



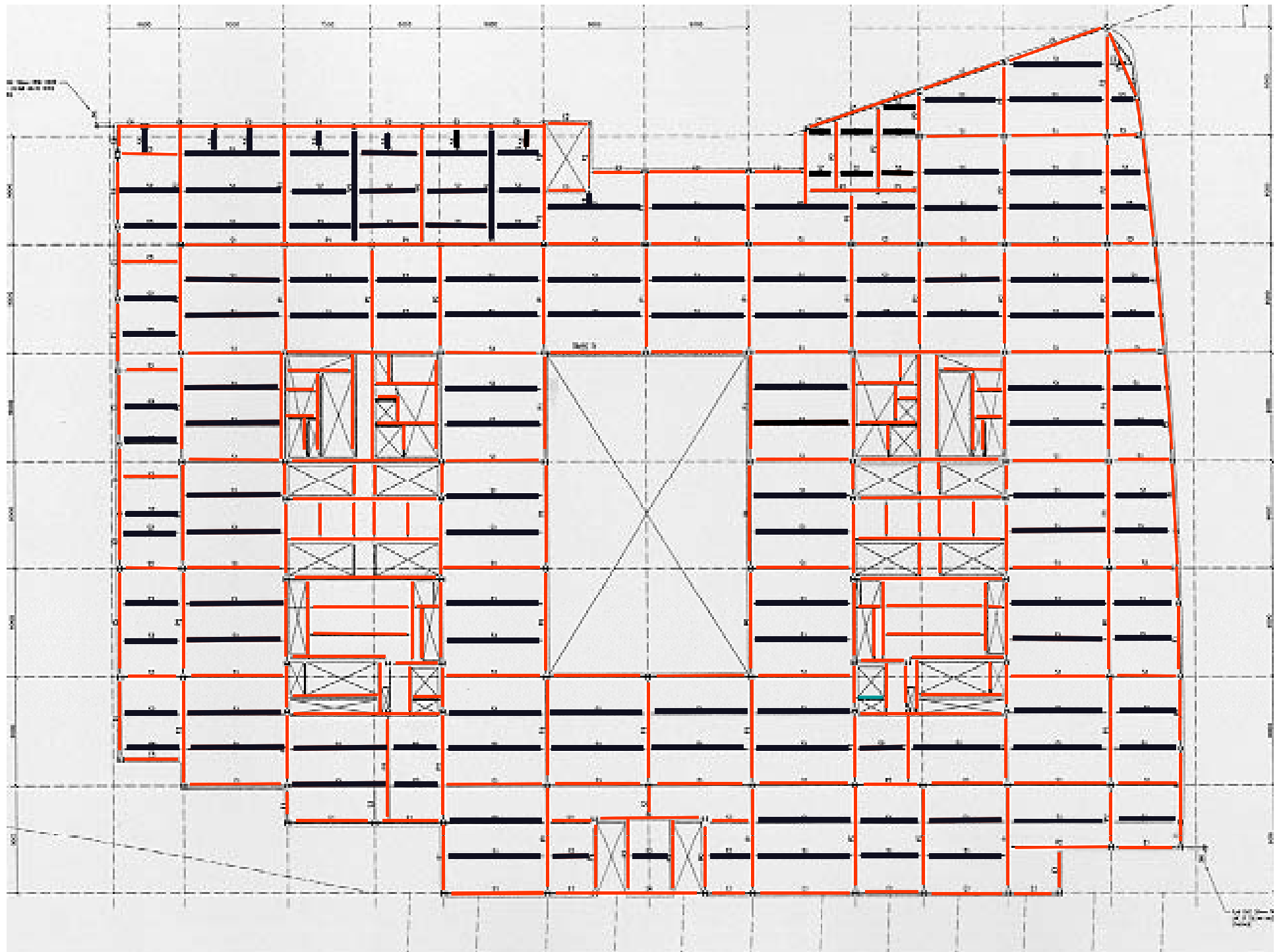
## Brandverhalten von Stahl und Verbunddeckensystemen

*Simple Design Methode*



## Ziel der Design Methode







- **Mechanisches Verhalten von Verbunddecken in einer Brandsituation**
- **Simple Design Methode von Stahlbetonplatten bei 20 °C**
  - Deckenplatten Modell
  - Ausfallmodi
- **Simple Design Methode von Verbunddecken bei erhöhten Temperaturen**
  - Ausbau des Brandverhaltens
  - Membranwirkung bei erhöhten Temperaturen
  - Mitwirkung von ungeschützten Trägern
  - Design von geschützten Trägern

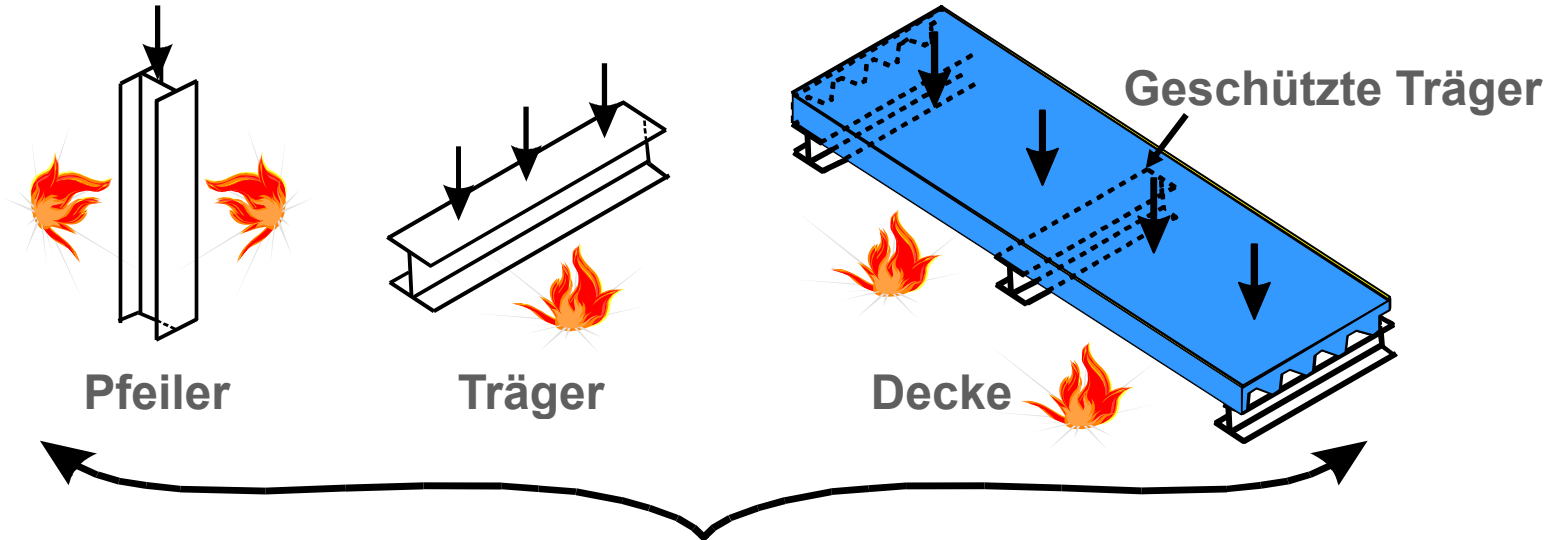


- Traditionelle Design Methode

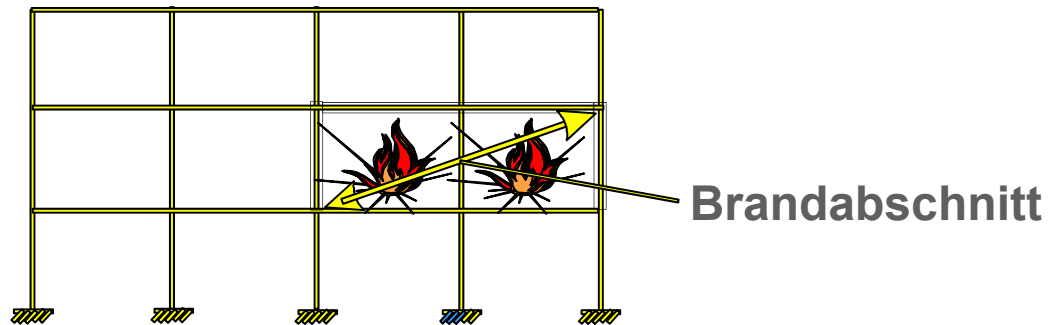
Mechanisches Verhalten von Verbunddecken

