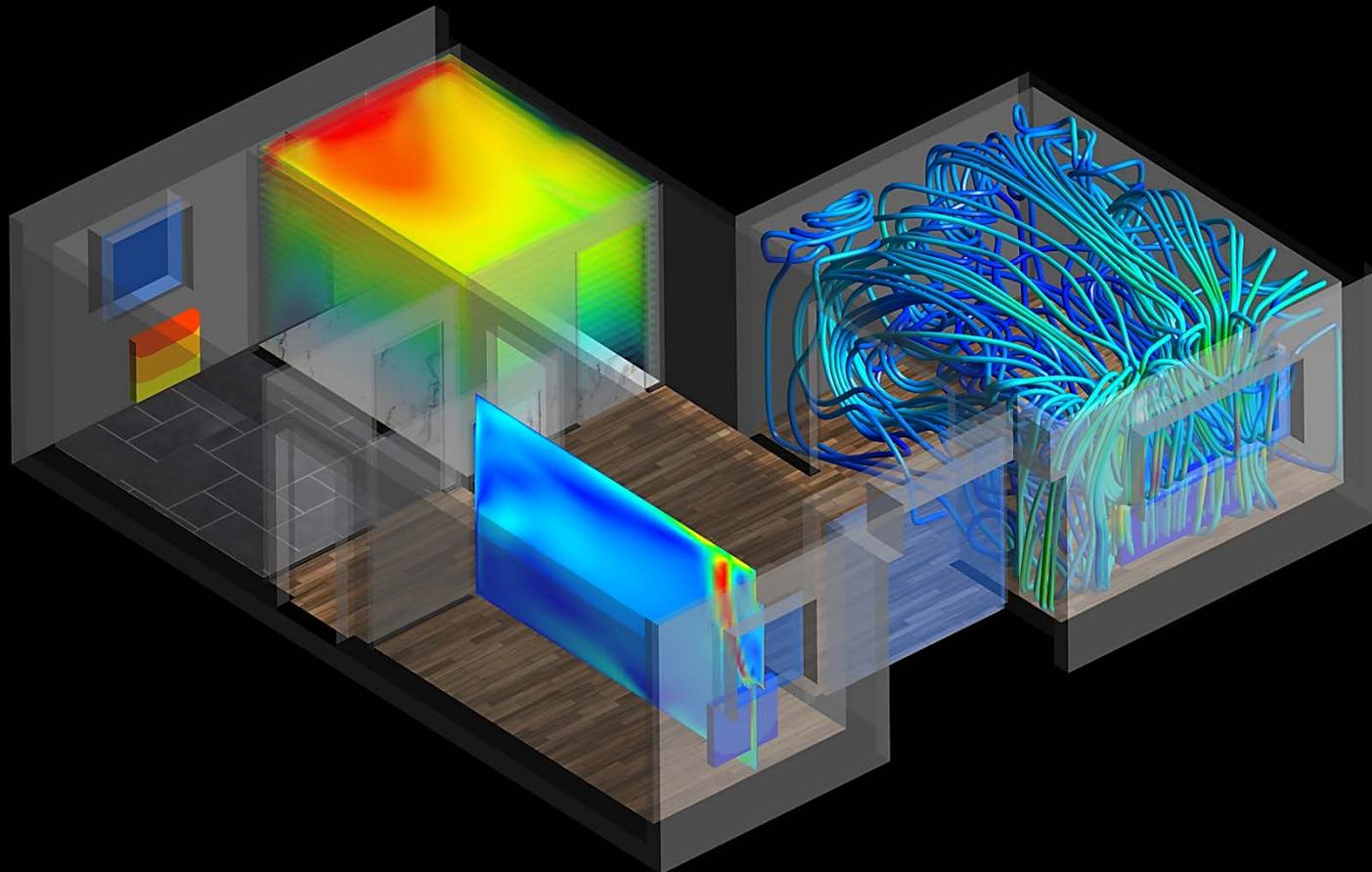


"Smart Energy" mit „Computational Fluid Dynamics“

Energieeffizienz regelbarer Heizsysteme
mittels numerischer 3D-Strömungssimulation

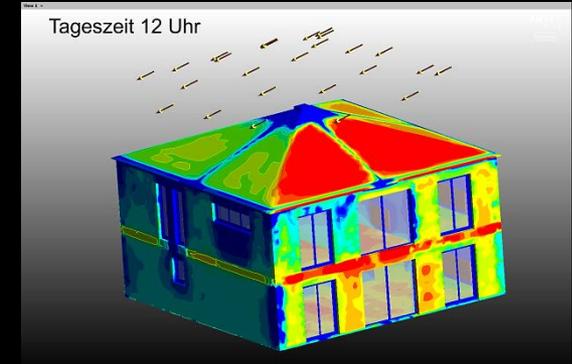
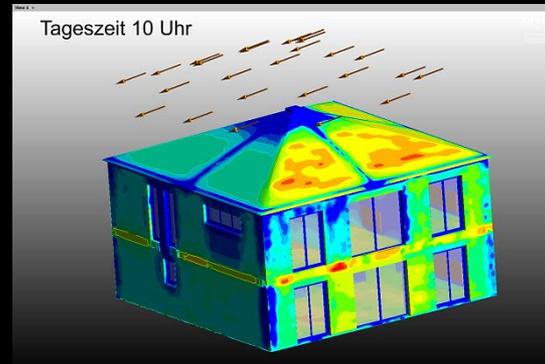
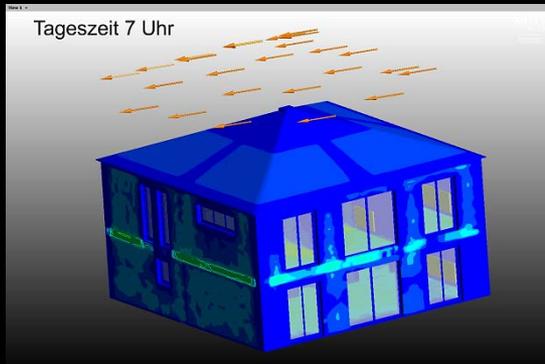


Vorgestellt vom Forschungsschwerpunkt „Computersimulation im Maschinenbau“

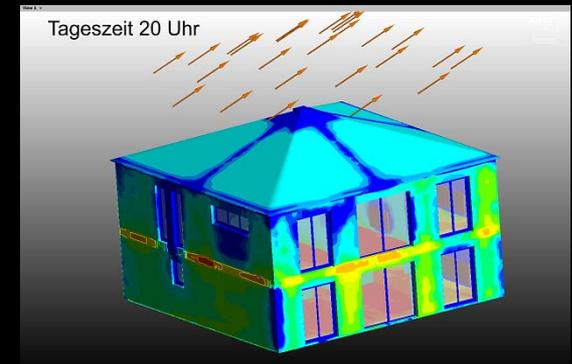
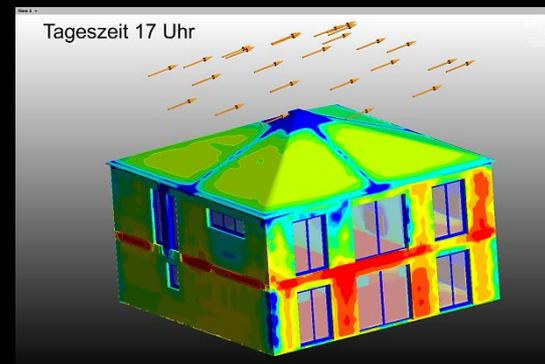
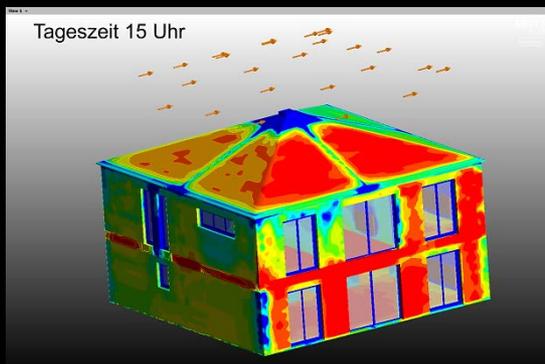
**Akkreditierte Forschungseinrichtung
und benannter Partner der**



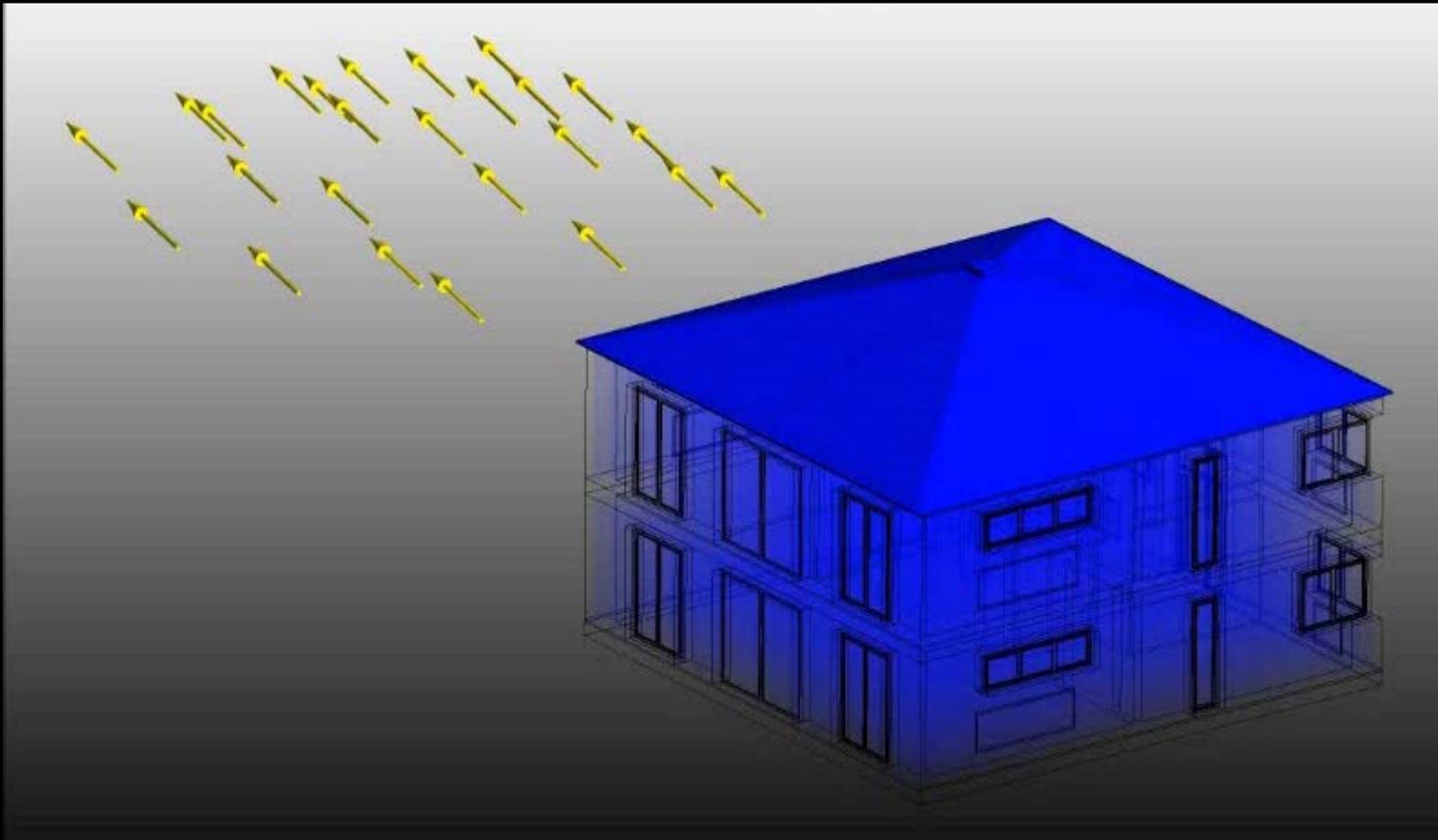
Rückblick Smart Energy 2014



**Tageszyklus einer Gebäudeerwärmung
abhängig von Sonneneinstrahlung/Tageszeit**



Aufheizvorgang eines Gebäudes mit konventioneller Heizung und Sonneneinstrahlung

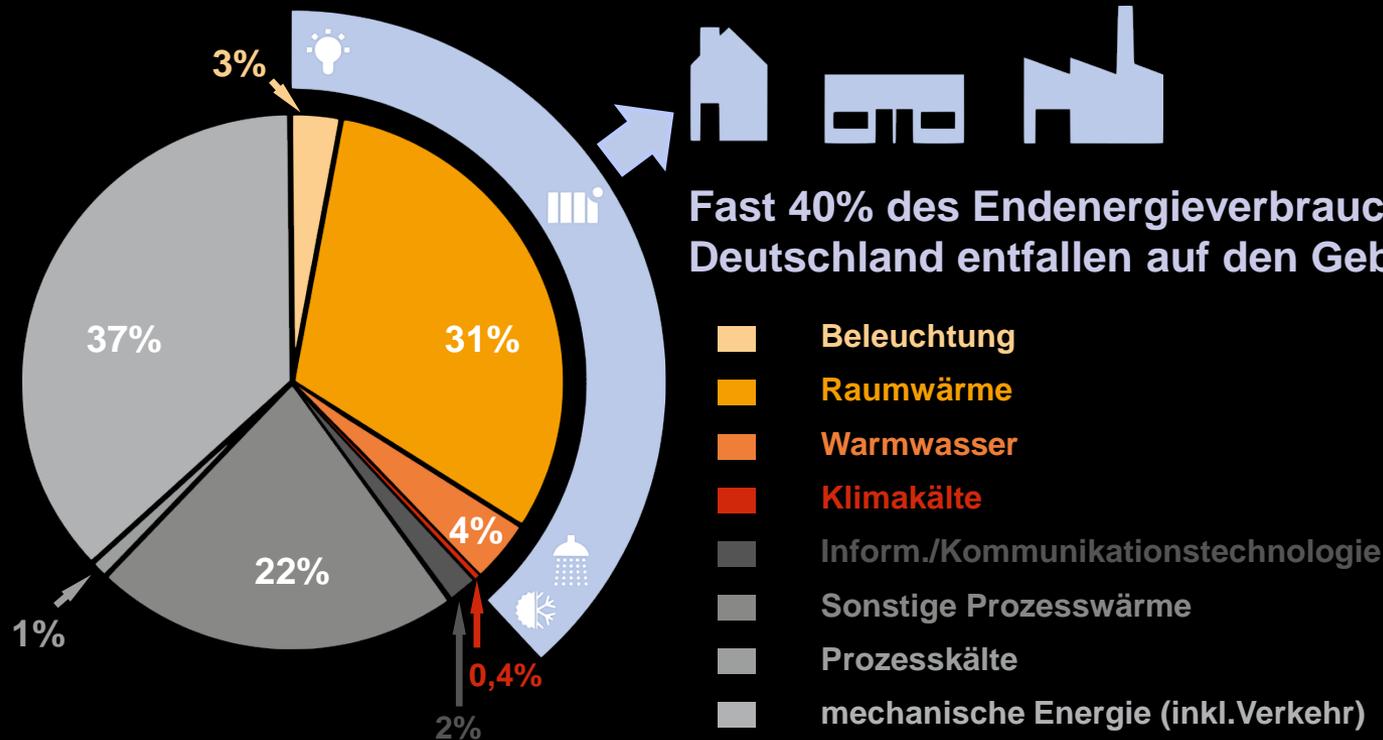


Die Energie war 2014 und ist 2017 das weltumspannende Thema



Der Endenergieverbrauch

Der Gebäudesektor ist der größte Einzelposten in der Verbrauchsbilanz



- Die Haushalte nehmen einen erheblichen Anteil ein
- Die Raumwärme besitzt dabei das größte Einsparpotential

Energieeinsparung



Behaglichkeit

Der gordische Knoten
Ein Widerspruch ?



