



Brandverhalten von Stahl und Verbunddeckensystemen

*Numerisch parametrische Untersuchung der Simple Design
Methode*



Inhalt der Präsentation



- **Ziele der parametrischen Studie**
- **Eigenschaften der parametrischen Studie**
- **Finite Elemente Analyse**
- **Validierung des numerischen Modells**
- **Effekt der Kontinuität an der Paneelgrenze**
- **Ergebnisse der parametrischen Studie**
- **Fazit**



Ziele der parametrischen Studie



Ziele

Eigenschaften
parametrische
Studie

Finite Elemente
Analyse

Validierung
numerisches Modell

Effekt der
Grenzbedingungen

Ergebnisse
parametrische
Studie

Fazit

- **Hintergrund**
 - **FRACOF (Test 1)- COSSFIRE (Test 2) in Originalgröße Standardbrand Test**
 - **Exzellentes Brandverhalten des Verbunddeckensystems (Anwesenheit von membraner Zugwirkung)**
 - **Max θ von Stahl ≈ 1000 °C, Branddauer > 120 min**
 - **Französische Konstruktionsdetails**
 - **Verbiegung ≈ 450 mm**
 - **FICEB (Test 3) in Originalgröße natürlicher Brandtest mit Cellformträger**
- **Ziel**
 - **Bestätigung der Simple Design Methode in ihrem gesamten Anwendungsbereich (unter Verwendung von komplexen Berechnungsmodellen)**
 - **Durchbiegungsgrenze der Decke**
 - **Dehnung des Bewehrungsstahls**



Eigenschaften der parametrische Studie (1/3)



Ziele

Eigenschaften parametrische Studie

Finite Elemente Analyse

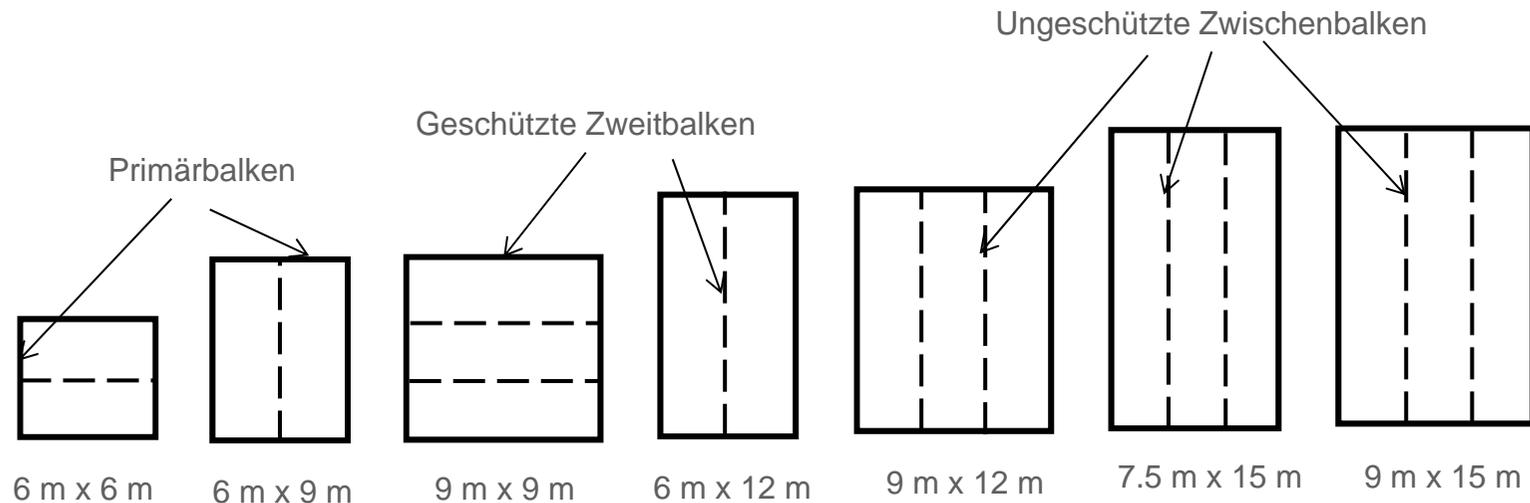
Validierung numerisches Modell

Effekt der Grenzbedingungen

Ergebnisse parametrische Studie

Fazit

- **Rastermaß der Decke**



- **Lastzustände**

EC0 zufolge, Lastkombinationen in Brandsituation für Bürogebäude:

G (Eigenlast) + 0.5 Q (Nutzlast)

G= Eigengewicht+ 1.25 kN/m²

Q= 2.5 & 5 kN/m²



Eigenschaften der parametrische Studie (2/3)



Ziele

Eigenschaften parametrische Studie

Finite Elemente Analyse

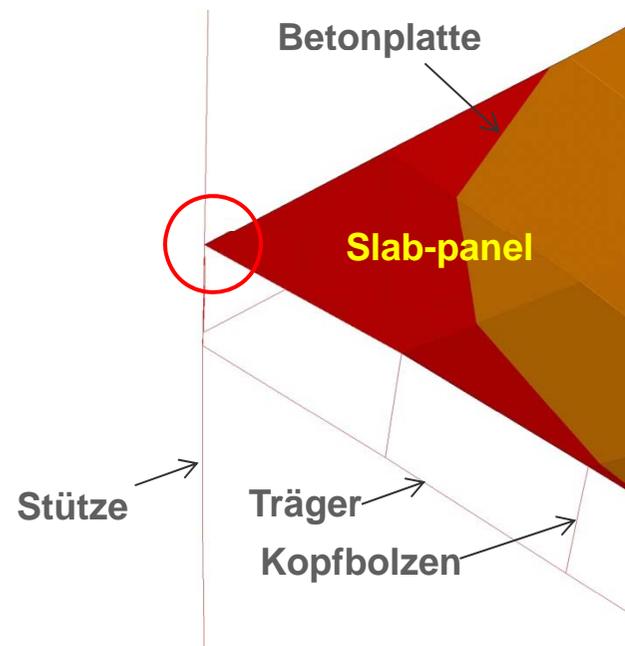
Validierung numerisches Modell

Effekt der Grenzbedingungen

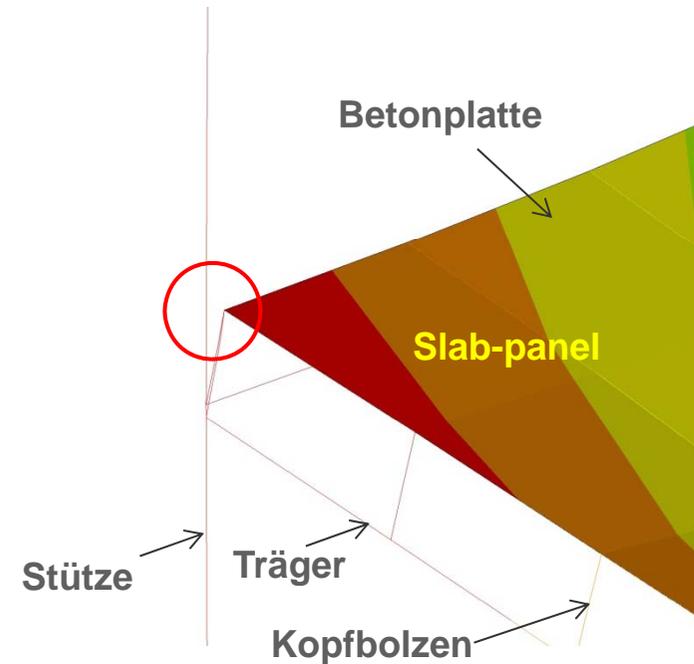
Ergebnisse parametrische Studie

Fazit

• Verknüpfungsbedingung zwischen Decken und Stahlstützen



Mit mechanischer Verknüpfung zwischen Platte und Stützen



Ohne mechanische Verknüpfung zwischen Platte und Stützen



Eigenschaften der parametrische Studie (3/3)



