
Fehlerdiagnose unter unsicheren Randbedingungen



Dirk Jacob

Fraunhofer-Institut für
Solare Energiesysteme ISE

ModQS Workshop
Automatisierte Fehlerdiagnose
14. September 2011
TUHH

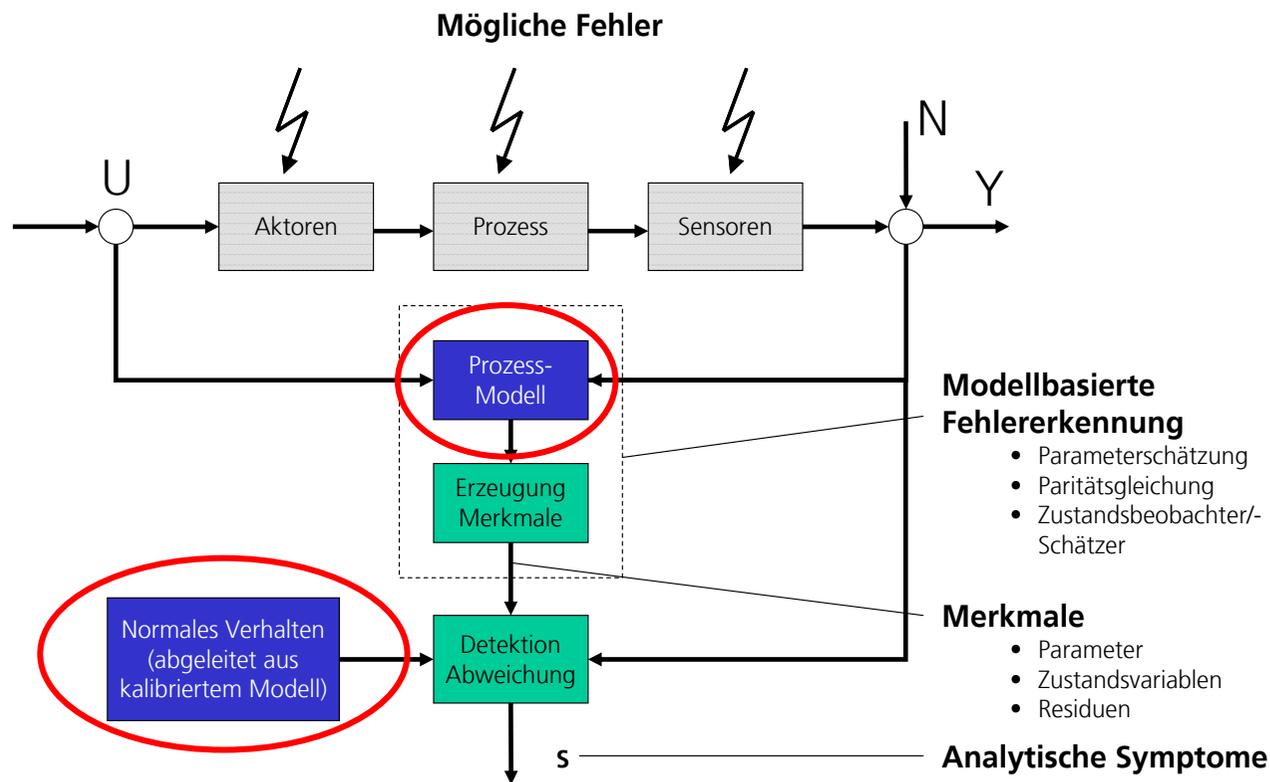
ModQS



TUHH
Technische Universität Hamburg-Harburg

Fehlererkennung u. Diagnose

- Fehlererkennung und Diagnose in ModQS immer über Modelle



Quelle: Isermann