Smart Home?

Inhalt des Vortrages

1. Aufbau der Simulationsmodelle

- CAD-Modell
- Diskretisierung
- Ersatzmodell Heizung
- Regelung

2. Effizienz eines "smarten" Heizvorgangs

- Zur Simulation
- Vergleich "smart" zu „manueller“ Steuerung

3. Vergleich von "smart" und "smart ++"

4. Fazit

Einige wenige Begriffe zum Verständnis

Gewünschte Temperatur:

Die physiologische Vorgabe

Raumtemperatur:

Nur eine virtuelle synthetische Größe, weil ein Mittelwert

Wichtig für Energiebilanzen

Keine Aussage zum Komfort

Sensortemperatur:

Wert am Temperaturfühler = Istwert der Regelung

Nur wenn alles gut ist, dann ist das der Komfort

Sollwerttemperatur:

Nur eine Regelgröße = Eingabe für den Regler

Inhalt des Vortrages

1. Aufbau der Simulationsmodelle

- CAD-Modell
- Diskretisierung
- Ersatzmodell Heizung
- Regelung

2. Effizienz eines „smarten“ Heizungsvorgangs

- Zur Simulation
- Vergleich „smart“ zu „manueller“ Steuerung

3. Vergleich von „smart“ und „smart ++“

4. Fazit

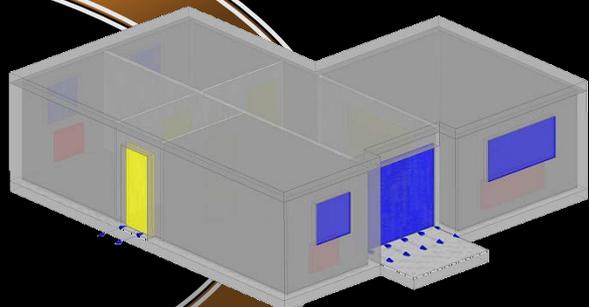
Arbeitsschritte der Simulationen

Projekt „Guided-Autonomic Building
von Prof. Dr. Kunold

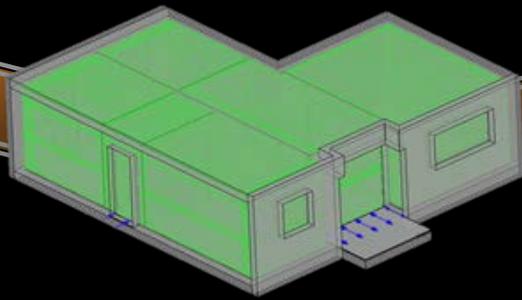
1. Grundriss



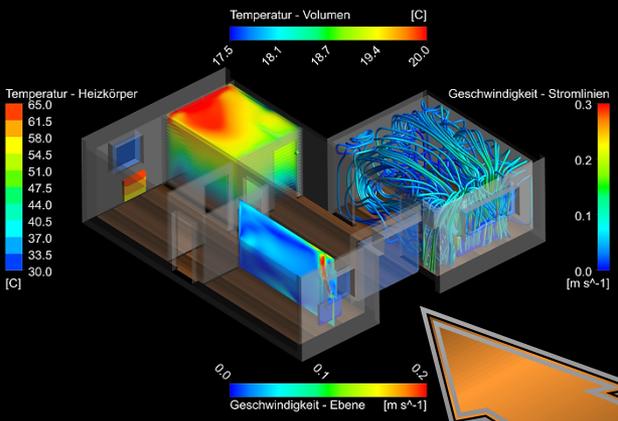
2. CAD Volumenmodell



3. CFD Vernetzung



4. CFD Simulation und Auswertung

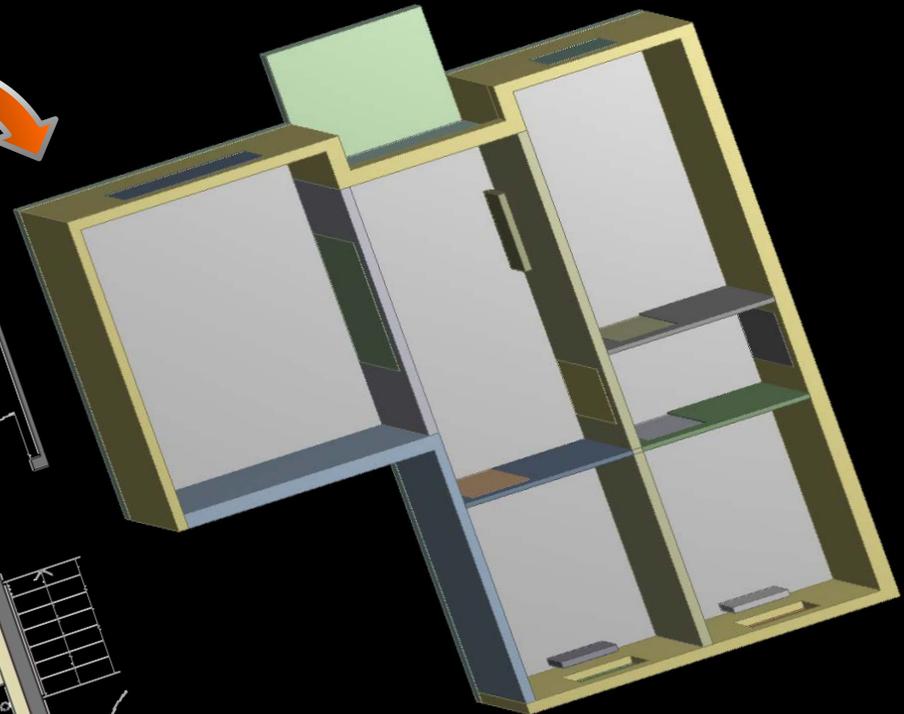


CAD Volumenmodell

2,5 Zimmer Wohnung



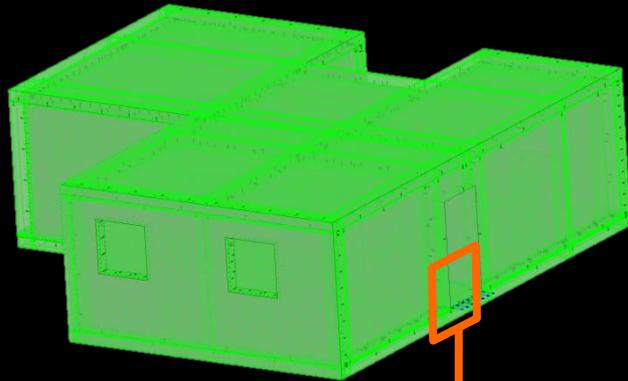
Grundriss



CAD-Volumenmodell

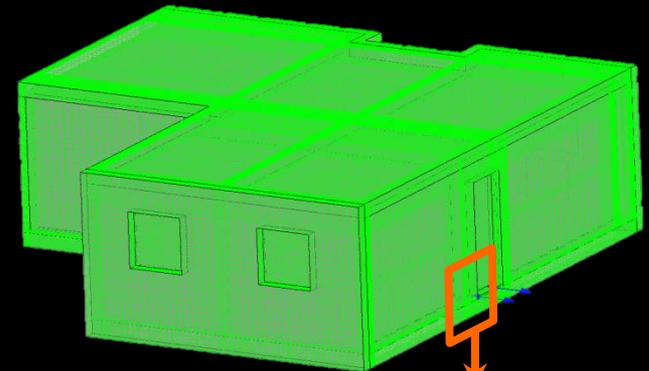
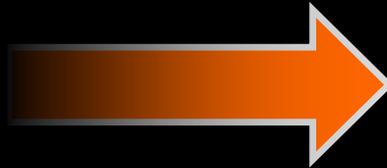
CFD Vernetzung

Erstes Simulationsnetz:



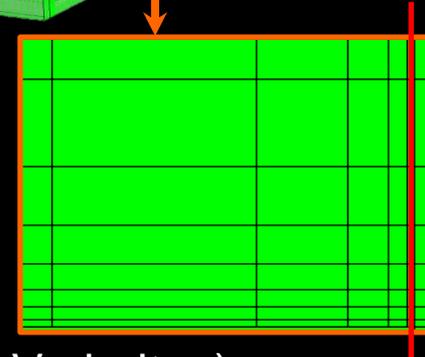
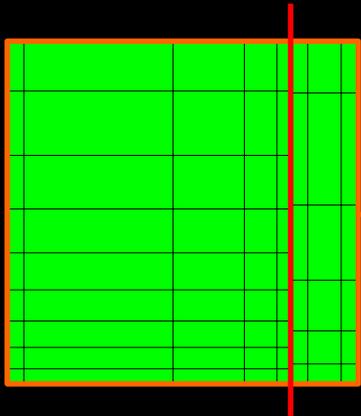
Feine Diskretisierung:

- 8,5 Mio. Knoten
- ca. **4 Wochen (!)** Simulationszeit



Optimierte Diskretisierung:

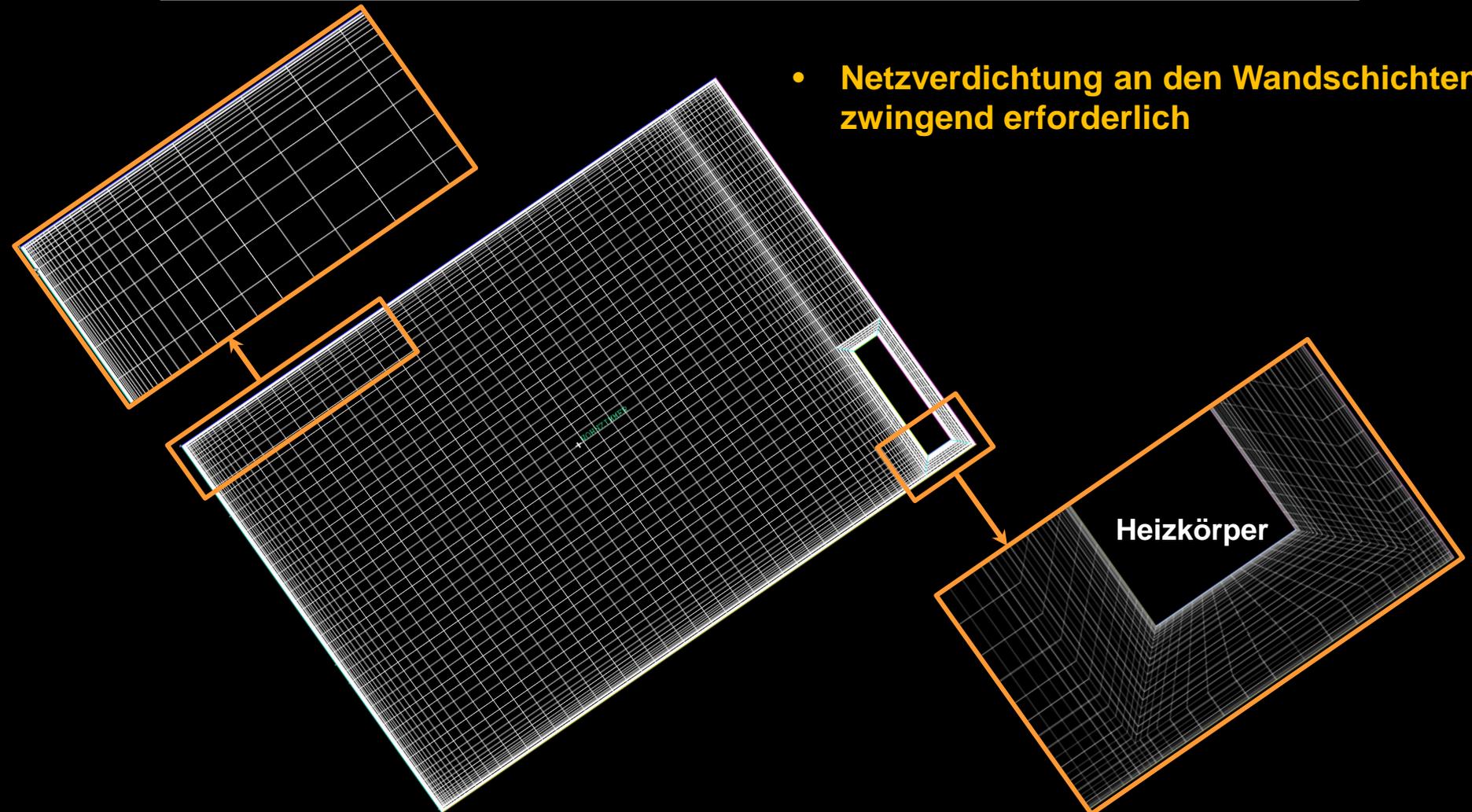
- 2,5 Mio. Knoten
- ca. **2 Tage** Simulationszeit
- Grenzschichtauflösung beibehalten
- Vergrößerung im wandfernen Bereich (geringer Einfluss auf das thermische Verhalten)