Simple Design Methode von Stahlbetonplatten bei 20°C

Simple Design Methode von Verbunddecken bei erhöhten Temperaturen



Bestehende Design Methoden nehmen an, dass sich isolierte Elemente in tatsächlichen Gebäuden in vergleichbarer Weise verhalten





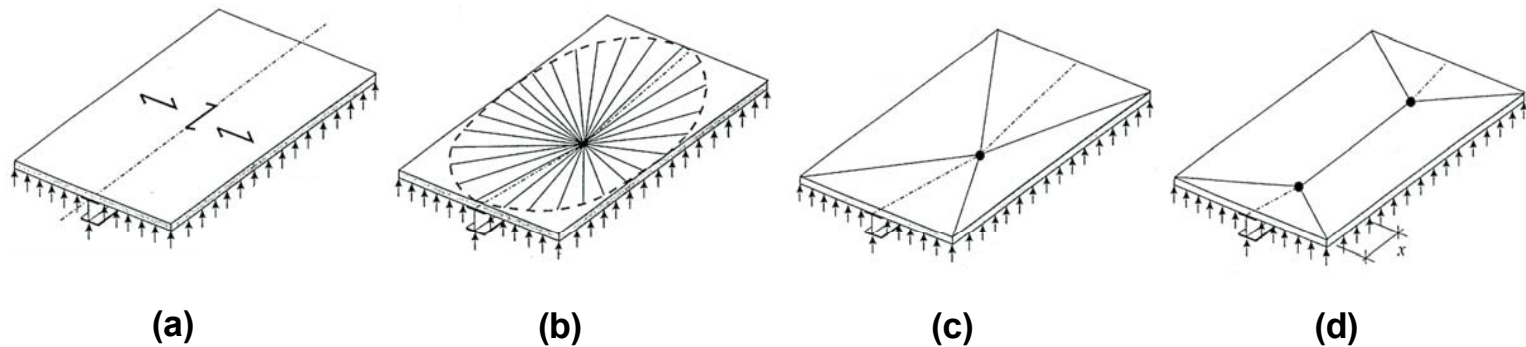
- **Wahres Verhalten von Verbunddecken mit Betonstahlmatte in einer Betonplatte**

Mechanisches Verhalten von Verbunddecken

Simple Design Methode bei 20°C

Simple Design Methode bei erhöhten Temperaturen

Temperaturanstieg während eines Brandes



Einfache Biegung

Membranwirkungsverhalten



# Simple Design Methode von Stahlbetonplatten bei 20 °C



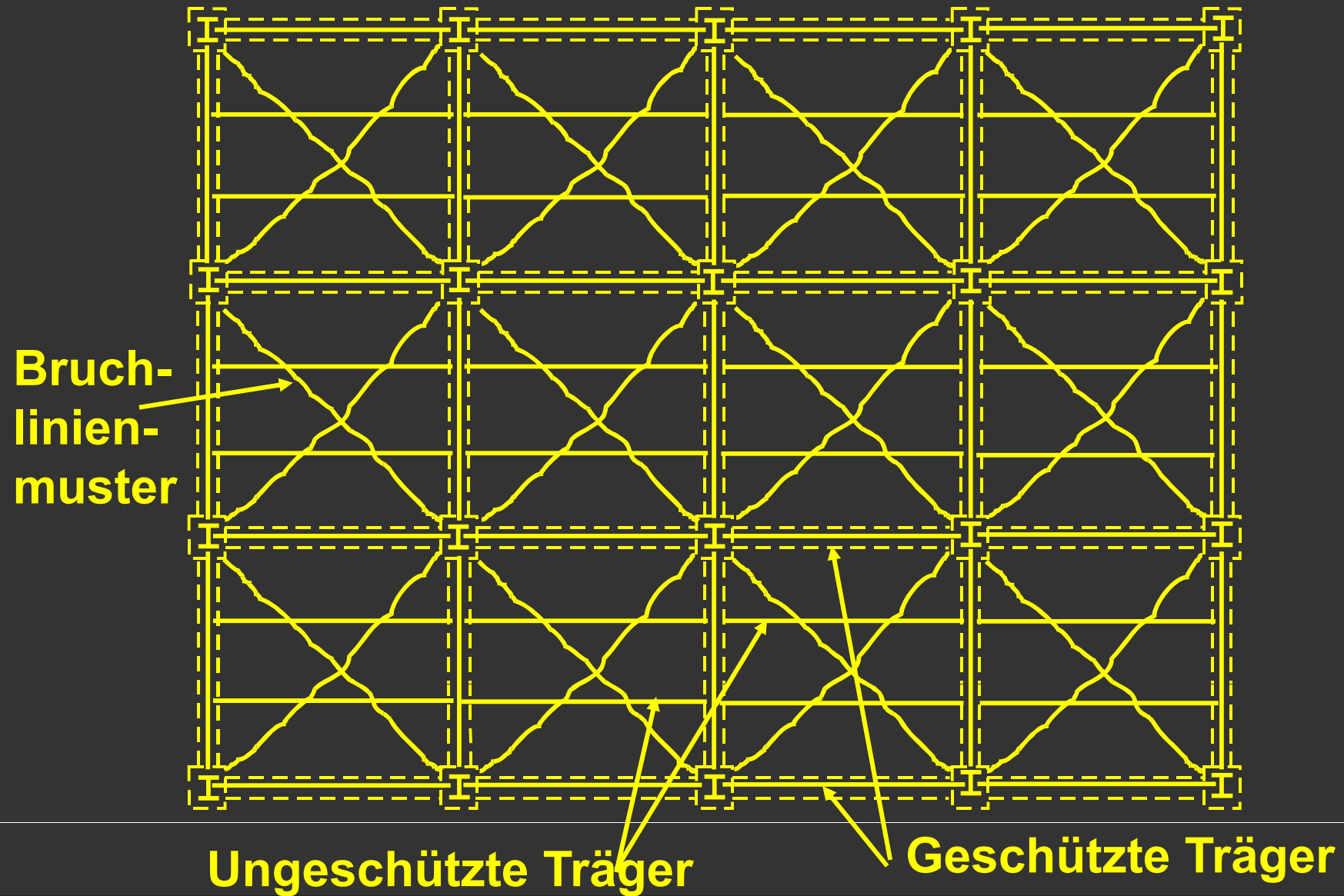
Mechanisches  
Verhalten von  
Verbunddecken

**Simple Design  
Methode bei 20°C**

Simple Design  
Methode bei  
erhöhten  
Temperaturen

- **Methode entwickelt von Professor Colin Bailey  
University of Manchester  
ehemals mit Building Research Establishment (BRE)**

