



FH Salzburg

Dreidimensionale thermische Simulation

Smart Building Constructions 2

**Technik
Gesundheit
Medien**

08.01.2020

FH Salzburg · Smart Building Constructions 2 · Tobias Steiner

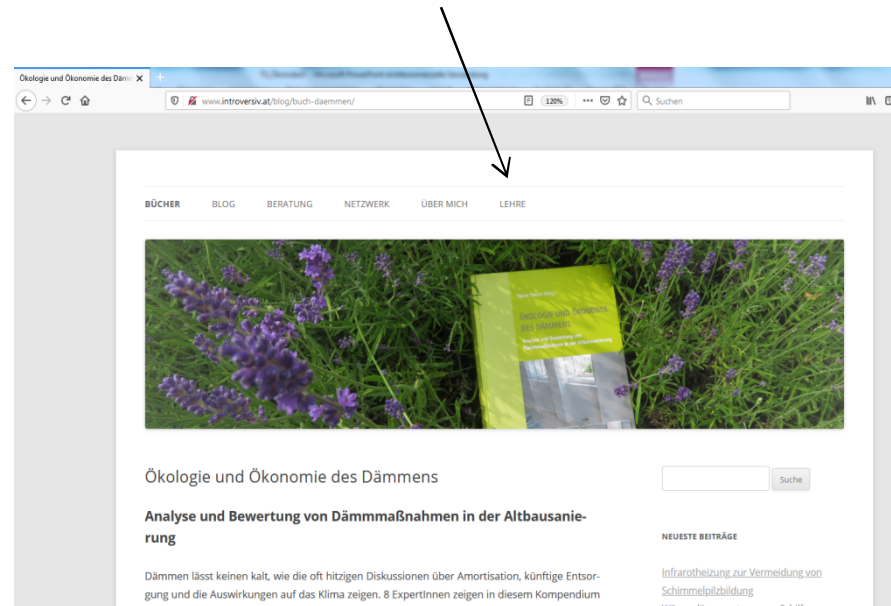
Unterlagen

Smart Building Constructions 2



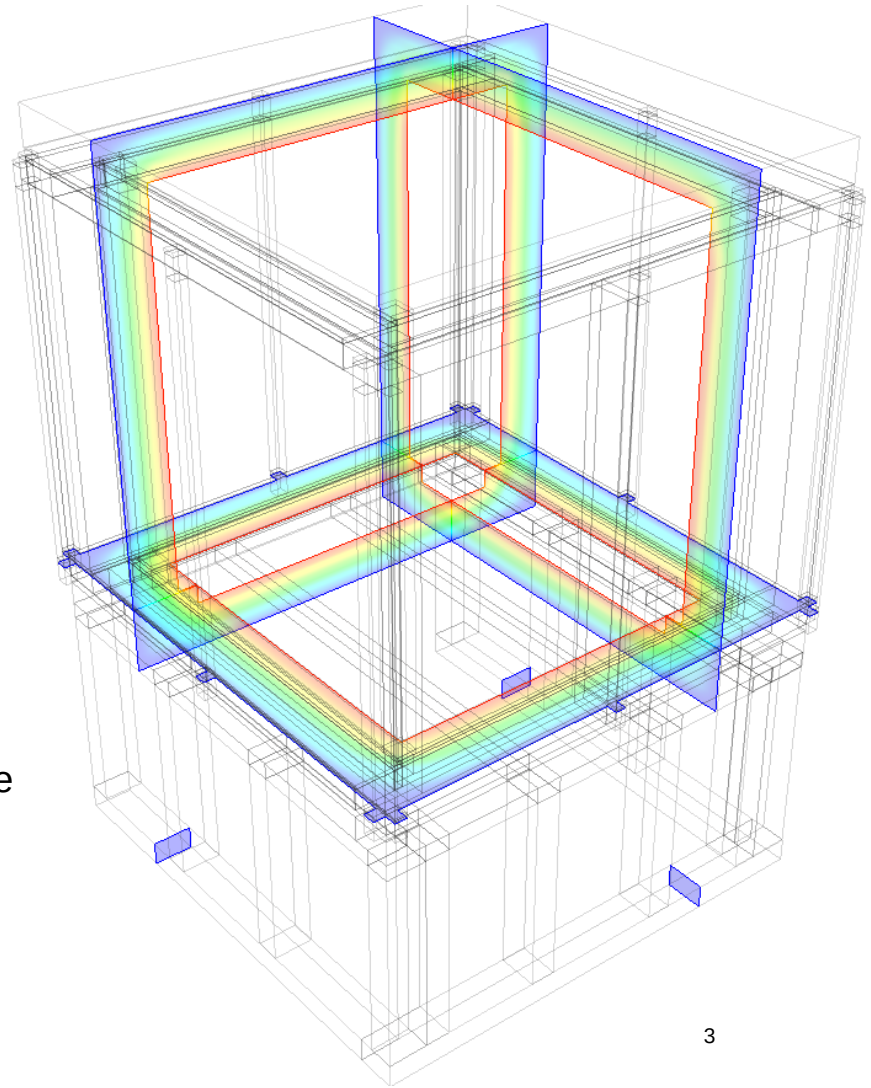
www.introversiv.at

<http://www.introversiv.at/blog/lehre/smart-building-constructions-2/>



Aufbau

- Einführung
- Wärmetransportmechanismen
- Das Leitwert-Konzept
- Das Konzept der Basislösungen
- Beschreibung von Wärmeleitungsvorgängen
- Leitwert der Gebäudehülle: Berechnungskonzepte
- Wärmebrückenkataloge und -programme



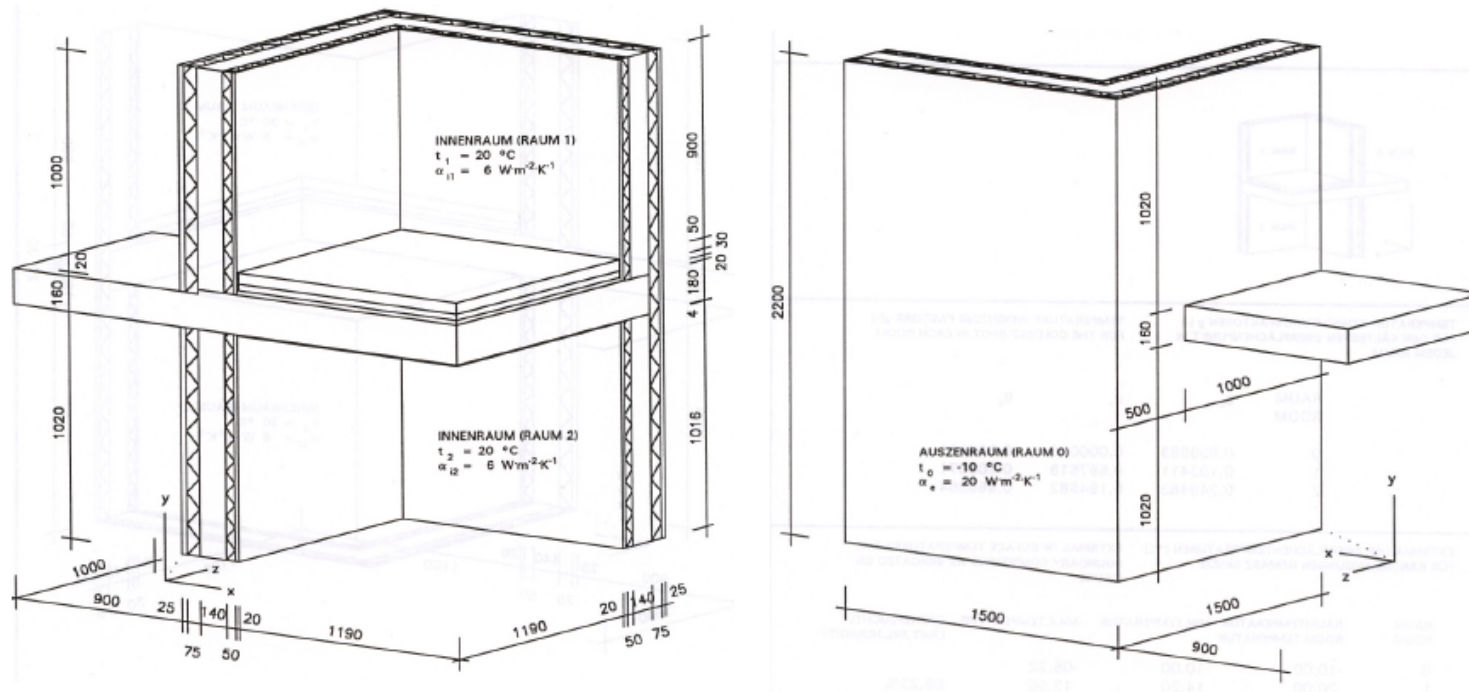
Einführung



- Zur Bedeutung von Wärmebrücken für das Bauwesen
- „Wärmebrücke“ – Versuch einer Begriffsbestimmung
- Die Auswirkung von Wärmebrücken auf die thermische Qualität von Gebäuden