CFD Vernetzung

Grenzschichtvernetzung => Fluid-Struktur-Interaktion

- Netzverdichtung an den Wandschichten zwingend erforderlich



Heizkörper als Ersatzmodell

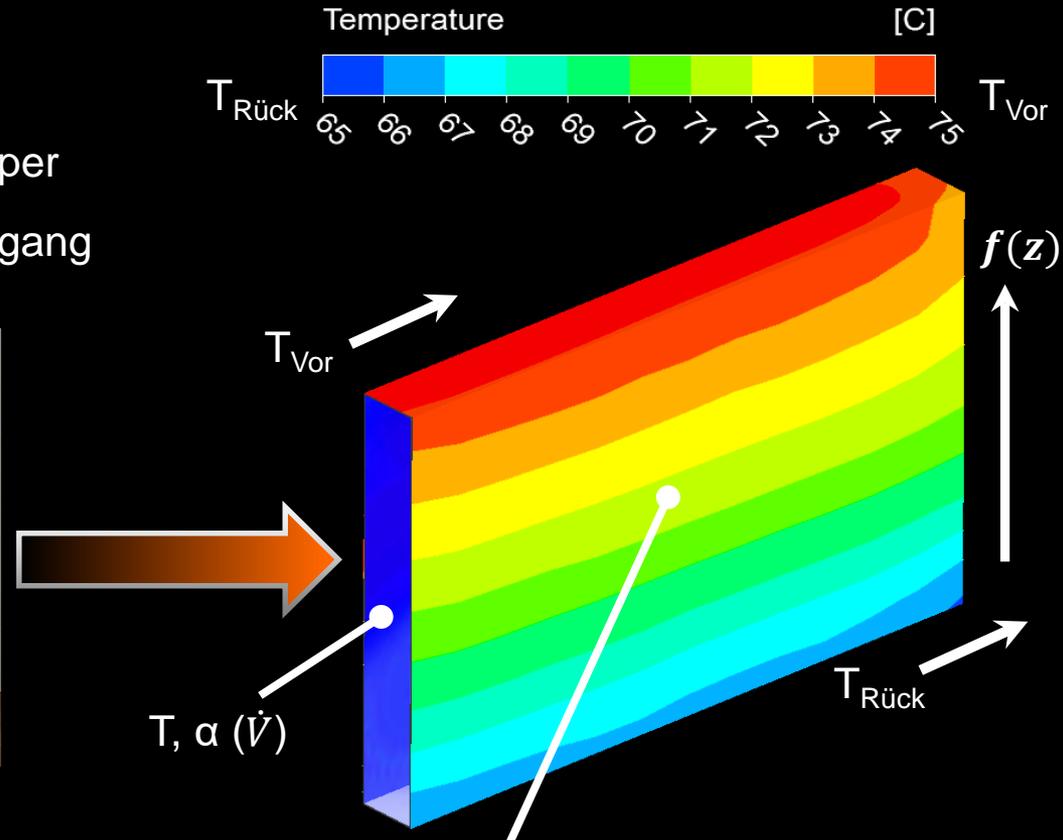
Abbildung des realen Modells bewirkt enorme
Netzgrößen und Simulationszeiten



Heizkörper als Ersatzmodell

innerer Wärmeübergang Wasser/Heizkörper

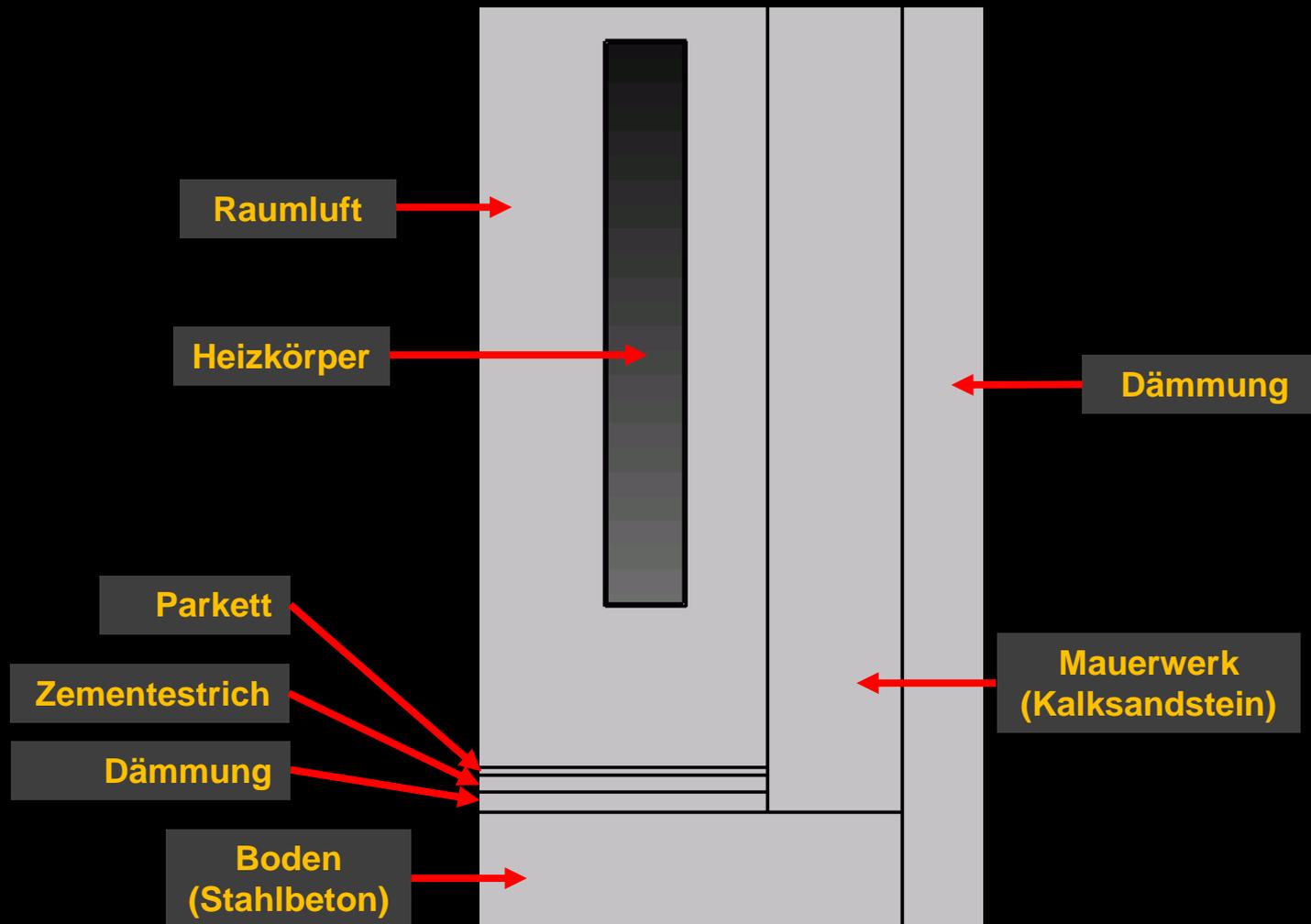
➤ Vereinfachter konvektiver Wärmeübergang



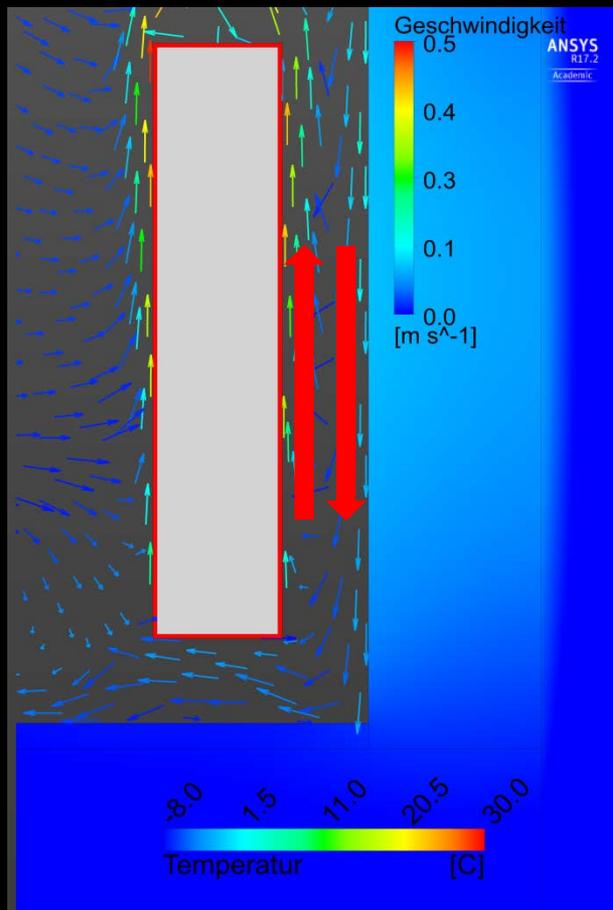
lineare Temperaturverteilung Innenwand

$$T_{\text{Heizung}} = T_{\text{Rücklauf}} \cdot (1 - f(z)) + T_{\text{Vorlauf}} \cdot f(z)$$

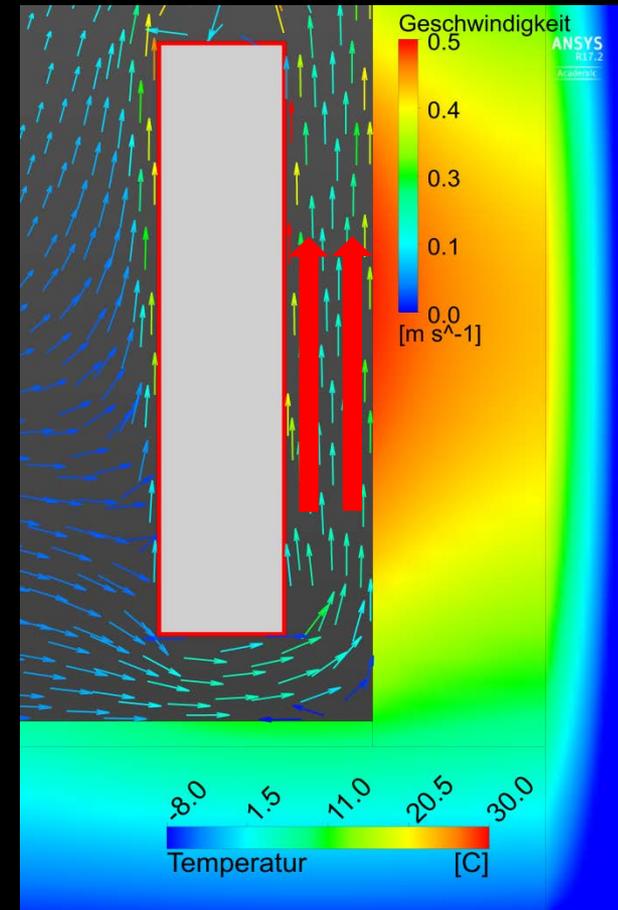
Bedeutung der Strahlung in der CFD-Simulation



Bedeutung der Strahlung in der CFD-Simulation



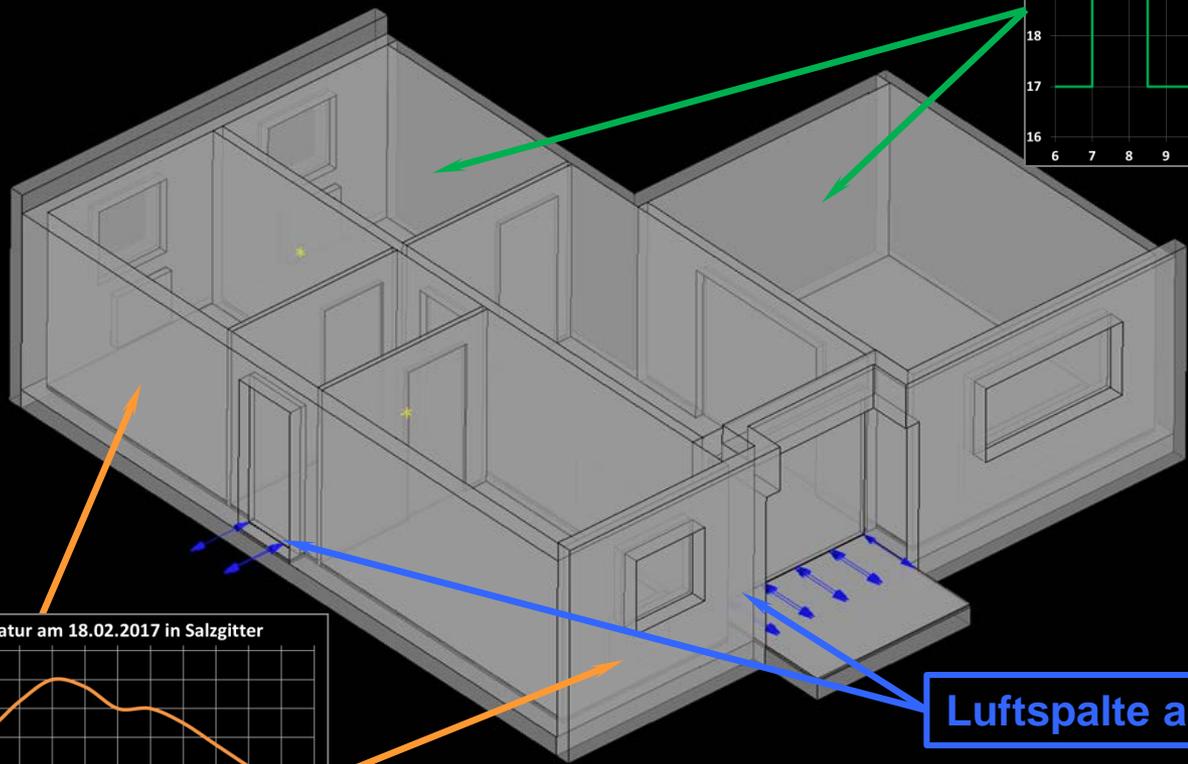
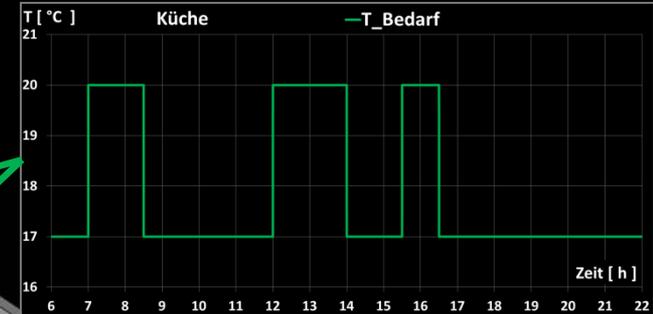
ohne Einfluss von Wärmestrahlung