Ziele

Eigenschaften parametrische Studie

Finite Elemente Analyse

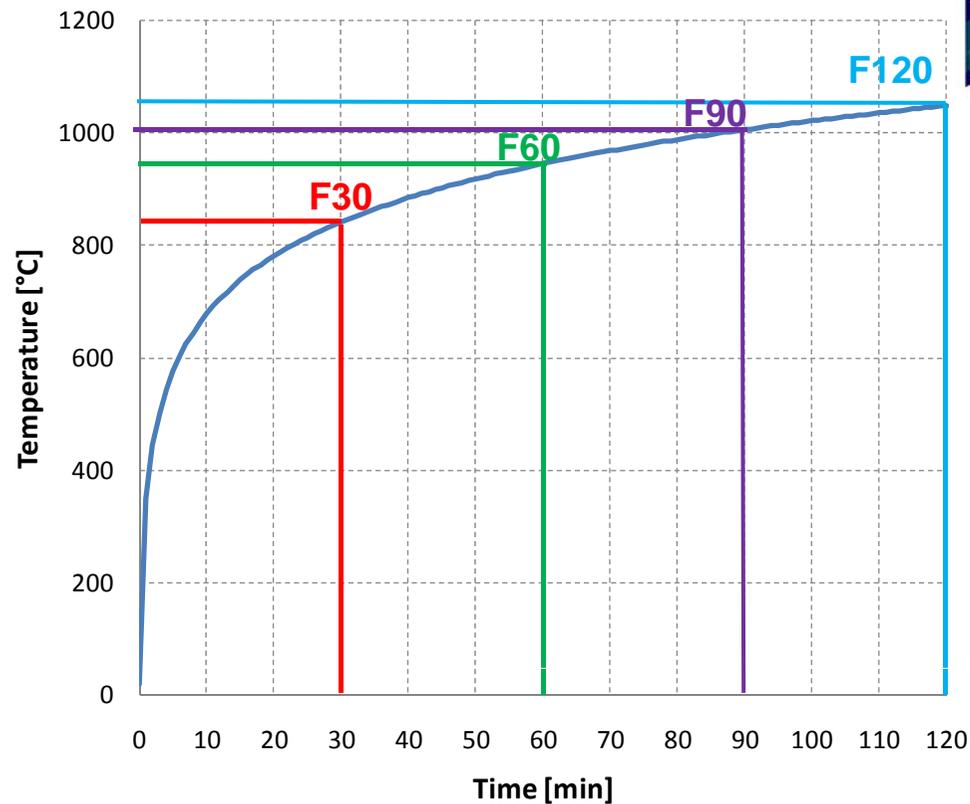
Validierung numerisches Modell

Effekt der Grenzbedingungen

Ergebnisse parametrische Studie

Fazit

- **Feuerwiderstand: F30, F60, F90 and F120**



Erhitzung von Randträgern (Max. 550 °C)



Finite Elemente Modell



Ziele

Eigenschaften
parametrische
Studie

**Finite Elemente
Analyse**

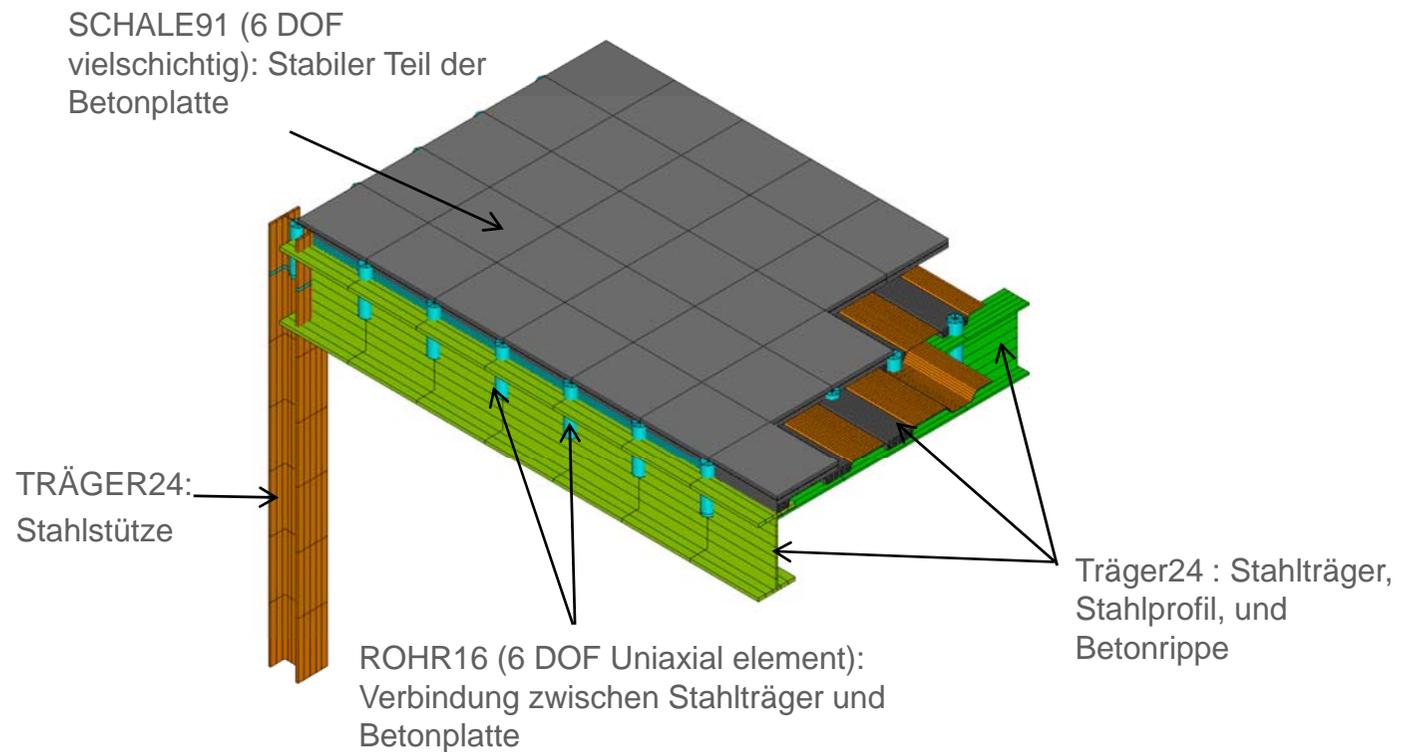
Validierung
numerisches Modell

Effekt der
Grenzbedingungen

Ergebnisse
parametrische
Studie

Fazit

- **Hybrides Modell basierend auf mehreren Typen von finiten Elementen mit dem Computer Code ANSYS**





Finite Elemente Modell



Ziele

Eigenschaften
parametrische
Studie

Finite Elemente
Analyse

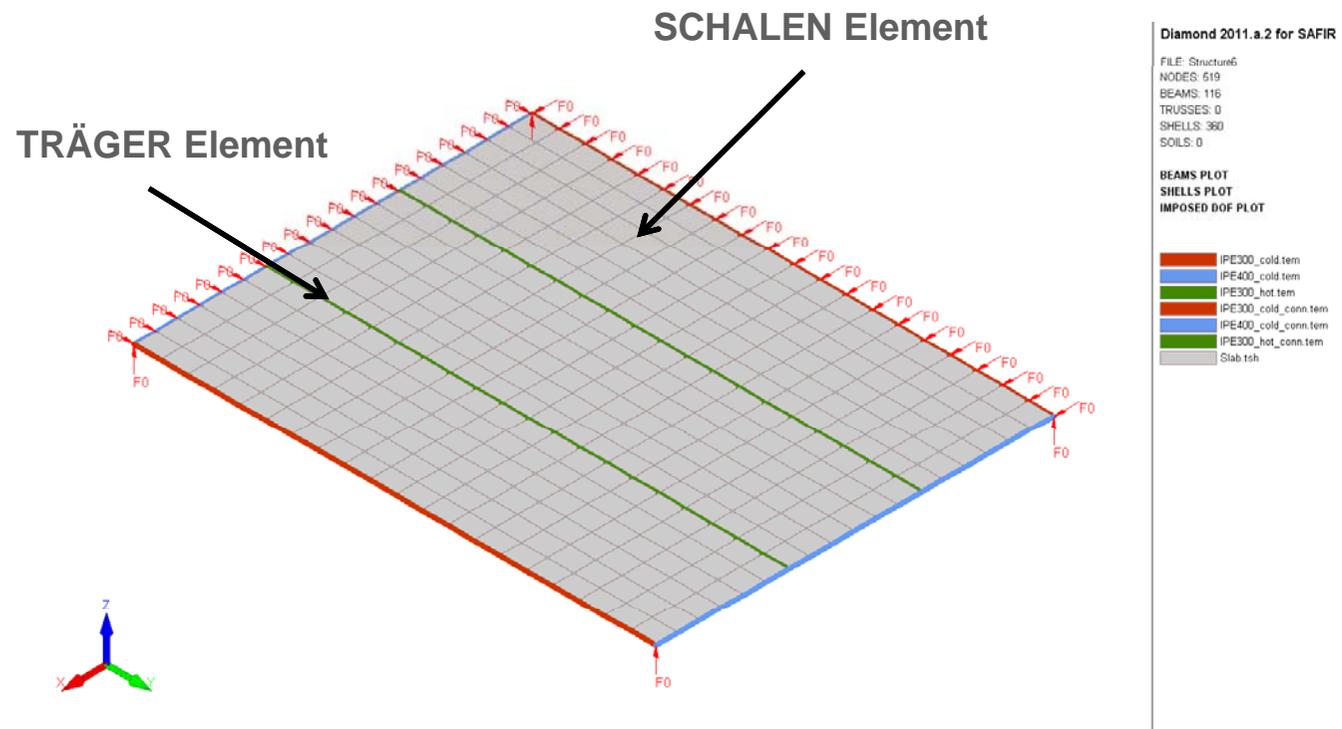
Validierung
numerisches Modell

Effekt der
Grenzbedingungen

Ergebnisse
parametrische
Studie

Fazit

- **Hybrides Modell basierend auf mehreren Typen von finiten Elementen mit dem Computer Code SAFIR**