# Design für Membranwirkung in Feuer





## Simple Design Methode von Stahlbetonplatten bei 20 °C

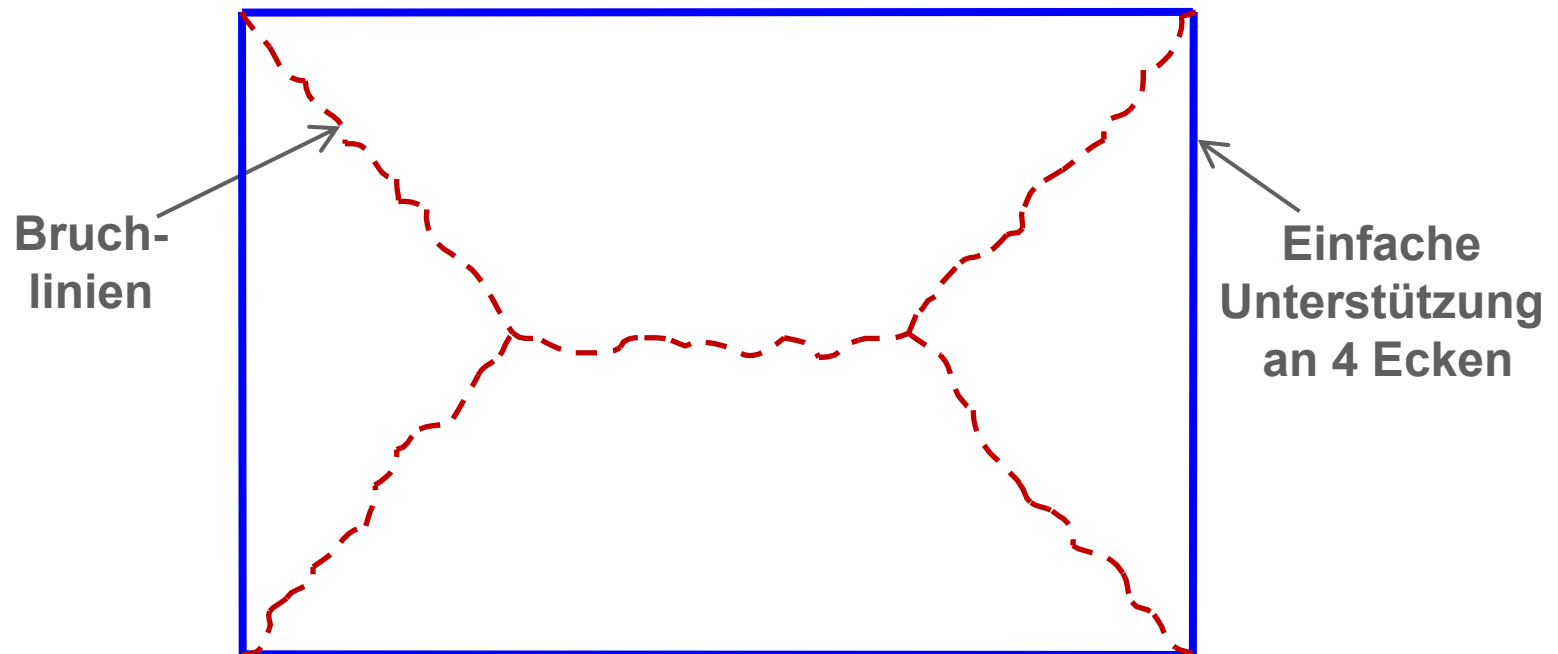


- **Deckenplatten Modell mit 4 vertikal abgegrenzte Seiten** (plastische Bruchlinien) – horizontal unabgegrenzt – sehr vorsichtige Annahme

