$A_{s,erf}$ 4,56 cm^2/m

$k_s(\Theta) = 0,45$

$$M_{R,fi,d,F1} = 37,0 \cdot \frac{1,15}{1,0} \cdot \frac{5,89}{5,56} \cdot 0,45 = 20,3 \text{ kNm/m}$$

Vorhandenes Feldmoment $M_{E,fi,d,F1}$

$$\begin{aligned}\max M_{E,fi,d,F1} &= M_{R,fi,d,B} \cdot \left(0,5 + \frac{M_{R,fi,d,B}}{2 \cdot q_{E,fi,d} \cdot l^2} \right) + \frac{q_{E,fi,d} \cdot l^2}{8} \\ &= (-31,5) \cdot \left(0,5 + \frac{(-31,5)}{2 \cdot 10,0 \cdot 5,2^2} \right) + \frac{10,0 \cdot 5,2^2}{8} \\ &= 19,9 \text{ kNm/m}\end{aligned}$$

Nachweis:

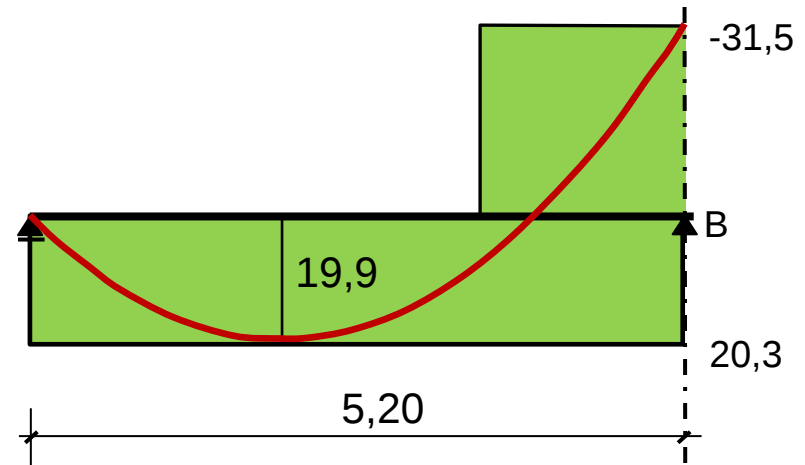
- Stützbereich:

$$M_{R,fi,d,B} = M_{E,fi,d,B} = -31,5 \text{ kNm/m}$$

- Feldbereich:

$$M_{R,fi,d,F1} = 20,3 \text{ kNm/m}$$

$$> \max M_{E,fi,d,F1} = 19,9 \text{ kNm/m}$$



Klassifizierung REI 90

Beispiel 2: Stahl-Stütze Naturbrandverfahren

Flughafen Berlin Brandenburg Willy Brandt (BER)

- Anwendung vereinfachtes Naturbrandmodell

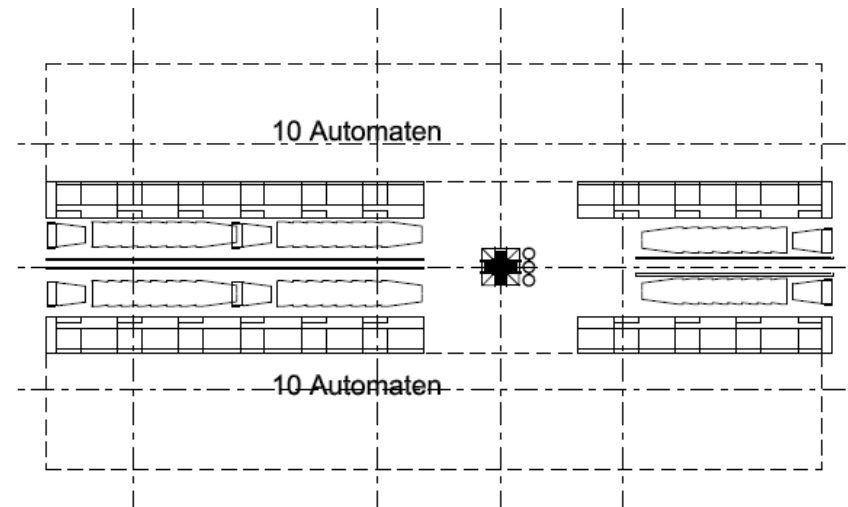
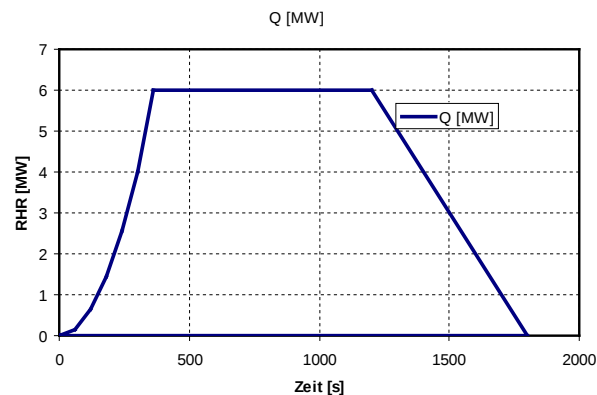