Mantelbeton-Plattenbauweise

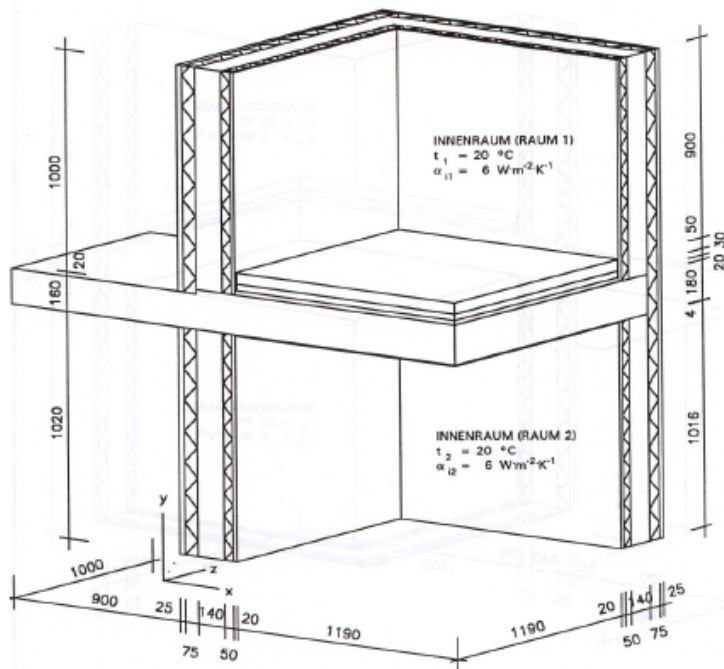
Wärmeverluste über eine Balkonplatte → Wärmeverluste Φ [W] ?





Mantelbeton-Plattenbauweise

Wärmeverluste über eine Balkonplatte → Wärmeverluste Φ [W] ?

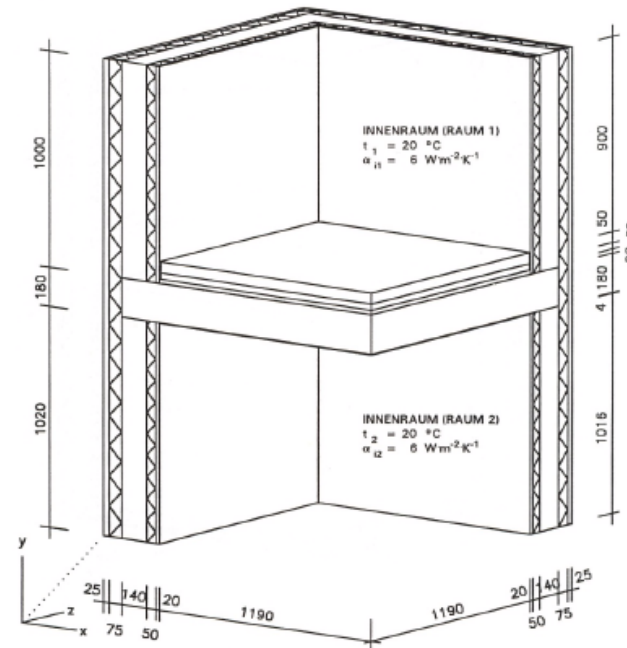
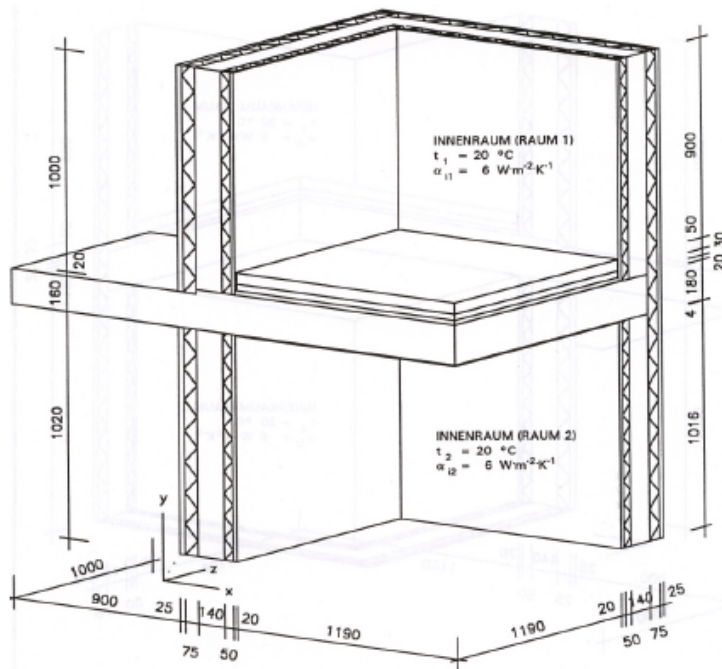


- Stationäre (zeitunabhängige) numerische Berechnung
- Randbedingungen:
 - Lufttemperatur innen 20°C
 - Lufttemperatur außen -12°C

→ Ergebnis Wärmeverlust $\Phi_b = 118,1 \text{ [W]}$

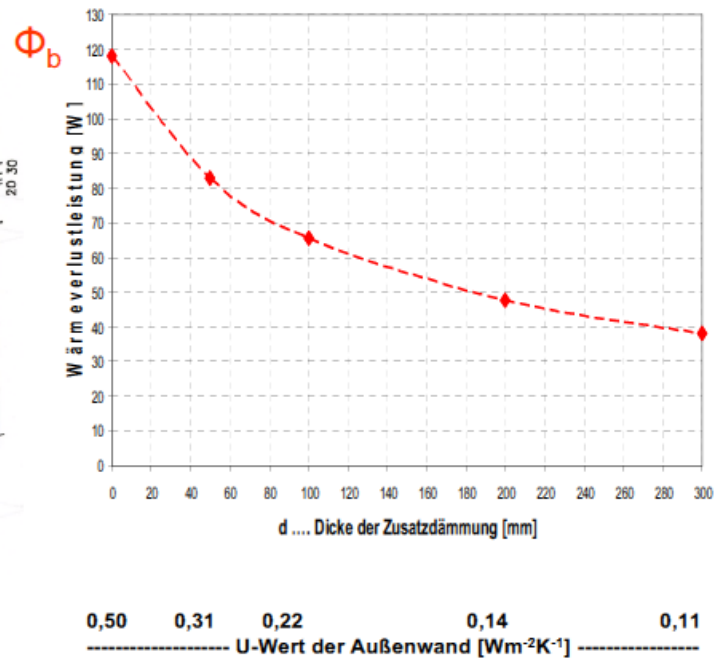
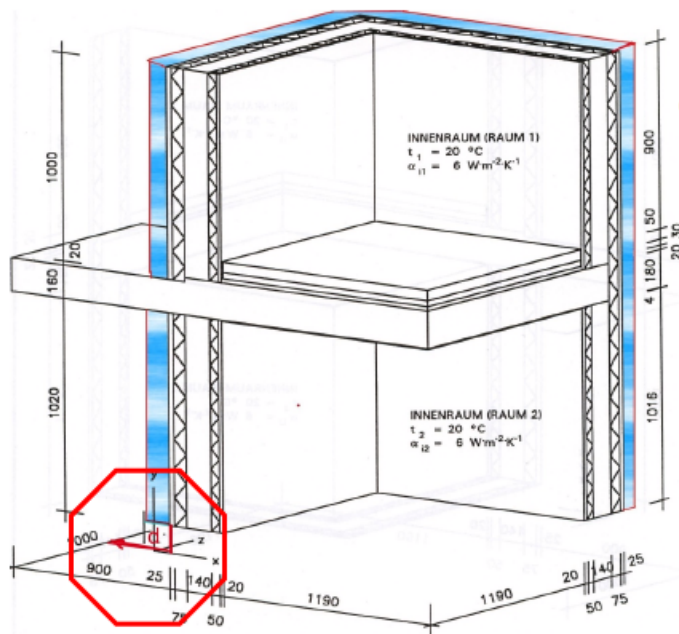
Mantelbeton-Plattenbauweise