Mechanisches Verhalten von Verbunddecken

**Simple Design Methode bei 20°C**

Simple Design Methode bei erhöhten Temperaturen





# Simple Design Methode von Stahlbetonplatten bei 20 °C

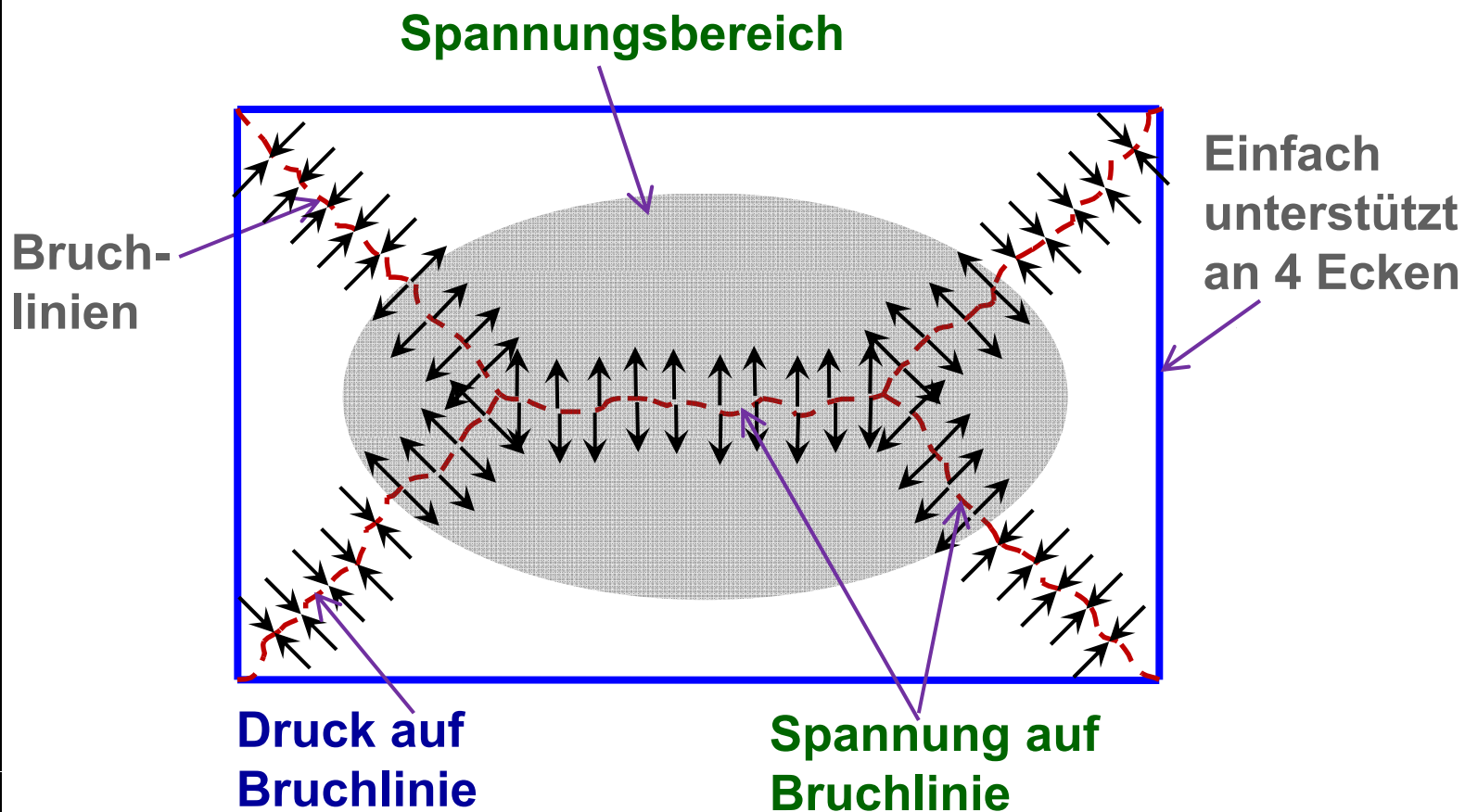


- **Deckenplatten Modell**
  - Membranwirkung steigert Bruchlinienwiderstand

Mechanisches Verhalten von Verbunddecken

Simple Design Methode bei 20°C

Simple Design Methode bei erhöhten Temperaturen

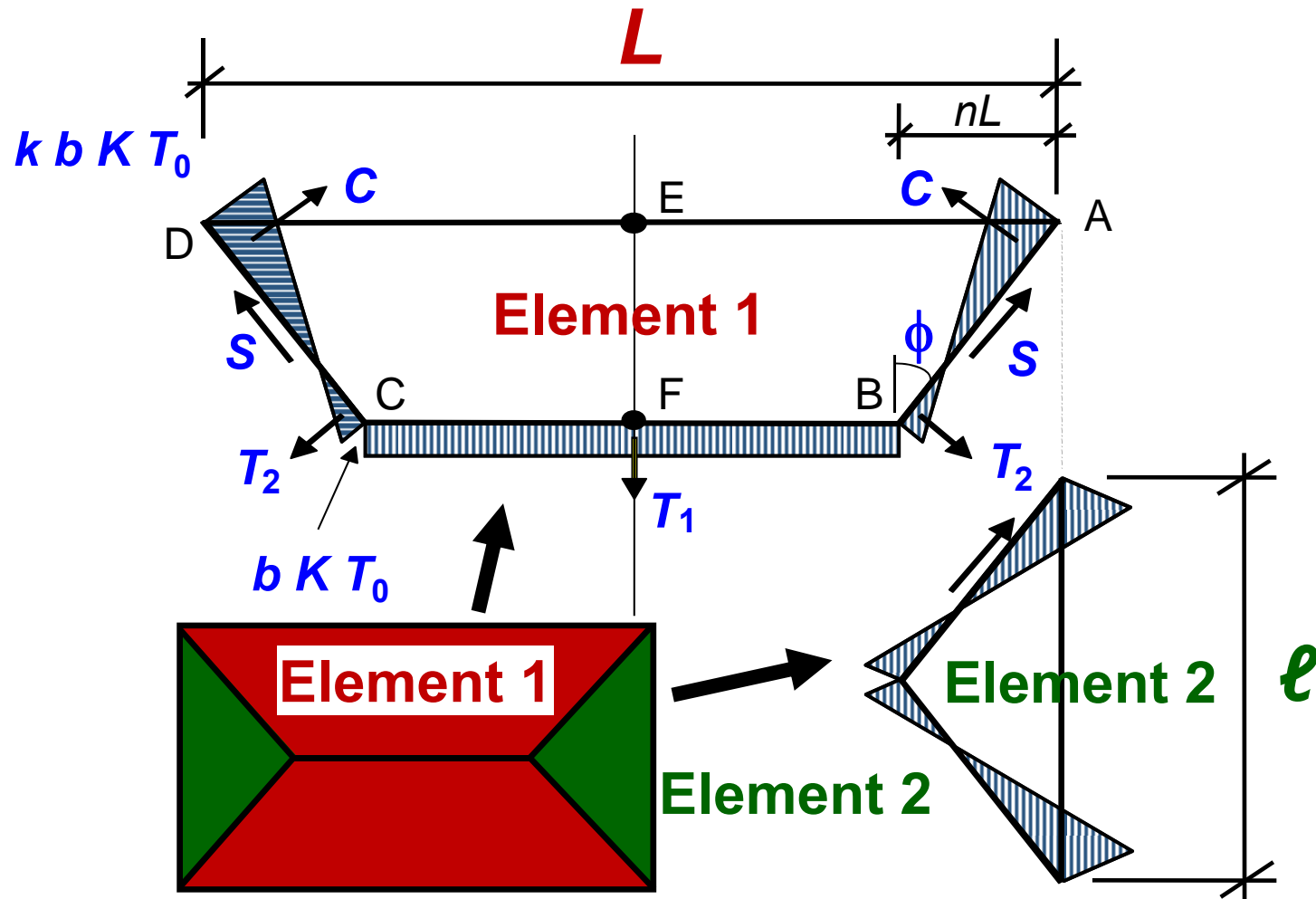




# Simple Design Methode von Stahlbetonplatten bei 20 °C



- Membrankräfte entlang der Bruchlinien (1)



Mechanisches Verhalten von Verbunddecken

Simple Design Methode bei 20°C

Simple Design Methode bei erhöhten Temperaturen



## Simple Design Methode von Stahlbetonplatten bei 20 °C



- **Membrankräfte entlang der Bruchlinien (2)**

Mechanisches Verhalten von Verbunddecken

**Simple Design Methode bei 20°C**

Simple Design Methode bei erhöhten Temperaturen

**$k, b$**  sind Parameter, die die Größe der Membrankräfte definieren,

**$n$**  ist ein aus der Bruchlinientheorie hergeleiteter Faktor,

**$K$**  ist das Verhältnis der Bewehrung in der kürzeren Spanne zur Bewehrung in der längeren Spanne,

**$KT_0$**  ist der Widerstand der Stahlbewehrungsmatte pro Einheitbreite,

**$T_1, T_2, C, S$**  sind resultierende Membrankräfte entlang der Bruchlinien.

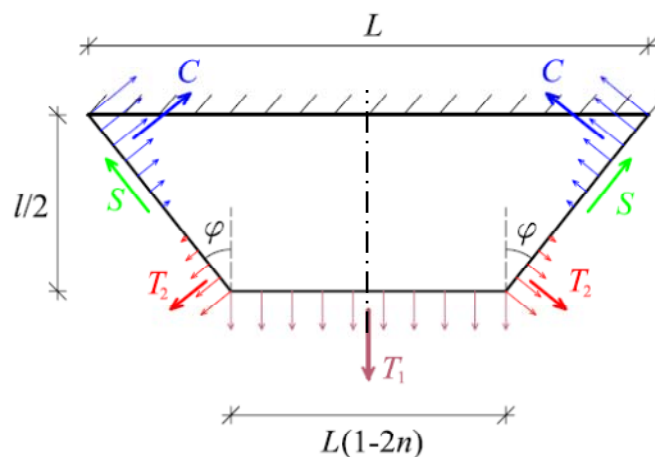


- **Beitrag der Membranwirkung (1)**
  - **Element 1**

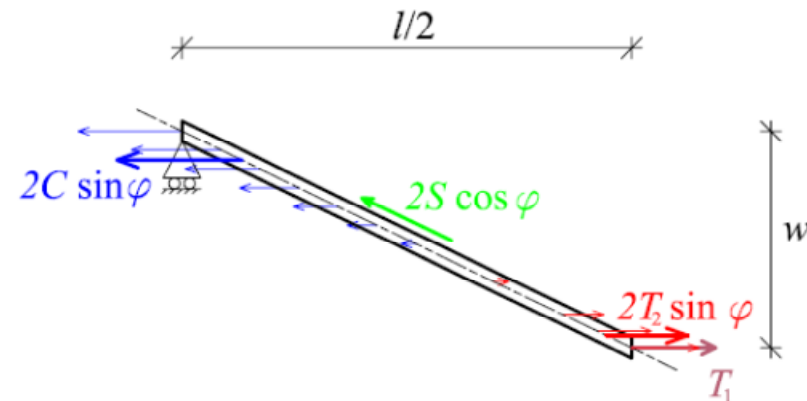
Mechanisches Verhalten von Verbunddecken

Simple Design Methode bei 20°C

Simple Design Methode bei erhöhten Temperaturen



**Ebene Ansicht der resultierenden Membrankräfte**



**Seitliche Ansicht der resultierenden Membrankräfte bei einer Biegung, die w entspricht**

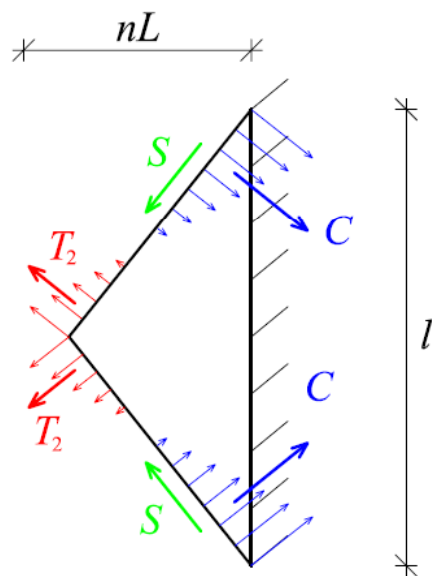


- **Beitrag der Membranwirkung (2)**  
– **Element 2**

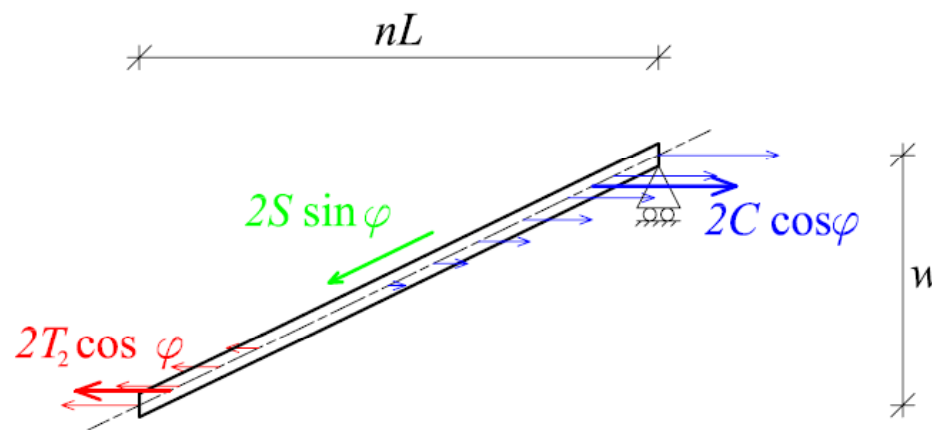
Mechanisches Verhalten von Verbunddecken