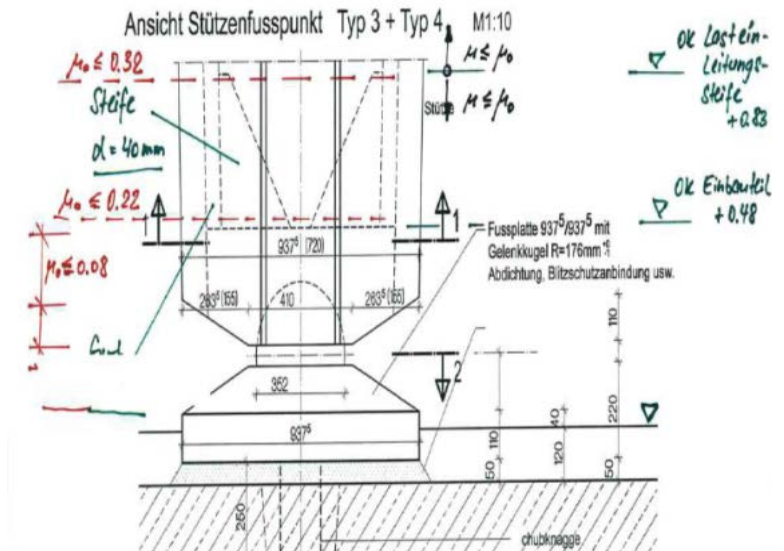
© gmp Architekten, JSK International, Visualisierung: Archimation / Berliner

Beispiel 2: Stahl-Stütze Naturbrandverfahren

Bemessungs-Brandszenario & Bemessungsbrand

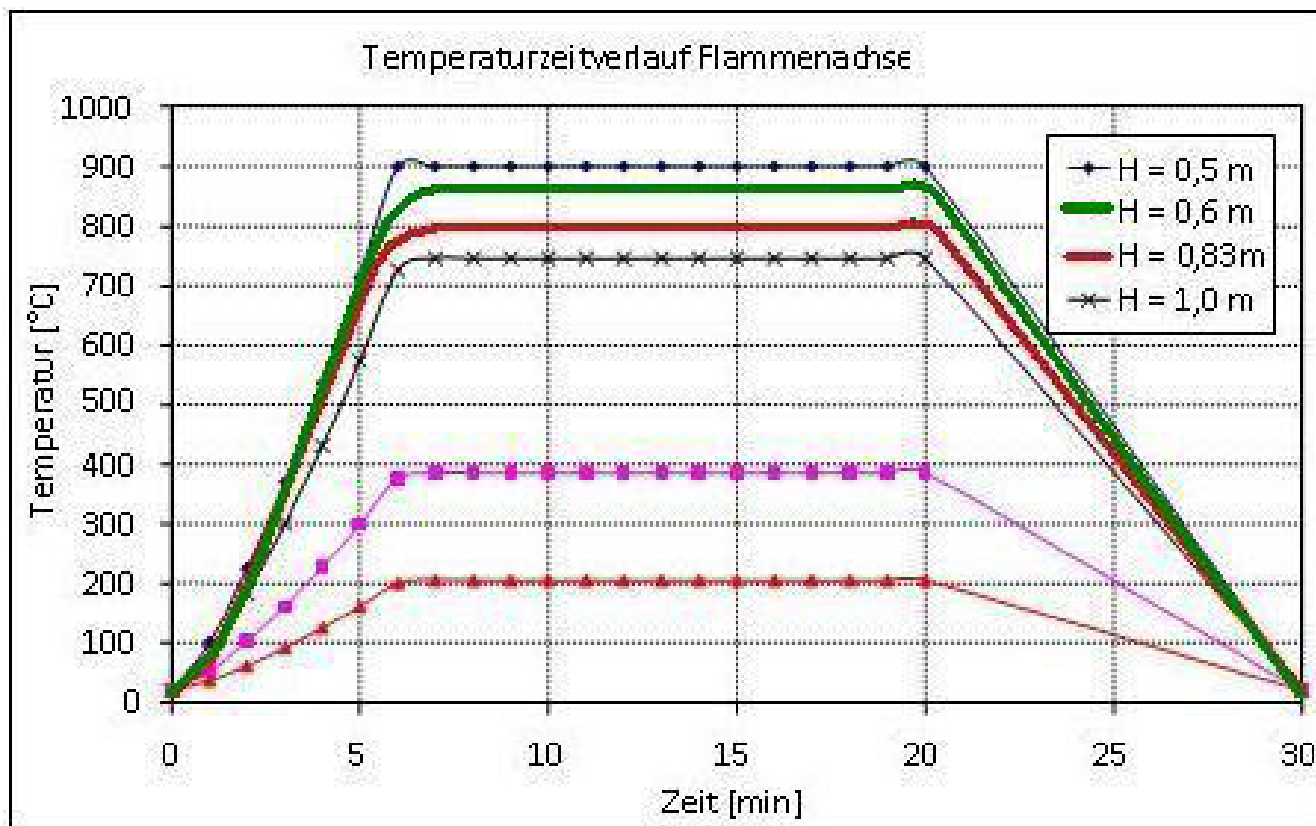
- Brandszenario
 - Ticketschalter
 - Gepäckansammlung
 - abdeckender Bemessungsbrand mit maximal 6 MW
 - Brandfläche 24 m², $RHR_{f,A} = 250 \text{ kW/m}^2$
 - Abklingphase nach 20 Minuten