Ein Vergleich



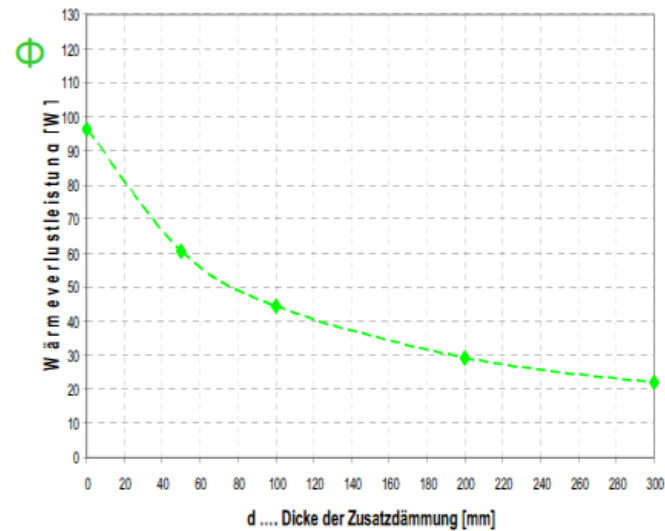
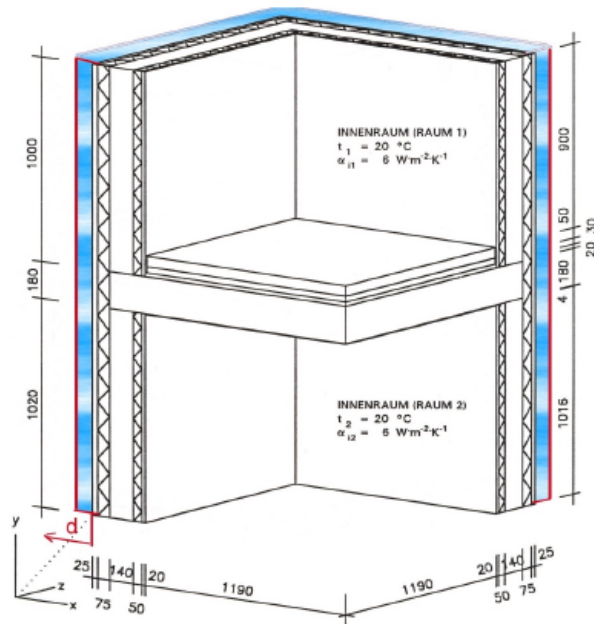
Mantelbeton-Plattenbauweise