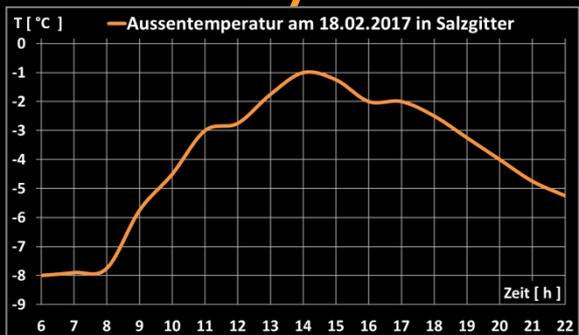
mit Einfluss von Wärmestrahlung

CFD-Randbedingungen

bedarfsgerechte Raumtemperatur im Tageszyklus



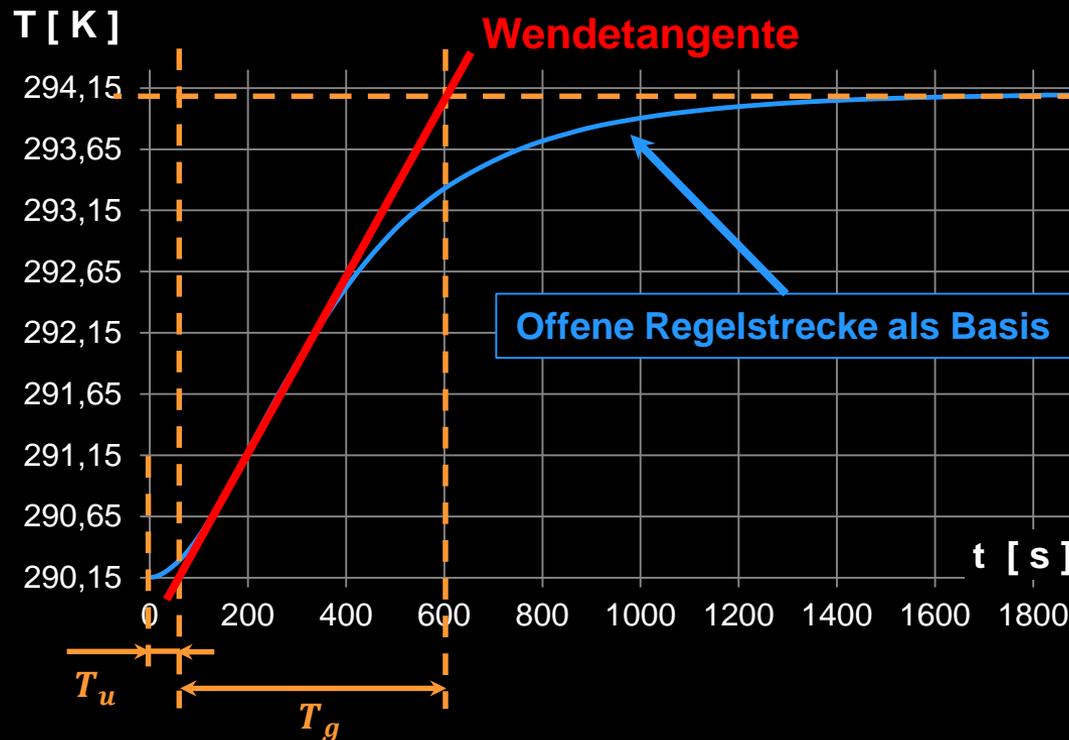
Luftspalte an Türen



Außentemperatur tageszeitabhängig
mit Wärmeübergangskoeffizient

Kalibrierung des PID-Reglers

Kalibrierung des PID-Reglers nach der Ziegler/Nichols Methode:



$$K_s = \frac{\text{Istwertänderung}}{\text{Stellgrößenänderung}} = \frac{\Delta x}{\Delta y}$$

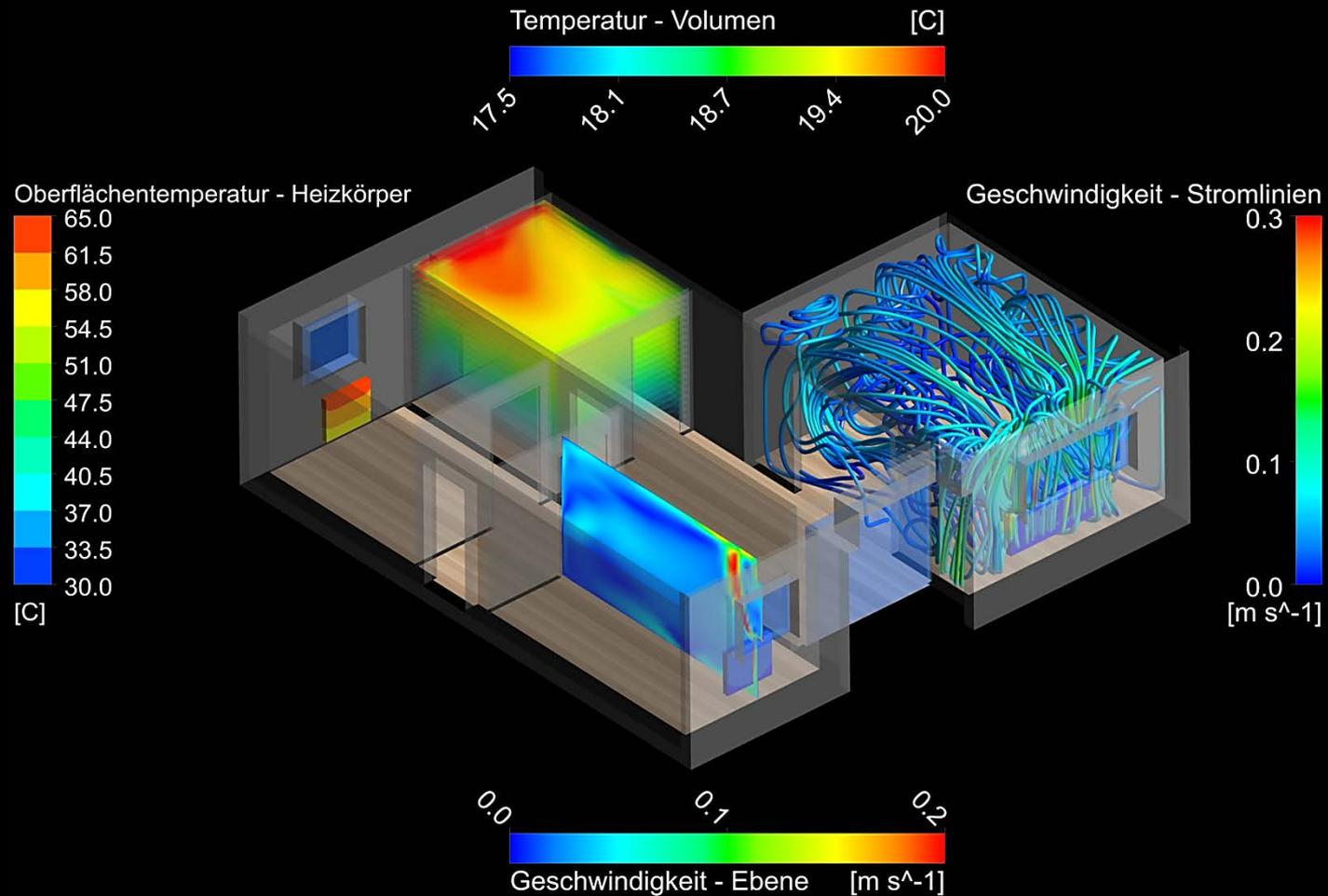


Separat für jeden Raum

Einstellparameter:

$$\text{PID - Regler} \Rightarrow K_p = \frac{1,2}{K_s} \cdot \frac{T_g}{T_u} \quad ; \quad T_n = 2 \cdot T_u \quad ; \quad T_v = 0,5 \cdot T_u$$

Möglichkeiten der CFD Darstellungen

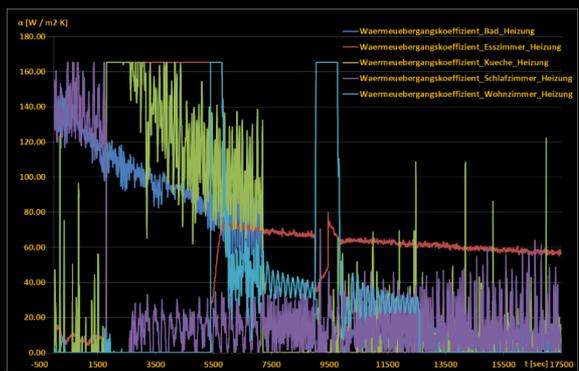


Die Komplexität der Simulation

Sollwertvorgaben

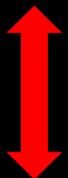


Regelung

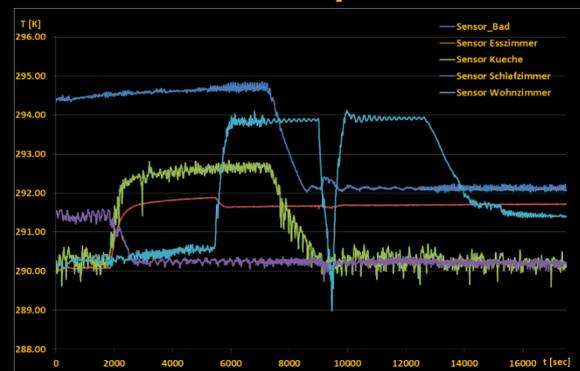


Wärmeleistung über $\alpha(\dot{V})$ [W / m² K]

Regelung
Auswirkung



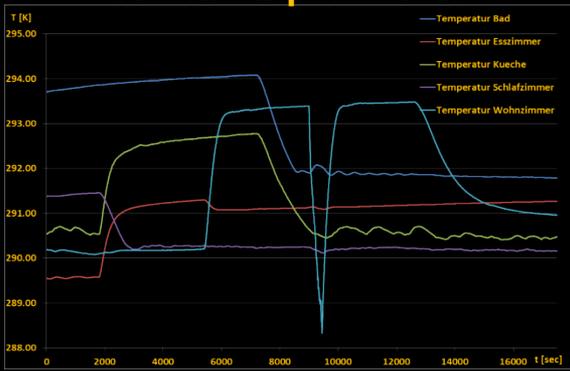
Sensortemperaturen



Auswirkung

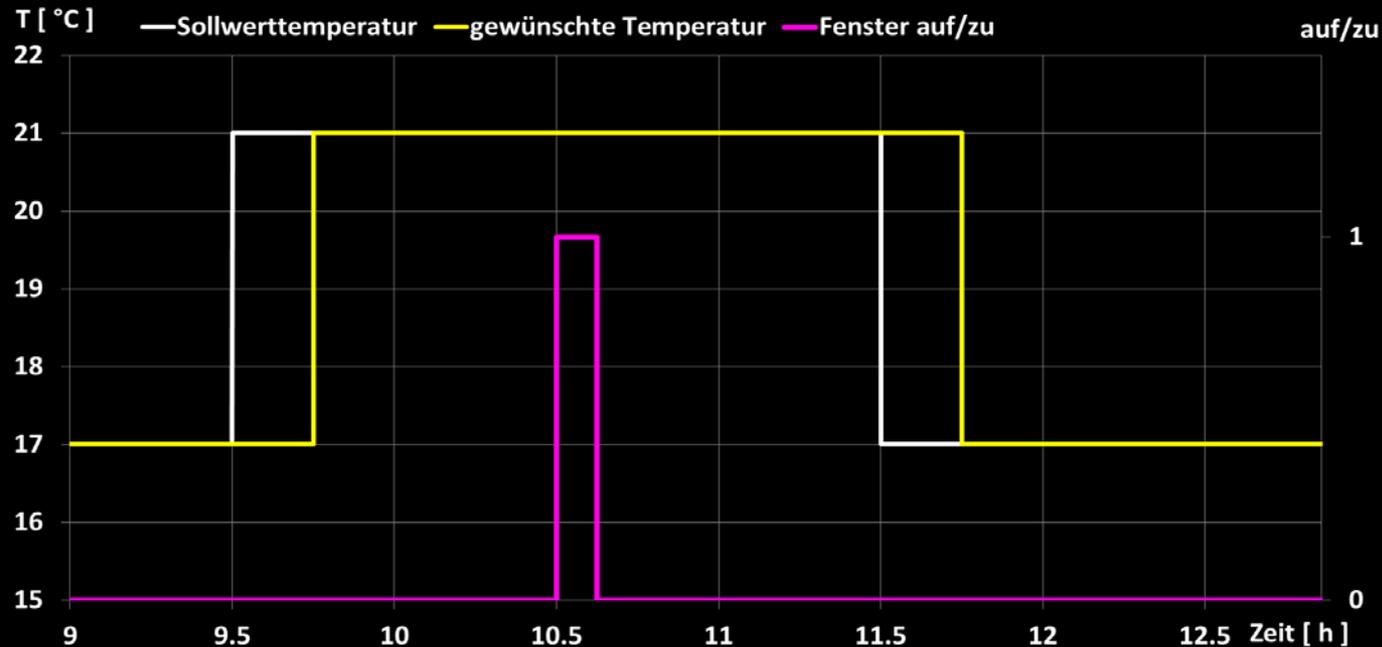


Raumtemperaturen



Die Szenarien

Beispiel Wohnzimmer



Gewünschter Temperaturverlauf (Bedarf) → gelber Verlauf

„manuelles“ Szenario; die Heizung wird auf Basis des Bedarfs gesteuert → gelber Verlauf

„smartes“ Szenario Programmierung der Sollwerttemperatur → weisser Verlauf (15min Vorlauf)

