

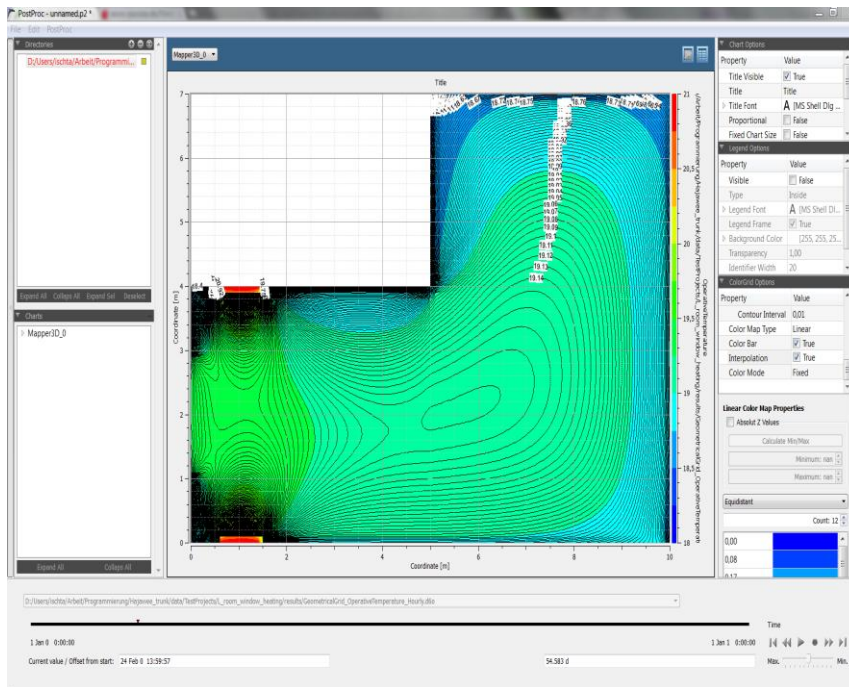


# Anlagenregelung in ODE-Systemen am Beispiel der thermischen Raum- und Gebäudesimulation

Anne Paepcke, Andreas Nicolai

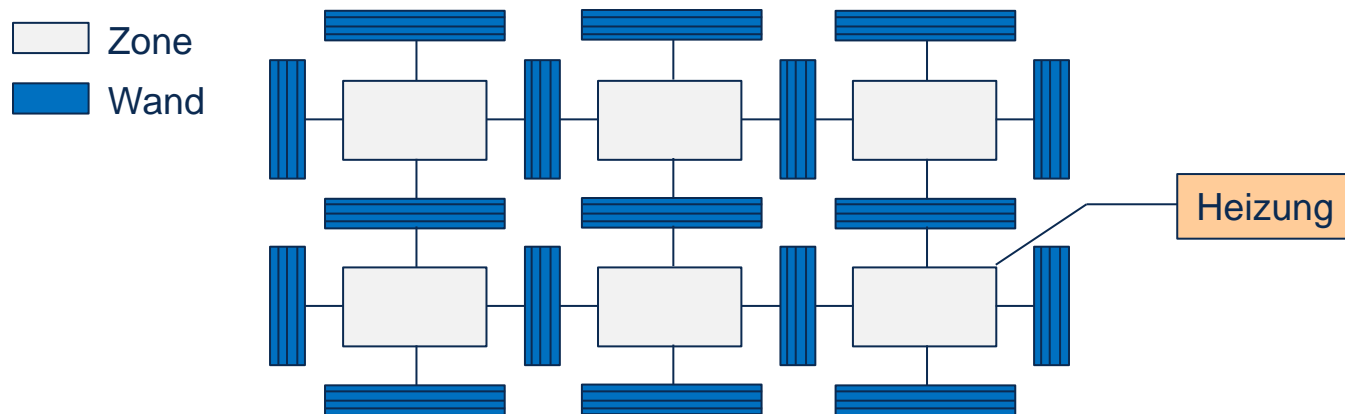
Aachen, 22.09.2014

# Behaglichkeitssimulation eines Raumes

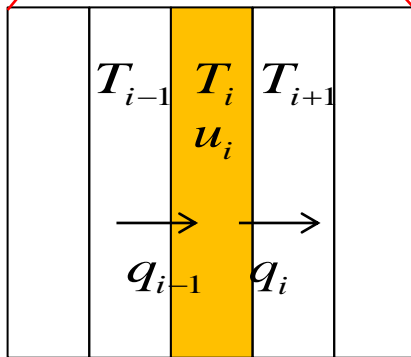
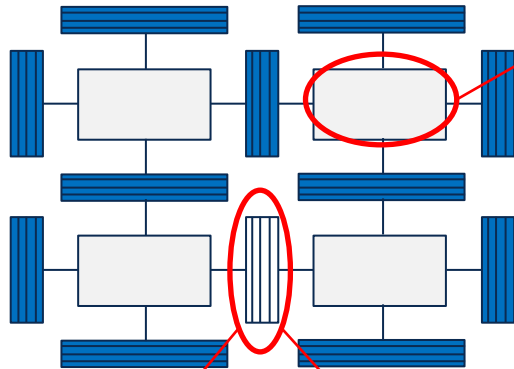


- Geometrisch detailgetreue Simulation des Raumes + Wandumschließungsflächen
- Langwellige Strahlungsbilanz
- Hygrothermische Wand- und Raumsimulation
- Strahlungs- und Konvektionsheizkörper
- Natürliche Lüftung
- Graphische Nutzeroberfläche

## Multizonensimulation komplexer Gebäude



- Dynamisches Netzwerk thermisch aktiver/passiver Komponenten
- **Passive Komponenten:** Zonenbilanzen + eindimensional raum aufgelöste Wandbilanzen
- **Aktive Komponenten:** Anlagenkomponenten, generisch erweiterbar
- Gebäudemodellierung durch BIM-Datenimport (IFC, IDF)