Sanierungs-Varianten



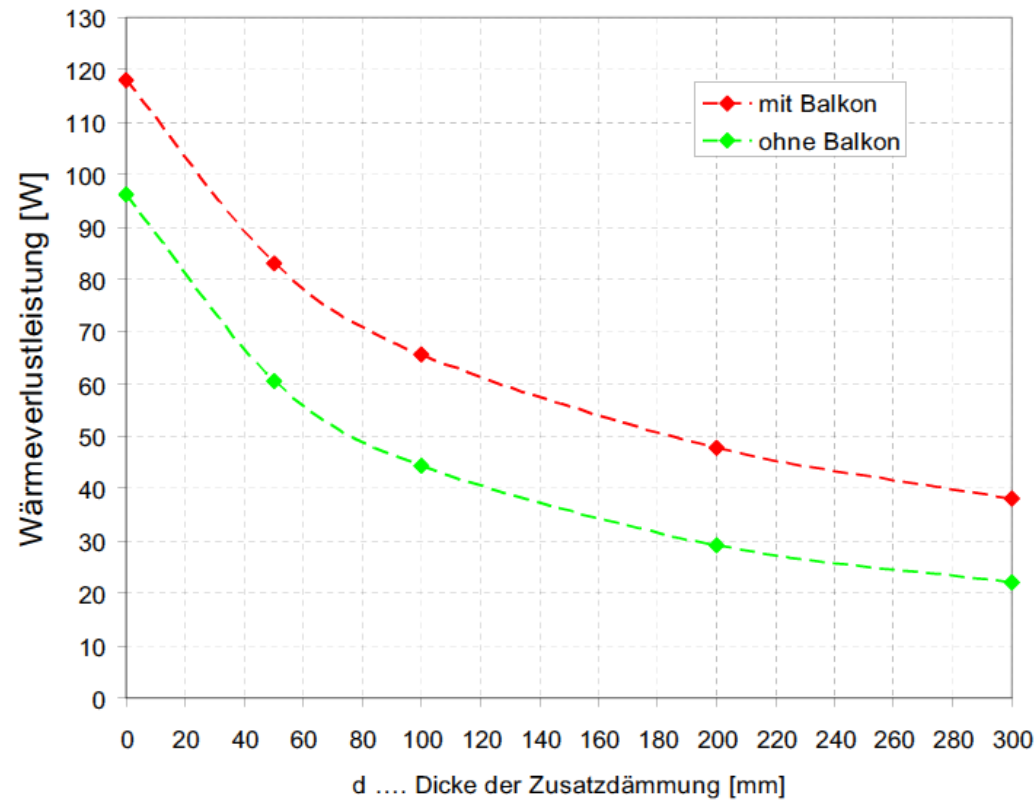
Mantelbeton-Plattenbauweise

Sanierungs-Varianten

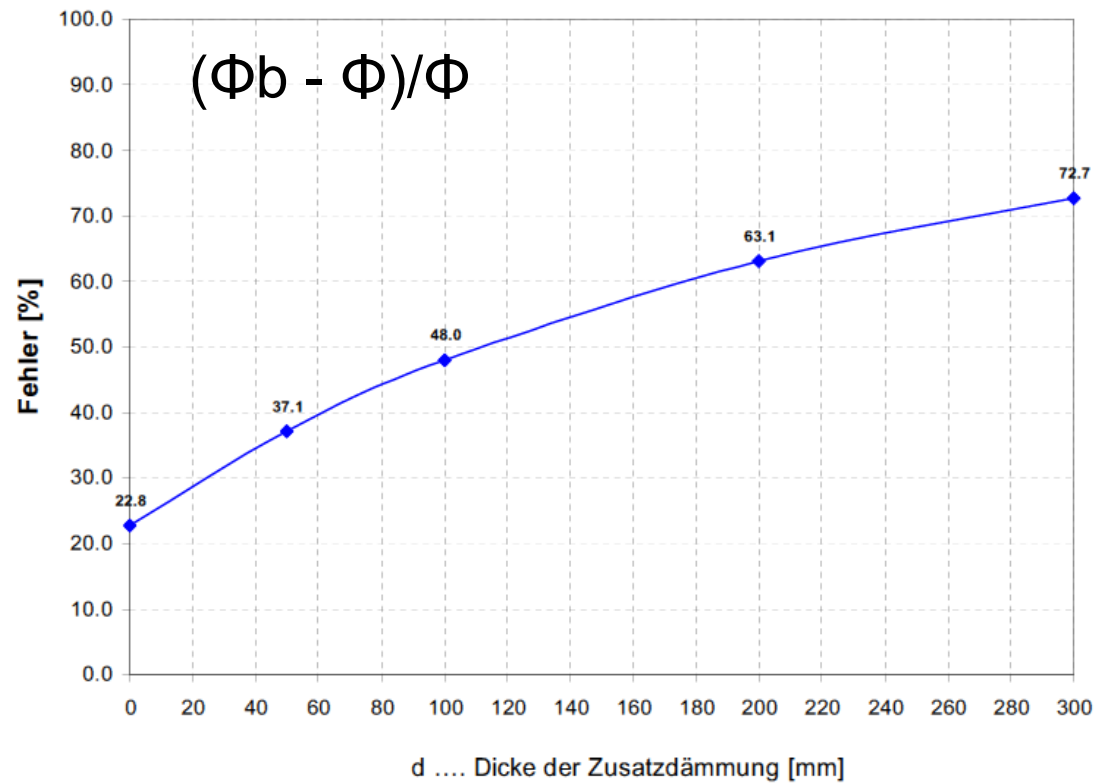


0,50 0,31 0,22 0,14 0,11
 ----- U-Wert der Außenwand [Wm⁻²K⁻¹] -----

Sanierungs-Varianten: Vergleich

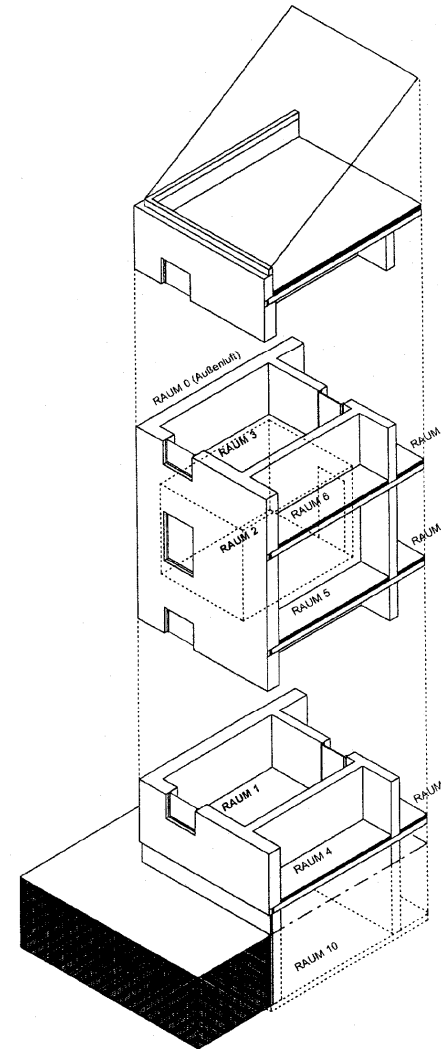


Sanierungs-Varianten: Vergleich

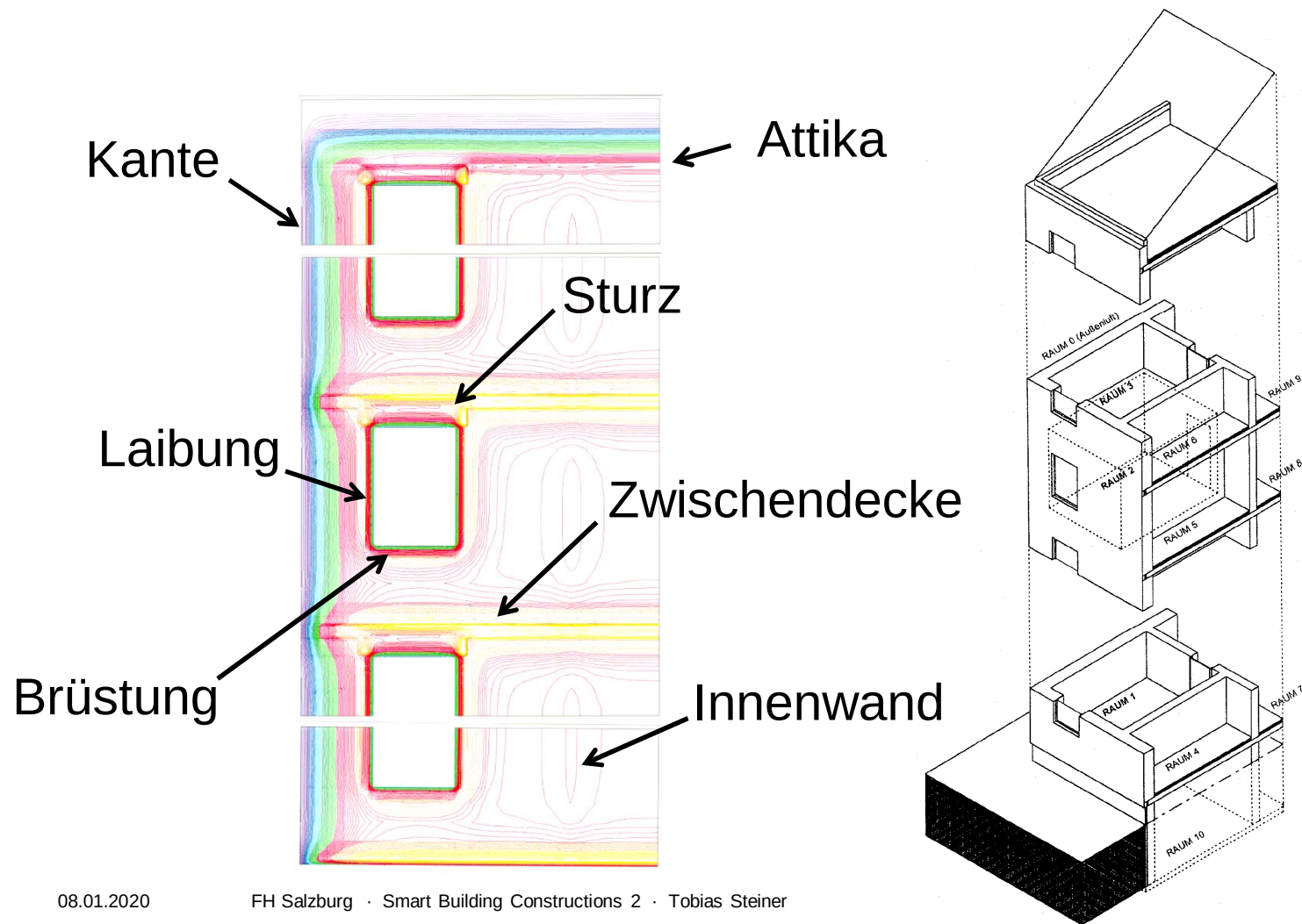


Gebäudekante

Wärmebrücken?

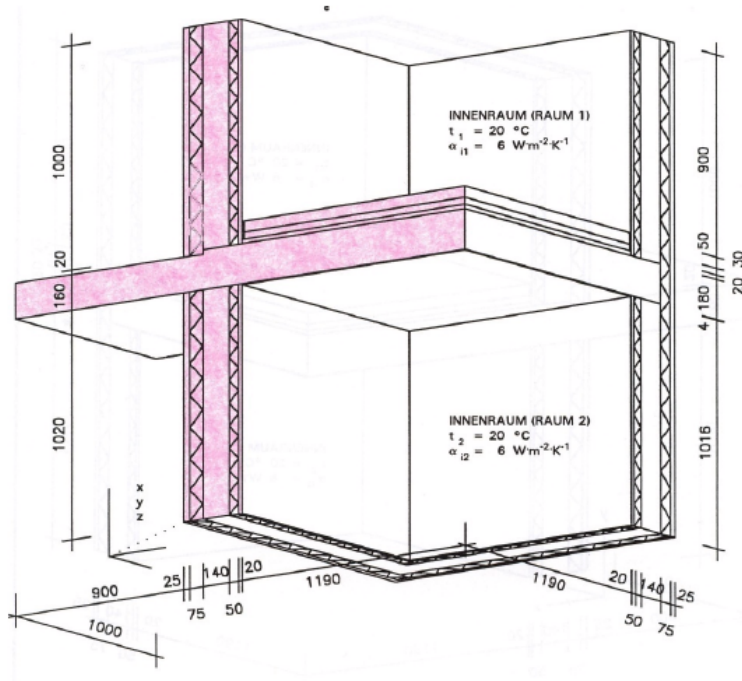


d Dicke der Zusatzdämmung [mm]