Traditionelle Simulationsprogramme im Gebäudebereich

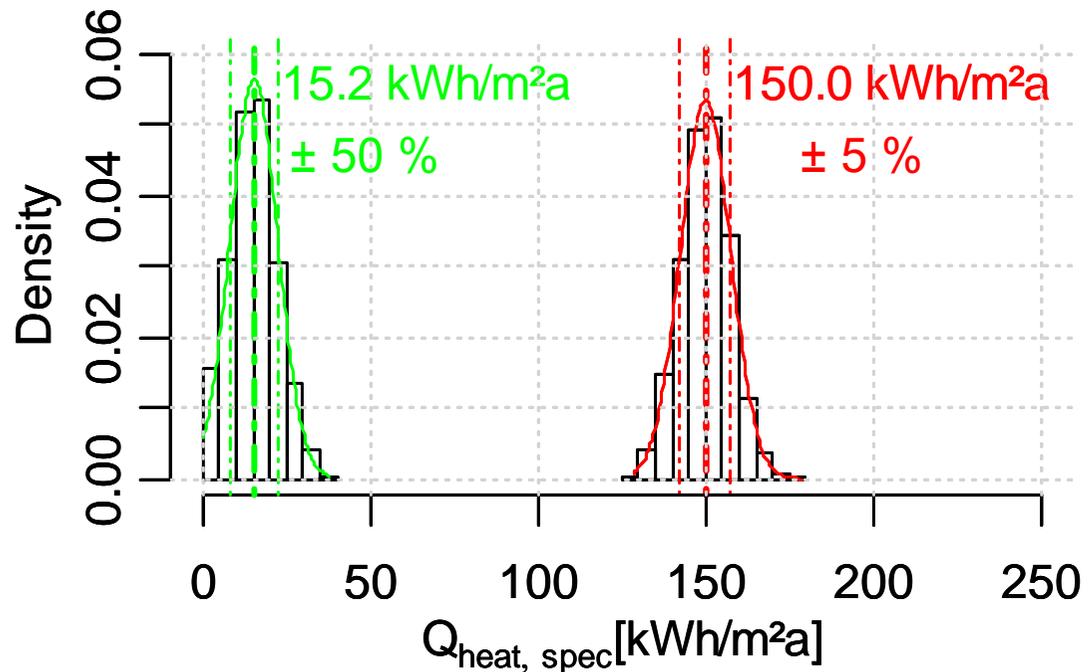
■ Vergleich Simulationsprogramme (speziell für Heizkreise)

	TRNSYS	ESP-R	Energy-Plus	IDA-ICE	MATLAB Simulink	Dymola Modelica
Ganzes Gebäude	x	x	x	x	(x)	(x)
Fehler sollten modellierbar sein	(-)	(-?)	(-)	(x)	(x)	(x)
Druckverluste und Masseflüsse modellierbar	(x)	(-?)	(?)	x	x	x
Flussrichtung reversibel	(-)	(-)	(-)	(x)	(x)	x

