Technische Universität Braunschweig

iBMB MPA TU BRAUNSCHWEIG

Betonverhalten in der Abkühlphase

4. Jahresfachtagung mit 57. Forschungskolloquium des DAfStb

Jan Lyzwa, M. Sc.

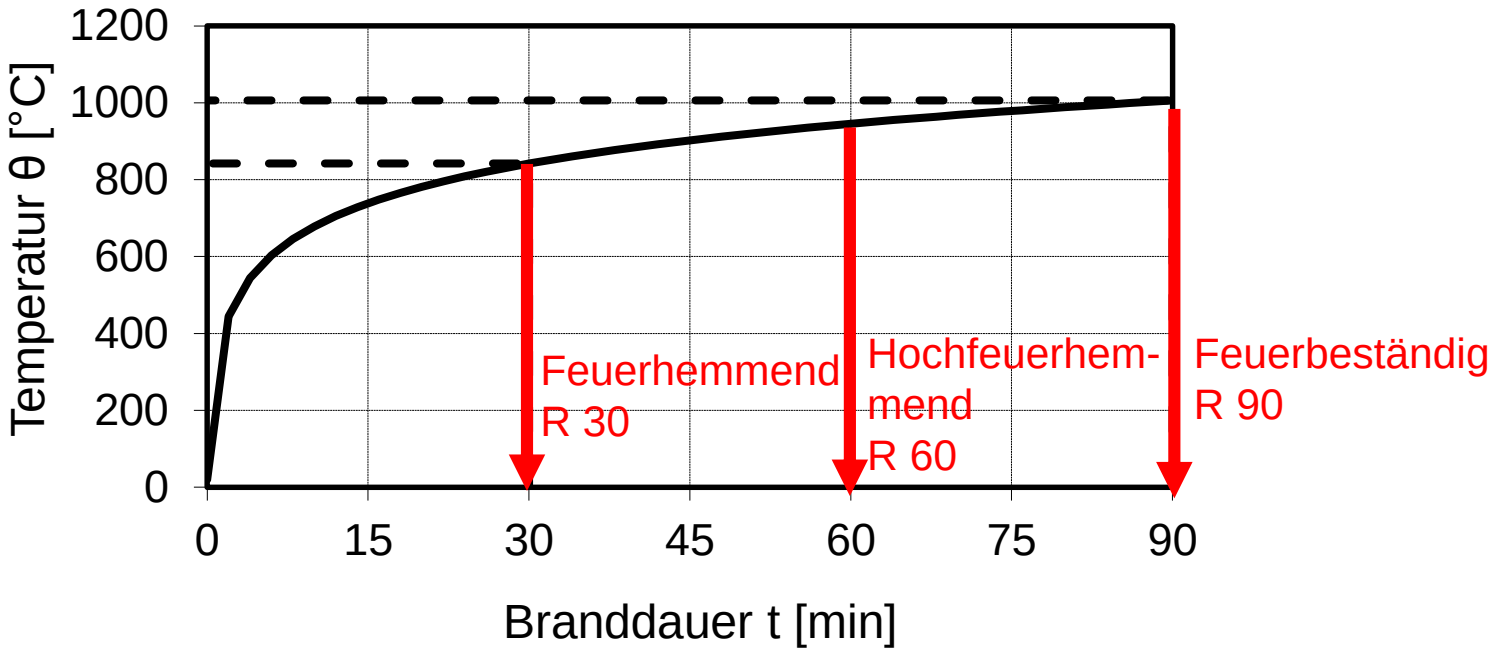
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB)
Technische Universität Braunschweig

Inhalt

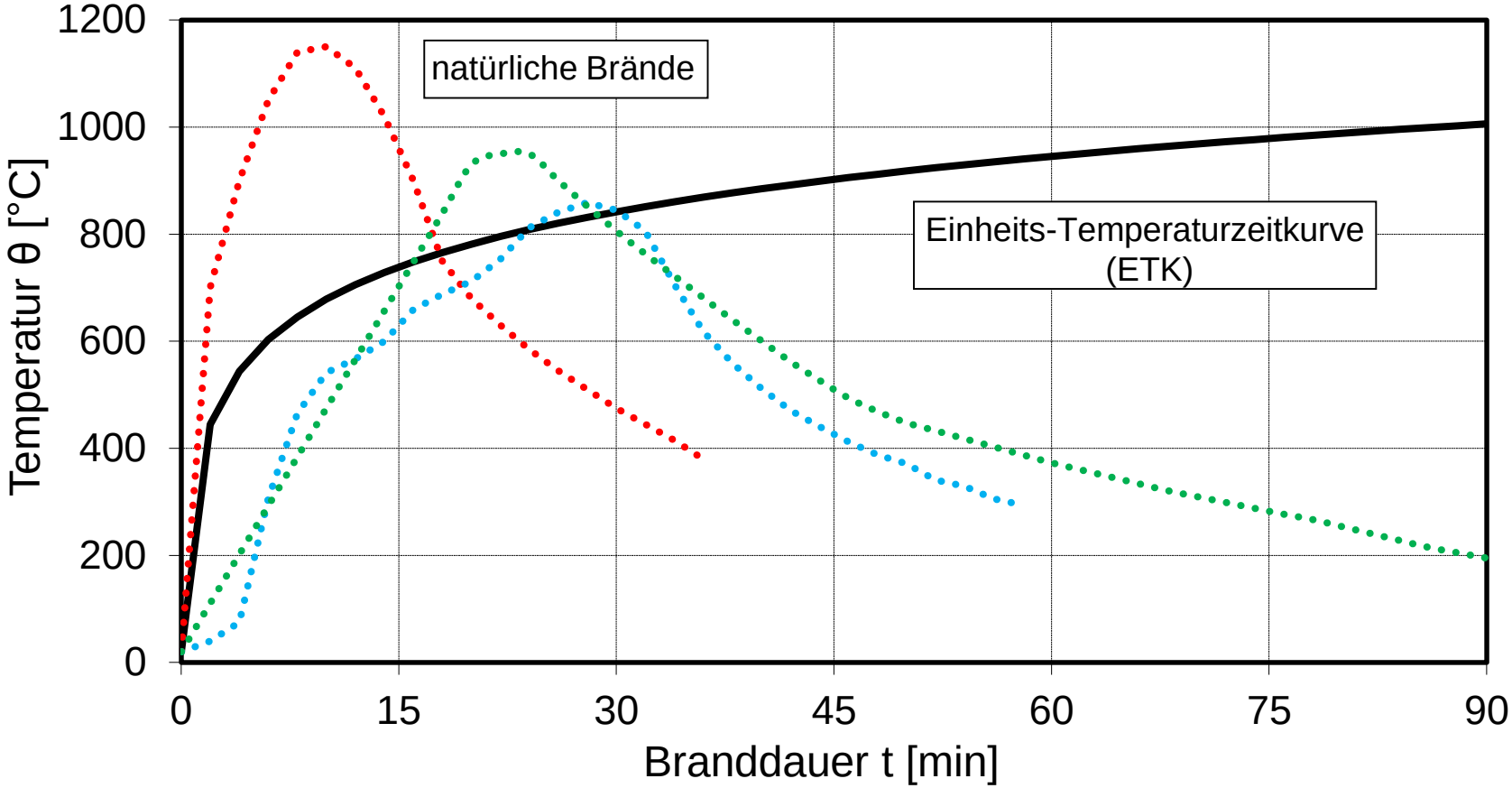
- Brandschutztechnische Bemessung von Betonbauteilen
  - Brandbeanspruchung
- Thermische Materialkennwerte nach DIN EN 1992-1-2
- DFG-Schwerpunktprogramm SPP 1182:
  - Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Ermittlung und Optimierung des Brandverhaltens von ultrahochfestem Beton
- Aktuelles DFG-Forschungsvorhaben am iBMB:
  - Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Erweiterung der Berechnungsgrundlagen unterschiedlicher Betone bei Naturbrandbeanspruchung
- Thermische Querschnittsanalysen mit ANSYS