## Raumbilanz

$$\frac{dQ_R}{dt} = \sum_i^{n_H} \dot{Q}_{H,i} + \sum_i^{n_W} \dot{Q}_{W,i} + \sum_i^{n_F} \dot{Q}_{F,i} + \dot{Q}_L + \dot{Q}_N$$

$$\dot{Q}_{H,i} = \dots$$

$$\dot{Q}_{W,i} = \dots$$

## Wandbilanz

$$\frac{du_i}{dt} = -\frac{A}{V_i} (q_i - q_{i-1})$$

$$q_i = -\lambda_{i-1/2} \frac{T_i - T_{i-1}}{\Delta x_{i-1/2}}$$

$$\dot{\mathbf{y}} = \begin{pmatrix} \dot{\mathbf{Q}}_R \\ \dot{\mathbf{u}} \end{pmatrix}$$

## Raumbilanz

$$\frac{dQ_R}{dt} = \sum_i^{n_H} \dot{Q}_{H,i} + \sum_i^{n_W} \dot{Q}_{W,i} + \sum_i^{n_F} \dot{Q}_{F,i} + \dot{Q}_L + \dot{Q}_N$$

$$\dot{Q}_{H,i} = \dots$$

$$\dot{Q}_{W,i} = \dots$$

## Wandbilanz

$$\frac{du_i}{dt} = -\frac{A}{V_i} (q_i - q_{i-1})$$

$$q_i = -\lambda_{i-1/2} \frac{T_i - T_{i-1}}{\Delta x_{i-1/2}}$$

ODE-System

$$\dot{\mathbf{y}} = \mathbf{f}(t, \mathbf{y})$$

## Raumbilanz

$$\frac{dQ_R}{dt} = \sum_i^{n_H} \dot{Q}_{H,i} + \sum_i^{n_W} \dot{Q}_{W,i} + \sum_i^{n_F} \dot{Q}_{F,i} + \dot{Q}_L + \dot{Q}_N$$