Fenster auf/zu → magenta Verlauf

Inhalt des Vortrages

1. Aufbau der Simulationsmodelle

- CAD-Modell
- Diskretisierung
- Ersatzmodell Heizung
- Regelung

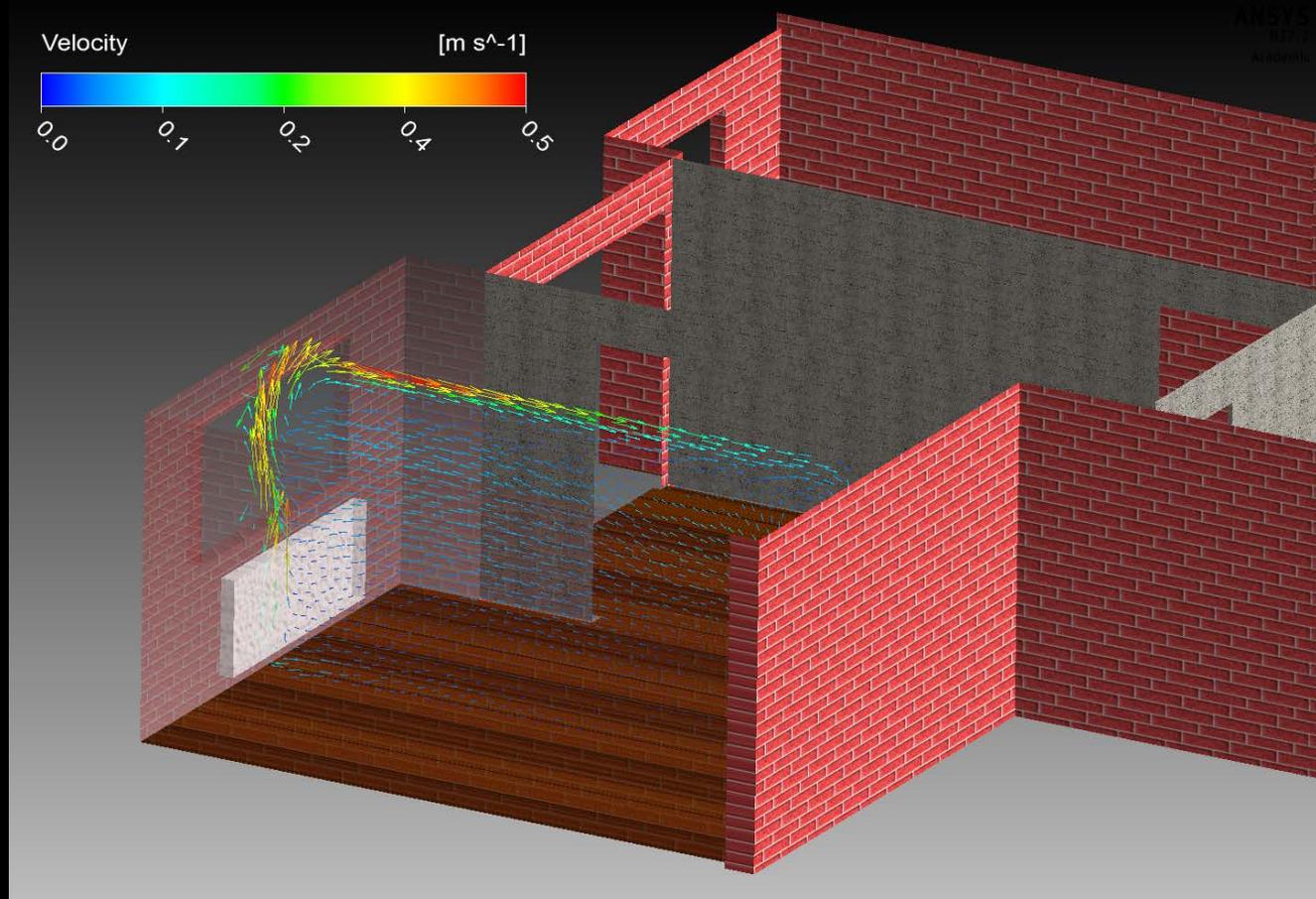
2. Eine „smarte“ Heizung

- Zur Simulation
- Vergleich „smart“ zu „manueller“ Steuerung

3. Vergleich von „smart“ und „smart ++“

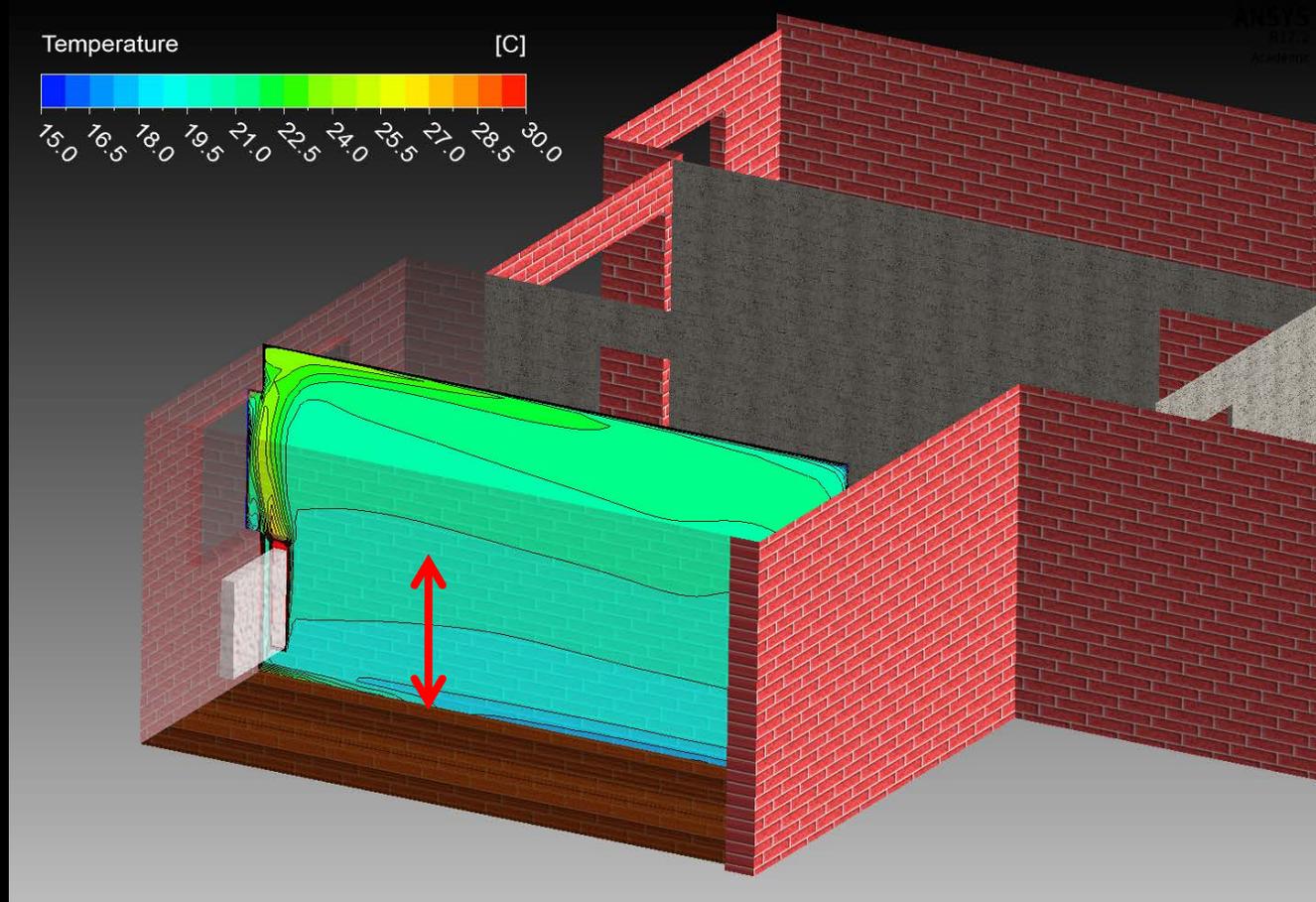
4. Fazit

Zur Komplexität der Regelung



Es existiert eine Geschwindigkeitsverteilung

Zur Komplexität der Regelung

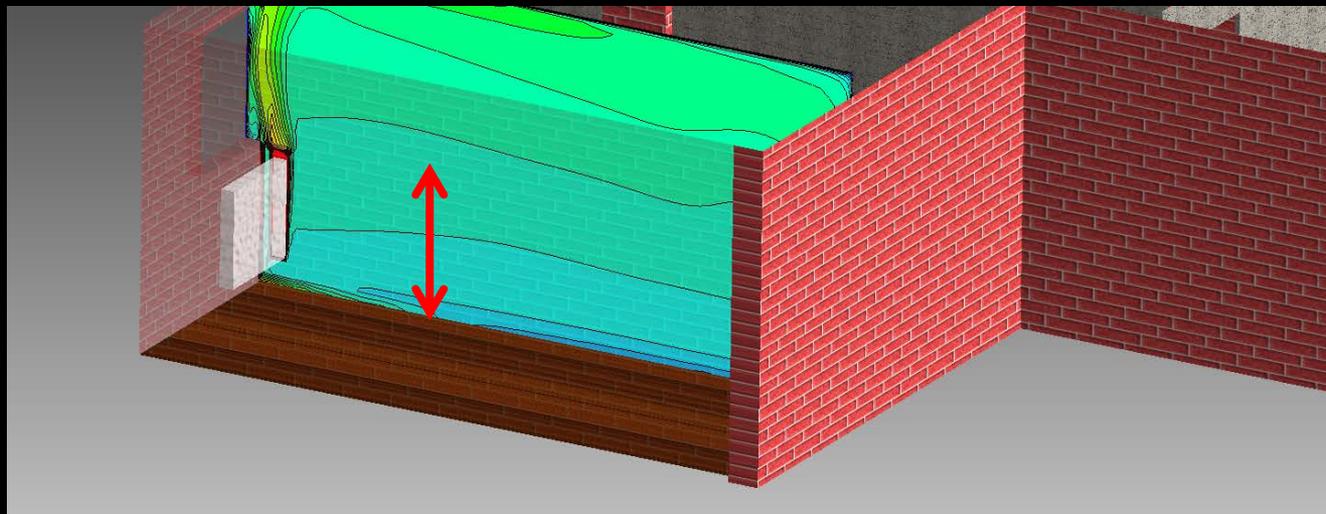


Zur Komplexität der Regelung

Eine Temperaturschichtung ist die Folge

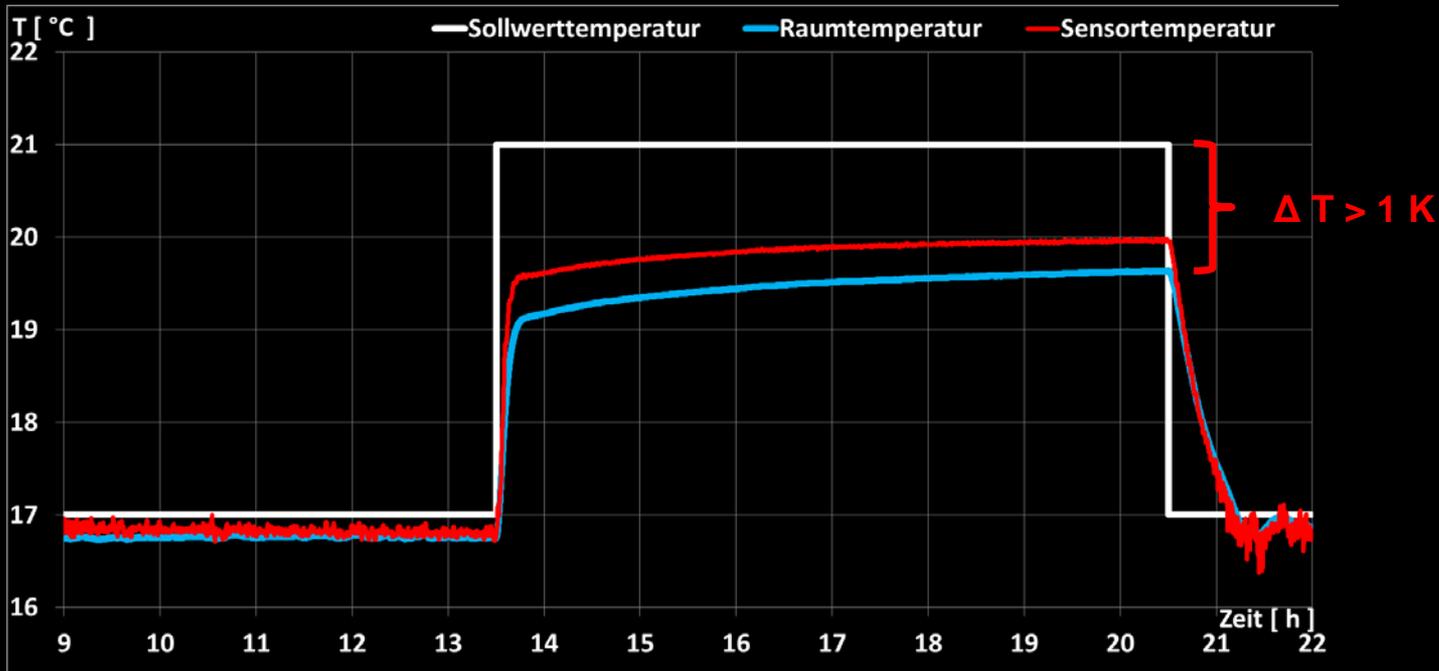


Das wirkt auf die Regelung ein!



Die Höhenlage des Sensors spielt eine Rolle

Zur Komplexität der Regelung



Der Unterschied der Temperaturen zum Sollwert ist zu groß

=> der Regler muß optimiert werden



$$K_s = \frac{\text{Istwertänderung}}{\text{Stellgrößenänderung}} = \frac{\Delta x}{\Delta y}$$

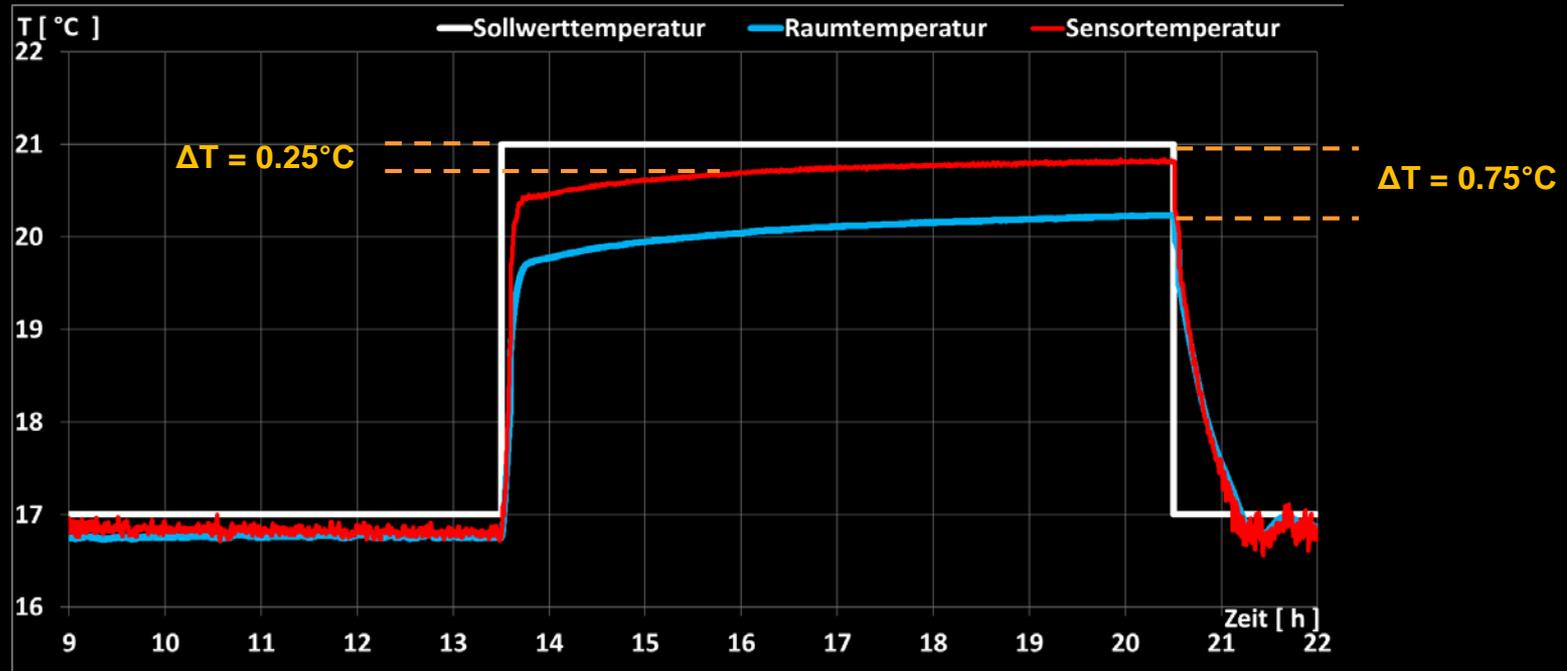
↓

Separat für jeden Raum

Einstellparameter:

$$PID - \text{Regler} \Rightarrow K_p = \frac{1,2}{K_s} \cdot \frac{T_g}{T_u} ; T_n = 2 \cdot T_u ; T_v = 0,5 \cdot T_u$$

Optimierte Regelung



Die Temperatur am Sensor liegt nahe an der Sollwerttemperatur

Die Raumtemperatur hat einen größeren Abstand zur Sollwerttemperatur

Der Aufheizvorgang ist nach ca. 12min abgeschlossen

Die Abkühlung dauert erheblich länger

Ein erfolgreiches Szenario!