Brandschutztechnische Bemessung

- Brandschutztechnische Bemessung von Bauteilen erfolgt i.d.R. anhand der Einheits-Temperaturzeitkurve
  - Soll thermische Beanspruchung auf sicheren Seite abdecken
  - Dient der Bauteilklassifizierung bzw. Bauteilprüfung im Brandfall



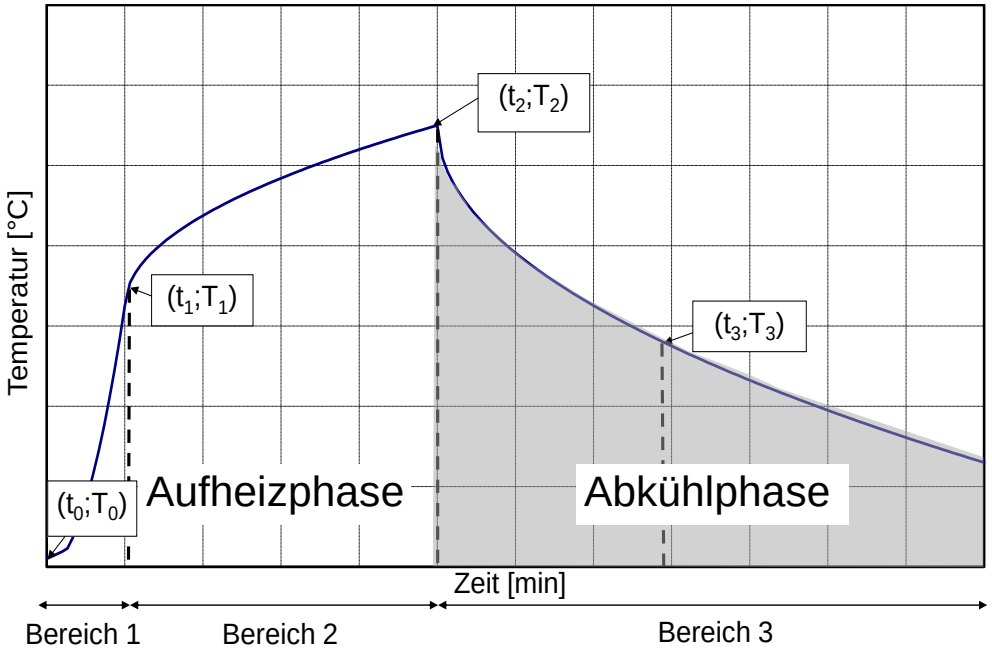
Einheits-Temperaturzeitkurve vs. natürlicher Brandverlauf



Vereinfachtes Naturbrandmodell DIN EN 1991-1-2 / NA

- Realistische Temperatureinwirkung auf Bauteile in Abhängigkeit von:
  - Brandentwicklungsgeschwindigkeit,
  - Ventilationsverhältnisse und
  - Brandlast

- Ermittlung mit einfacher Tabellenkalkulation



Materialkennwerte in der Abkühlphase nach hoher Temperaturbeanspruchung

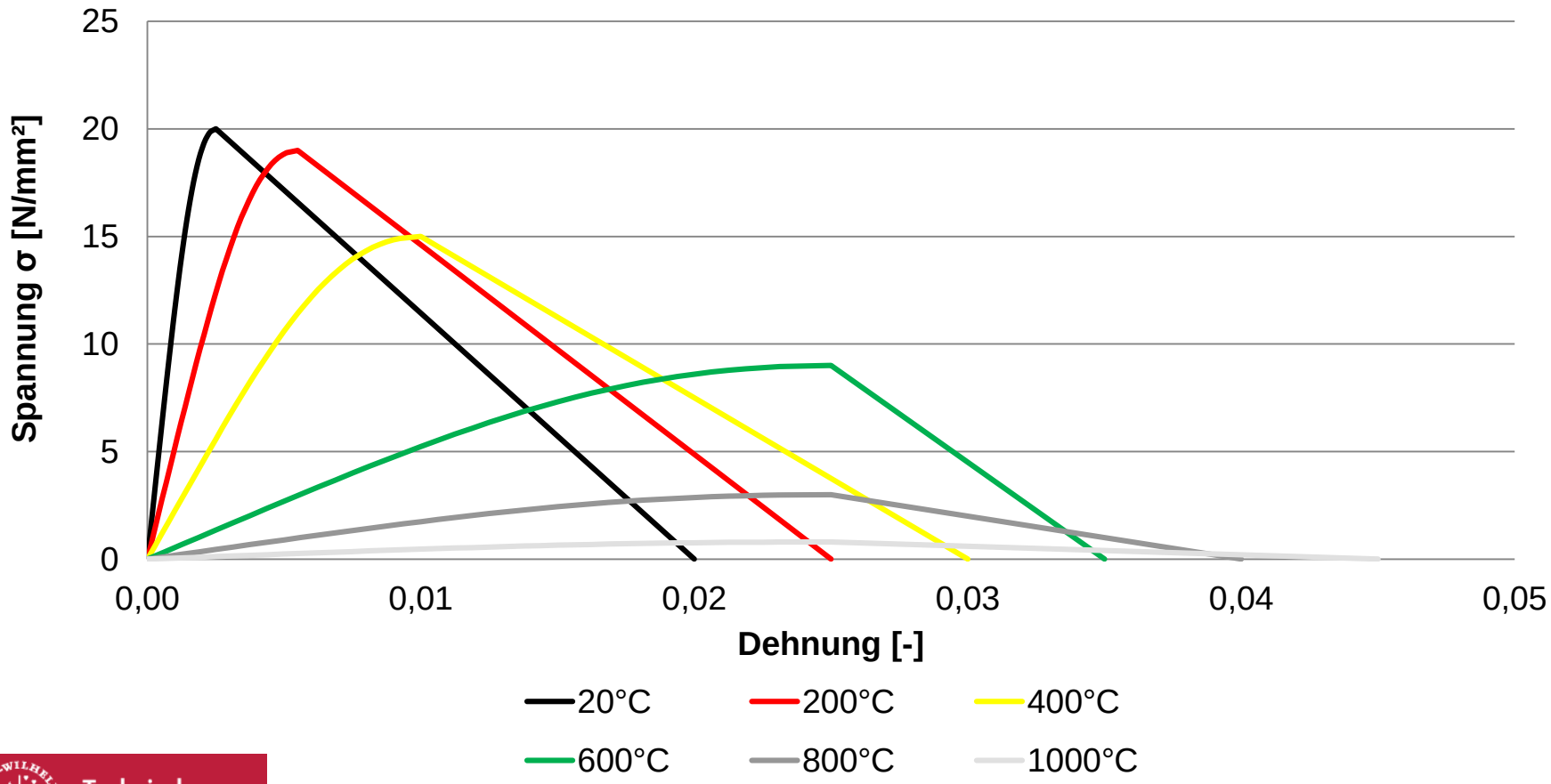
- Bei Anwendung von Naturbrandmodellen bzw. der damit ermittelten Temperaturzeitkurven:
  - Tragfähigkeit der Bauteile und Tragwerke muss über die **gesamte Branddauer einschließlich der Abkühlphase** nachgewiesen werden
  - Zeitpunkt der geringsten Tragfähigkeit im Voraus nicht bekannt