Wärmeverluste

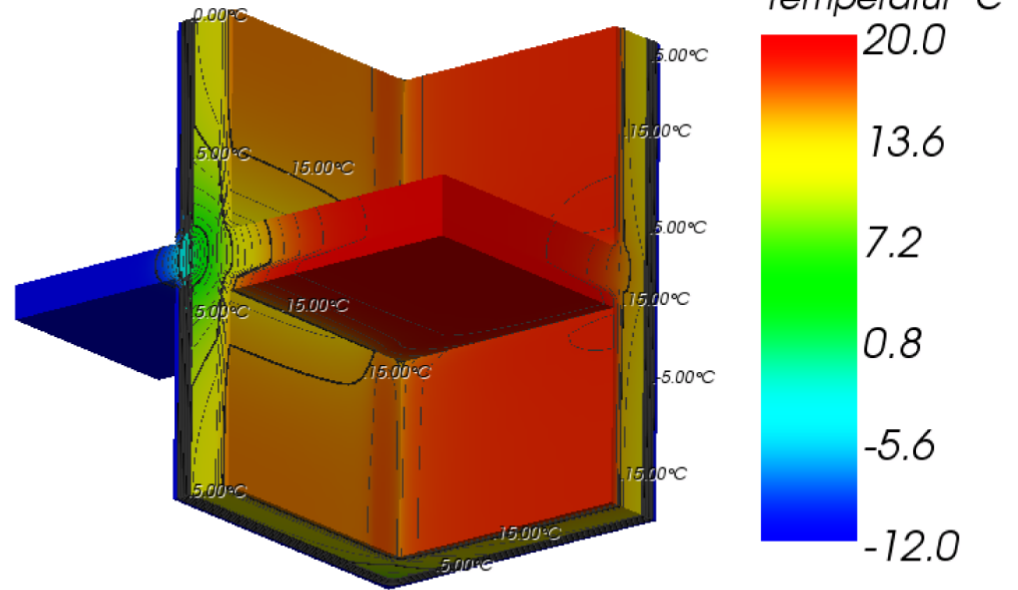
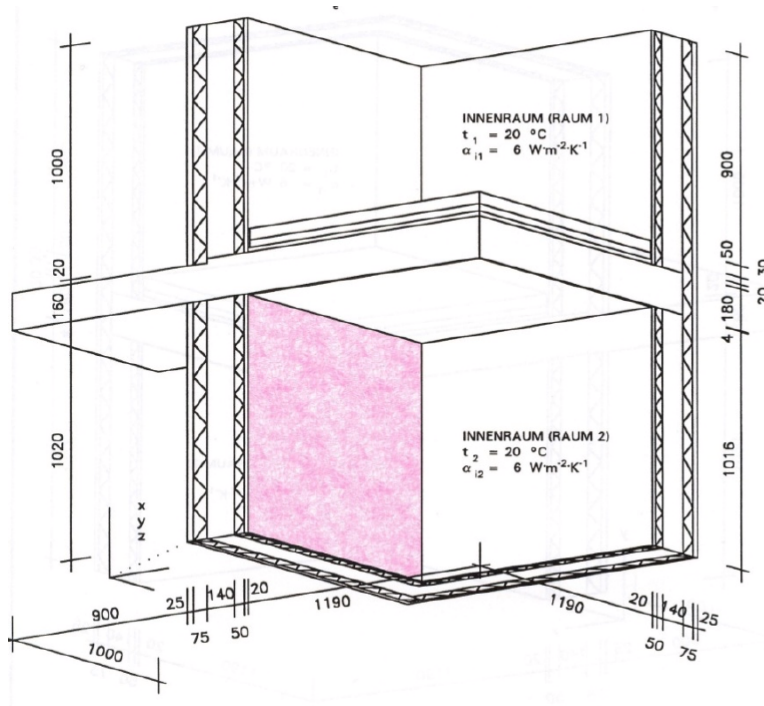
Auswirkungen



Auswirkungen auf

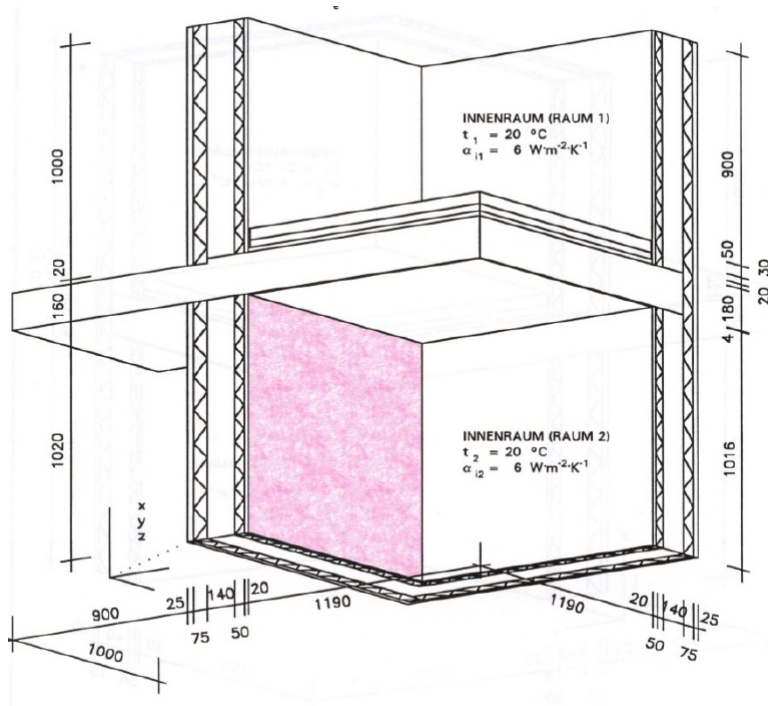
- Heizlast
- Baukosten
- Heizwärmebedarf
- Schadstoffemissionen
- Betriebskosten

Oberflächentemperaturen



Programmpaket AnTherm V4.74
© T. Kornicki

Oberflächentemperaturen



Auswirkungen auf

- Gesundheit (Schimmelbildung)
- Behaglichkeit
- Lebensdauer
- Betriebskosten (bei Sanierungserfordernis)

Wärmetransportmechanismen



- **Wärmestrahlung**

Wärmetransport durch (langwellige) elektromagnetische Strahlung ohne Beteiligung eines Mediums

- **Konvektion**

Wärmetransport in Verbindung mit Massentransport
(Wärmeträgermedium z. B. Wasser, Luft, ...)

- **Wärmeleitung**

Wärmetransport als Ausgleichsmechanismus in einem Medium
(Festkörper, Flüssigkeit, Gas)

Wärmestrahlung



Jeder Körper strahlt in Abhängigkeit von seiner Temperatur Wärme ab. Der Wärmetransport durch Wärmestrahlung erfolgt ohne Vermittlung eines materiellen Mediums.

Stefan-Boltzmann'sches Gesetz

Die Gesamtemission des schwarzen Körpers ist proportional zur 4. Potenz der absoluten Temperatur der Oberfläche.

Themenkreise: Strahlungsfeld im Raum (Behaglichkeit),
Wärmeübergang an den Oberflächen,
Flächenheizsysteme, Wärmedurchgang durch Hohlräume, ..

Konvektion



Mit der Strömung eines Gases oder einer Flüssigkeit wird Masse transportiert. Gleichzeitig wird auch die aufgrund der Temperatur im bewegten Medium enthaltene Wärme transportiert.

Themenkreise: Lüftungswärmeverluste,
Wärmeübergang an den Oberflächen,
Wärmetransport mit Heiz- und Kühlmedien,
Wärmedurchgang durch Hohlräume, ..

Wärmeleitung



In einem Medium fließt Wärme immer von Orten höherer Temperatur zu Orten niedrigerer Temperatur (**Ausgleichsvorgang**).

Fourier'scher Wärmestromansatz

Die Wärmestromdichte – d. h. der flächenbezogene Wärmestrom – ist proportional zum Temperaturgefälle.

Der Proportionalitätsfaktor ist die Wärmeleitfähigkeit.

Themenkreise: Wärmeströme durch Baukonstruktionen,
Transmissionswärmeverluste,
Temperaturverteilungen,
Oberflächentemperaturen,
Kondensationsrisiko, ..

Das Konzept der Thermischen Leitwerte



- Die stationäre Wärmebilanzgleichung
- Die Wärmeverluste



Die stationäre Wärmebilanzgleichung

Wärmeverluste = Wärmegewinne

$$L_T \cdot (\Theta_i - \Theta_e) + L_V \cdot (\Theta_i - \Theta_e) = \Phi_s + \Phi_i + \Phi_h$$

↑ ↑ ↑ ↑ ↘
Transmission Lüftung Sonne Nutzung Heizung

Anwendungsmöglichkeiten

- Heizlastberechnung
- Heizwärmebedarfsberechnung
- Sommertauglichkeitsberechnung



Wärmeverluste

Der Wärmeverlust eines Raumes ist im stationären (d. h. zeitunabhängigen) Fall **proportional** zu den Differenzen aus der Lufttemperatur des betrachteten Raumes und der Lufttemperaturen aller Innen- und Außenräume.

Die Proportionalitätsfaktoren sind die **Thermischen Leitwerte**.

Das Konzept der thermischen Leitwerte ist auf instationäre (zeitabhängige) Vorgänge verallgemeinerbar.

Themenkreise: Heizlastberechnung,
Heizwärmebedarfsberechnung,
Sommertauglichkeitsberechnung,
Thermische Gebäudesimulation ..