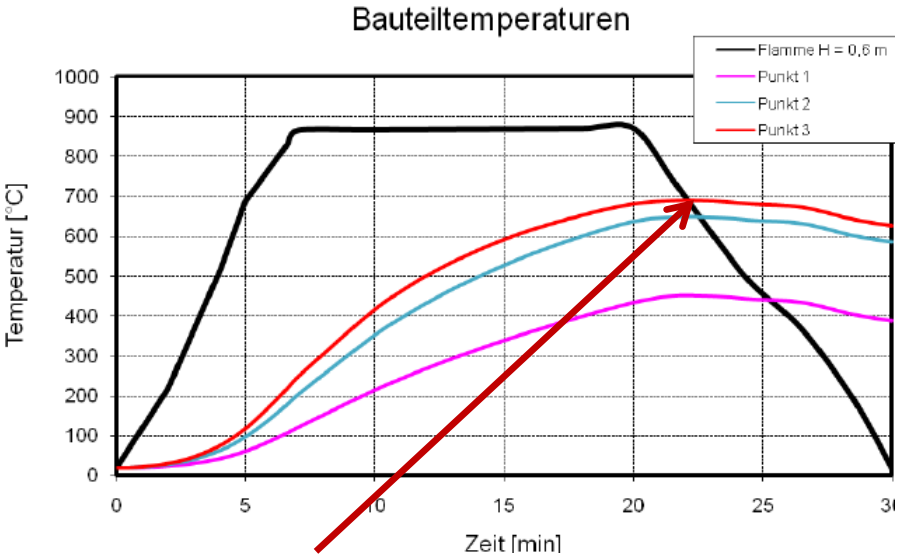
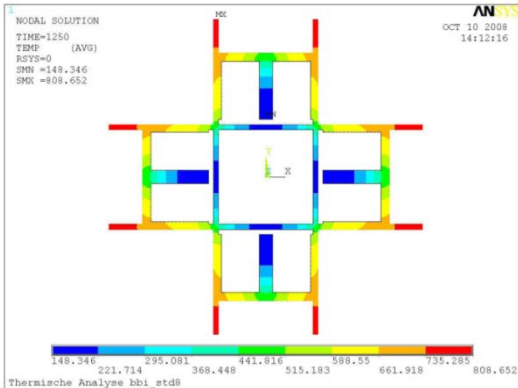
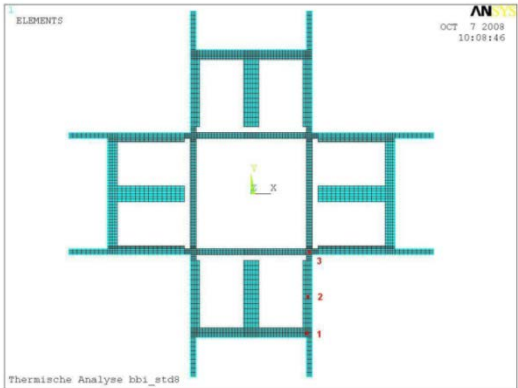
Beispiel 2: Stahl-Stütze Naturbrandverfahren