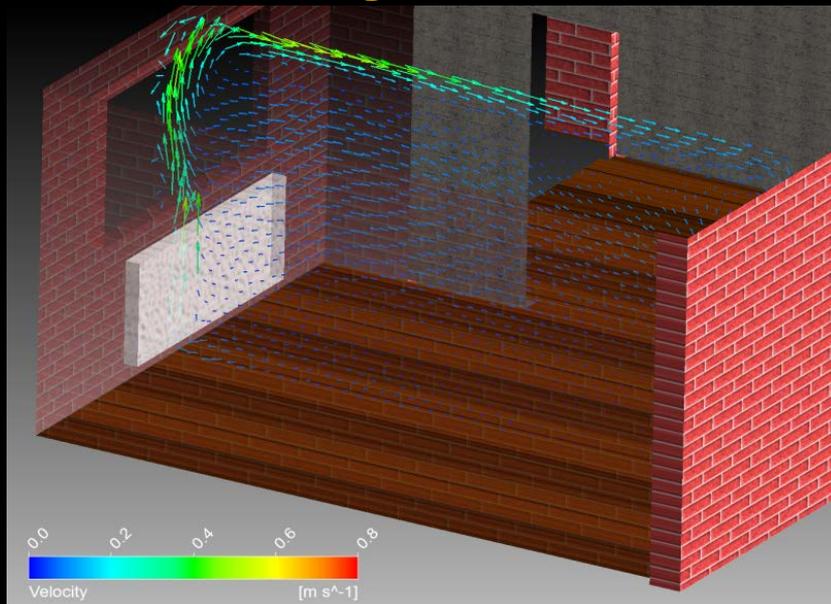
Ich habe diese Wohnung noch nie betreten!

Jetzt kommt's:

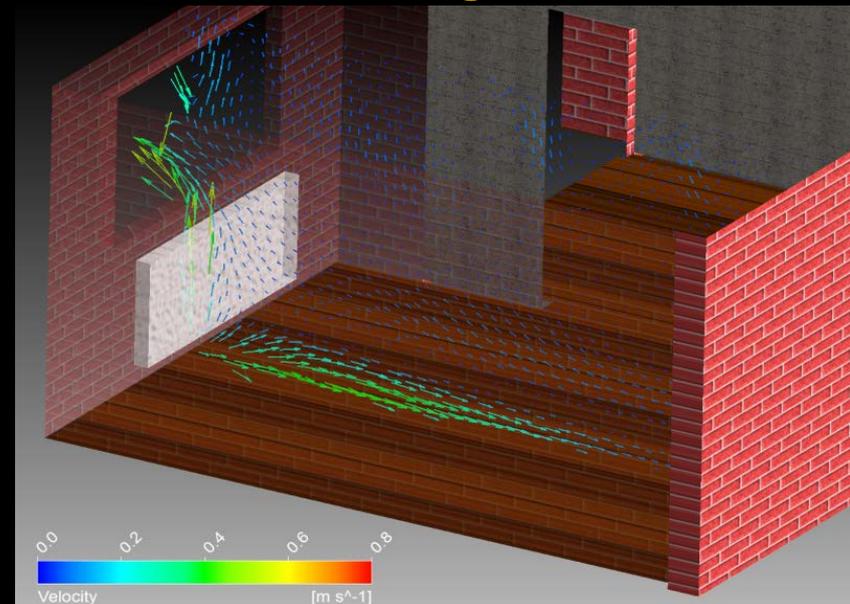
Eine Simulation mit einer Lüftung

Vergleich der Strömungszustände

Fenster geschlossen

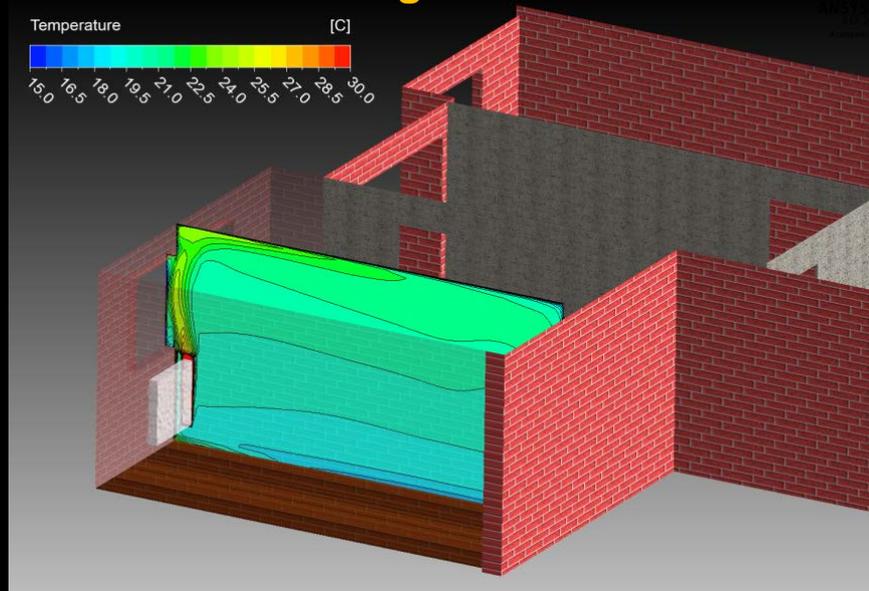


Fenster 5min geöffnet

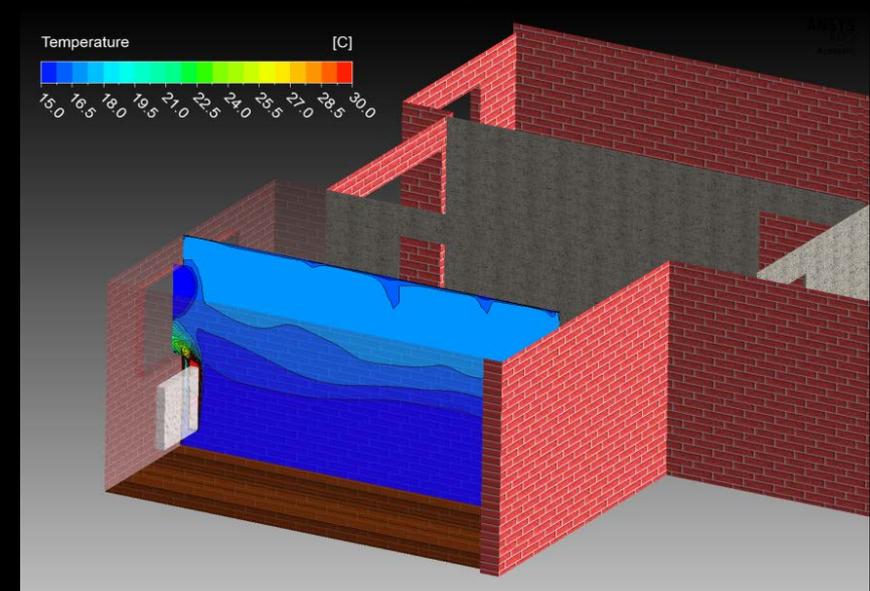


Vergleich der Strömungszustände

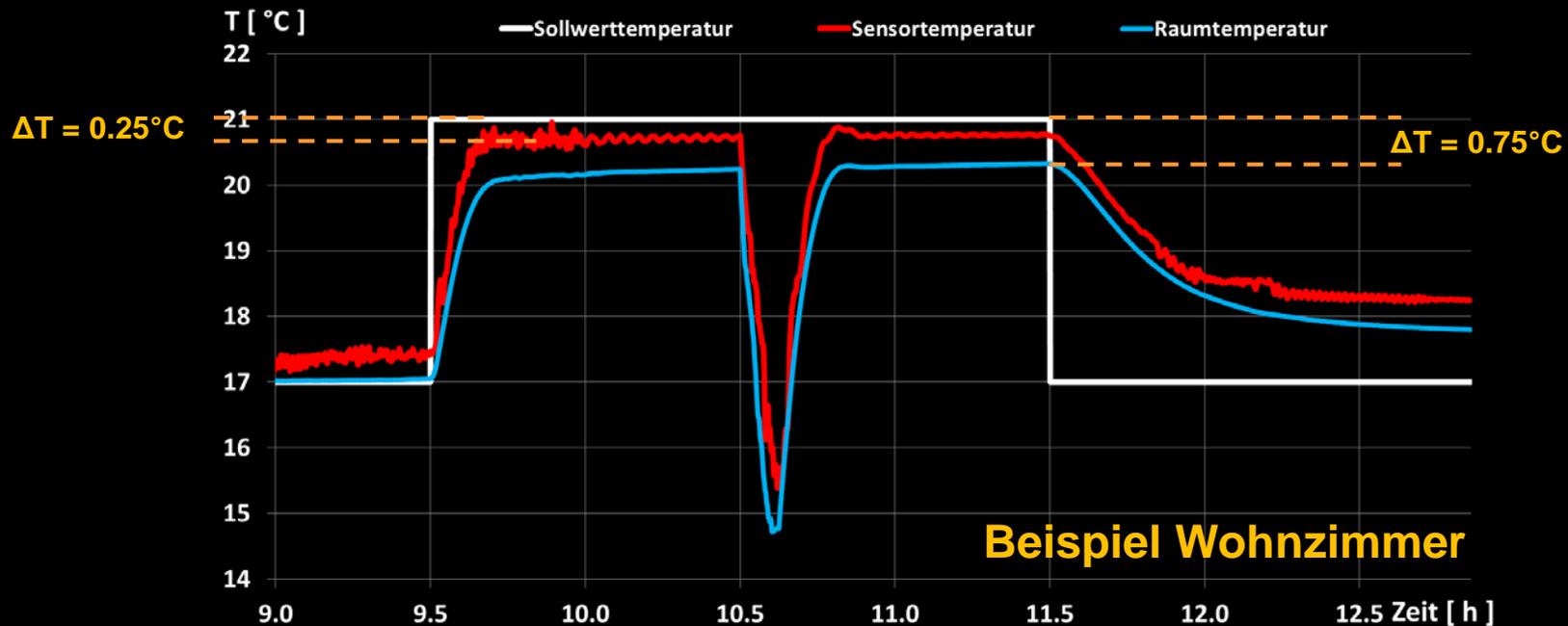
Fenster geschlossen



Fenster 5min geöffnet



Eine Simulation für kurze Zeit mit einer Belüftungsphase



Beispiel Wohnzimmer

Eine realistische Vorhersage der Temperaturen sogar für die Belüftung

Die Frage:

Was bringt smart?

Inhalt des Vortrages

1. Aufbau der Simulationsmodelle

- CAD-Modell
- Diskretisierung
- Ersatzmodell Heizung
- Regelung

2. Eine „smarte“ Heizung

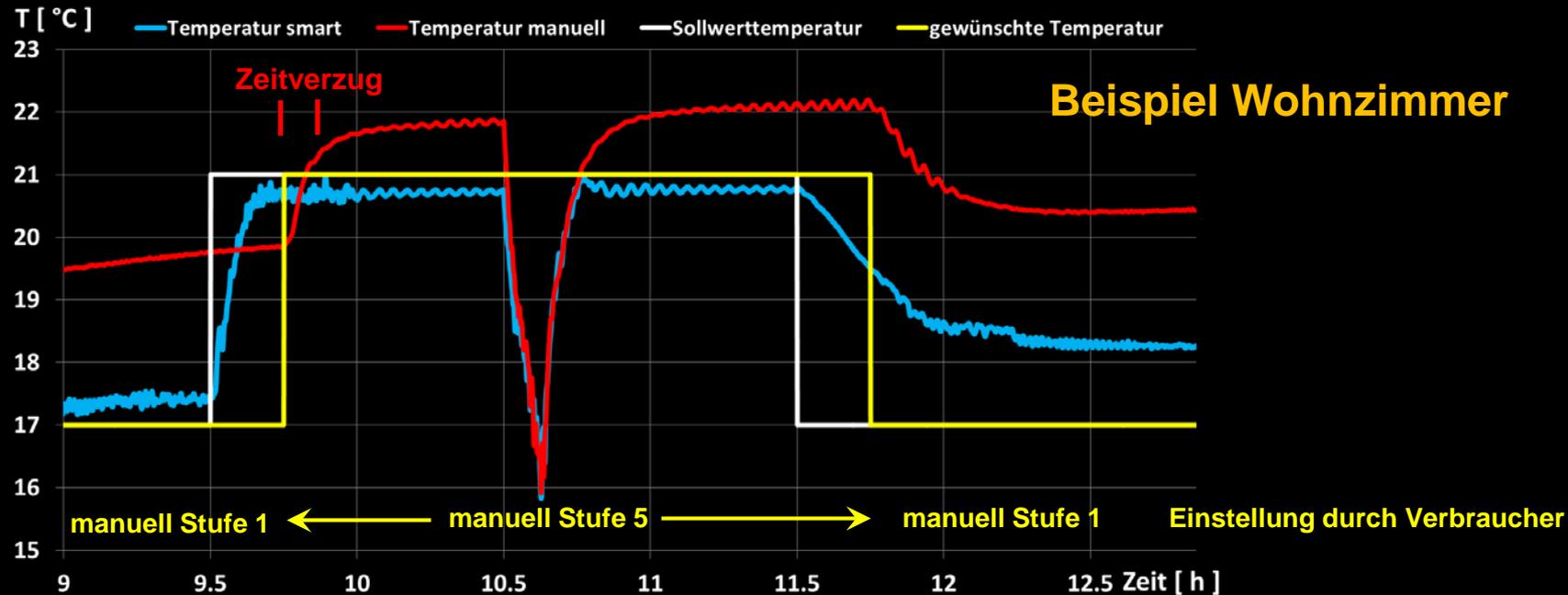
- Zur Simulation
- **Vergleich „smart“ zu „manueller“ Steuerung**

3. Vergleich von „smart“ und „smart ++“

4. Fazit

Smarte Regelung ↔ manuelle Regelung

Vergleich der sich einstellenden Temperaturen



Eine smarte Regelung trifft den gewünschten Temperaturverlauf sehr gut (blaue Kurve)

Temperatur bei manueller Regelung (rote Kurve) deutlich oberhalb der gewünschten Temperaturkurve