Simple Design Methode bei 20°C

Simple Design Methode bei erhöhten Temperaturen



**Ebene Ansicht der resultierenden Membrankräfte**



**Seitliche Ansicht der resultierenden Membrankräfte bei einer Biegung, die w entspricht**



Mechanisches  
Verhalten von  
Verbunddecken

**Simple Design  
Methode bei 20°C**

Simple Design  
Methode bei  
erhöhten  
Temperaturen

- **Beitrag der Membranwirkung (3)**

- **Erweiterungsfaktor für jedes Element**

$$e_{i, i=1,2} = \begin{cases} e_{im} : \text{Erweiterung aufgrund von Membrankräften auf} \\ \text{Element } i & + \\ e_{ib} : \text{Erweiterung aufgrund des Effektes von in-} \\ \text{plane forces auf die Biegekapazität.} \end{cases}$$

- **Allgemeine Erweiterung**

$$e = e_1 - \frac{e_1 - e_2}{1 + 2\mu a^2}$$

WO:

***M*** ist der Koeffizient der Orthotropie der Bewehrung

***a*** ist das Seitenverhältnis der Platte =  $L/\ell$

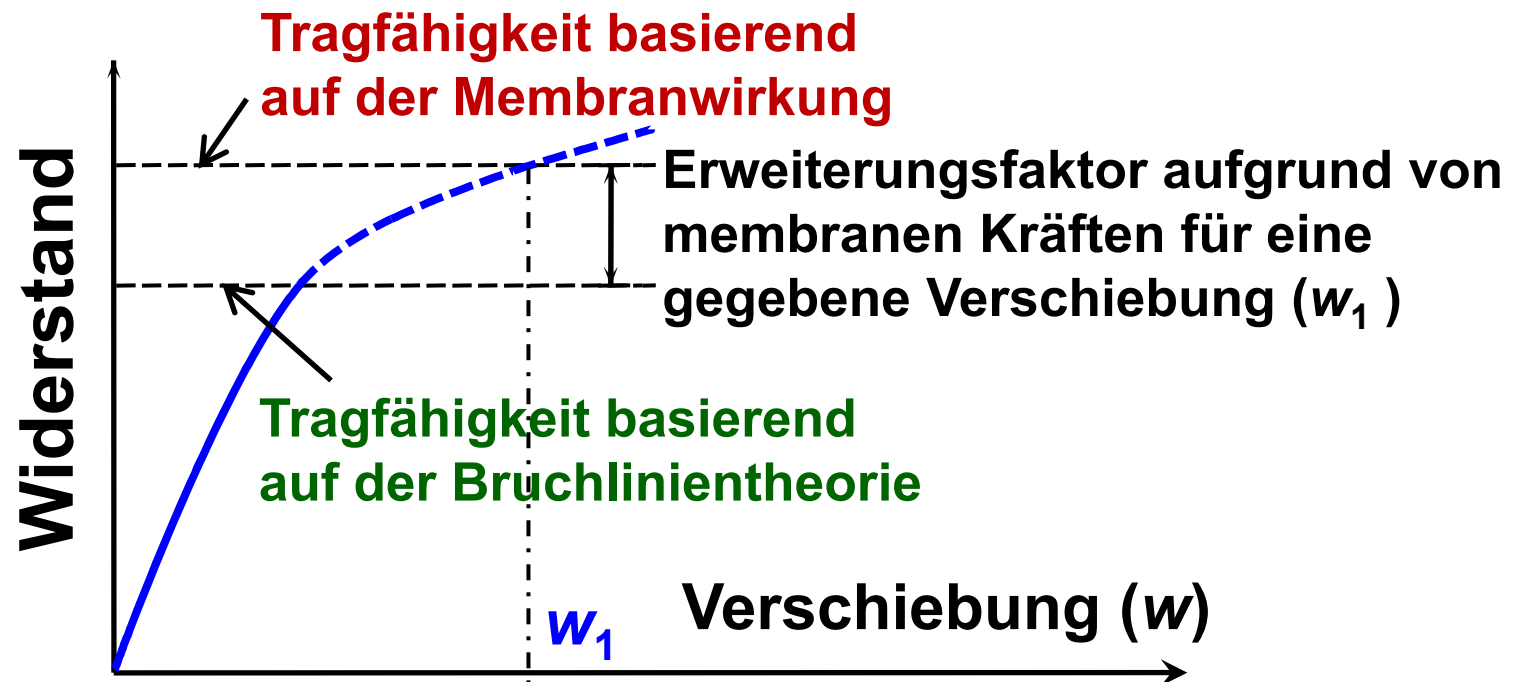


- Beitrag der Membranwirkung (4)

Mechanisches Verhalten von Verbunddecken

Simple Design Methode bei 20°C

Simple Design Methode bei erhöhten Temperaturen

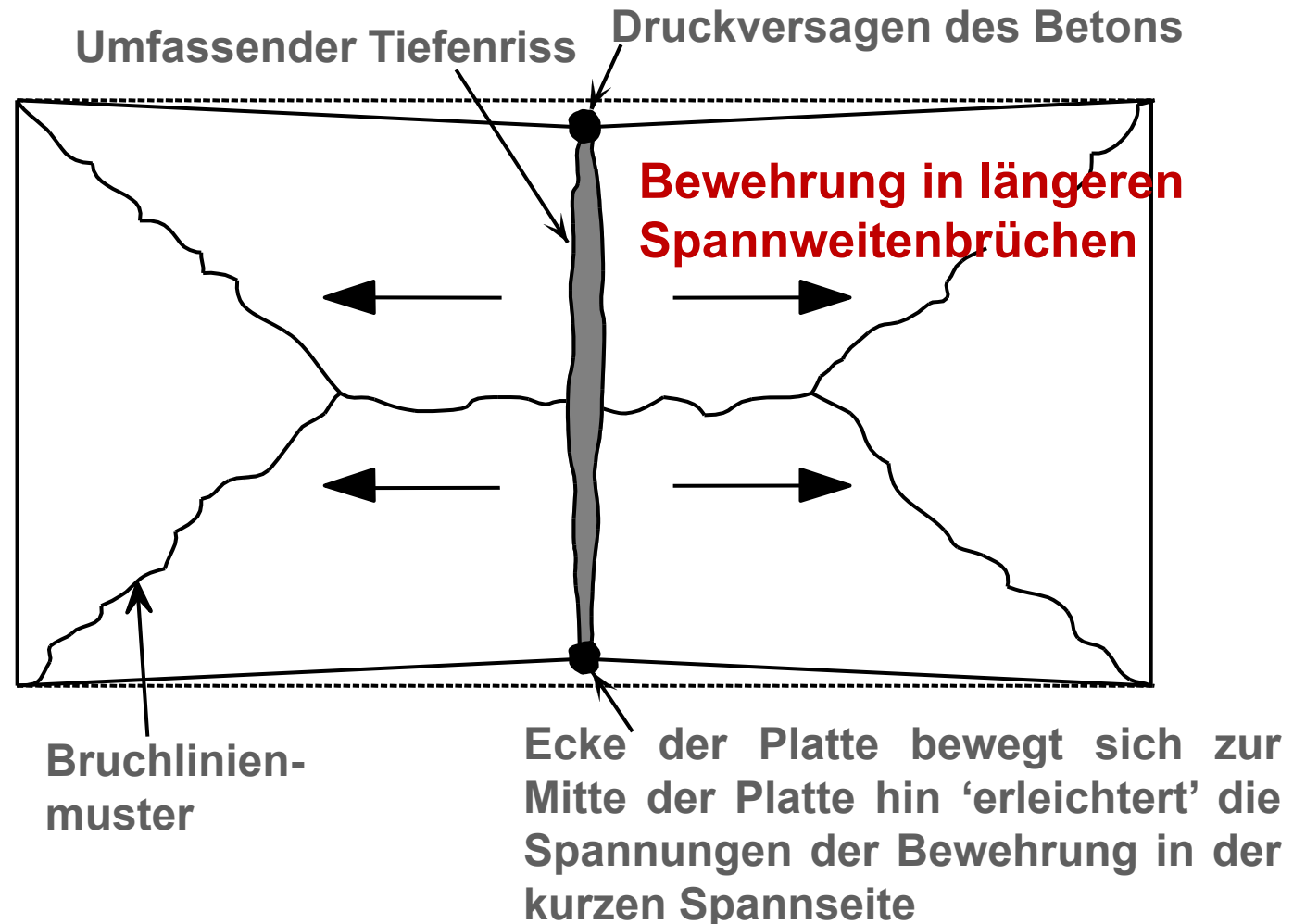




# Simple Design Methode von Stahlbetonplatten bei 20 °C



- **Ausfallmodi** (Überlastbruch der Bewehrung)