    → Thermische Trägheit des Betons
  - **Nachteil:** Kenntnislücken bezüglich der Materialkennwerte in der Abkühlphase nach hoher Temperaturbeanspruchung

    → Anwendung von Naturbrandverfahren i.d.R. mit konservativen Annahmen (auf der sicheren Seite liegend) verbunden

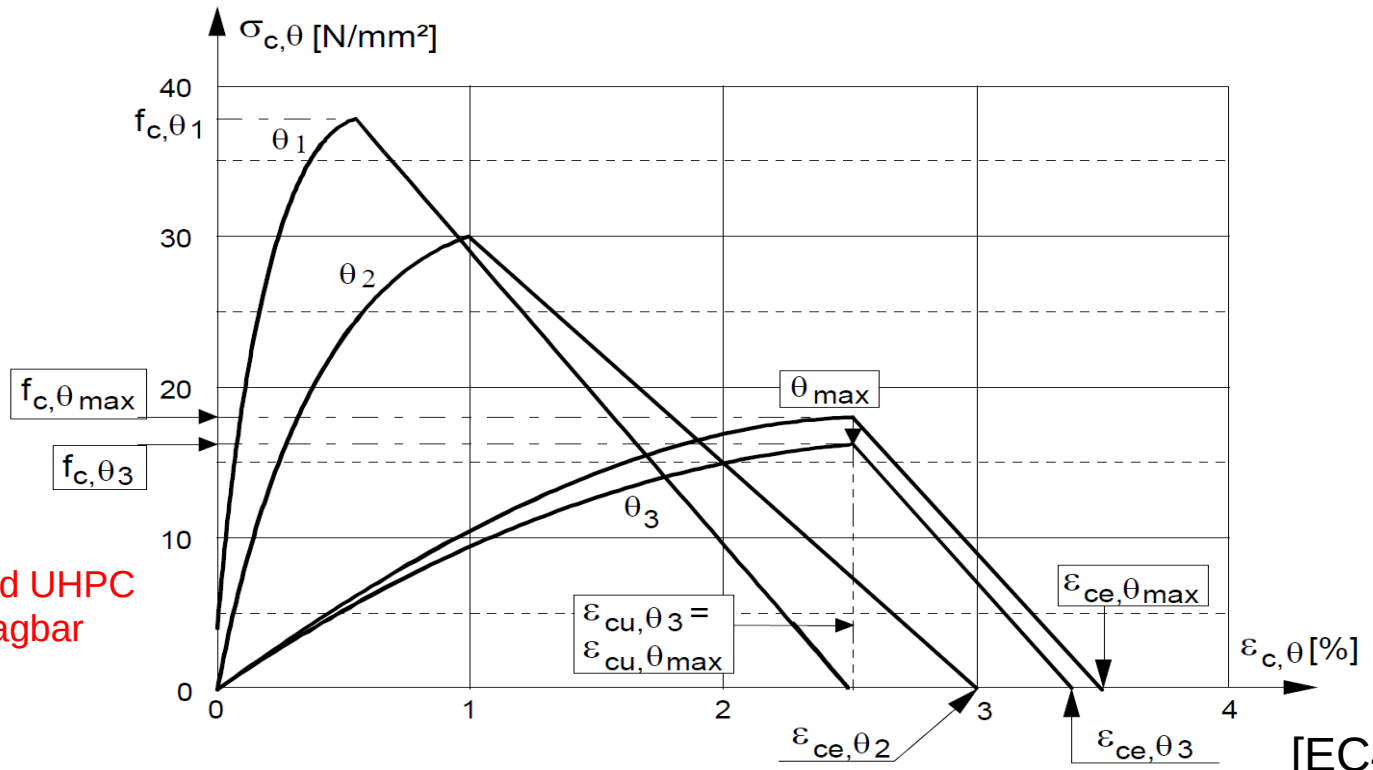
Annahmen zum Materialverhalten von Beton während der Abkühlphase

- Reversibilität der Festigkeit des Betons beim Abkühlen
  → Überschätzung der Tragfähigkeit in dieser Phase



Annahmen zum Materialverhalten von Beton während der Abkühlphase

- Reduzierte Werte durch maximale Temperaturbeanspruchung der Festigkeit und Steifigkeit gelten für die gesamte Abkühlphase
- EC4-1-2 enthält im Anhang C Angaben zur näherungsweisen Berücksichtigung des Abkühlverhaltens von Beton