$$\dot{Q}_{H,i} = \dots$$

$$\dot{Q}_{W,i} = \dots$$

## Wandbilanz

$$\frac{du_i}{dt} = -\frac{A}{V_i} (q_i - q_{i-1})$$

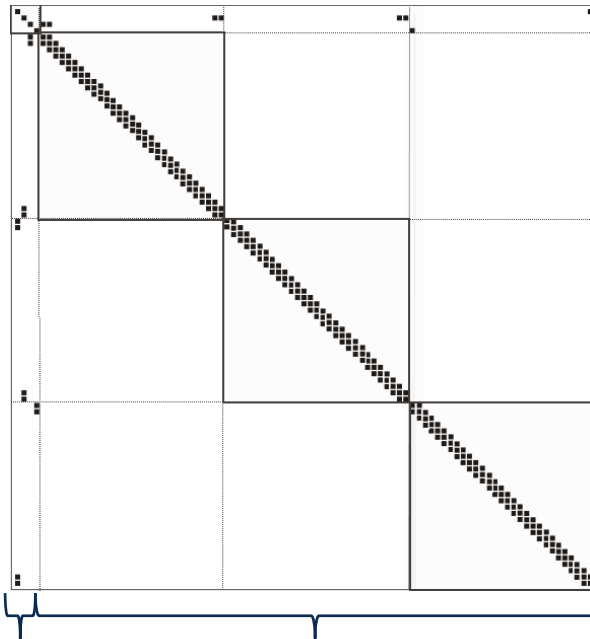
$$q_i = -\lambda_{i-1/2} \frac{T_i - T_{i-1}}{\Delta x_{i-1/2}}$$

**Solver**

**Modell**

## Solver: Integrationsplattform

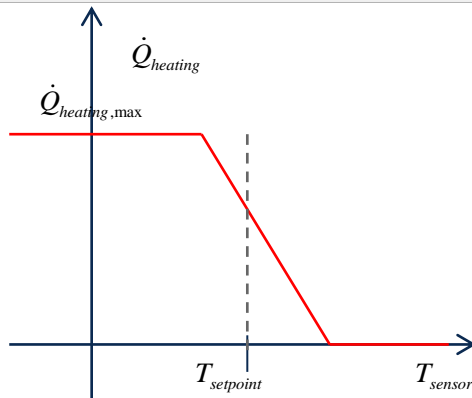
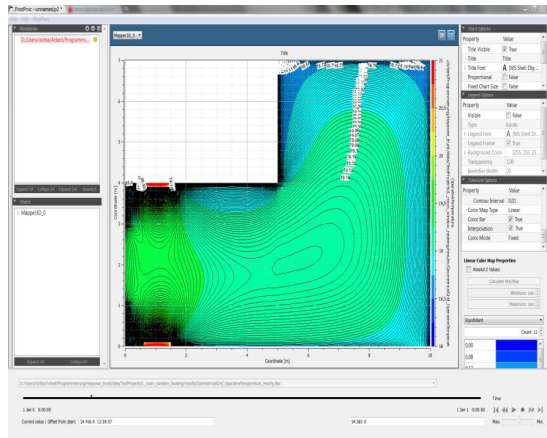
(A.Nicolai, A.Paepcke, S.Vogelsang)



Raumbilanzen Wandbilanzen

- Implizites Zeitintegrationsverfahren
- Adaptive Zeitschrittwertensteuerung
- Newton-Raphson-Verfahren
- Methoden für schwachbesetzte Jacobimatrizen mit charakteristischer Besetzungsstruktur:  
Vorkonditionierte Krylow-Unterraum-Verfahren

## Modell: HAJAWEE



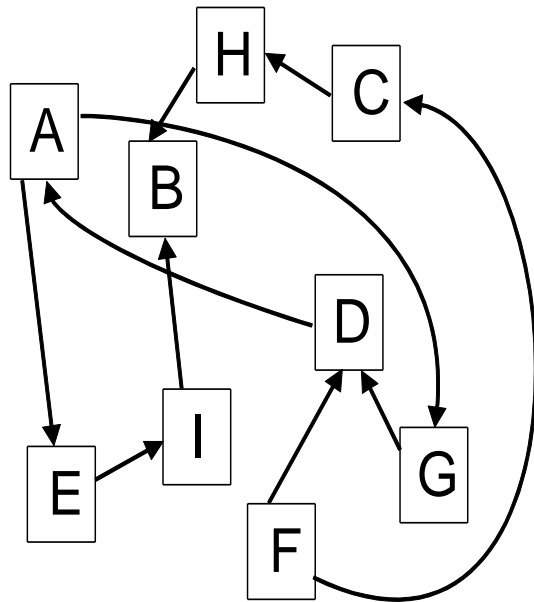
- Oberflächenheizkörper, aktive Bauteile, Fußbodenheizung
- Ideale Heizungsregelung
- Regelgrößen: Raumlufttemperatur oder Strahlungstemperatur
- Strahlungsheizungen nehmen an langwelliger Strahlungsbilanz teil