Wärmeverluste



$$L_T \cdot (\Theta_i - \Theta_e) + L_V \cdot (\Theta_i - \Theta_e) = \Phi_s + \Phi_i + \Phi_h$$

Φ_s Wärmegewinne durch solare Einstrahlung

Φ_i Nutzungsbedingte Wärmegewinne

Φ_h Wärmegewinne durch Heizung

Einheit WK^{-1}

Wärmeverluste



$$L_T \cdot (\Theta_i - \Theta_e) + L_V \cdot (\Theta_i - \Theta_e) = \Phi_s + \Phi_i + \Phi_h$$

L_T thermischer Leitwert (Transmissionsleitwert) der Gebäudehülle

L_V Lüftungsleitwert

Einheit W

Das Konzept der Basislösungen



- Temperaturverteilung
- Oberflächentemperaturen
- Kondensationsrisiko



Temperaturverteilung

Die Temperatur in jedem Punkt einer Baukonstruktion kann im stationären (d. h. zeitunabhängigen) Fall als Gewichtsmittel aus den Lufttemperaturen aller an die Baukonstruktion angrenzenden Räume berechnet werden.

Als Gewichte treten **Temperaturgewichtungsfaktoren** auf.

Die Gesamtheit der Temperaturgewichtungsfaktoren für alle Punkte in der Baukonstruktion wird **Basislösung** genannt.

Das Konzept der Basislösungen ist auf instationäre (zeitabhängige) Vorgänge verallgemeinerbar.

Themenkreise: Temperaturverteilung im Bauteil,
Oberflächentemperaturen,
Kondensationsrisiko,
Schimmelbildung ..



Oberflächentemperaturen

Für jeden Punkt jeder Oberfläche einer Baukonstruktion kann ein

Satz von Temperaturgewichtungsfaktoren angegeben werden.

Die Oberflächentemperatur Θ_s^* am Punkt (x,y,z) errechnet sich gemäß

$$\Theta_s^*(x, y, z) = \sum_j g_j(x, y, z) \cdot \Theta_j$$

Nach Norm (national: **ÖNorm B8110-2**; international **EN ISO 10211**)

sind u. a. als Ergebnis einer Wärmebrückenberechnung die Sätze von

Temperaturgewichtungsfaktoren für die Punkte tiefster Oberflächentemperatur

für alle Innenräume anzugeben.

Anmerkung: Für den stationären Fall gilt: $\sum_j g_j = 1$



Kondensationsrisiko

Bei bekannter Oberflächentemperatur kann unmittelbar $\Theta_{s,*}$ angegeben werden, bei welcher relativen Feuchtigkeit der Raumluft es zur Bildung von Kondensat kommen wird.

Jener Wert der relativen Feuchtigkeit der Raumluft, bei dessen Überschreitung es zur Kondensatbildung kommt, wird **Grenzfeuchtigkeit** genannt.

In der **ÖNorm B8110-2:2003** wird ein „Norm-Innenraum-Klima“ definiert und gefordert, dass unter diesen Verhältnissen es an keiner Stelle der inneren Oberflächen zu Kondensatbildung kommen darf.

Zudem wird ein weiteres Kriterium zur „**Hintanhaltung von Schimmelbildung**“ eingeführt.

Beschreibung von Wärmeleitungsvorgängen



- Eindimensionales Modell
- Zweidimensionales Modell
- Dreidimensionales Modell

Das eindimensionale Modell



- Von **eindimensionaler Wärmeleitung** wird dann gesprochen, wenn die Wärmeleitungsvorgänge **mit einer Ortskoordinate** allein beschreibbar sind.
- Ein Beispiel für eindimensionale Wärmeleitung ist der Wärmedurchgang durch einen **plattenförmigen, homogen geschichteten Bauteil** (Wand, Fußboden, Decke, ...).
- Das Verwenden des eindimensionalen thermischen Modells hat den Vorteil, dass Ergebnisse **per Handrechnung** erhalten werden können.



Das zweidimensionale Modell

- Von **zweidimensionaler Wärmeleitung** wird dann gesprochen, wenn zur Beschreibung der Wärmeleitungsvorgänge **zwei Ortskoordinaten** notwendig sind.
- Berechnet werden Wärmeströme und Temperaturverteilungen für jeweils **eine Ebene**.
- In Richtung der dritten Koordinate (senkrecht zur betrachteten Ebene) bleibt die Temperaturverteilung unverändert; entlang dieser Koordinatenachse fließt kein Wärmestrom.
- Die **Berechnungen** können **nur numerisch** unter Verwendung eines Wärmebrückenprogramms durchgeführt werden

Das dreidimensionale Modell



- Von **dreidimensionaler Wärmeleitung** wird dann gesprochen, wenn zur Beschreibung der Wärmeleitungsvorgänge **alle drei Ortskoordinaten** notwendig sind.
- Die **Berechnungen** können **nur numerisch** unter Verwendung eines Wärmebrückenprogramms durchgeführt werden

Wärmebrückenkataloge und -programme



- Quellen für ψ -Werte
 - Normen
 - Kataloge
- Wärmebrückenprogramme

Wärmebrückenkataloge



Die Zahl der Wärmebrückenkataloge ist hoch und ständig im Steigen begriffen.

Vorteile der Verwendung von Katalogen:

- kein Wärmebrückenprogramm notwendig
- Übersicht über thermisch sinnvolle Konstruktionen

Nachteile der Verwendung von Katalogen:

- großer Aufwand für das Suchen der Konstruktion
- geringe Chance, exakt die vorliegende Konstruktion zu finden
- erhebliche Gefahr der Fehlinterpretation der angegebenen Werte (indirektes Verfahren!)