Auf HPC und UHPC nicht übertragbar

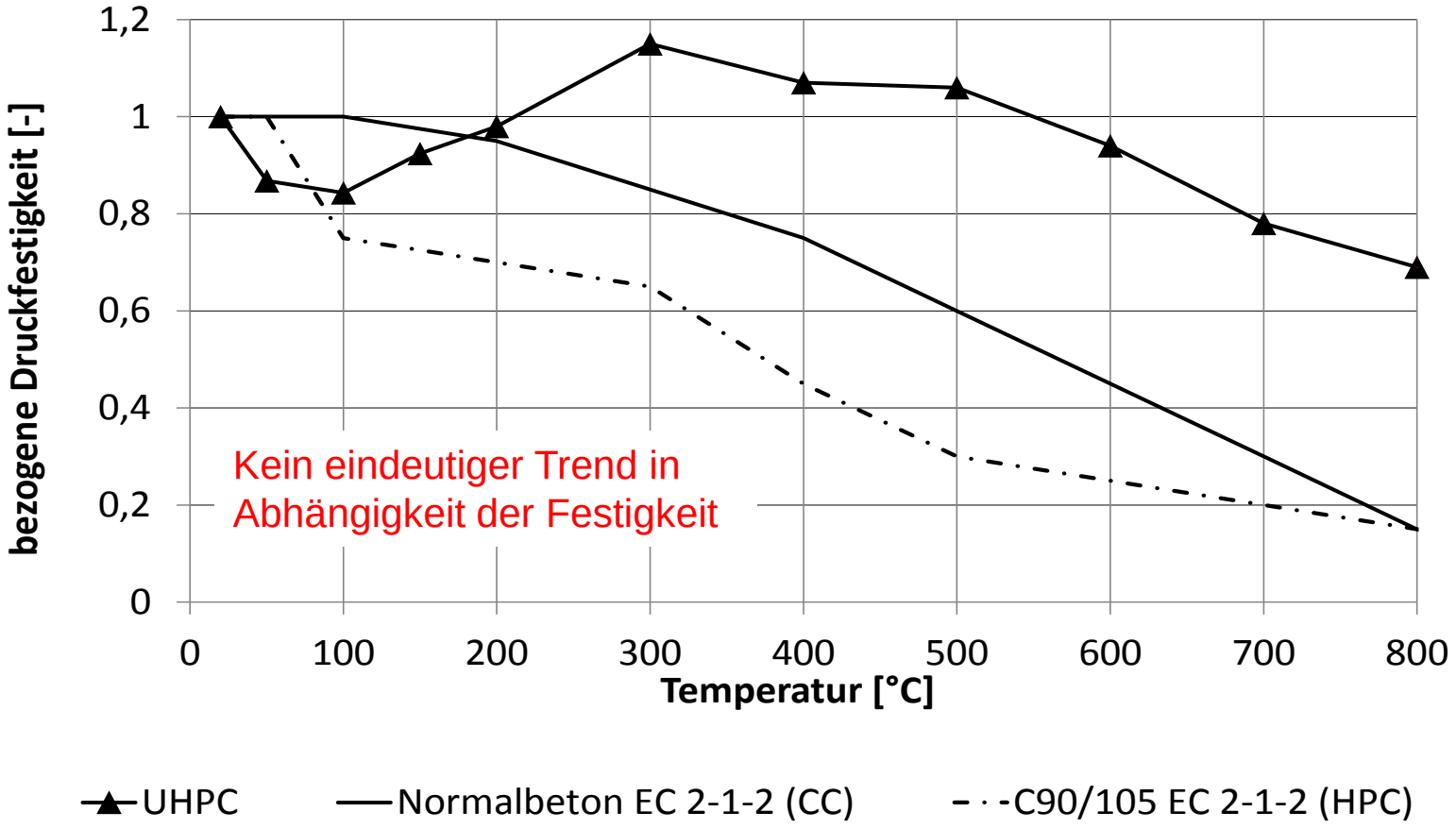
[EC4-1-2]

Zur Verfügung stehende thermische Materialkennwerte von Betonen gemäß DIN EN 1992-1-2

- Normalfester Beton (CC) bis Festigkeitsklasse C 50/60
- Hochfester Beton (HPC) der Festigkeitsklassen C 55/67 bis C 90/105
- Ultrahochfester Beton (UHPC) bisher nicht genormt

- DFG-Schwerpunktprogramm SPP 1182:
  - Erweiterung des Anwendungsbereichs von EC 2-1-2 auf UHPC
  - Herleitung von temperaturabhängigen Materialkennwerten für UHPC in Anlehnung an EC 2-1-2, Abschnitt 3 für normalfesten Beton
  - Brandbeanspruchung nach **Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK)**

Temperaturabhängige Festigkeitsabnahme unterschiedlicher Betone



Geplante experimentelle Untersuchungen zum thermischen und thermomechanischen Verhalten

Verwendete Betonrezepturen im derzeit laufenden Forschungsvorhaben	Aufheizphase	Abkühlphase
CC (C 30/37)	EC2-1-2	x
HPC (C 80/95)	EC2-1-2	x
UHPC ca. 160 N/mm² (B7Q)	x	x

<u>UHPC Betonrezeptur:</u>
SPP 1182: B5Q → Ausgangsstoffe in gleicher Zusammensetzung stehen nicht mehr zur Verfügung

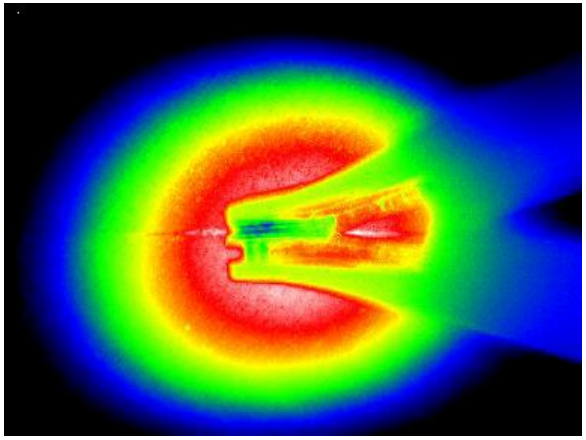
Untersuchungsschwerpunkte

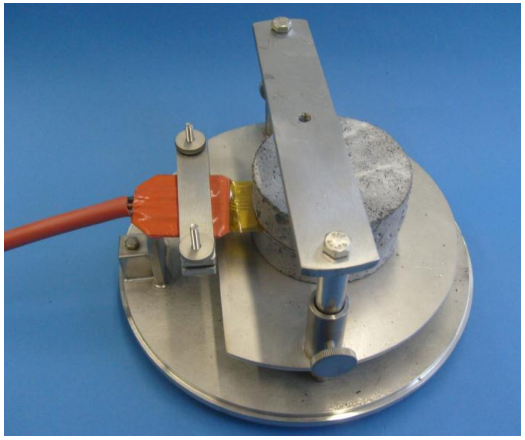
- Thermische Materialkennwerte
  - Rohdichte ρ
  - spezifische Wärmekapazität c_p,
  - Wärmeleitfähigkeit λ