Slab panel Eigenschaften



Ziele

Eigenschaften
parametrische
Studie

Finite Elemente
Analyse

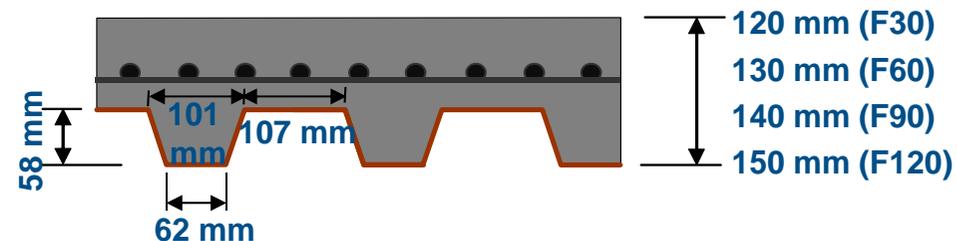
Validierung
numerisches Modell

Effekt der
Grenzbedingungen

Ergebnisse
parametrische
Studie

Fazit

- **S235 Träger**
- **COFRAPLUS60 Stahltrapezprofil (0.75 mm thick)**
- **Normalgewicht Beton C30/37**
- **S500 Bewehrungsmatte**
- **Durchschnittliche Mattenposition (von der oberen Oberfläche)
= 45 mm**





Ziele

Eigenschaften
parametrische
Studie

Finite Elemente
Analyse

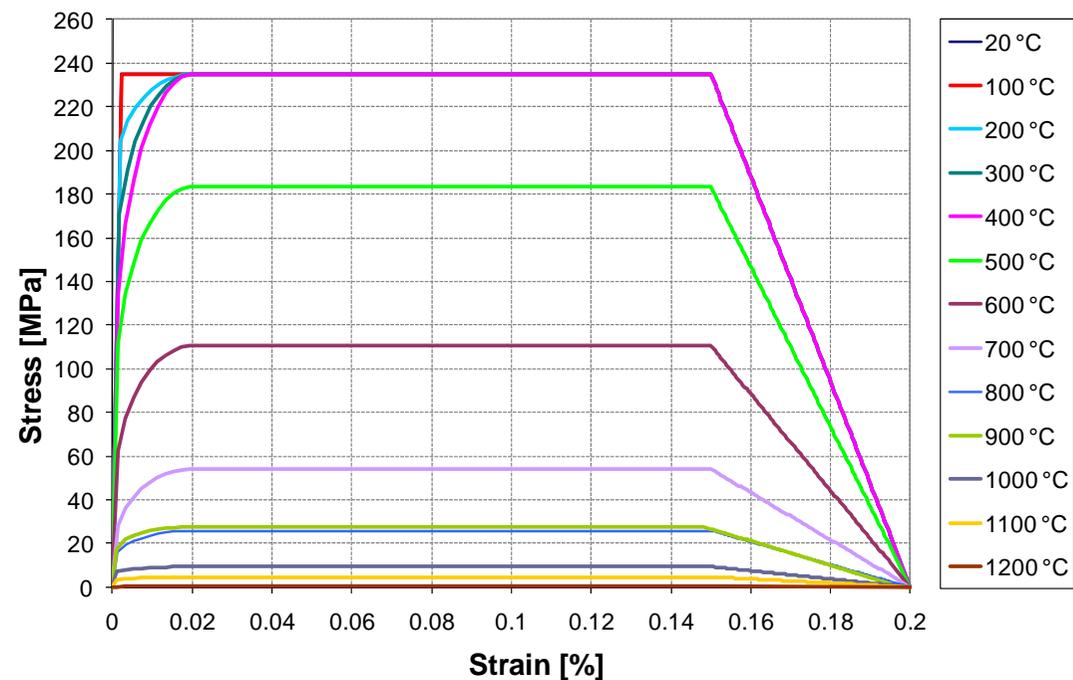
Validierung
numerisches Modell

Effekt der
Grenzbedingungen

Ergebnisse
parametrische
Studie

Fazit

- **Stahl thermo-mechanische Eigenschaften:**
 - Thermische Eigenschaften aus EC4-1.2
 - Masseneinheit Temperaturunabhängig ($\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$)
 - Spannungs-Dehnungs-Verhältnis:





Ziele

Eigenschaften
parametrische
Studie

Finite Elemente
Analyse

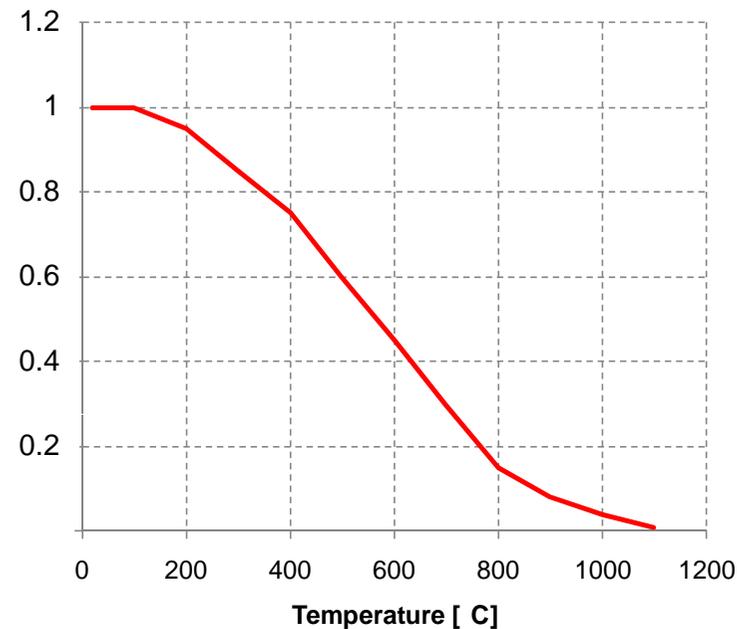
Validierung
numerisches Modell

Effekt der
Grenzbedingungen

Ergebnisse
parametrische
Studie

Fazit

- **Beton thermo-mechanische Eigenschaften:**
 - Thermische Eigenschaften von EC4-1.2
 - Einheitsmasse als eine Funktion von Temperatur nach EC4-1.2
 - Drucker-Prager yield criterion
 - Zusammenpressende Reduktionsfaktoren von EC4-1.2:





Validierung des ANSYS numerischen Modells vs Test 1 (1/2)



Ziele

Eigenschaften parametrische Studie

Studie

Finite Elemente Analyse

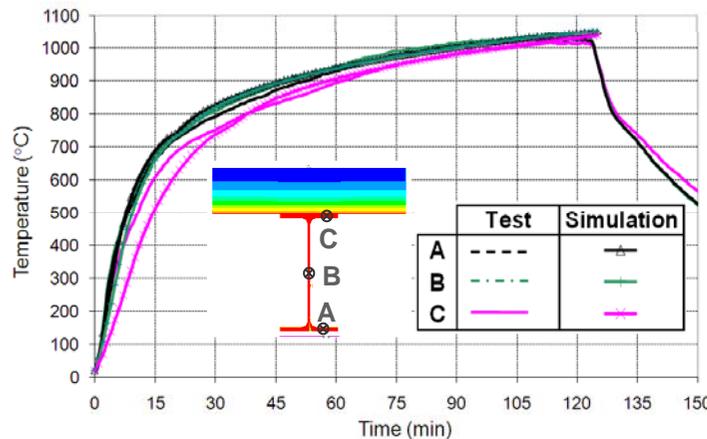
Validierung numerisches Modell

Effekt der Grenzbedingungen

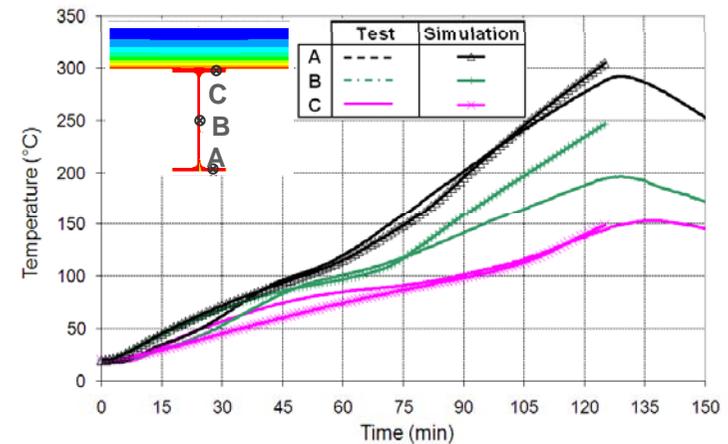
Ergebnisse parametrische Studie

Fazit

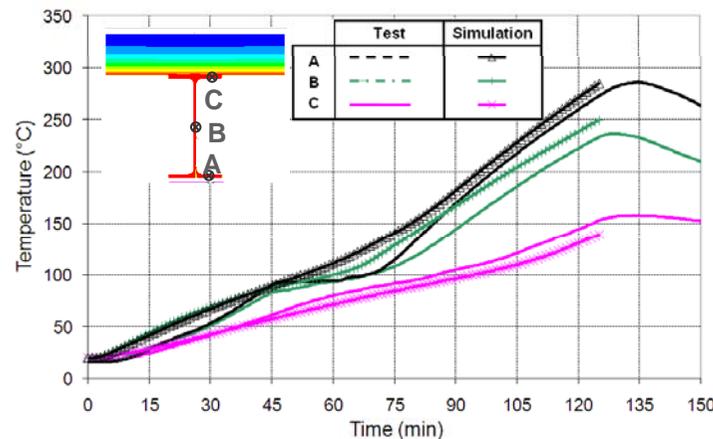
• Vergleich mit Brandtest (Hitze-Transfer Analyse)