Wärmebrückenkataloge



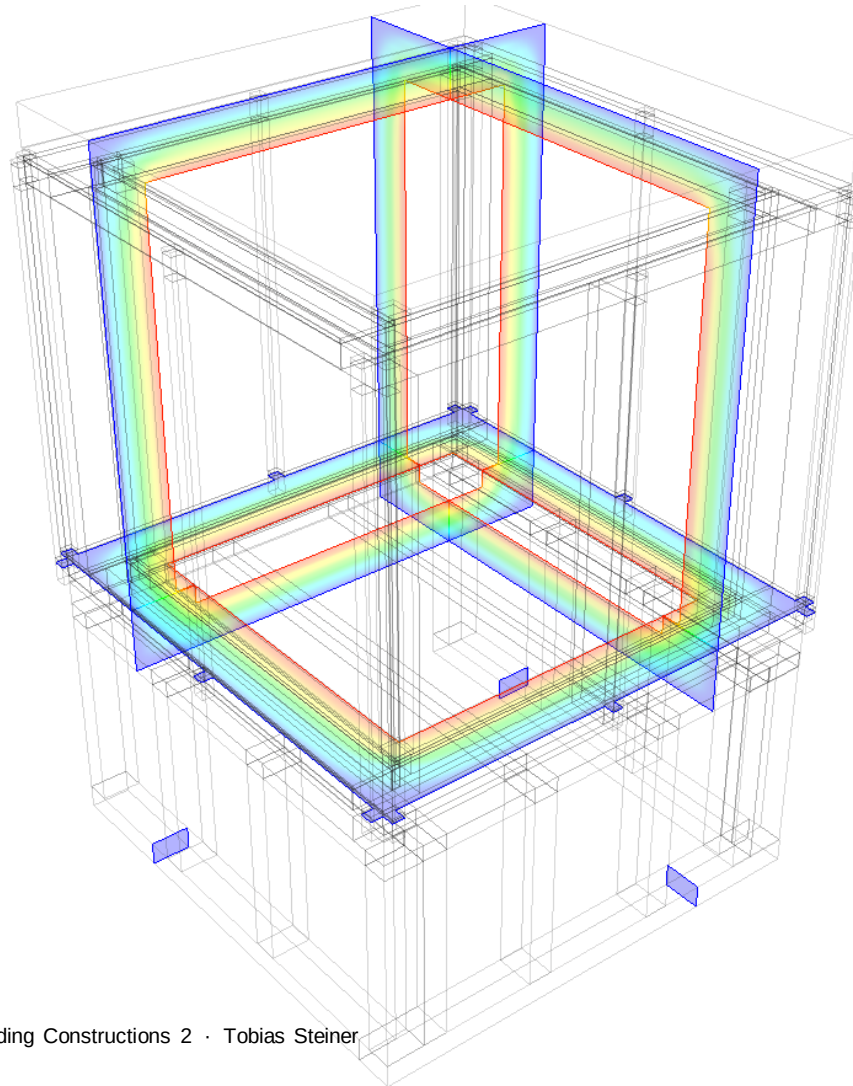
Wärmebrückenprogramme

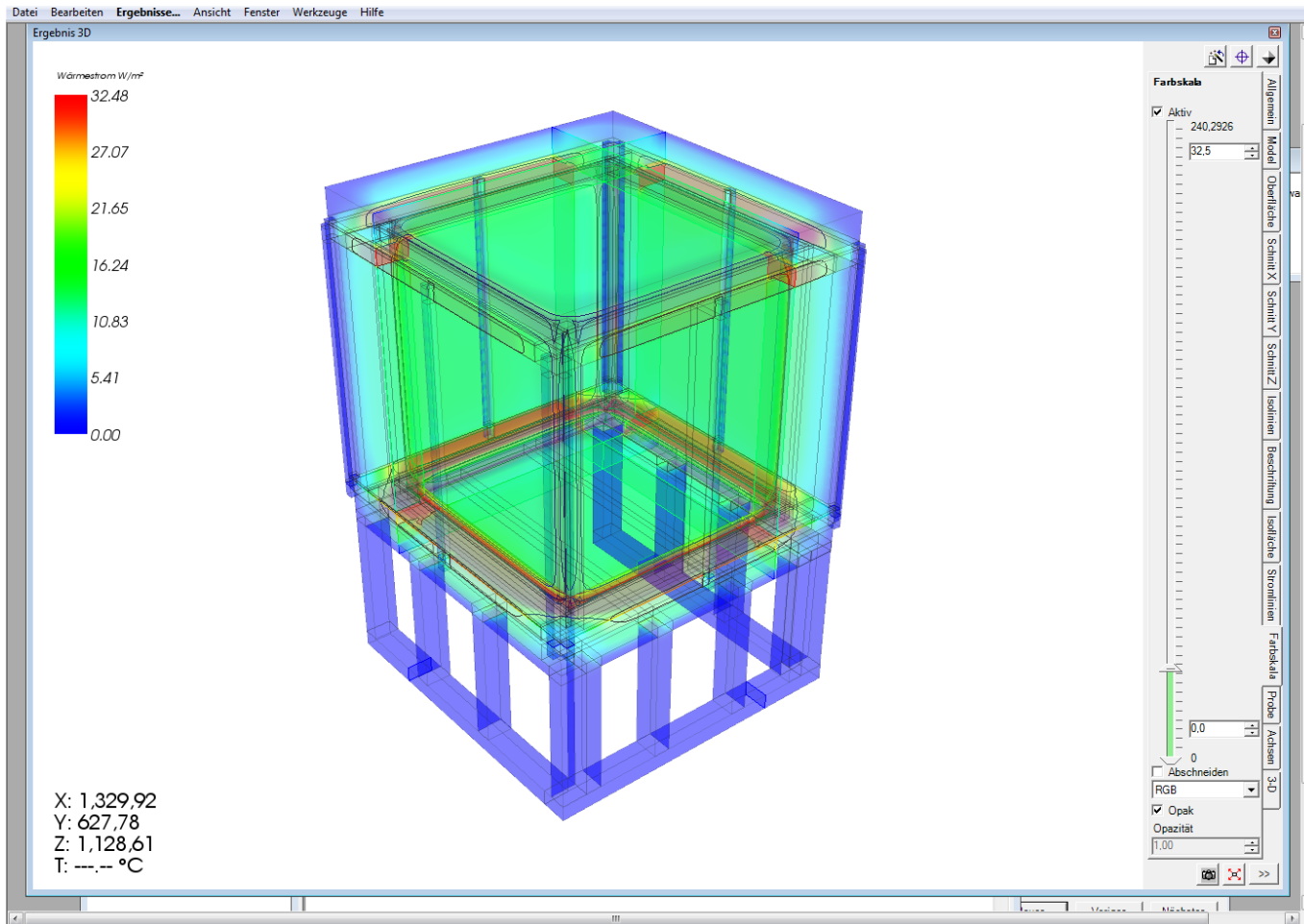


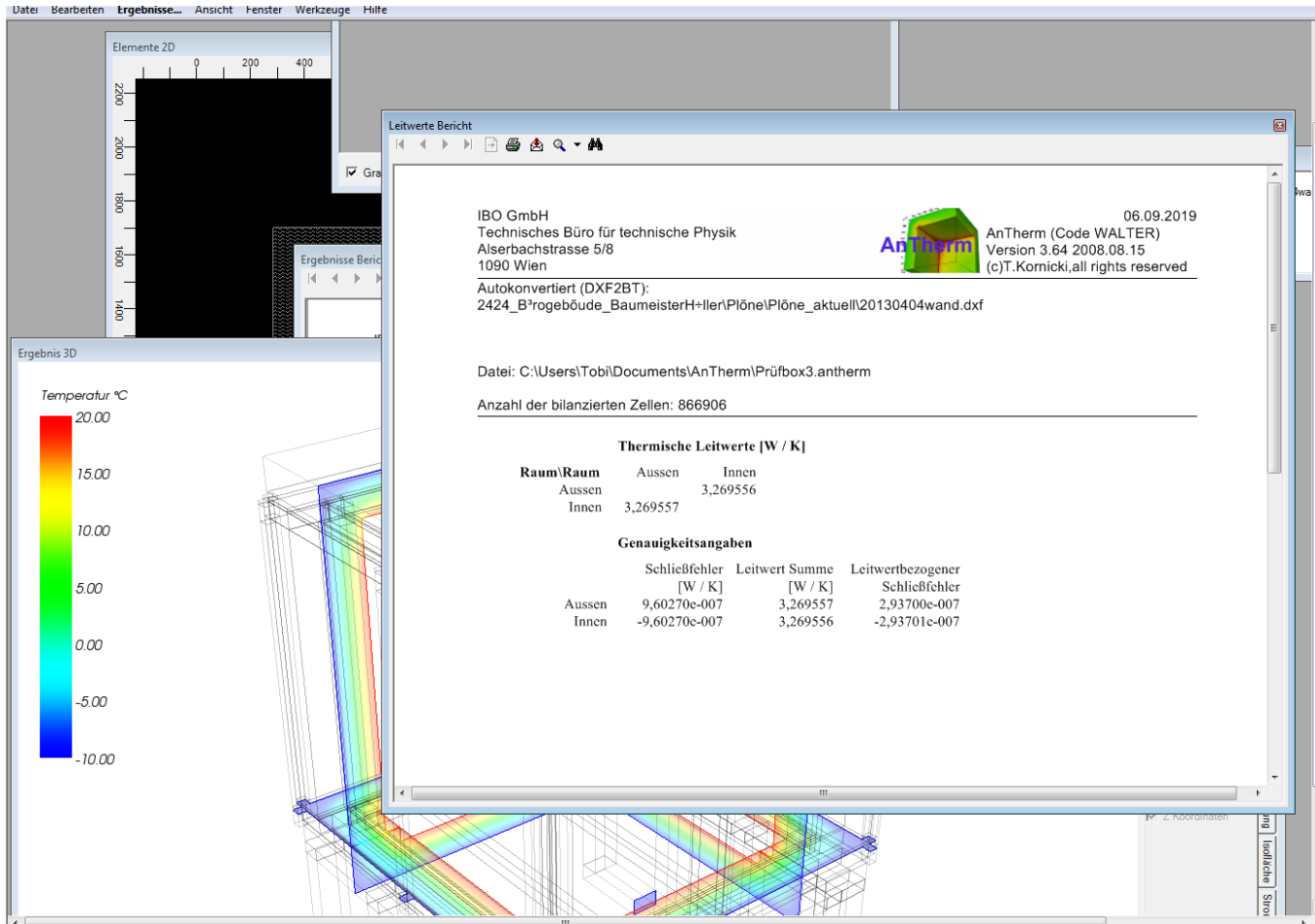
Bei der Auswahl von Wärmebrückenprogrammen ist u. a. folgendes zu beachten:

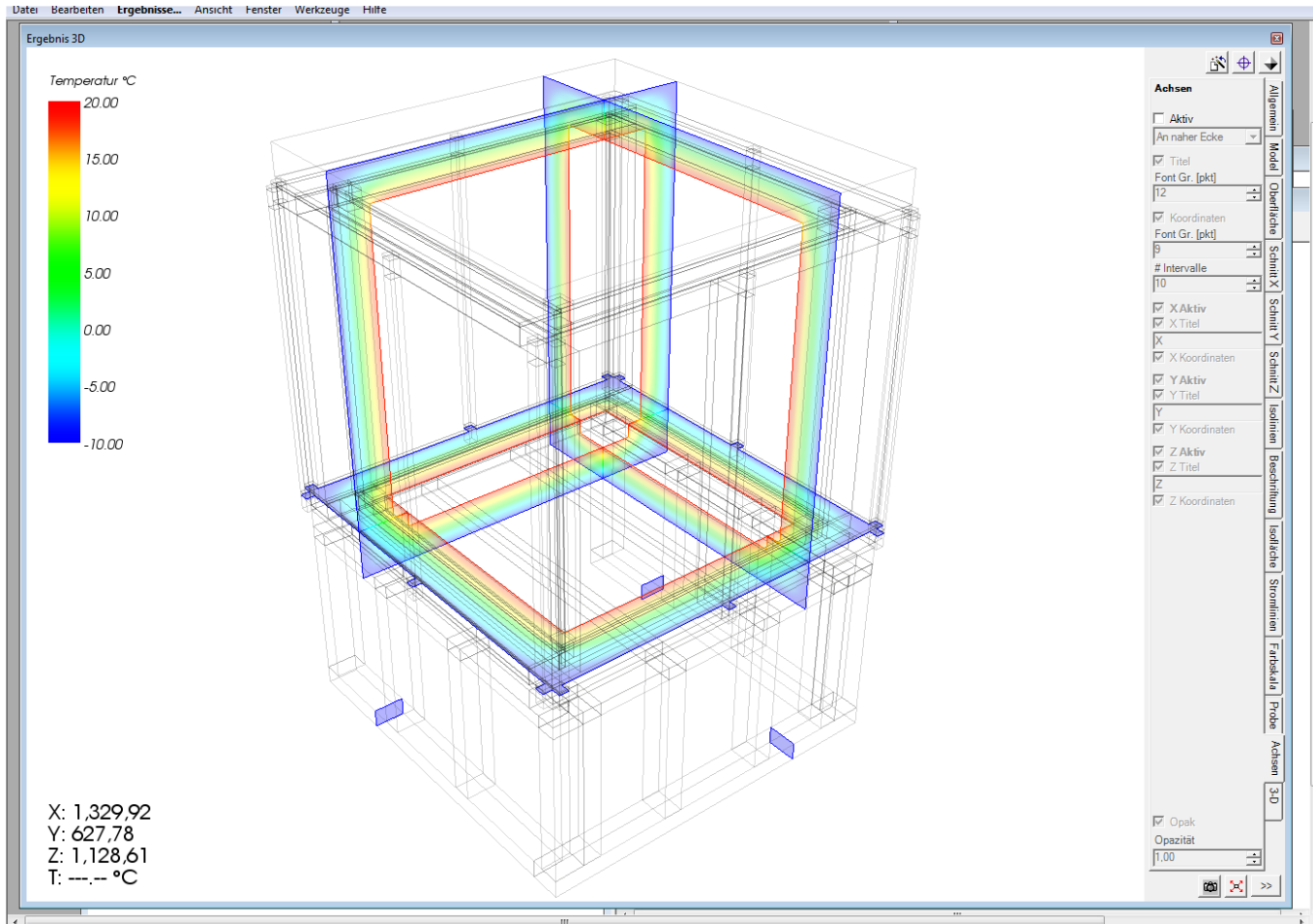
- Berechnung ein- und/oder zweidimensional?
- Rechenverfahren nach EN ISO 10211 validiert?
- Maximale Anzahl von bilanzierbaren Zellen?
- Werden Leitwerte ausgegeben?
- Werden Temperaturgewichtungsfaktoren ausgegeben?
- Existiert eine CAD-Schnittstelle?
- Ist die Ergebnisdarstellung normgemäß?
- Können Wärmestromlinien ausgegeben werden?
- Werden fertige Berichte erzeugt?

Prüfaufbauten Smart Building Constructions 2 2019

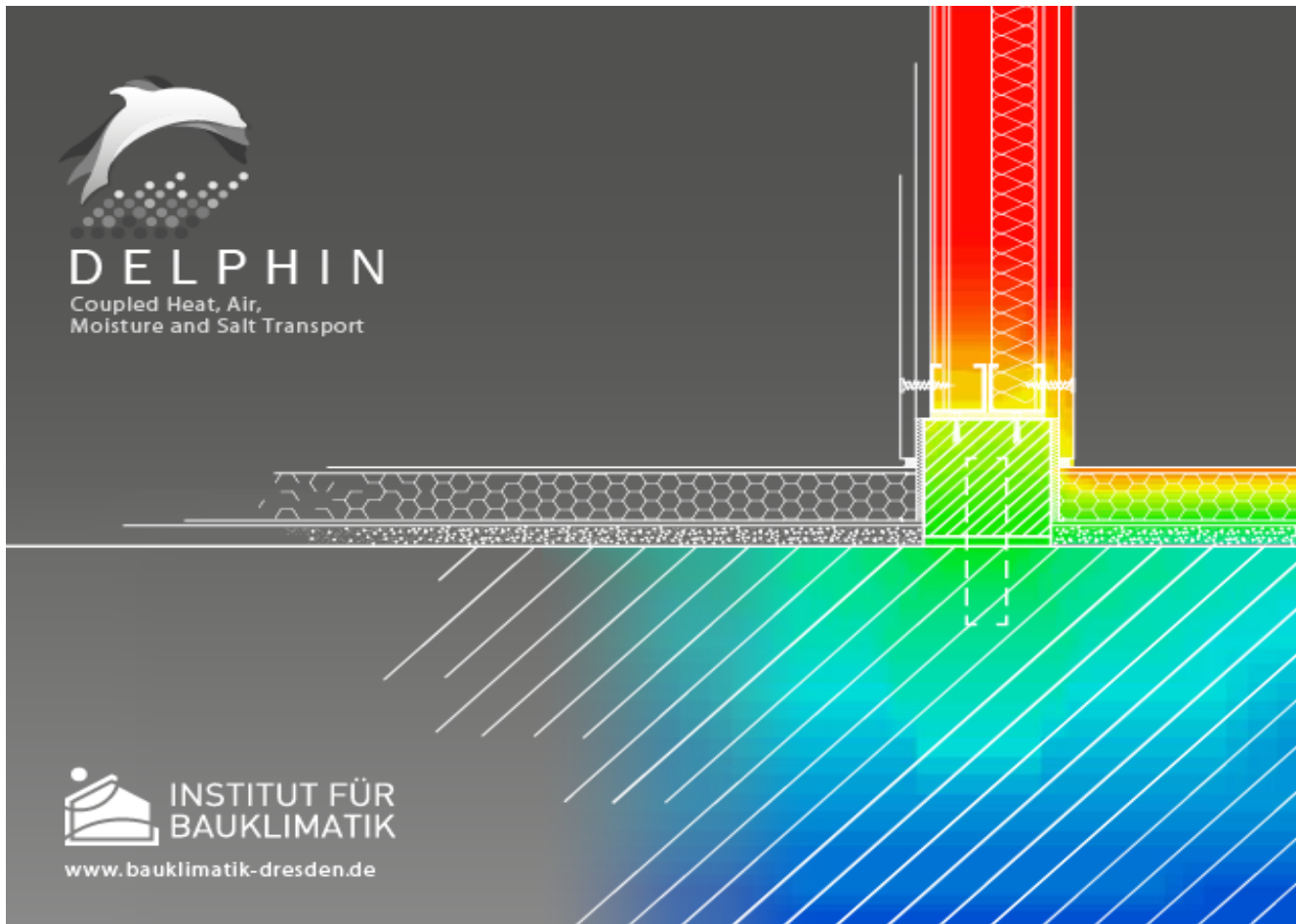








Prüfbox3.antherm



Literaturempfehlung

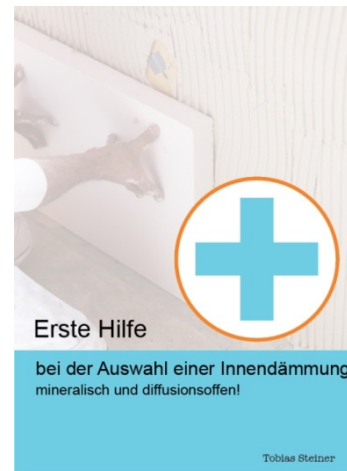
Smart Building Constructions 2



Ökologie und Ökonomie des Dämmens

Analyse und Bewertung von Dämmmaßnahmen in der Altbauanierung

Fraunhofer IRB Verlag, 2018, 306 Seiten EUR 69,00



Unterlagen

Smart Building Constructions 2



www.introversiv.at

<http://www.introversiv.at/blog/lehre/smart-building-constructions-2/>