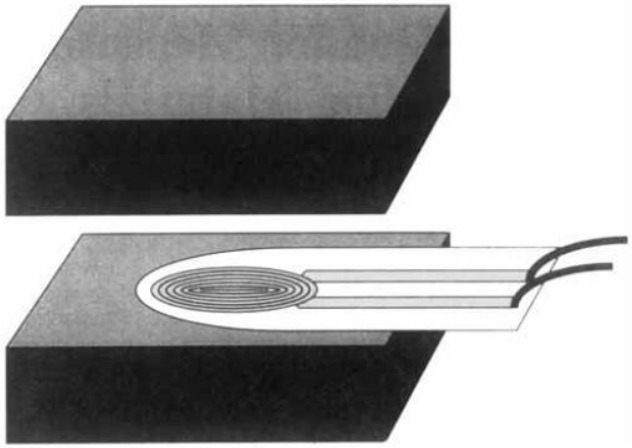
- Thermomechanische Materialkennwerte
  - Druckfestigkeit
  - E-Modul
  - Thermische Dehnungsanteile
  - Mechanische Dehnungsanteile

Temperaturabhängige thermische Kennwerte

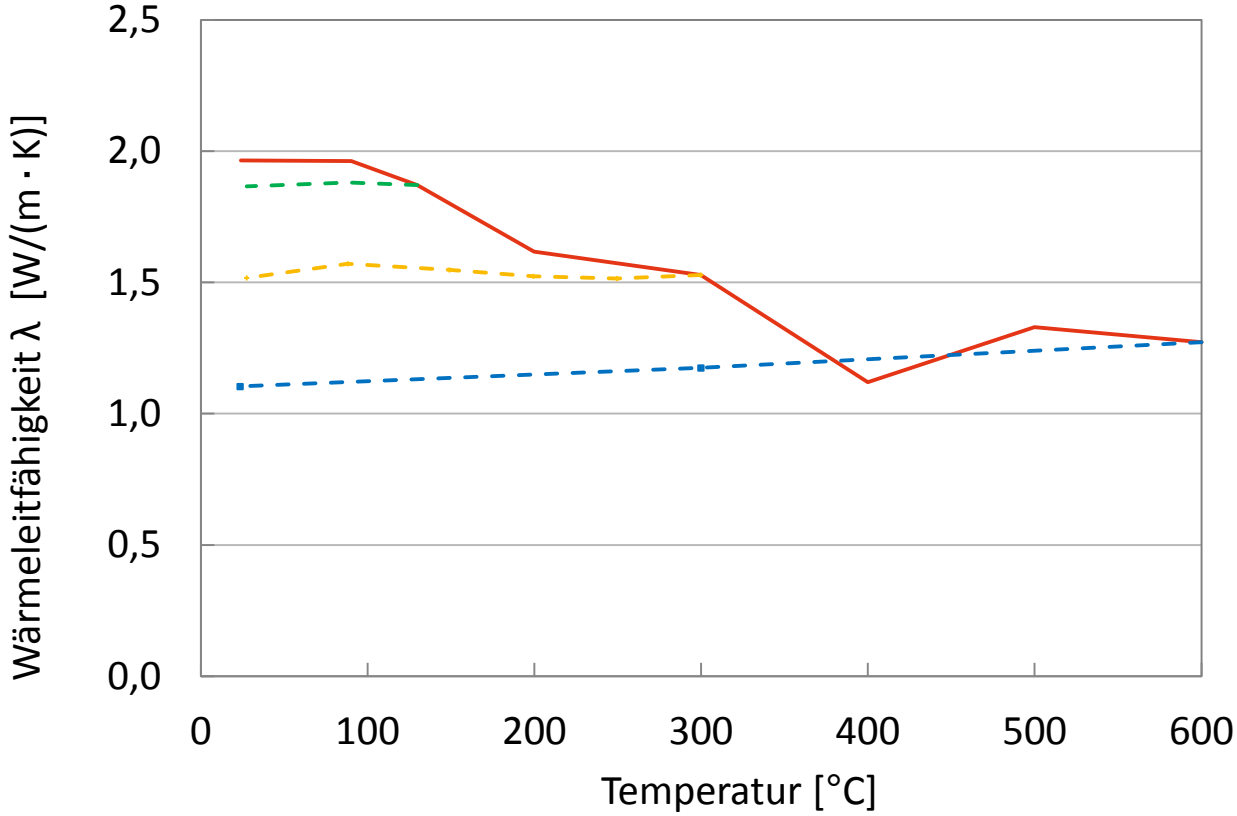
- Transient Plane Source (TPS)
  - Wärmeleitfähigkeit







Tastversuche mit Hilfe des Transient Plane Source Verfahrens für UHPC (C 100/115) in der Abkühlphase



C100/115

gemessene Wärmeleitfähigkeit in der Aufheizphase

Abf130

Abf300

Abf600

Wärmeleitfähigkeit in der Abkühlphase in Abhängigkeit vom maximal erreichten Temperaturniveau

Weitere Verfahren zur Ermittlung der thermischen Kennwerte

- Thermogravimetrische Analyse (TGA)
  - Rohdichte ρ
- Dynamische Differenzkalorimetrie (DSC)
  - Spezifische Wärmekapazität c_p

Thermomechanische Materialkennwerte

Heißdruckprüfmaschine des iBMB

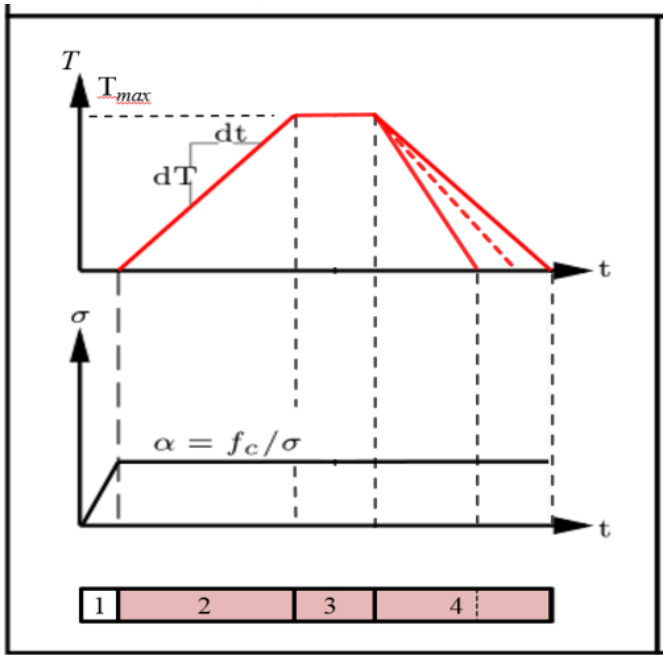
Thermomechanische Materialkennwerte

- Stationäre Warmdruckversuche
  - Erwärmen der unbelasteten Probekörper auf definierte Temperatur
  - Unterschiedliche Temperaturstufen, Anschließend Steigerung der Belastung bis Bruchlast
  - Ergebnisse:
    - Druckfestigkeit
    - E-Modul