Mechanisches Verhalten von Verbunddecken

Simple Design Methode bei 20°C

Simple Design Methode bei erhöhten Temperaturen



## Simple Design Methode von Stahlbetonplatten bei 20 °C

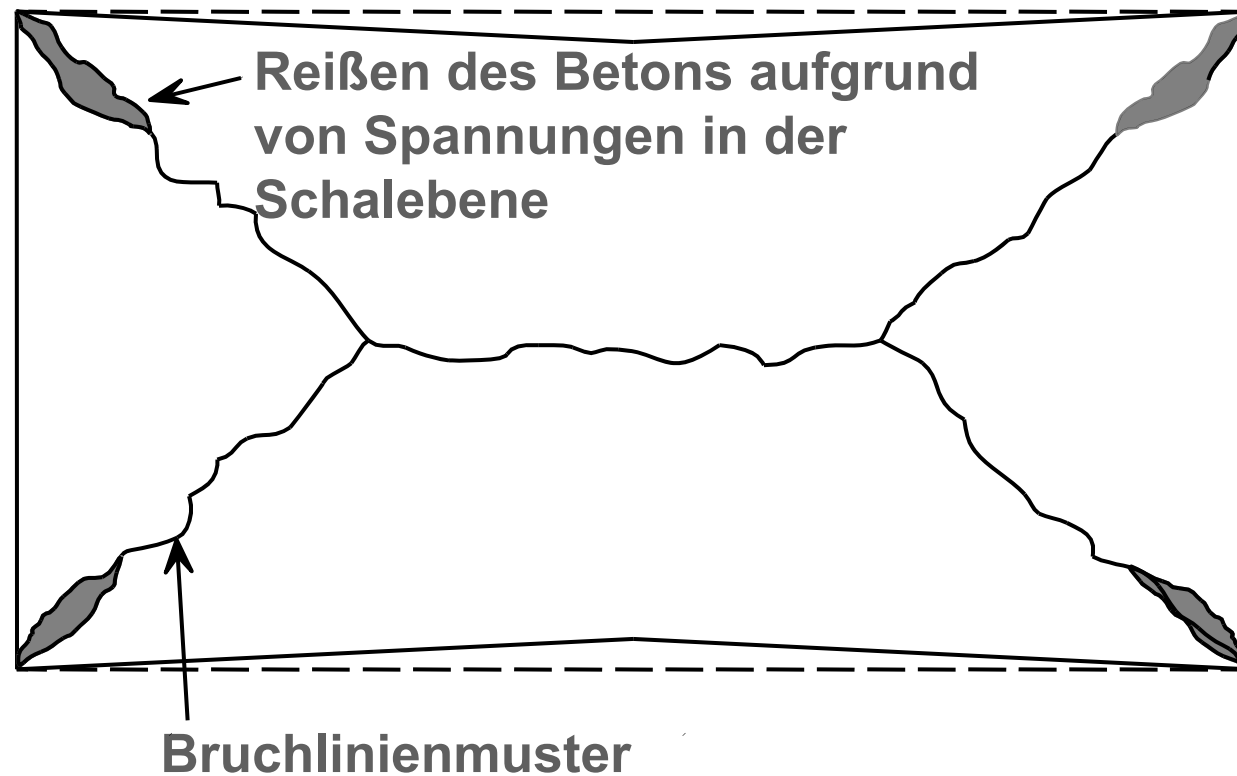


- **Ausfallmodi** (Druckbruch von Beton)
  - Eher bei starken Bewehrungsmatten zu erwarten

Mechanisches Verhalten von Verbunddecken

Simple Design Methode bei 20°C

Simple Design Methode bei erhöhten Temperaturen





# Simple Design Methode von Stahlbetonplatten bei 20 °C



- **Ausfallmodi** (experimentelle Beweise)

Mechanisches Verhalten von Verbunddecken

**Simple Design Methode bei 20°C**

Simple Design Methode bei erhöhten Temperaturen



**Überlastbruch der Bewehrung**



**Druckbruch des Betons**



- **Deckenplatten Modell bei erhöhen Temperaturen (1)**

- **Auf der Basis des gleichen Modells bei Raumtemperatur**

- **Unter Berücksichtigung der Temperatureffekte auf die Materialeigenschaften.**