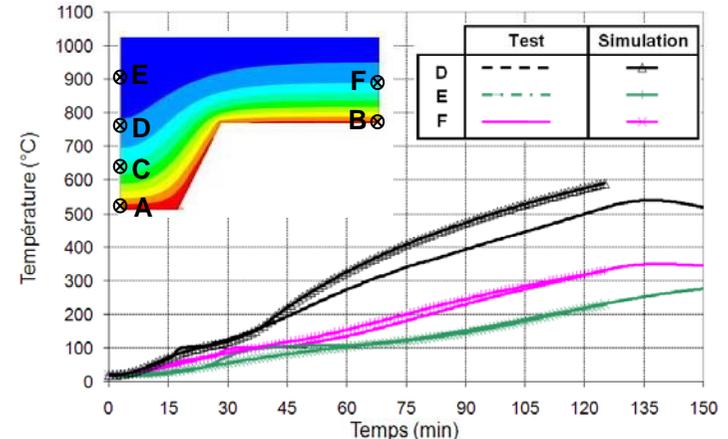
Ungeschützte Stahlträger



Geschützte Zweitträger



Geschützte Hauptträger



Verbundplatte



Validierung des ANSYS numerischen Modells vs Test 1 (2/2)



Ziele

Eigenschaften parametrische

Studie

Finite Elemente

Analyse

Validierung

numerisches

Modell

Effekt der

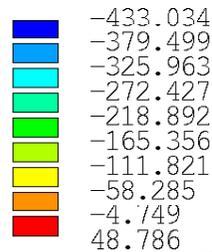
Grenzbedingungen

Ergebnisse

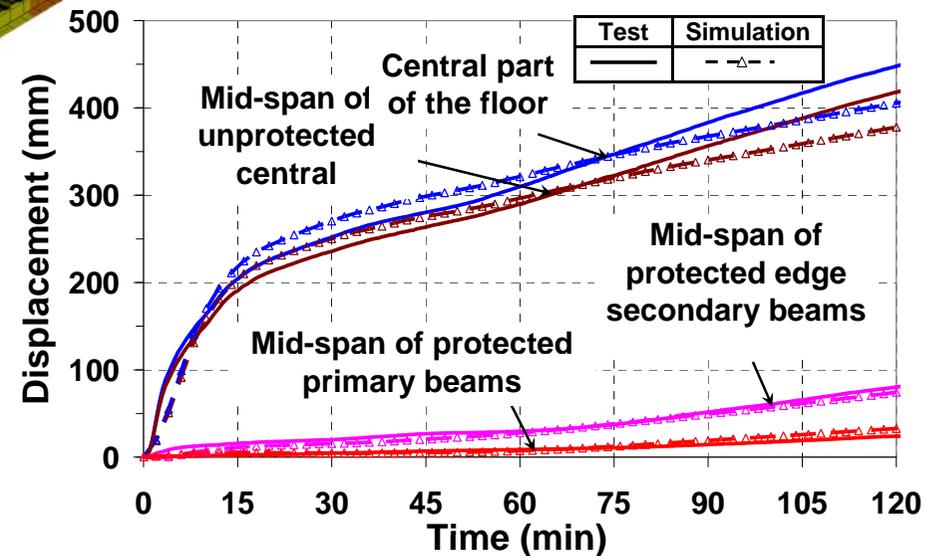
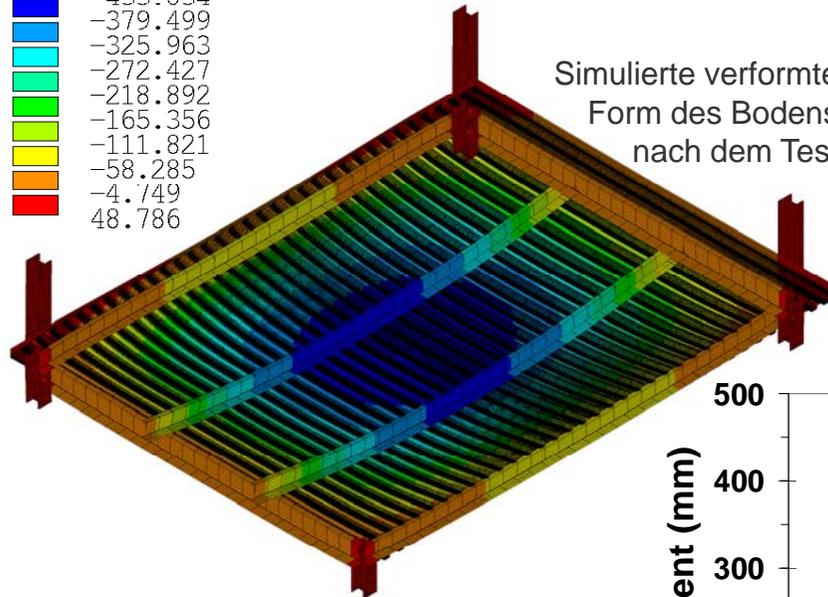
parametrische Studie

Fazit

Vergleich mit Brandtest (Biegung)



Simulierte verformte Form des Bodens nach dem Test



Vergleich der Biegung (Platte und Träger)



Validierung des SAFIR numerischen Modells vs Test 1 (1/2)



Ziele

Eigenschaften
parametrische

Studie

Finite Elemente
Analyse

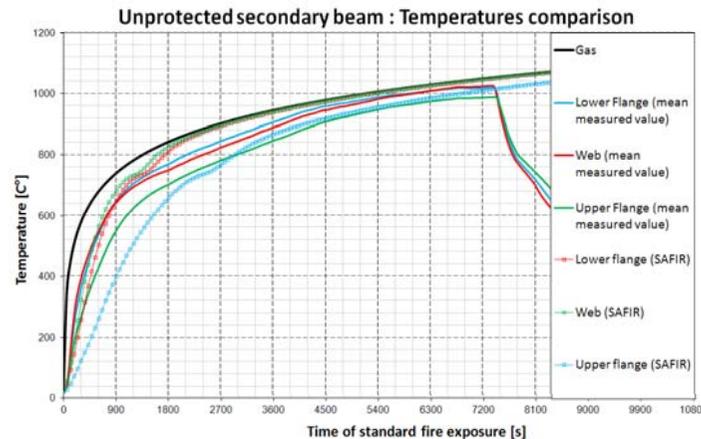
Validierung
numerisches
Modell

Effekt der
Grenzbedingungen

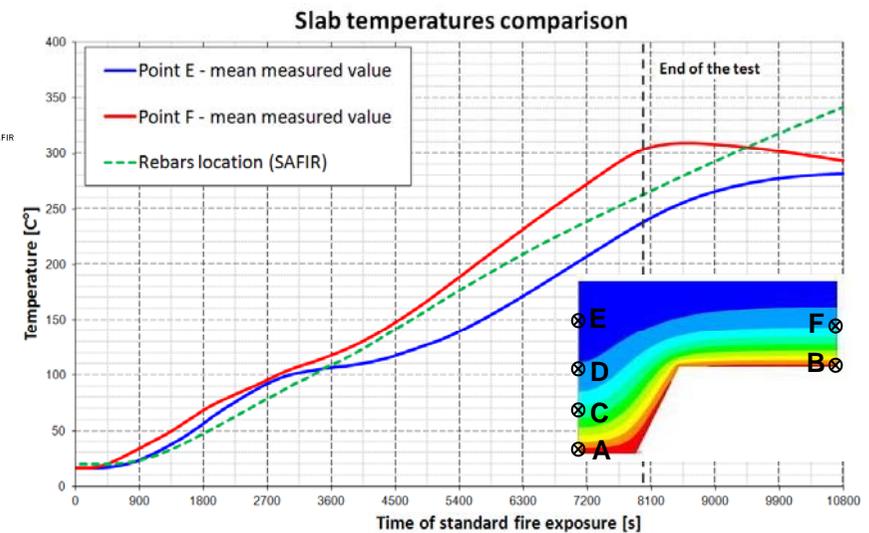
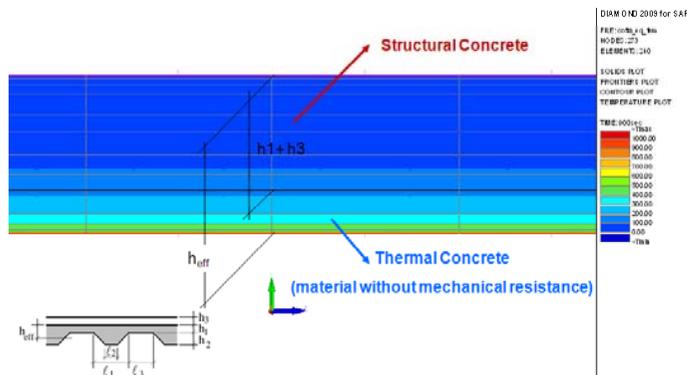
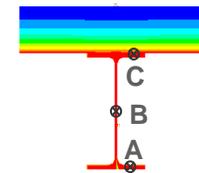
Ergebnisse
parametrische Studie

Fazit

• Vergleich mit Feuertest (Hitze-Transfer Analyse)



Ungeschützte Stahlträger



Verbundplatte



Validierung des ANSYS numerischen Modells vs Test 1 (2/2)