- Nichtlinear gekoppelte Zusammenhänge möglich
- Regula Falsi/Downhill-Simplex-Methode für Strahlungsheizungen



## Modell: NANDRAD



- Ideale Heizung als Basismodell
- Erweiterung um nutzerdefinierte algebraische Heizungs- und Regelmodelle möglich



- Sequentielle und zyklische Auswertung algebraischer Gleichungen notwendig
- Auswertungsreihenfolge erst zur Laufzeit bekannt
- Graphenalgorithmien zur Modellordnung

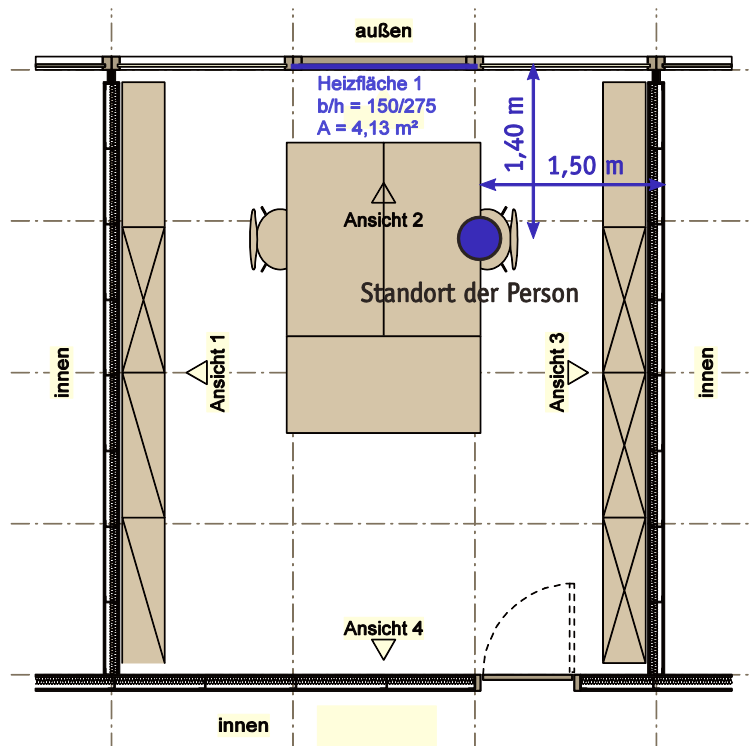
## EnergyPlus

- Explizites Eulerverfahren
- Feste Zeitschrittweite
- Prädiktor-Korrektor-Methode für die Heizungsregelung