Mechanisches  
Verhalten von  
Verbunddecken

Simple Design  
Methode bei 20°C

**Simple Design  
Methode bei  
erhöhten  
Temperaturen**



# Simple Design Methode bei erhöhten Temperaturen

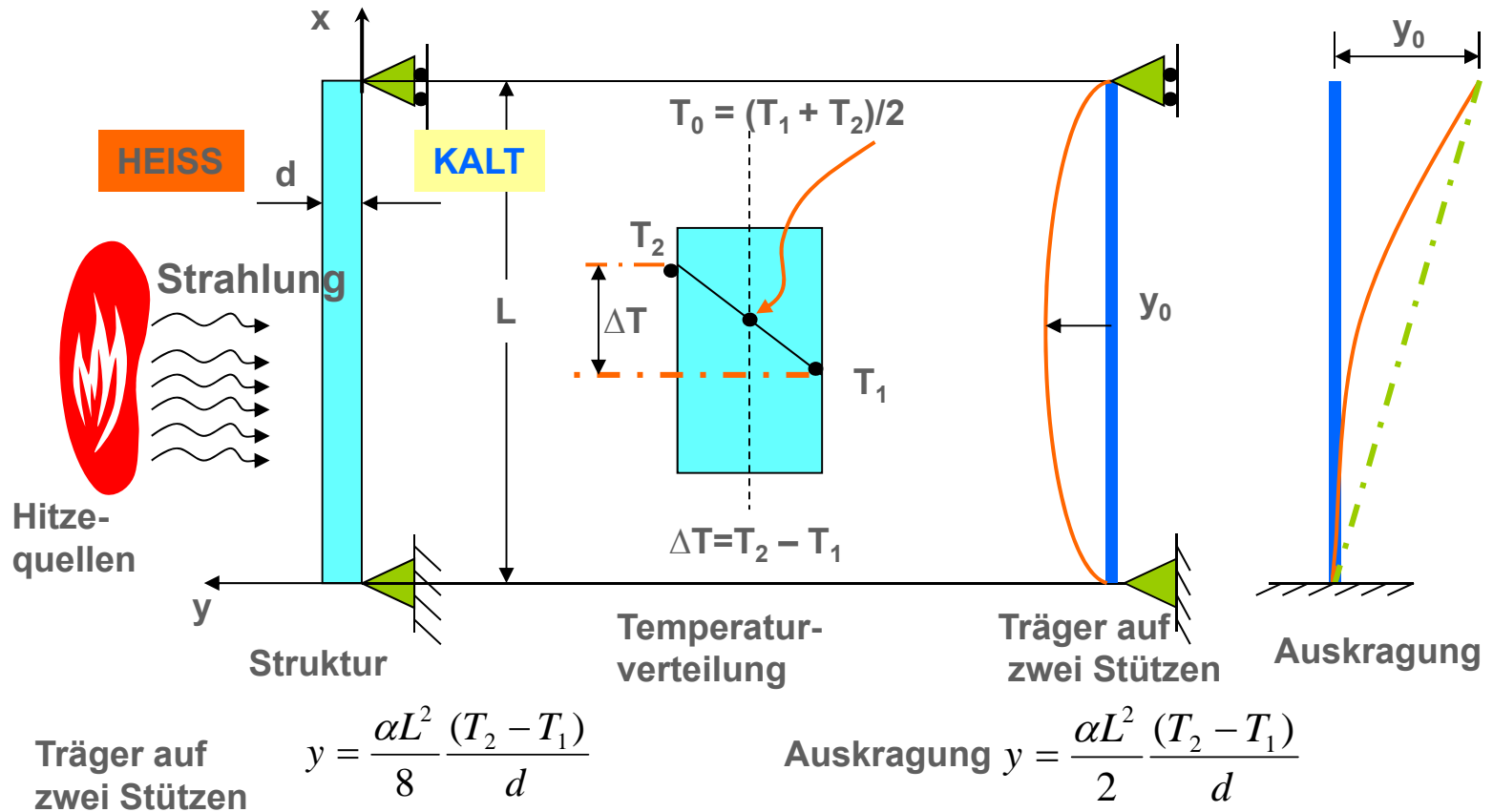


## Freie Wölbung von Betonplatten

Mechanisches Verhalten von Verbunddecken

Simple Design Methode bei 20°C

Simple Design Methode bei erhöhten Temperaturen



Wölbung wird durch Temperaturunterschied verursacht

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

Oder Gefälle

$$\Delta T/d$$



## Simple Design Methode bei erhöhten Temperaturen



Mechanisches  
Verhalten von  
Verbunddecken

Simple Design  
Methode bei 20°C

**Simple Design  
Methode bei  
erhöhten  
Temperaturen**

- **Deckenplatten Modell bei erhöhten Temperaturen (2)**

- Es ergibt sich die thermische Wölbung der Platte aufgrund des Tiefentemperaturgefälles, welches folgendem entspricht:

$$w_{\theta} = \frac{\alpha (T_2 - T_1) \ell^2}{19.2 h}$$

worin:

**h** die effektive Tiefe der Platte ist

**ℓ** die kürzere Spanne der Platte ist

**α** der Koeffizient der Wärmeausdehnung für Beton ist

Für LW Beton wird der EN 1994-1-2 Wert genommen

$$\alpha_{LWC} = 0.8 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1}$$

Für NW Beton wird ein konservativer Wert genommen

$$\alpha_{NWC} = 1.2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1} < 1.8 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{K}^{-1} \text{ (EN 1994-1-2 Wert)}$$

**T<sub>2</sub>** die Temperatur der Plattenunterseite (Seite dem Feuer ausgesetzt)

**T<sub>1</sub>** die Temperatur der Plattenoberseite (Seite nicht dem Feuer ausgesetzt)



Mechanisches  
Verhalten von  
Verbunddecken

Simple Design  
Methode bei 20°C

Simple Design  
Methode bei  
erhöhten  
Temperaturen

- **Deckenplatten Modell bei erhöhten Temperaturen (3)**

- Es wird eine durchschnittliche mechanische Beanspruchung bei einer Spannung die der Hälfte der Streckspannung bei Raumtemperatur entspricht, angenommen
- Biegung der Platte auf der Basis einer parabelförmig gebogenen Form der Platte aufgrund von transversaler Belastung:

$$w_{\varepsilon} = \sqrt{\left(\frac{0.5f_{sy}}{E_s}\right) \frac{3L^2}{8}} \leq \frac{l}{30}$$

worin:

$E_s$  das Widerstandsmoment der Bewehrung bei 20°C ist

$f_{sy}$  die Streckgrenze der Bewehrung bei 20°C ist

$L$  die längere Spanne der Platte ist



Mechanisches Verhalten von Verbunddecken

Simple Design Methode bei 20°C

Simple Design Methode bei erhöhten Temperaturen

- **Deckenplatten Modell bei erhöhten Temperaturen (4)**

- Demzufolge ist die maximale Biegung der Deckenplatte:

$$w = \frac{\alpha(T_2 - T_1)l^2}{19.2 h} + \sqrt{\left(\frac{0.5f_{sy}}{E_s}\right) \frac{3L^2}{8}}$$

- Allerdings ist die maximale Biegung der Deckenplatte begrenzt auf:

$$w < \frac{\alpha(T_2 - T_1)l^2}{19.2h} + l/30$$

$$w \leq \frac{L + l}{30}$$



## Simple Design Methode bei erhöhten Temperaturen



Mechanisches  
Verhalten von  
Verbunddecken

Simple Design  
Methode bei 20°C

**Simple Design  
Methode bei  
erhöhten  
Temperaturen**

- **Bescheidenheit des Deckenplatten Modells bei erhöhten Temperaturen**
  - **Es wird angenommen, dass Bewehrung über Abstützteile zerbricht**
  - **Die erwarteten vertikalen Abstände aufgrund von thermischer Wölbung werden im Vergleich mit den theoretischen Werten unterschätzt**
  - **Die thermische Wölbung wird basierend auf der kürzeren Spanne der Platte berechnet**
  - **Jegliche zusätzliche vertikale Verschiebung, verursacht von gehemmter Wärmeausdehnung wenn die Platte im post-gekrümmten Status ist, wird ignoriert**
  - **Jeglicher Beitrag des Stahlbelags wird außer Acht gelassen**
  - **Der Anstieg der Mattendehnbarkeit mit dem Temperaturanstieg wird außer Acht gelassen**



## Simple Design Methode bei erhöhten Temperaturen



Mechanisches  
Verhalten von  
Verbunddecken

Simple Design  
Methode bei 20°C

**Simple Design  
Methode bei  
erhöhten  
Temperaturen**

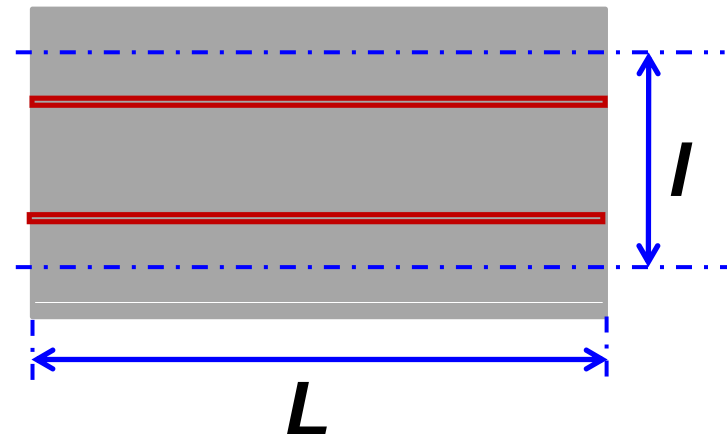
- **Tragfähigkeit des Deckenplatten Modells verstärkt in Gegenwart von ungeschützten Stahlträgern (1)**
  - **Oberleitungswirkung von ungeschützten Trägern wird vernachlässigt**
  - **Der Biegemomentwiderstand von ungeschützten Trägern wird unter den folgenden Annahmen berücksichtigt:**
    - Einfache Unterstützung an beiden Enden
    - Erhitzung des Stahlquerschnitts nach EN1994-1-2 4.3.4.2 berechnet, Schatteneffekt berücksichtigt
    - Thermische und mechanische Eigenschaften für Stahl und Beton sind in EN 1994-1-2 gegeben



- **Tragfähigkeit des Deckenplatten Modells verstärkt in Gegenwart von ungeschützten Stahlträgern (2)**

– Die Verstärkung der Tragfähigkeit durch ungeschützte Träger ist:

$$\frac{8M_{Rd,fi}}{L^2} \frac{1 + n_{ub}}{\ell}$$



worin:

$n_{ub}$  die Anzahl an ungeschützten Trägern ist  
 $M_{Rd,fi}$  das Widerstandsmoment jedes ungeschützten Verbundträgers ist