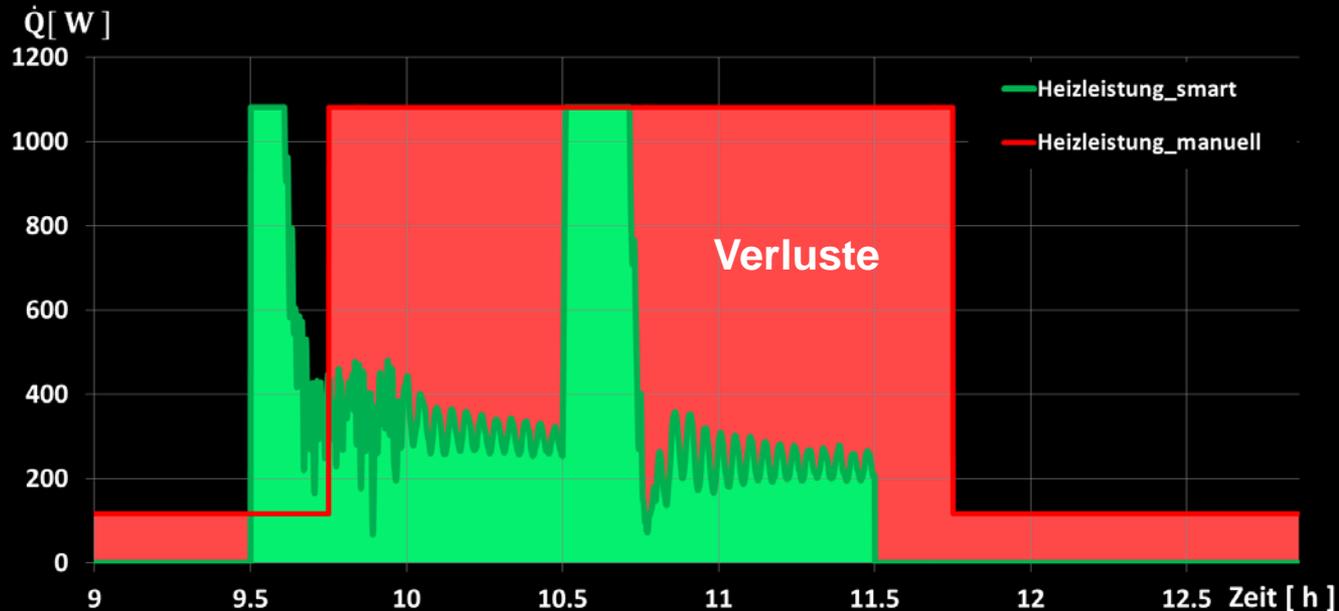
Die manuelle Regelung hat zudem im Aufheizvorgang einen Zeitverzug

Die Abkühlung ist wesentlich langsamer, jedoch im smarten Fall ohne Heizleistung

Was bringt smart energetisch?

Smarte Regelung ↔ manuelle Regelung

Energieeffizienz



Die Grafik zeigt deutlich die enormen Unterschiede in den aufgebrauchten Heizleistungen

Im smarten Fall treten nur zu Beginn des Aufheizvorgangs und in der Belüftungsphase maximale Heizleistungen (grüne Fläche) auf

Inhalt des Vortrages

1. Aufbau der Simulationsmodelle

- CAD-Modell
- Diskretisierung
- Ersatzmodell Heizung
- Regelung

2. Effizienz eines „smarten“ Heizvorgangs

- Zur Simulation
- Vergleich „smart“ zu „manueller“ Steuerung

3. Vergleich von „smart“ und „smart ++“

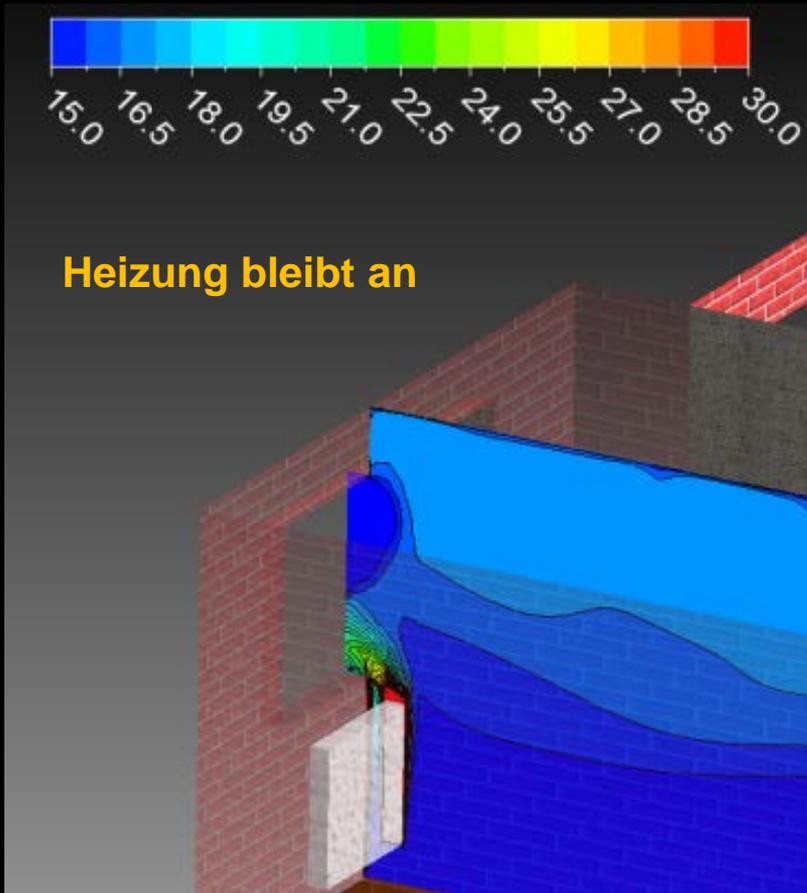
4. Fazit

smart ↔ smart ++

➤ Fragestellung:

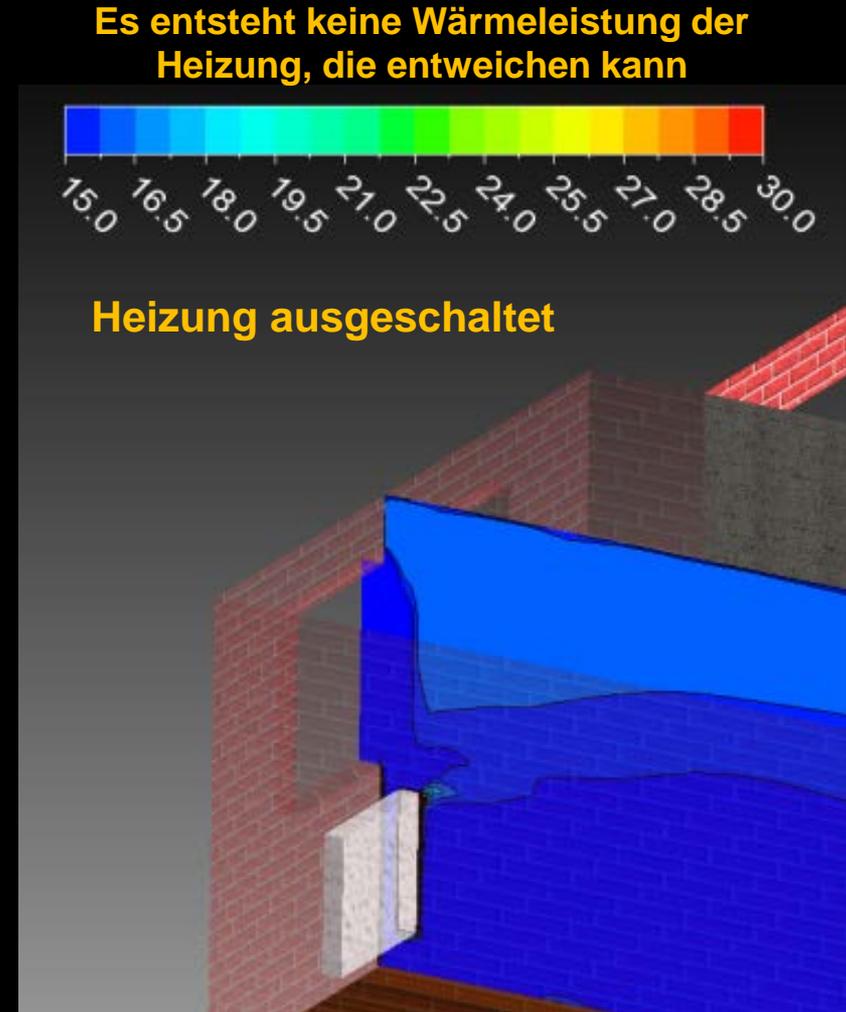
Was bringt es, wenn während einer Stoßlüftung der Heizkörper abgeschaltet wird?

smart ↔ smart ++ Analyse der Strömung



Fenster 5 min geöffnet

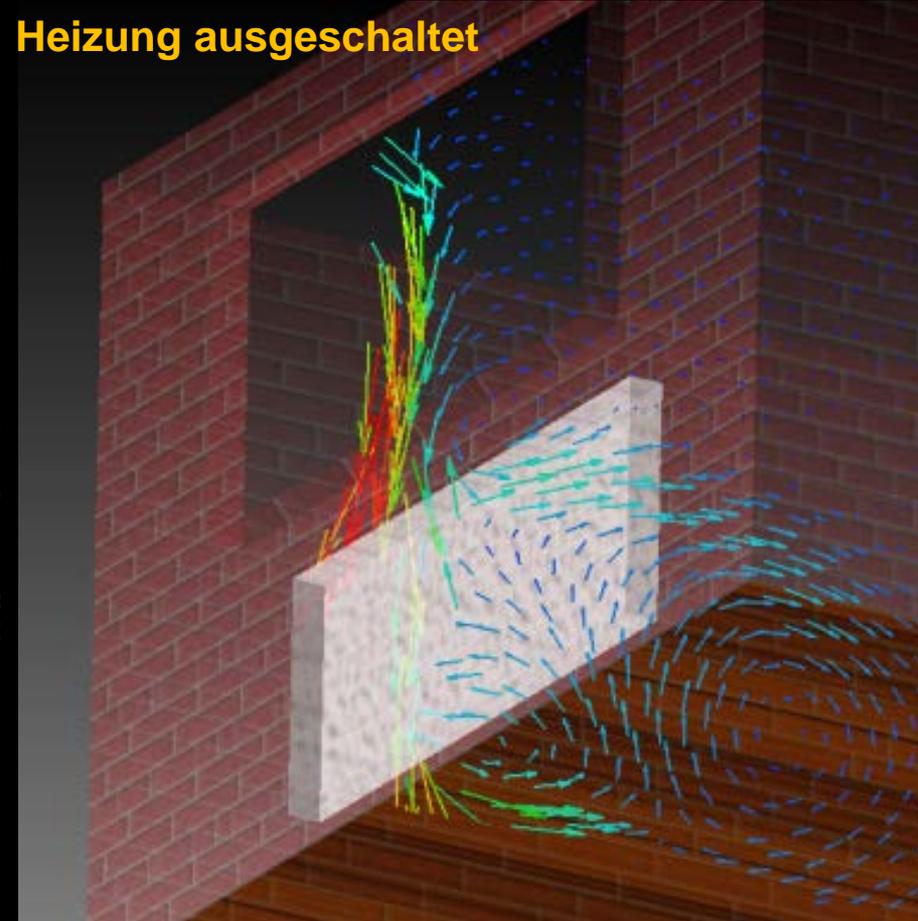
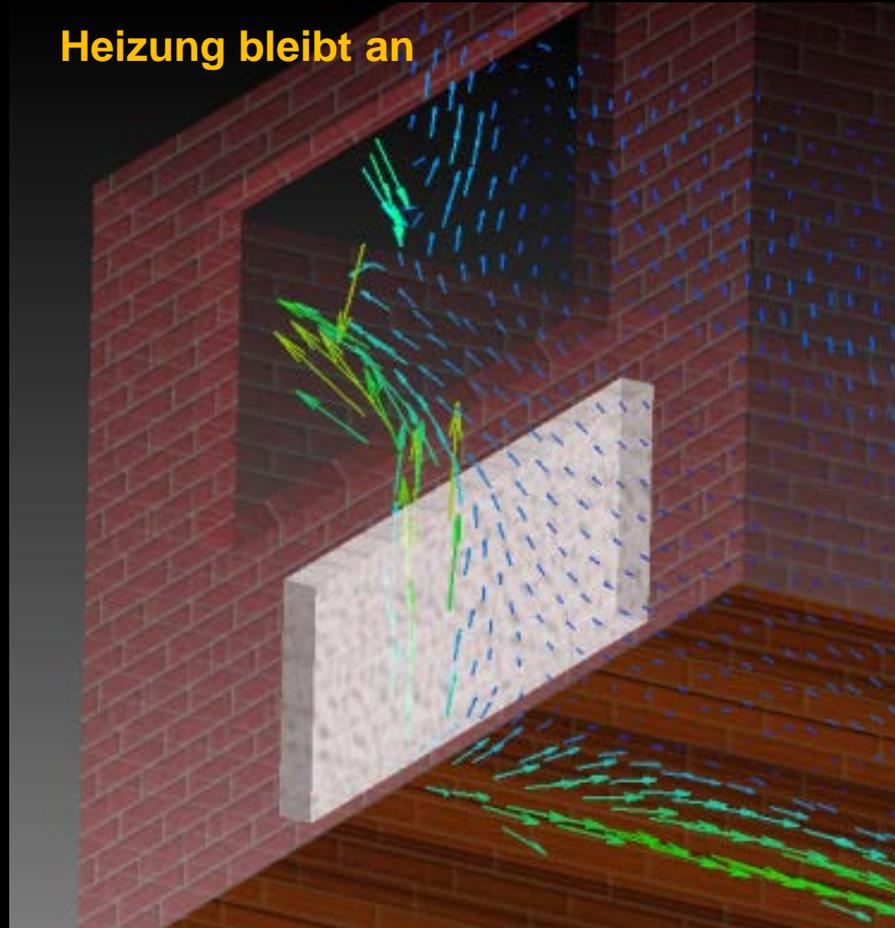
Die Wärmeleistung der Heizung entweicht
direkt aus dem offenen Fenster