Ziele

Eigenschaften parametrische Studie

Finite Elemente Analyse

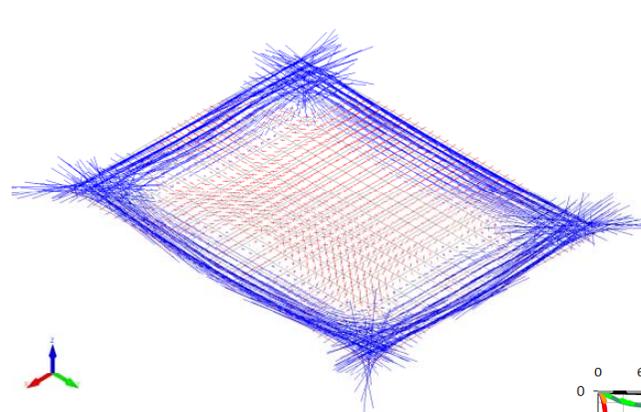
Validierung numerisches Modell

Effekt der Grenzbedingungen

Ergebnisse parametrische Studie

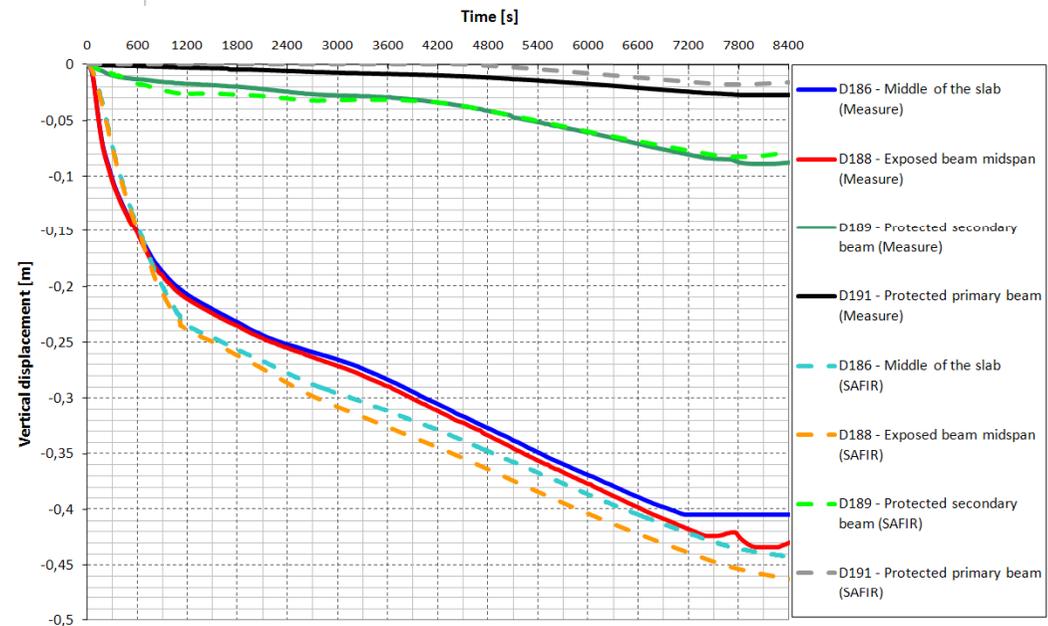
Fazit

• Vergleich mit Brandtest (Biegung)



Diamond 2011.a.2 for SAFIR
FILE: Brucorv01
MODEL: 559
BEAMS: 116
TRUSSES: 0
SHELLS: 360
SOLES: 0
BEAMS PLOT
SHELLS PLOT
N1 N2 MEMBRANE FORCE PLOT
TIME: 1010109 sec
Legend: Membrane Force (Blue), Membrane Force (Red)

Simulierte Spannungen in der Platte am Ende des Tests



Vergleich der Biegung (Platte und Träger)



Validierung des SAFIR numerischen Modells vs Test 2 (1/2)



Ziele

Eigenschaften parametrische Studie

Finite Elemente Analyse

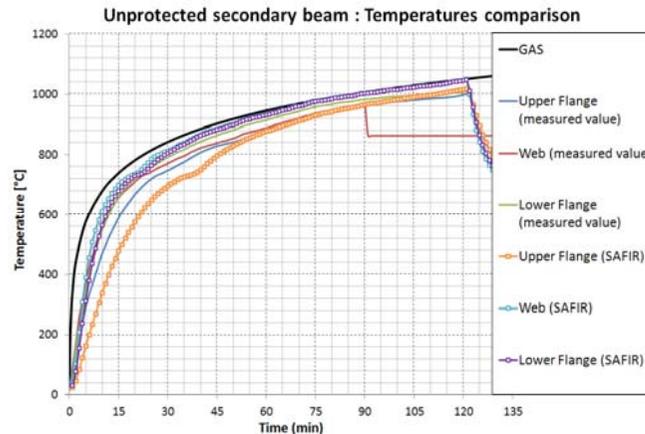
Validierung numerisches Modell

Effekt der Grenzbedingungen

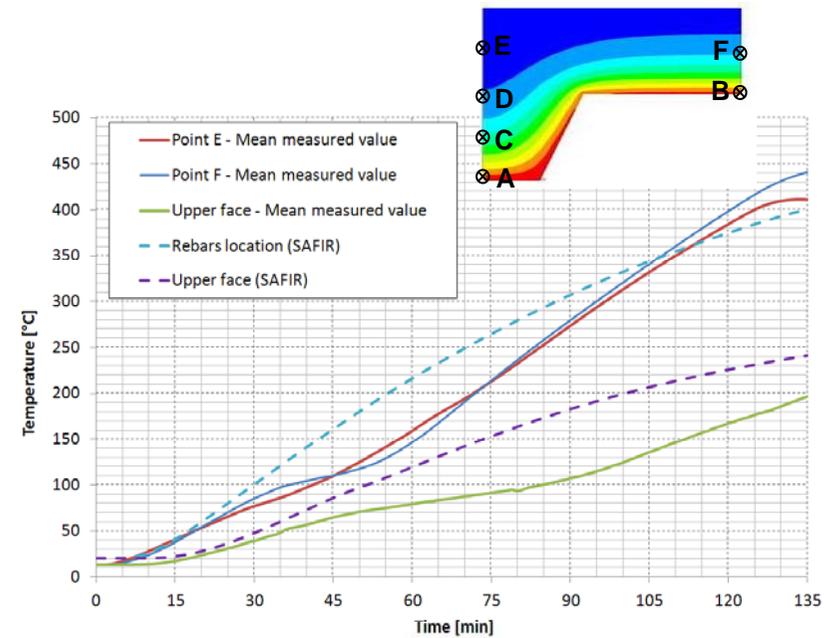
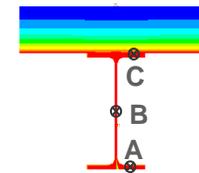
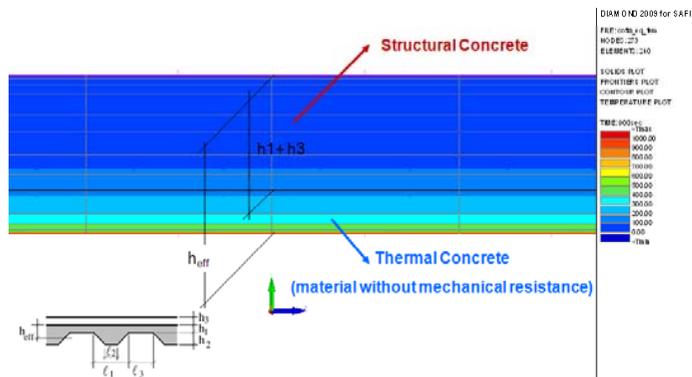
Ergebnisse parametrische Studie

Fazit

• Vergleich mit Brandtest (Hitze-Transfer Analyse)



Ungeschützte Stahlträger



Verbundplatte



Validierung des ANSYS numerischen Modells vs Test 2 (2/2)