Betonzylinder nach Prüfung

Thermomechanische Materialkennwerte

- Instationäre Warmkriechversuche
  - Belasten der Probekörper mit definierter Spannung
  - Temperatur nicht bis zum Versagen steigern, sondern auf verschiedenen Temperaturstufen gehalten und anschließend wieder reduziert
  - Ergebnisse:
    - Thermische Dehnungsanteile
    - Mechanische Dehnungsanteile



Validierung der Materialmodelle

- Versuche im Realmaßstab
  - min. 3 Stützenversuche (CC, HPC, UHPC) z. B.: 30/30/360 [cm³]

- Überprüfung der thermischen Analyse
  - Querschnittserwärmung

- Überprüfung der mechanischen Analyse
  - Feuerwiderstandsdauer
  - Verformungsverhalten

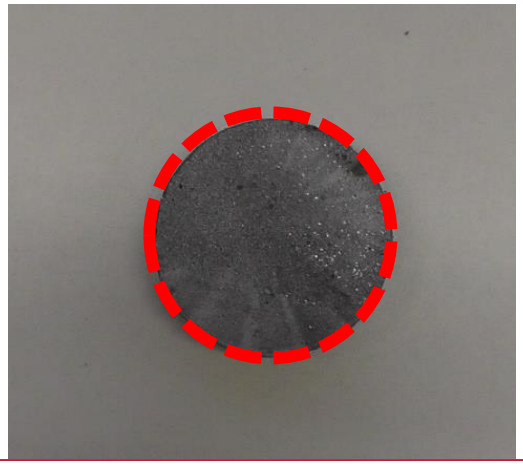
Versuchskörper am 8.11.2016

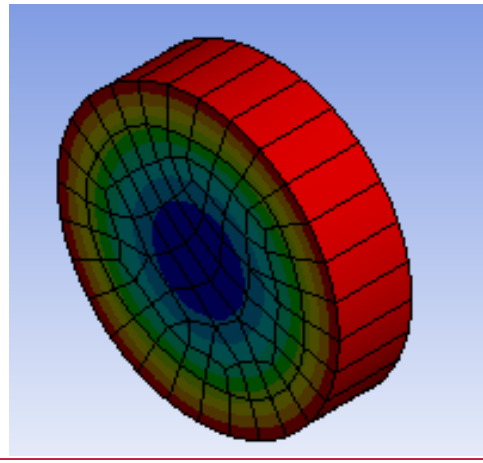
Thermische Querschnittsanalyse in ANSYS für C35/45

Untersuchungsszenario	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Materialkennwerte	EC 2-1-2	EC 2-1-2	Tastversuch (λ Aufheiz- und Abkühlphase)
Brandbeanspruchung	ETK	Naturbrand	Naturbrand

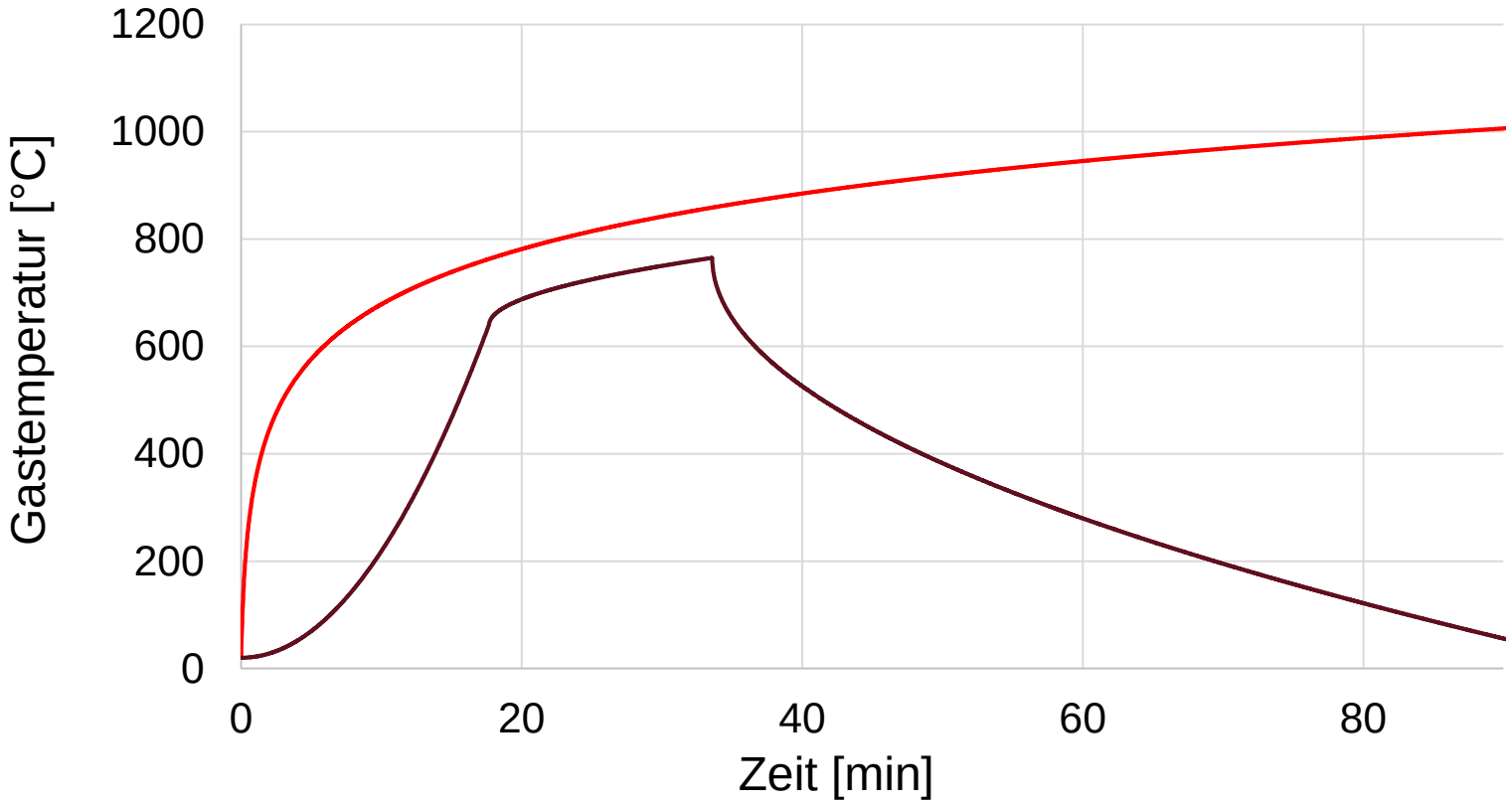
Netto-Wärmestrom bestehend aus:

- konvektiven Anteil
- radiativen Anteil

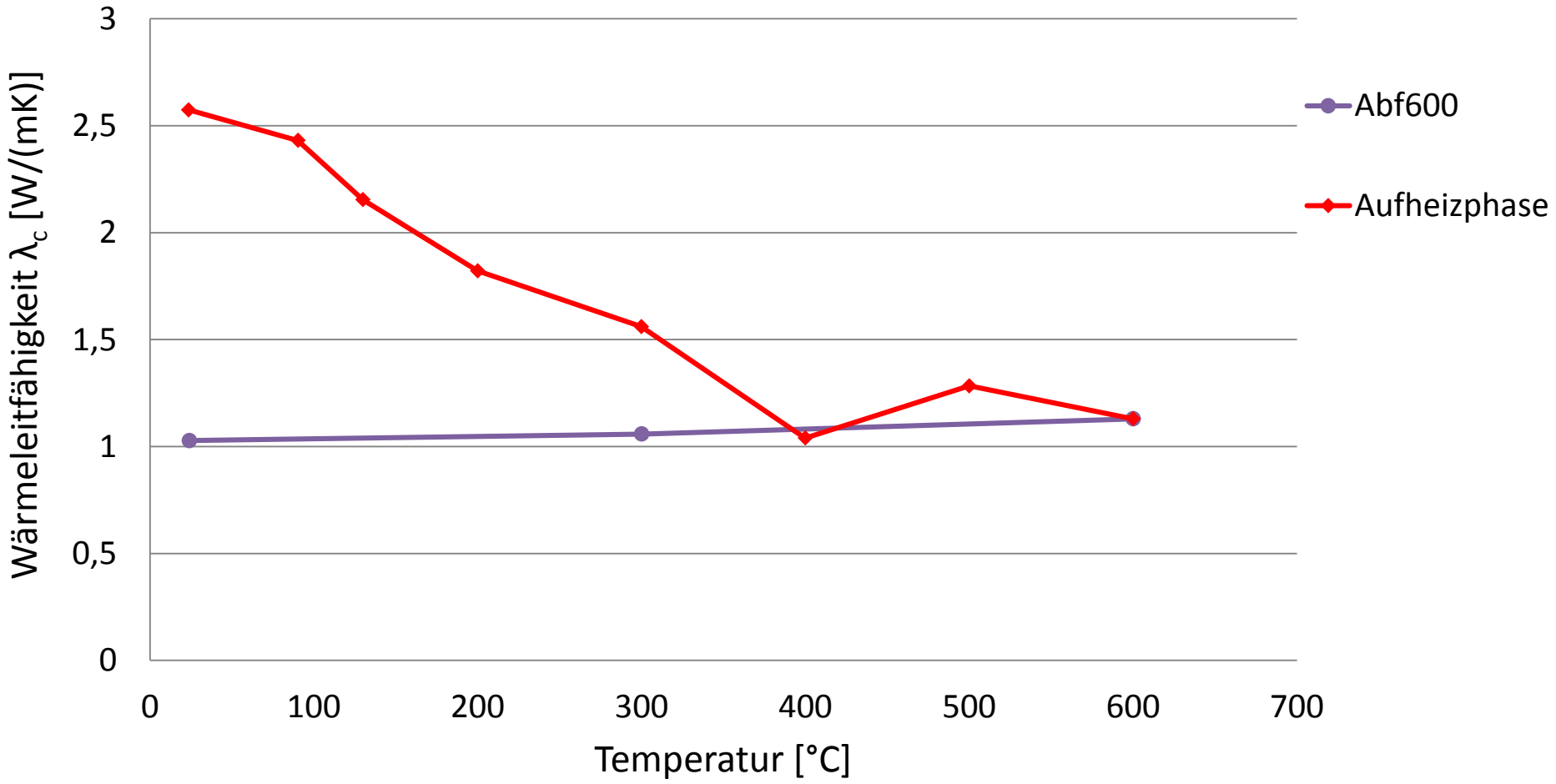




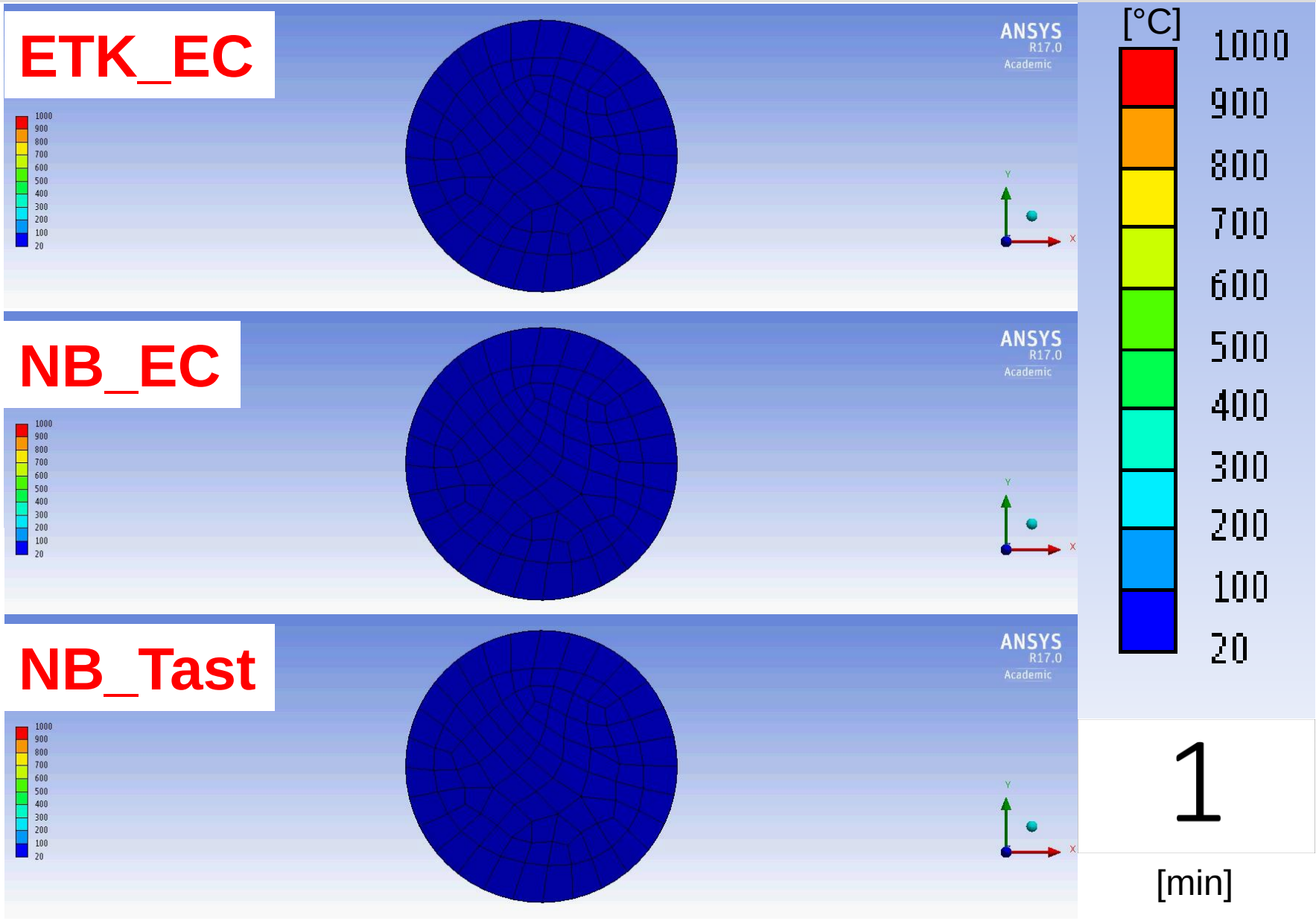
Bürogebäude: Vollbrandszenario eines Raumes
Anwendung vereinfachtes Naturbrandmodell EC1-1-2/NA