smart ↔ smart ++
Analyse der Strömung

Heizung bleibt an

Es entsteht keine Luftstrom nach außen

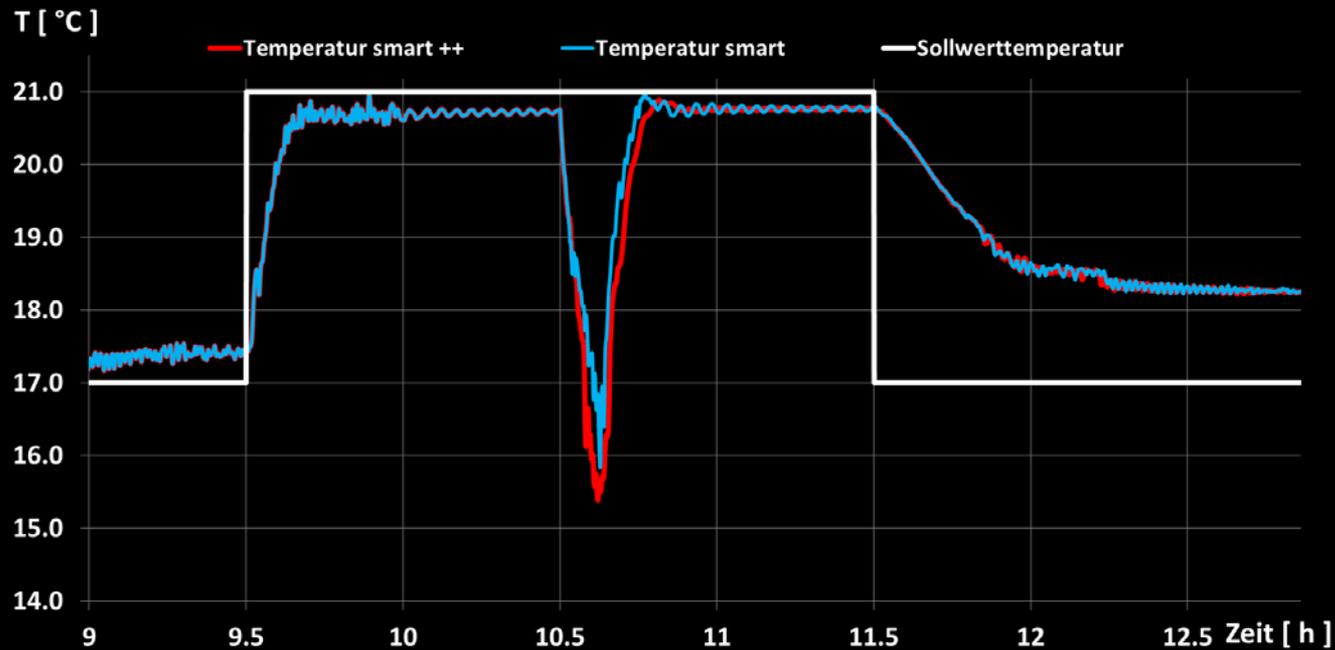


Fenster 5 min geöffnet

Der Luftstrom entweicht direkt
aus dem offenen Fenster

smart ↔ smart ++ Vergleich der Temperaturen

Beispiel Wohnzimmer



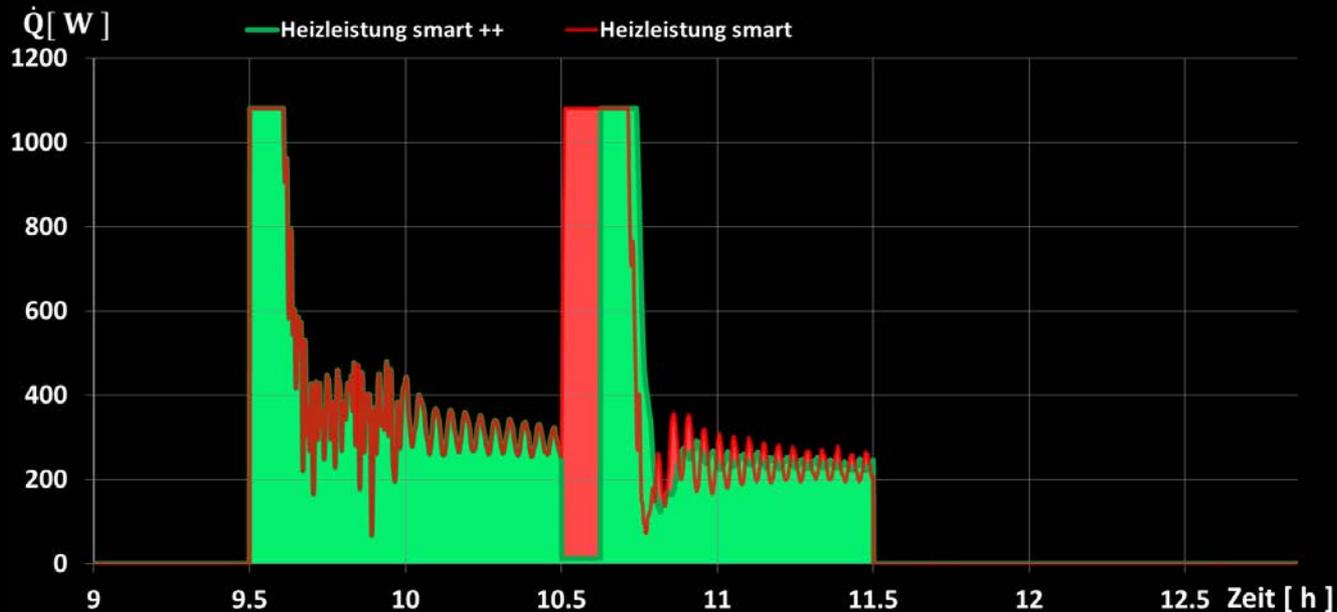
Die Temperaturverläufe sind nahezu identisch

=> Keine Einbußen im Wohnkomfort

Was bringt smart + + energetisch?

smart ↔ smart ++ Energieeffizienz

Heizleistung auf Basis des Warmwasservolumenstroms



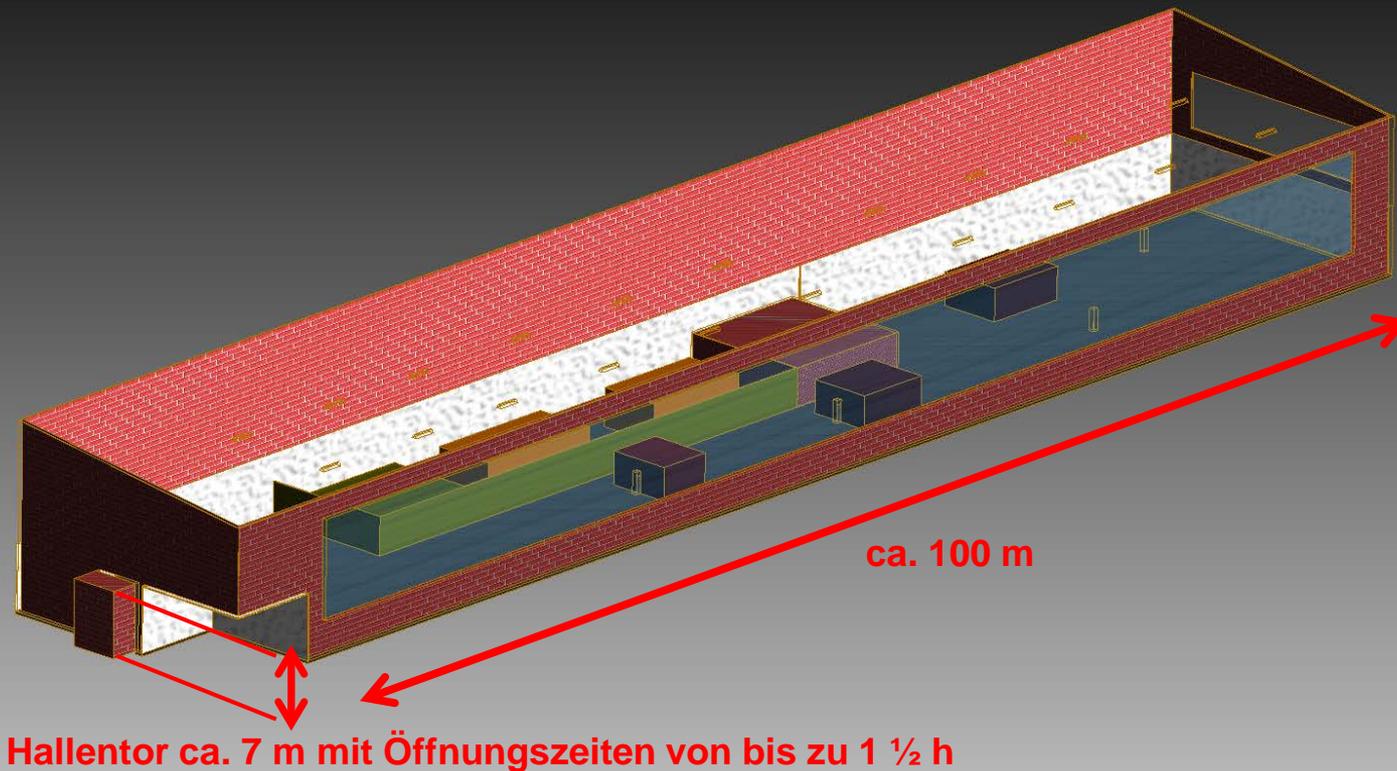
In der Phase der Belüftung arbeitet die smart ++ Variante effizienter

Eingesparte Heizleistung (rote Fläche) beträgt bei 7,5 min Belüftung ca. 0,1375 kWh

Dies sind ca. 1 cent Einsparung

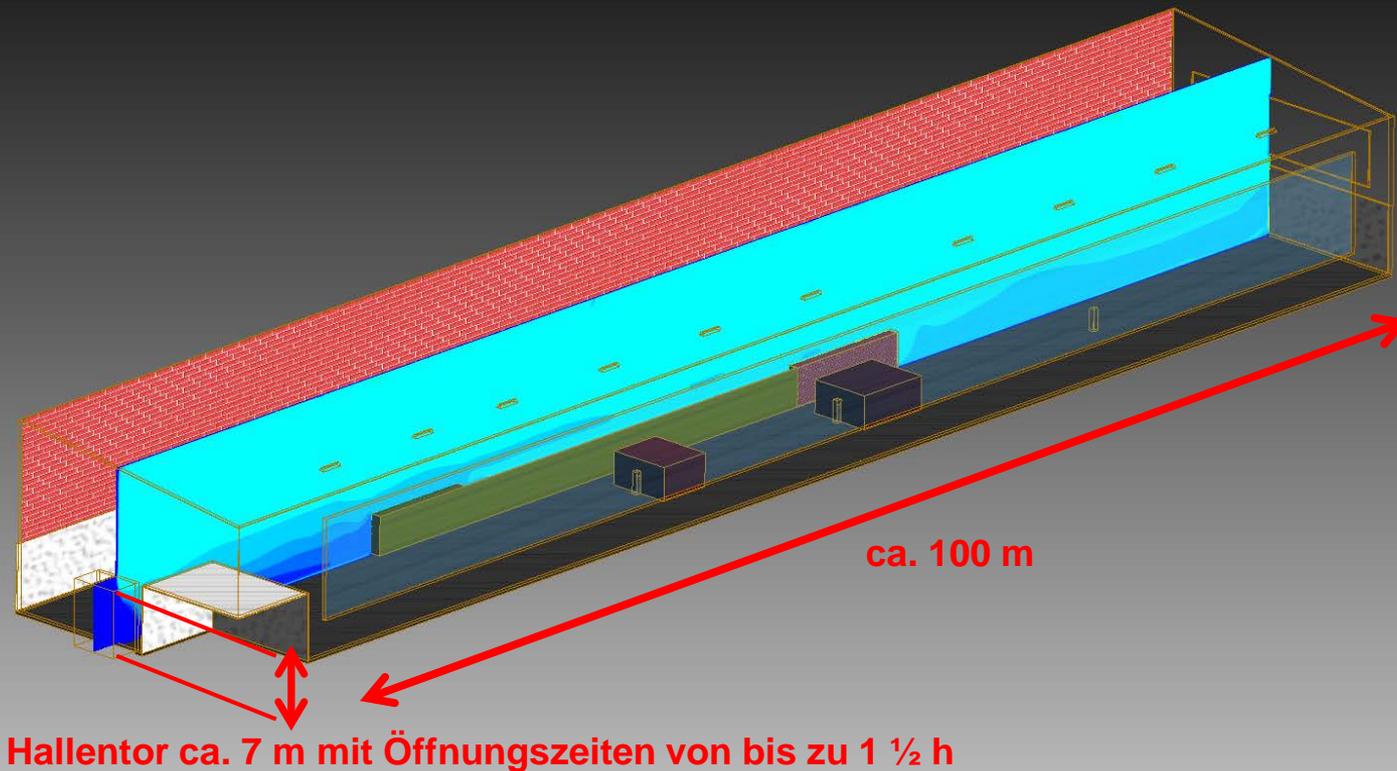
Simulation einer Werkhalle

Achtung:
Bei großen Werkhallen ist die Frage nach den Energieverlusten komplett verschieden!



Simulation einer Werkhalle

Achtung:
Bei großen Werkhallen ist die Frage nach den Energieverlusten komplett verschieden!



Inhalt des Vortrages

1. Aufbau der Simulationsmodelle

- CAD-Modell
- Diskretisierung
- Ersatzmodell Heizung
- Regelung

2. Effizienz eines „smarten“ Heizungsvorgangs

- Zur Simulation
- Vergleich „smart“ zu „manueller“ Steuerung

3. Vergleich von „smart“ und „smart ++“

4. Fazit

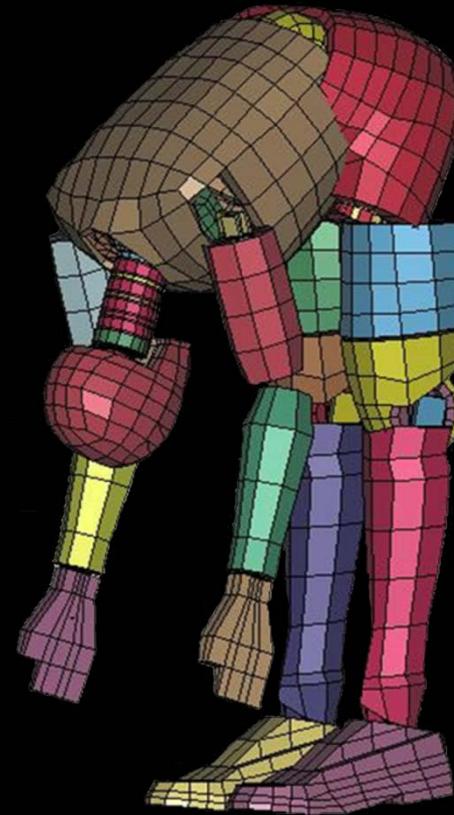
Fazit

CFD ist optimal für Analysen thermischer Art von Raum/Wohnung/Gebäude

- **Smart Home steigert die Energieeffizienz erheblich**
- **Der Wohnkomfort wird ebenfalls gesteigert**

Die Einsparung durch smart ++ sind auf einen Raum bezogen relativ gering

Die Einsparung durch smart ++ bezogen auf andere Gebäudestrukturen können jedoch erheblich sein



Vielen Dank für Ihr Interesse