Ziele

Eigenschaften parametrische Studie

Finite Elemente Analyse

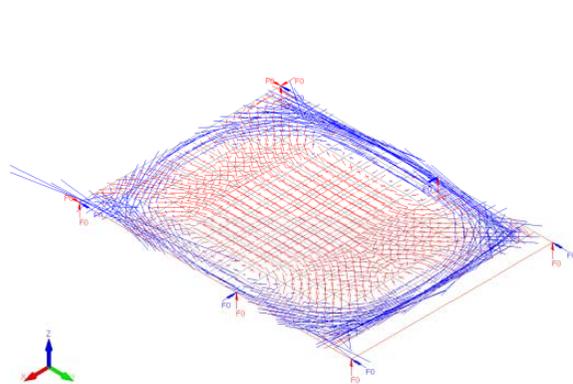
Validierung numerisches Modell

Effekt der Grenzbedingungen

Ergebnisse parametrische Studie

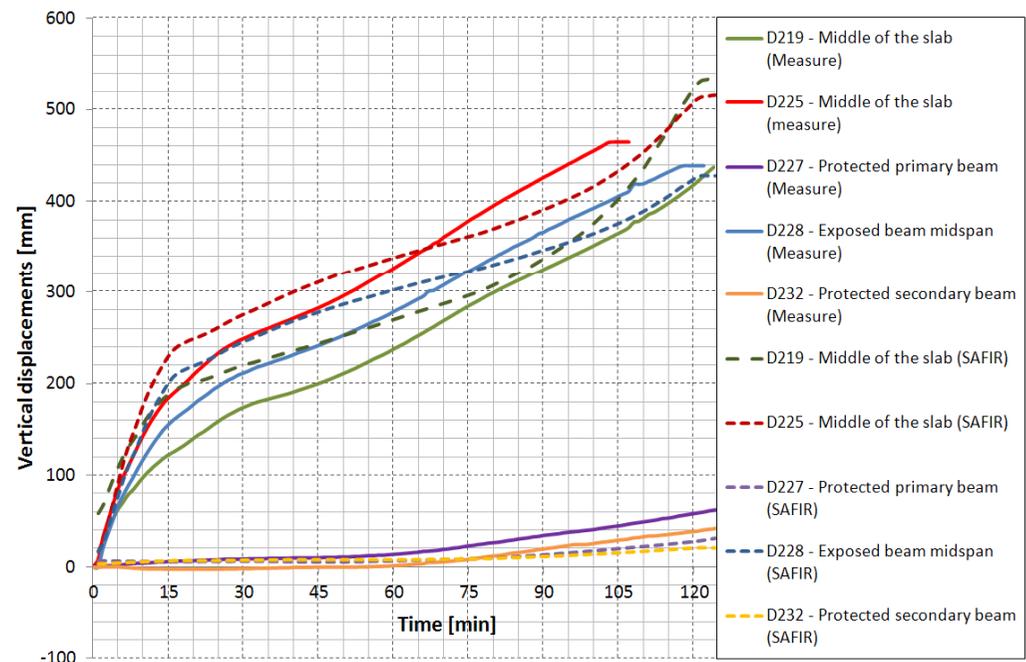
Fazit

• Vergleich mit Brandtest (Biegung)



Diamond 2011.a.2 for SAFIR
FILE: C:\saffir2
NODES: 357
BEAMS: 99
TRUSSES: 0
SHELLS: 208
SOLES: 0
BEAMS PLOT
SHELLS PLOT
IMPOSED DOF PLOT
M1-M2 MEMBRANE FORCE PLOT
TIME: 3627.5 sec
Legend: Membrane Force (Blue), Membrane Force (Red)

Simulierte Spannungen in der Platte am Ende des Tests



Vergleich der Biegung (Platte und Träger)



Validierung des SAFIR numerischen Modells vs Test 3 (1/3)



Ziele

Eigenschaften
parametrische

Studie

Finite Elemente
Analyse

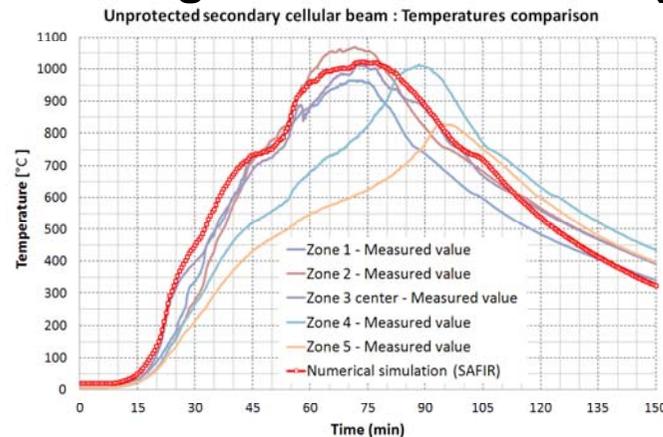
**Validierung
numerisches
Modell**

Effekt der
Grenzbedingungen

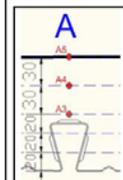
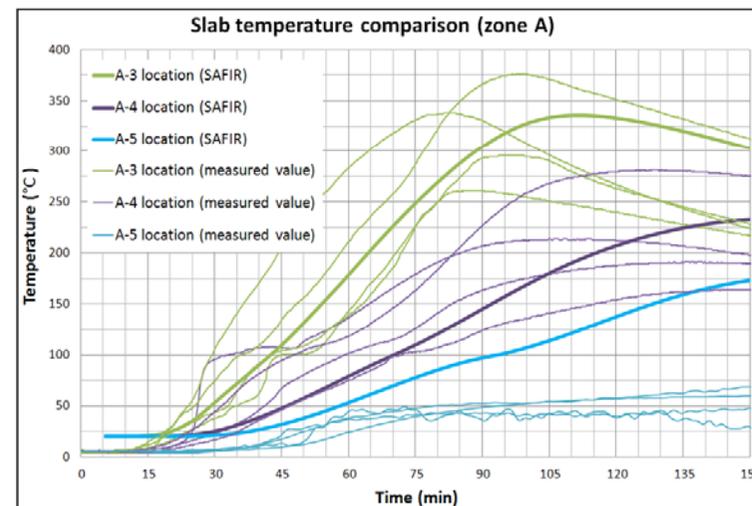
Ergebnisse
parametrische Studie

Fazit

• Vergleich mit Brandtest (Hitze-Transfer Analyse)



Ungeschützte Stahlträger



Verbundplatte



Validierung des SAFIR numerischen Modells vs Test 3 (2/3)



Ziele

Eigenschaften
parametrische

Studie

Finite Elemente
Analyse

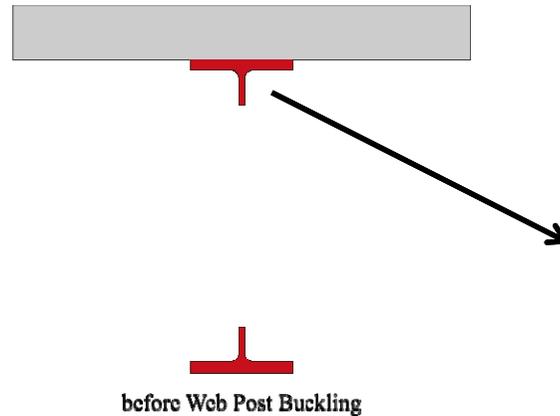
**Validierung
numerisches
Modell**

Effekt der
Grenzbedingungen

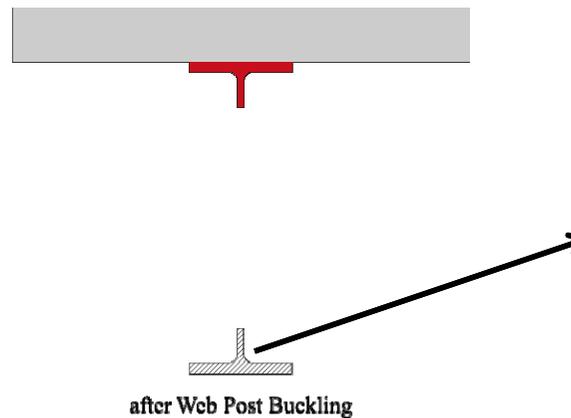
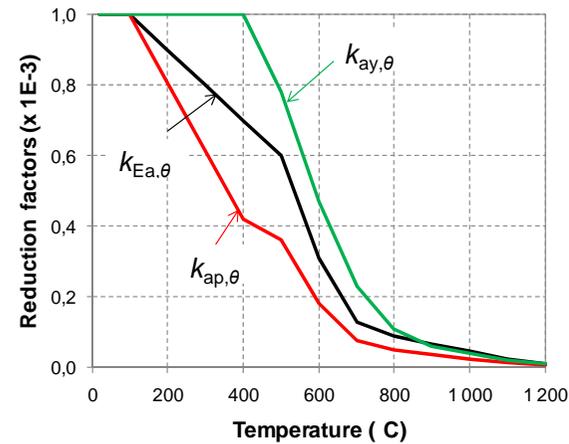
Ergebnisse
parametrische Studie

Fazit

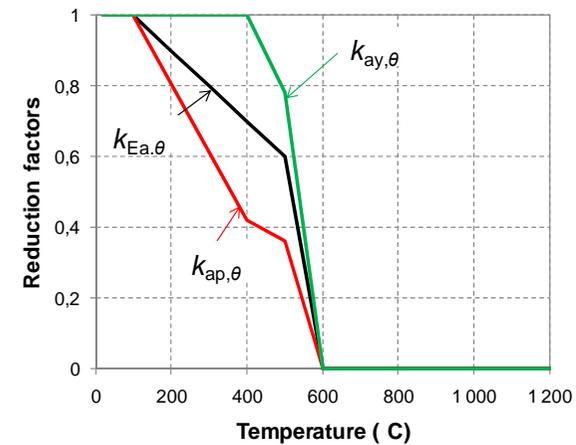
- **Hybrides Modell einbeziehen des WPB mit BEAM Element**



before Web Post Buckling



after Web Post Buckling





Validierung des ANSYS numerischen Modells vs Test 3 (3/3)