## HAWAJEE

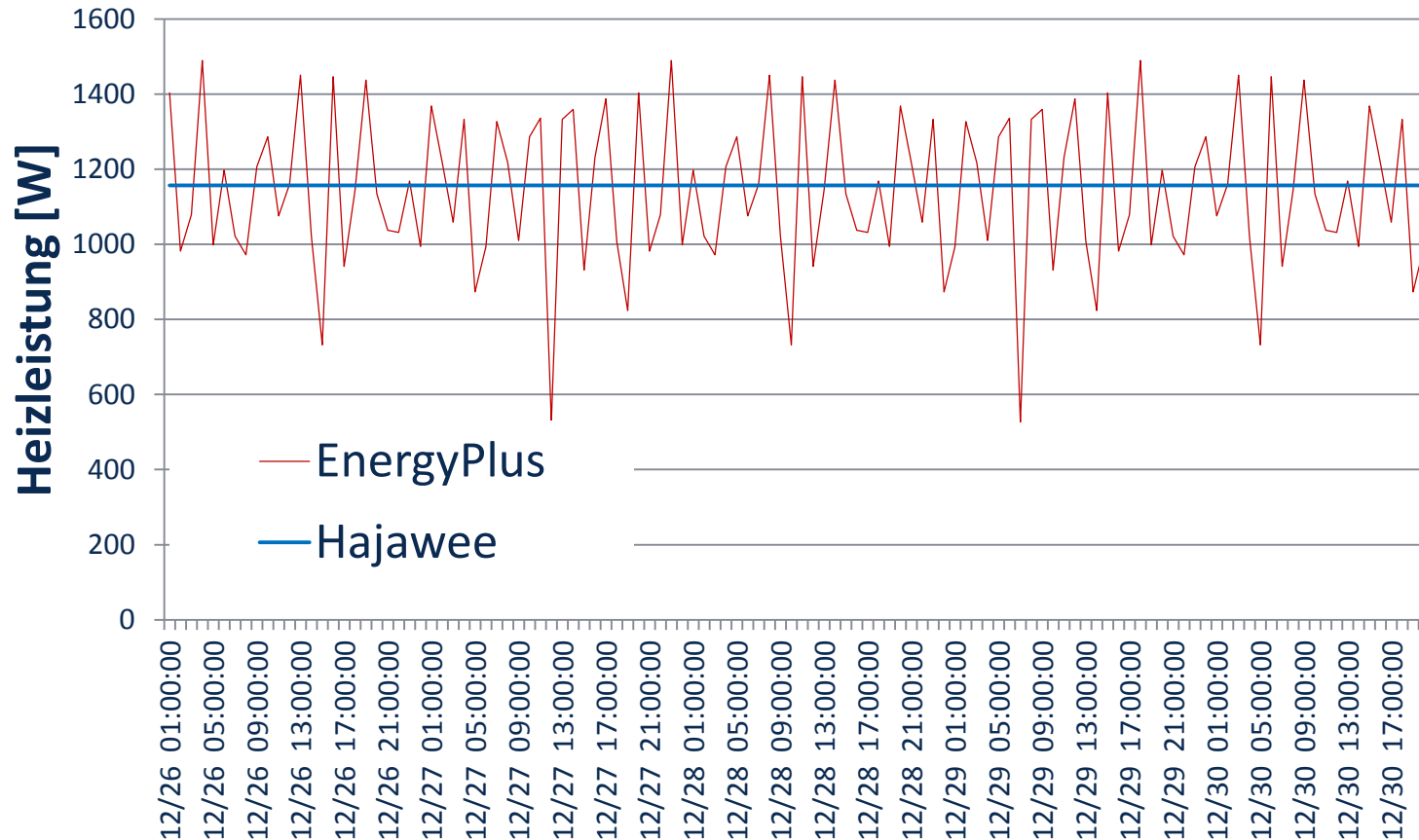
- Implizites Zeitintegrationsverfahren
- Adaptive Zeitschrittweitensteuerung
- Newton-Raphson-Verfahren
- Vorkonditionierte Krylow-Unterraumverfahren
- Regula Falsi/Downhill-Simplex-Methode für Strahlungsheizungen

## Validierungsraum (Fakultät Bauwesen, HTWK Leipzig)



- Konstantes Außenklima ( $-10^\circ\text{C}$ )
- Konstant temperierte Nachbarzonen ( $16^\circ\text{C}$ )
- Heizungsregelung nach konstanter Raumlufttemperatur (Solltemperatur  $21^\circ\text{C}$ )

# Vergleich von HAJAWEE und EnergyPlus



(Projektarbeit K.Pfefferkorn)

## Auswertung des ODE-Systems:

- Aufgabe der Integrationsplattform
- NANDRAD/HAJAWEE: charakteristische Matrizenbesetzung
- ➔ Anwendbarkeit gut vorkonditionierter Krylow-Unterraum-Verfahren
- ➔ Dynamische/hygrothermische Simulation mehrschichtiger Wandumschließungsfächen möglich
- ➔ NANDRAD: Simulation komplexer Gebäude möglich

## Auswertung algebraischer Gleichungen:

- Aufgabe des Modellentwicklers
- Bei Regelung präzise Behandlung gekoppelter Zusammenhänge wichtig
- ➔ Fehlerquellen



Institutswebseite:

<http://tu-dresden.de/ibk>

Softwareentwicklung und  
Programmdownload:

<http://bauklimatik-dresden.de/>