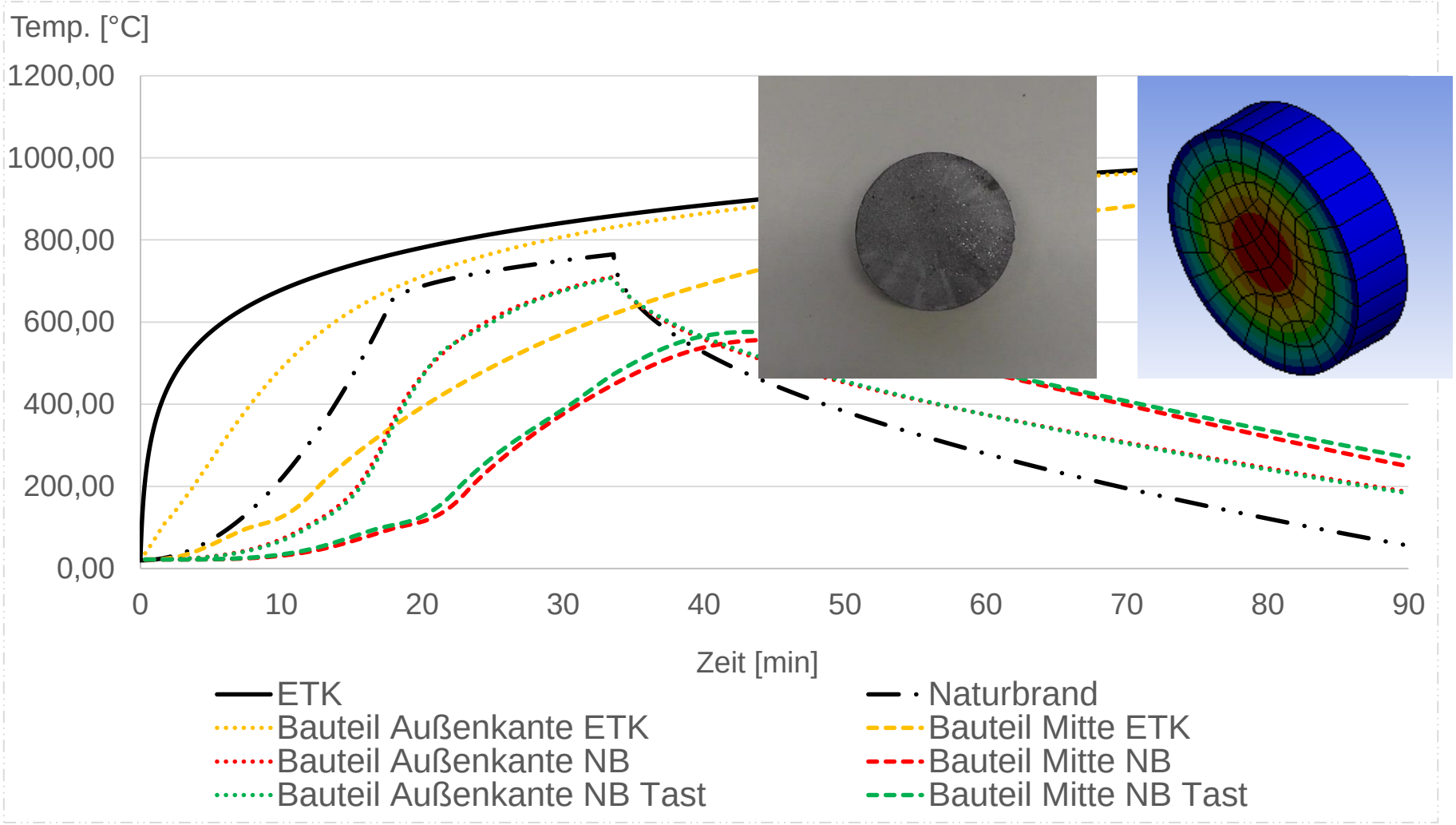
Temperaturabhängige Wärmeleitfähigkeit für ansteigende und abnehmende Temperaturen



Visualisierung Thermische Querschnittsanalyse



Vergleich der Querschnittstemperaturen



Zusammenfassung und Ausblick

- Anwendung von Naturbrandszenarien ermöglicht eine realistischere und i.d.R. wirtschaftlichere Bemessung von Betonbauteilen
- Thermische Materialkennwerte von unterschiedlichen Betonen für die Abkühlphase sind bisher nicht genormt
- Ermittlung von thermischen und thermomechanischen Materialkennwerten von Betonen für die Abkühlphase im Rahmen des DFG-Forschungsvorhabens
- Numerische Modellierung des Temperatur- und Tragverhaltens von brandbeanspruchten Betonbauteilen unter Anwendung von Naturbrandszenarien weiterentwickeln

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Fragen?