Ziele

Eigenschaften
parametrische

Studie

Finite Elemente
Analyse

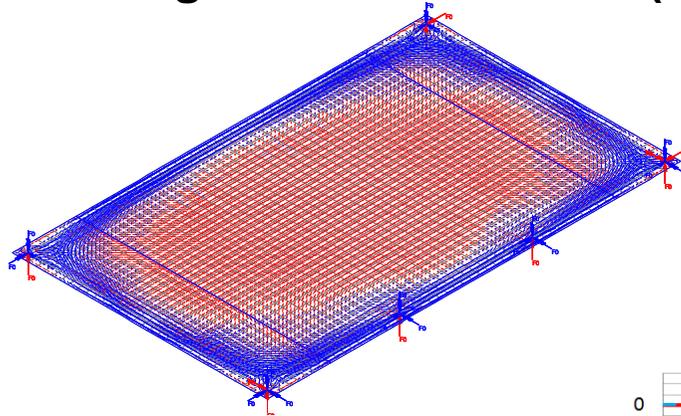
**Validierung
numerisches
Modell**

Effekt der
Grenzbedingungen

Ergebnisse
parametrische Studie

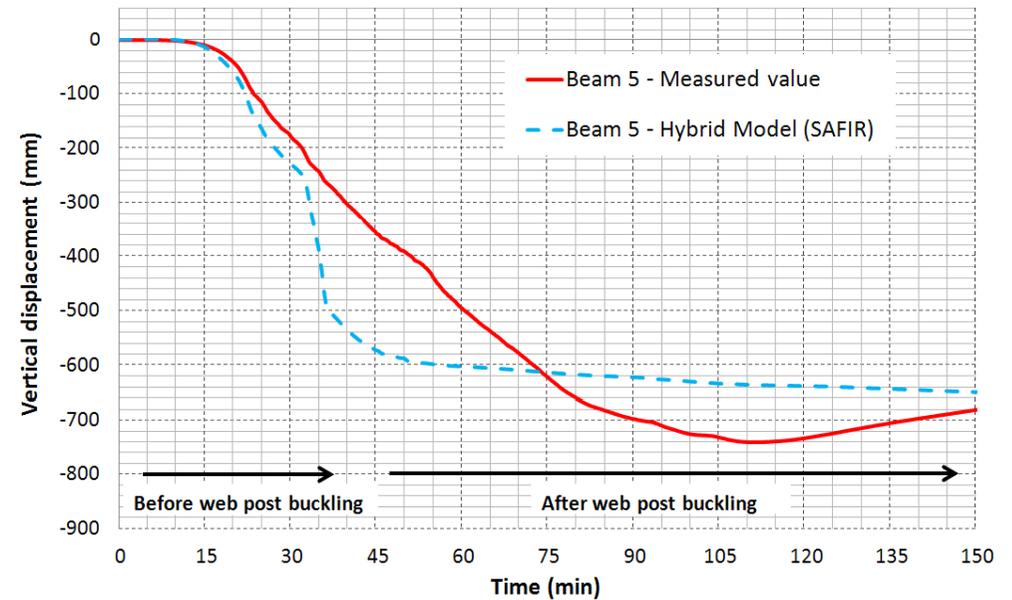
Fazit

- **Vergleich mit Brandtest (Biegung)**



Simulierte Spannungen in der
Platte am Ende des Tests

Central vertical deflection of unprotected secondary beam



Vergleich der Biegung (Platte und Träger)



Effekt der Grenzbedingungen



Ziele

Eigenschaften

parametrische

Studie

Finite Elemente

Analyse

Validierung

numerisches Modell

Effekt der

Grenzbedingungen

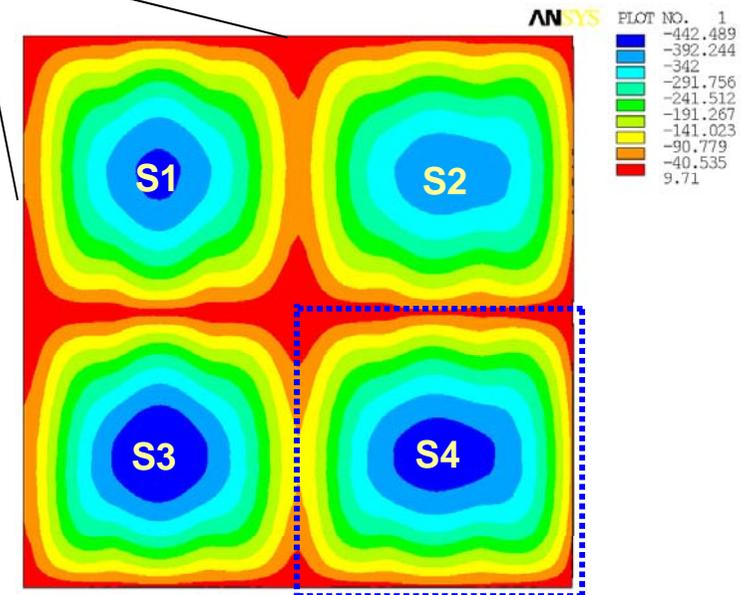
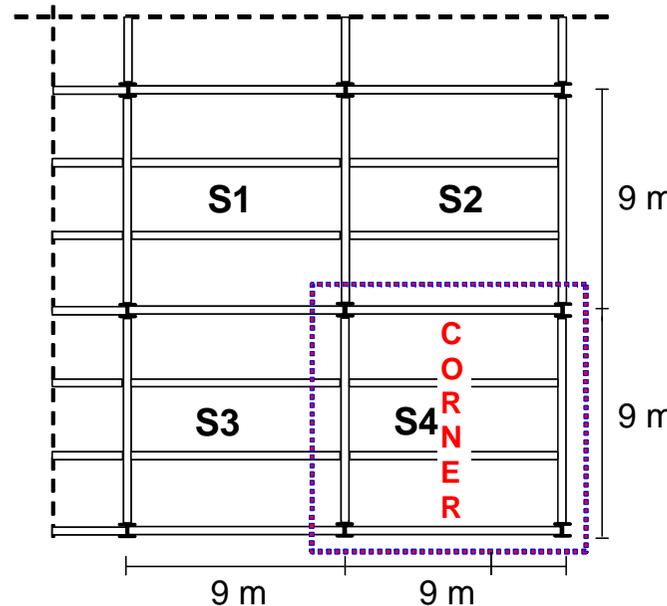
Ergebnisse

parametrische

Studie

Fazit

Einschränkungsbedingungen



Strukturennetz eines realen Gebäudes

ANSYS Modell

• Fazit

- Wichtiger vorausgesagte Biegung des Eckgitters mit 2 Rundumkanten als in den anderen 3 Gittern mit 3 oder 4 Rundumkanten.



Ergebnisse der parametrischen Studie (1/4)



Ziele

Eigenschaften
parametrische
Studie

Finite Elemente
Analyse

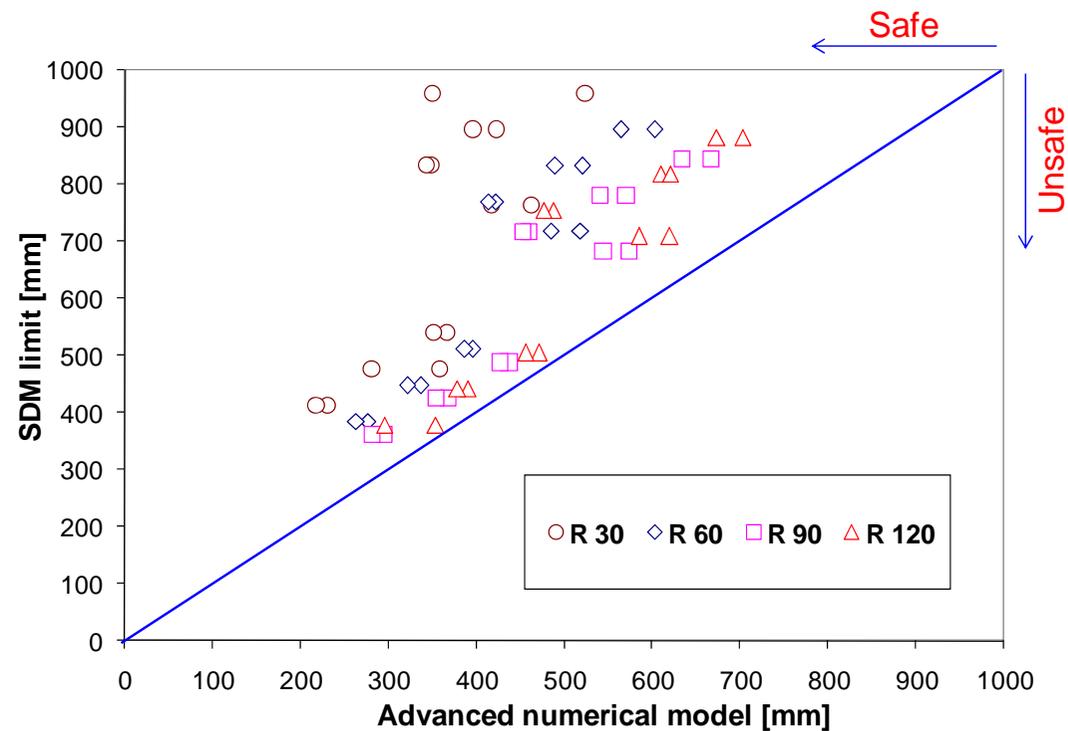
Validierung
numerisches Modell

Effekt der
Grenzbedingungen

**Ergebnisse
parametrische
Studie**

Fazit

- **Vergleich der FEA Biegung mit der maximal zugelassenen Biegung nach SDM (Simple Design Methode)**



Mit mechanischer Verbindung zwischen Platte und Pfeilern in weiterführenden Berechnungen



Ergebnisse der parametrischen Studie (2/4)



Ziele

Eigenschaften parametrische Studie

Finite Elemente Analyse

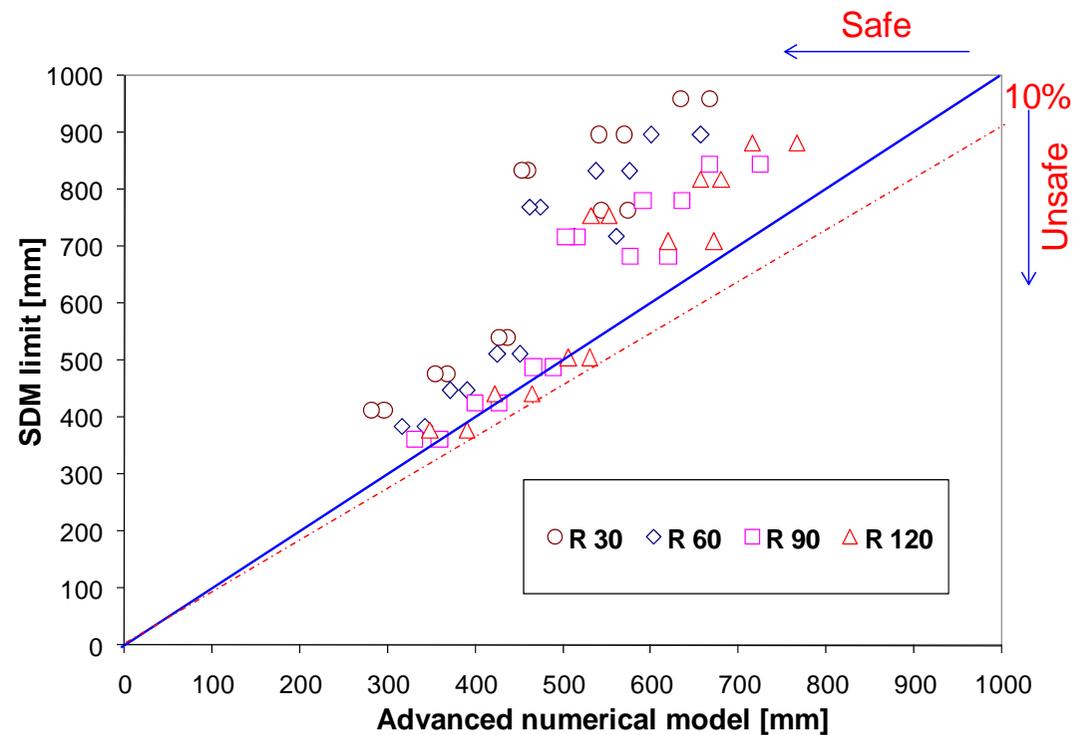
Validierung numerisches Modell

Effekt der Grenzbedingungen

Ergebnisse parametrische Studie

Fazit

- **Vergleich der FEA Biegung mit der maximal zugelassenen Biegung nach SDM (Simple Design Methode)**



Ohne mechanischer Verbindung zwischen Platte und Pfeilern in weiterführenden Berechnungen



Ergebnisse der parametrischen Studie (3/4)



Ziele

Eigenschaften
parametrische
Studie

Finite Elemente
Analyse

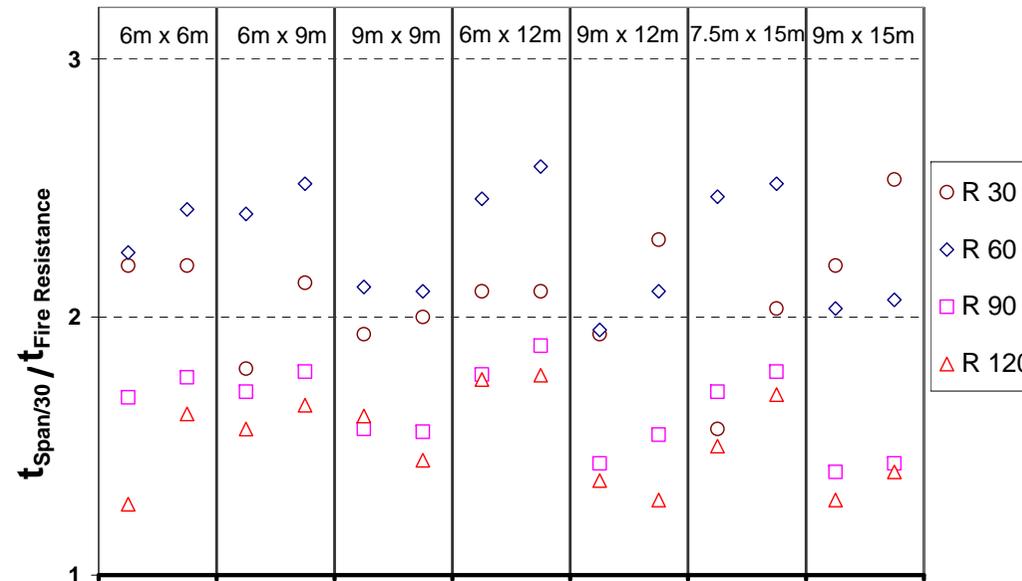
Validierung
numerisches Modell

Effekt der
Grenzbedingungen

Ergebnisse
parametrische
Studie

Fazit

- **Vergleich der Zeit in die FEA Biegung span/30 erreicht mit dem Feuerwiderstand nach SDM (Simple Design Methode)**



- **Fazit**
 - **Span/30 Kriterium in FEA reicht nicht durch die komplette Feuerwiderstandsdauer vorausgesagt von SDM**



Ziele

Eigenschaften parametrische Studie

Finite Elemente Analyse

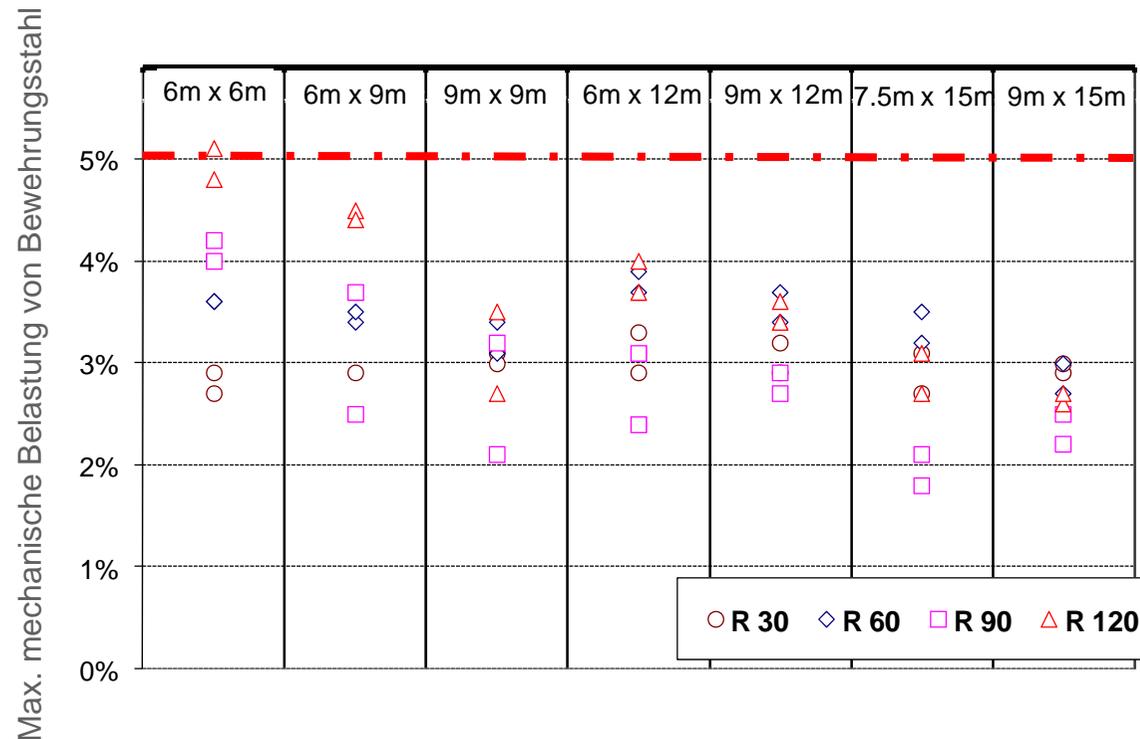
Validierung numerisches Modell

Effekt der Grenzbedingungen

Ergebnisse parametrische Studie

Fazit

• Dehnfähigkeit von Bewehrungsstäben



• Fazit

- Dehnfähigkeit von Bewehrungsstahl $< 5\%$ = Min. zugelassene Dehnfähigkeit nach EC4-1.2.



Fazit



Ziele

Eigenschaften
parametrische
Studie

Finite Elemente
Analyse

Validierung
numerisches Modell

Effekt der
Grenzbedingungen

Ergebnisse
parametrische
Studie

Fazit

- **Die SDM (Simple Design Methode) ist auf der sicheren Seite verglichen mit den Ergebnissen weiterführender Berechnungen.**
- **Die Dehnfähigkeit von Betonstahlmatten betreffend, so bleibt sie generell unter 5 %.**
- **Mechanische Verbindungen zwischen Platte und Pfeilern können die Biegung eines Verbunddeckensystems in einer Brandsituation reduzieren, aber sie sind kein notwendiges Konstruktionsdetail.**
- **SDM ist in der Lage das Verhalten von Verbundstahl und Standardfeuer ausgesetzten Betondecken auf sichere Weise vorauszusagen.**