Mechanisches Verhalten von Verbunddecken

Simple Design Methode bei 20°C

Simple Design Methode bei erhöhten Temperaturen



- **Temperaturberechnung von Verbundplatten**

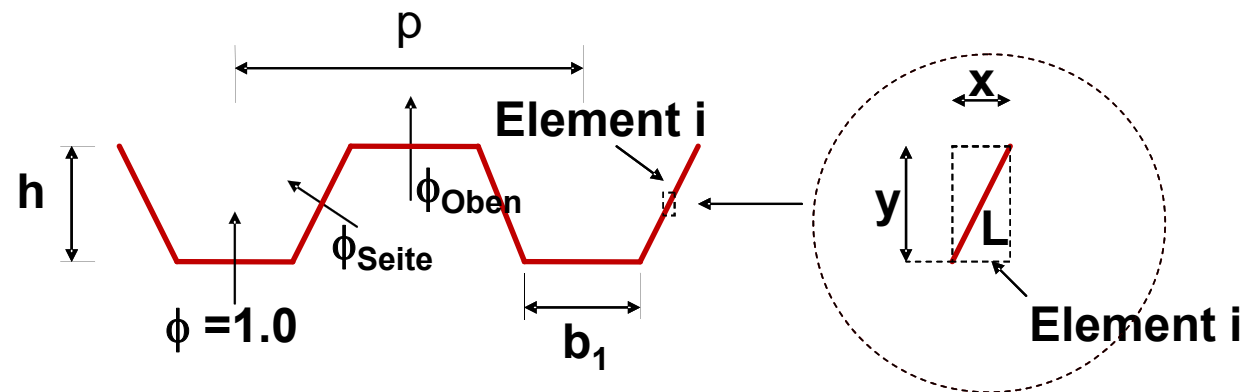
- **Auf der Basis von komplexen Berechnungsmodellen**

- 2D finiter Differenz-Modus
- Material thermal properties from Eurocode 4 part 1-2 for both steel and concrete
- Schatteneffekt wird für Verbundplatten berücksichtigt

Mechanisches  
Verhalten von  
Verbunddecken

Simple Design  
Methode bei 20°C

Simple Design  
Methode bei  
erhöhten  
Temperaturen





## Simple Design Methode bei erhöhten Temperaturen



Mechanisches  
Verhalten von  
Verbunddecken

Simple Design  
Methode bei 20°C

**Simple Design  
Methode bei  
erhöhten  
Temperaturen**

- **Tragfähigkeit von geschützten Kranzbalken**
  - **Gesamtfläche Kunststoffmechanismus basierend auf der Balkenbeständigkeit**
  - **Lastverhältnis in einer Brandsituation**
    - Zusätzliche Last auf geschützte Träger
  - **Kritische Temperatur einfache Berechnungsmethode (EN 1994-1-2)**



# Simple Design Methode bei erhöhten Temperaturen

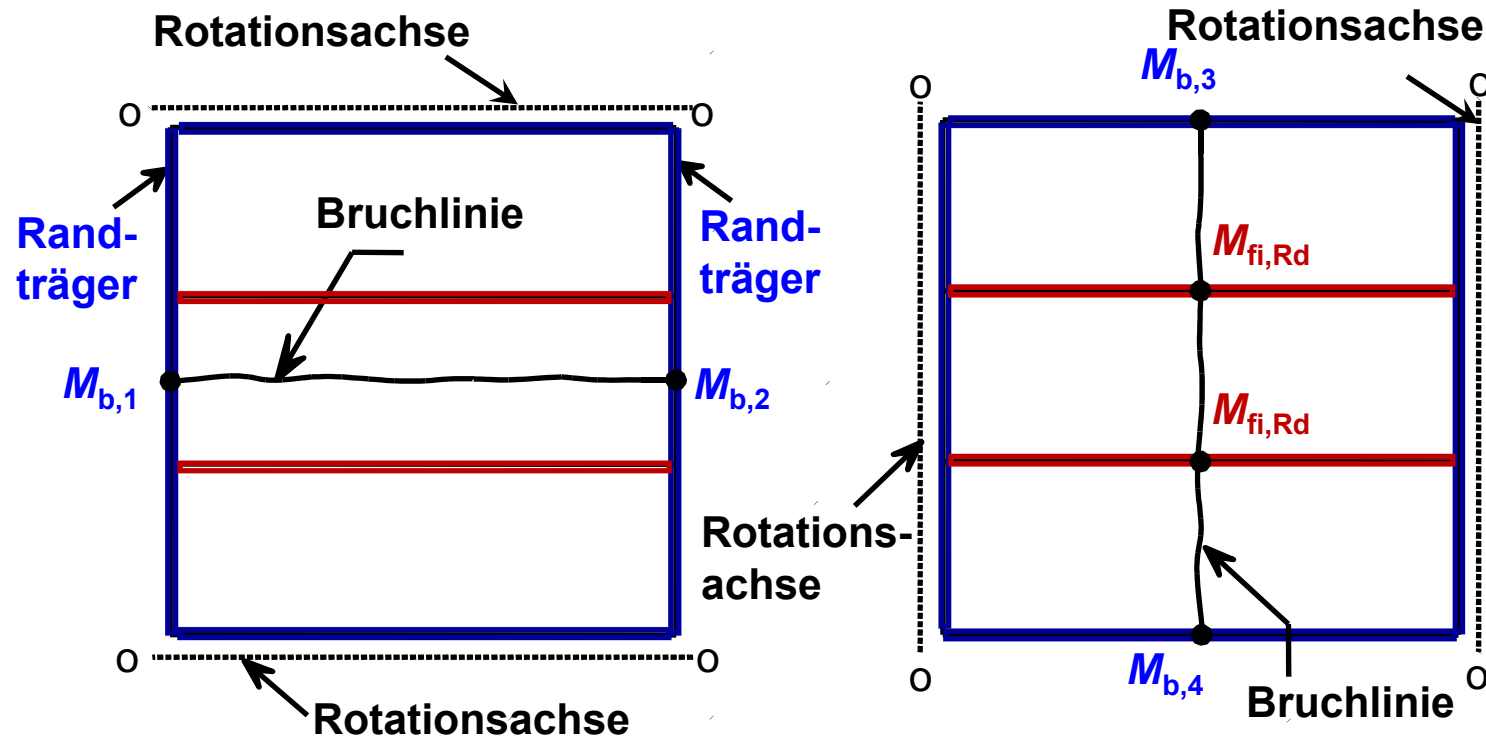


- Tragfähigkeit von geschützten Kranzbalken auf der Basis von globalem Kunststoffmechanismus

Mechanisches Verhalten von Verbunddecken

Simple Design Methode bei 20°C

Simple Design Methode bei erhöhten Temperaturen





Mechanisches  
Verhalten von  
Verbunddecken

Simple Design  
Methode bei 20°C

**Simple Design  
Methode bei  
erhöhten  
Temperaturen**

**7 maßstäbliche Cardington Tests**

**1 groß angelegter BRE Test (kalt, aber simuliert für Feuer)**

**10 Kalte Tests in den 1960/1970ern ausgeführt**

**15 kleinmaßstäbige Tests durchgeführt von der Sheffield University in 2004**

**44 kleinmaßstäbige kalt und Feuer Tests, durchgeführt von der University of Manchester**

**FRACOF und COSSFIRE ISO Brandversuche**

**Maßstäbliche Test durchgeführt von der Ulster University 2010.**



# Kleinmaßstäbiges experimentelles Verhalten und Design von Betondeckenplatten



Mechanisches  
Verhalten von  
Verbunddecken

Simple Design  
Methode bei 20°C

**Simple Design  
Methode bei  
erhöhten  
Temperaturen**



**22 Kalt Tests und 22  
identische Heiß Tests (Beide  
MS und SS  
Mattenbewehrung)**





## Erzielte Resultate unter Anwendung der Methodik



Mechanisches Verhalten von Verbunddecken



Simple Design Methode bei 20°C



Simple Design Methode bei erhöhten Temperaturen

*40 bis 55% der Träger können ungeschützt bleiben, indem man Schutz dort platziert, wo er gebraucht wird.*





## Verfügbare Dokumente



Mechanisches  
Verhalten von  
Verbunddecken

Simple Design  
Methode bei 20°C

**Simple Design  
Methode bei  
erhöhten  
Temperaturen**