Temperaturzeitverlauf nach Heskestad (EC 1-1-2 Anhang C)



Beispiel 2: Stahl-Stütze Naturbrandverfahren

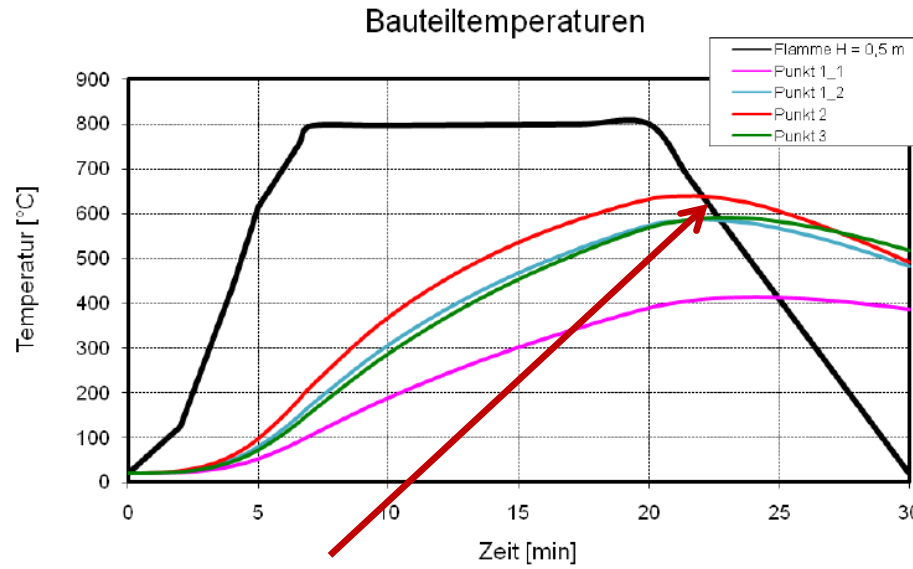
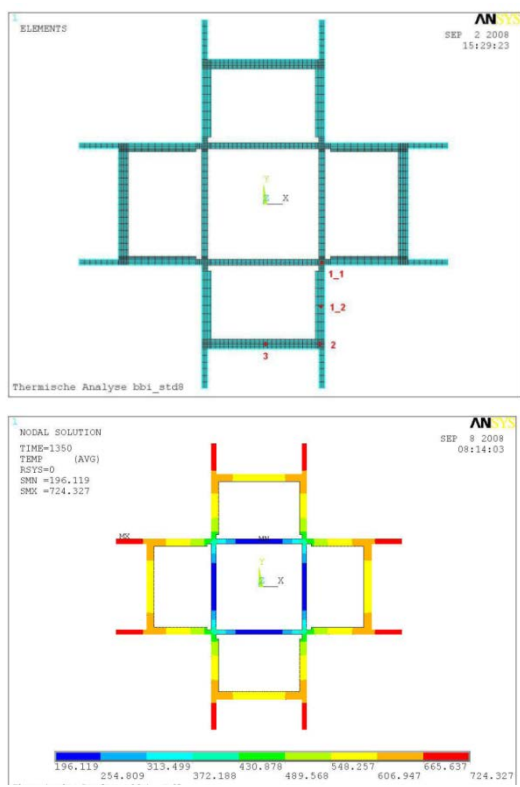
Thermische Analyse Stütze H = 0,60 m



$T_{vorh} = 688^{\circ}\text{C} < 691^{\circ}\text{C} = T_{crit}$

Beispiel 2: Stahl-Stütze Naturbrandverfahren

Thermische Analyse Stütze H = 0,83 m



$T_{vorh} = 639^{\circ}\text{C} < 654^{\circ}\text{C} = T_{crit}$

➤ Zusammenfassung und Fazit

- Eurocodes sind Regelnachweise für die Brandschutzbemessung
- Rechnerische Nachweisverfahren aktivieren ggf. Lastreserven
- Naturbrandverfahren (Stahl, Bestand)
- Komplexe Nachweise erfordern sorgfältige Prüfung
 - Brandeinwirkung/Bemessungsbrand/Brandschutzkonzept
 - Brandschutznachweis des Tragwerks

Praxis-Beispiele zur Heißbemessung mit EC

Univ.-Prof. Dr.-Ing.

Jochen Zehfuß

hhpberlin Ingenieure für Brandschutz

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig