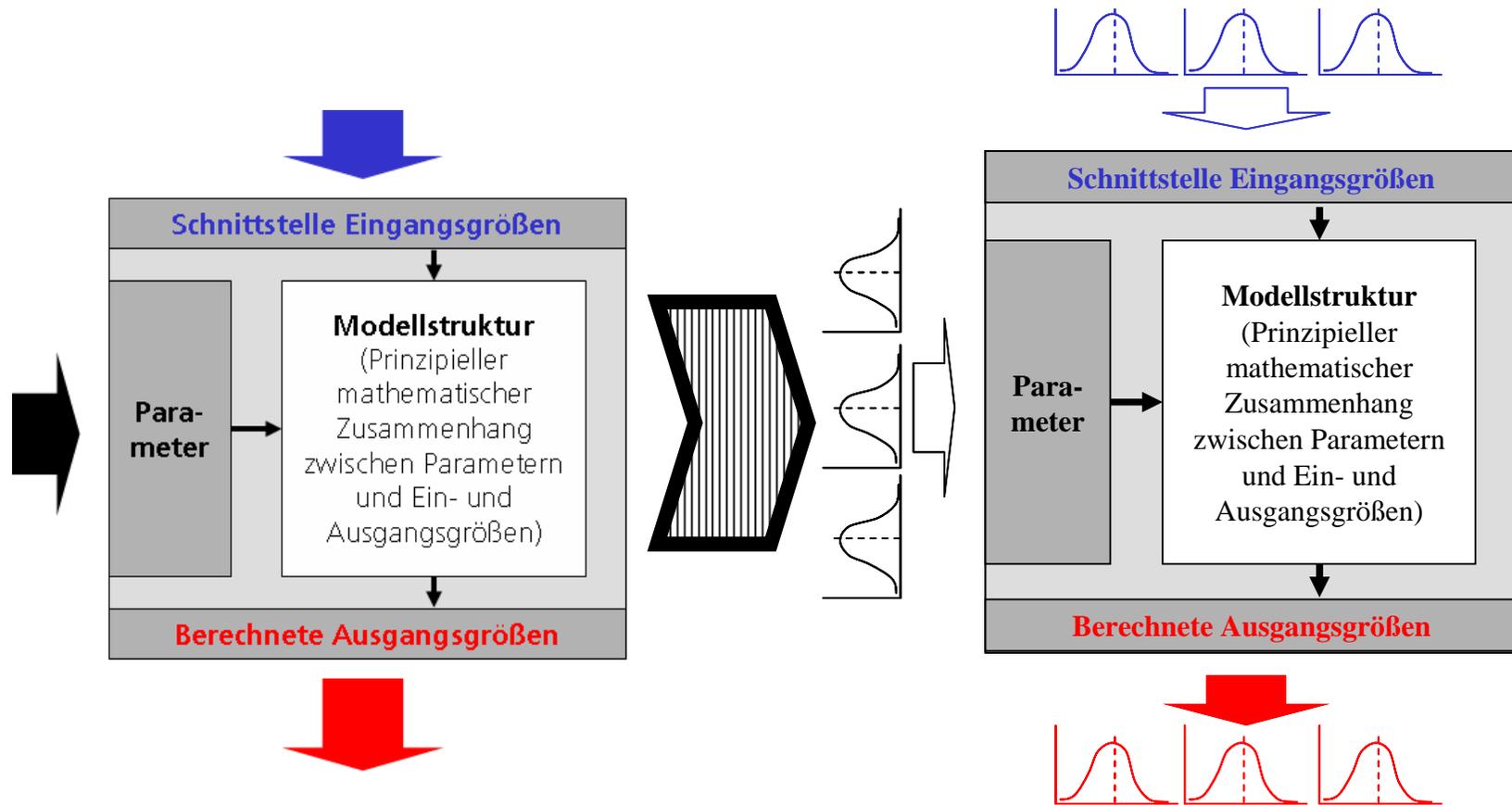
- x** vorhanden / gut möglich
- (x)** teilweise vorhanden / ohne programmieren ergänzbar
- (-)** nur durch programmieren ergänzbar
- ?** nicht gesicherte Aussage

Warum müssen unsichere Randbedingungen bei der Gebäudemodellierung beachtet werden?

- Bei alten Gebäuden war es noch denkbar die Unsicherheiten zu vernachlässigen,
- bei neuen ist die relative Unsicherheit dafür häufig viel zu groß



Stochastische Modelle



Stochastische Gebäudemodelle

1. interne Methode

2. externe Methode (Monte-Carlo-Simulation)

MC numerisch besser,

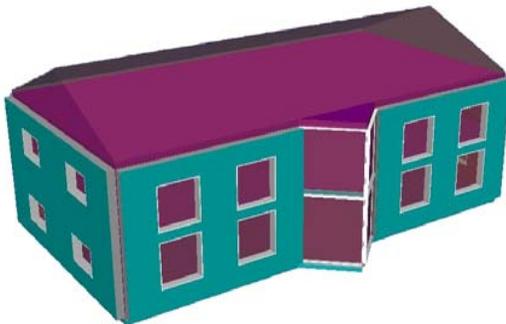
wesentlich leichter mit bestehenden Gebäudemodellen –simulationen

$$T_{i+1} = T_a + \left(\left(H_T - \frac{C}{\Delta t} + \dot{V}_{ven} \cdot c_p \right) \cdot (T_a - T_i) + \dot{Q}_{Int} + const_{Sol} \cdot z + \dot{Q}_H \right) \frac{\Delta t}{C}$$

Beispiel stochastisches Gebäudemodell (proof of concept)



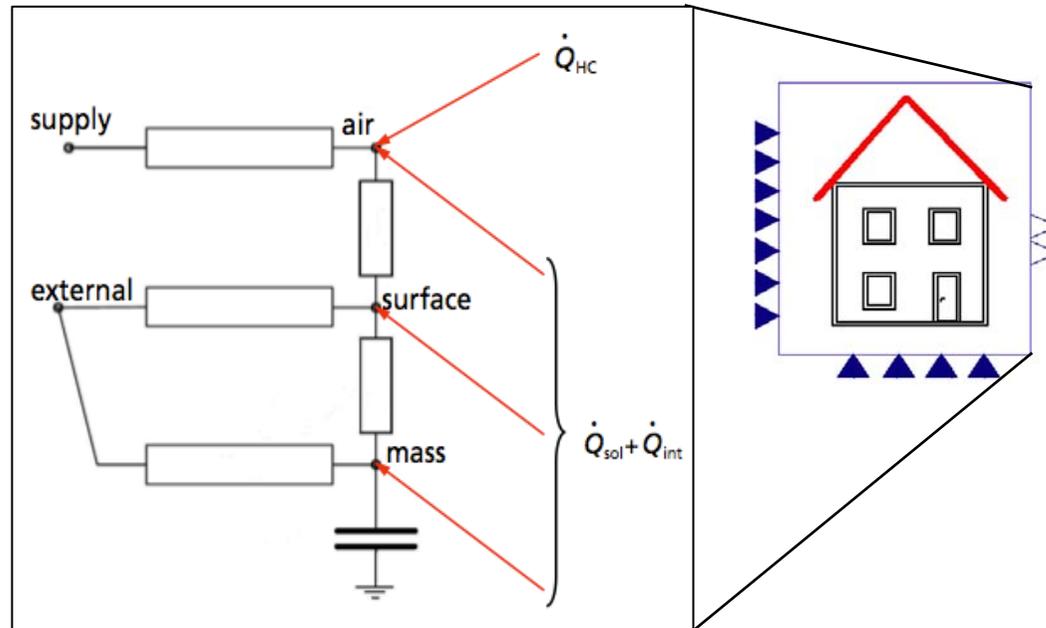
- Leipzig
- 436 m²
- Unsichere Randbedingungen:
 - Luftwechsel
 - Belegung
 - Warmwasserbedarf



3D-Darstellung des Gebäudes

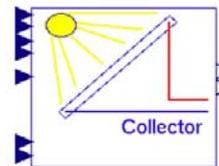
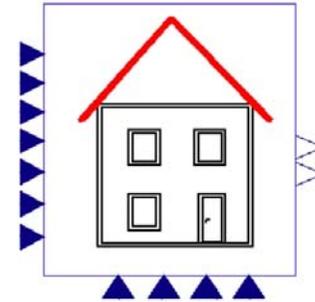
Deterministisches Gebäude- und Anlagenmodell

- Modell in Dymola / Modelica
- Gebäudemodell nach ISO 13790 (5R1C)



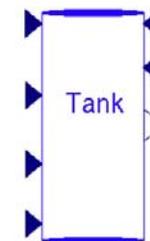
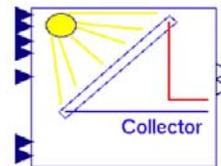
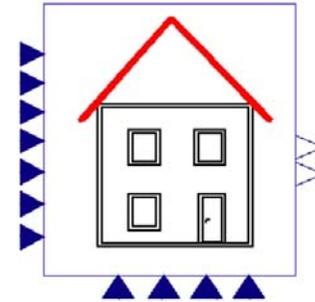
Deterministisches Gebäude- und Anlagenmodell

- Modell in Dymola / Modelica
- Gebäudemodell nach ISO 13790 (5R1C)
- 19 m² Kollektor (Isakson; stetig)

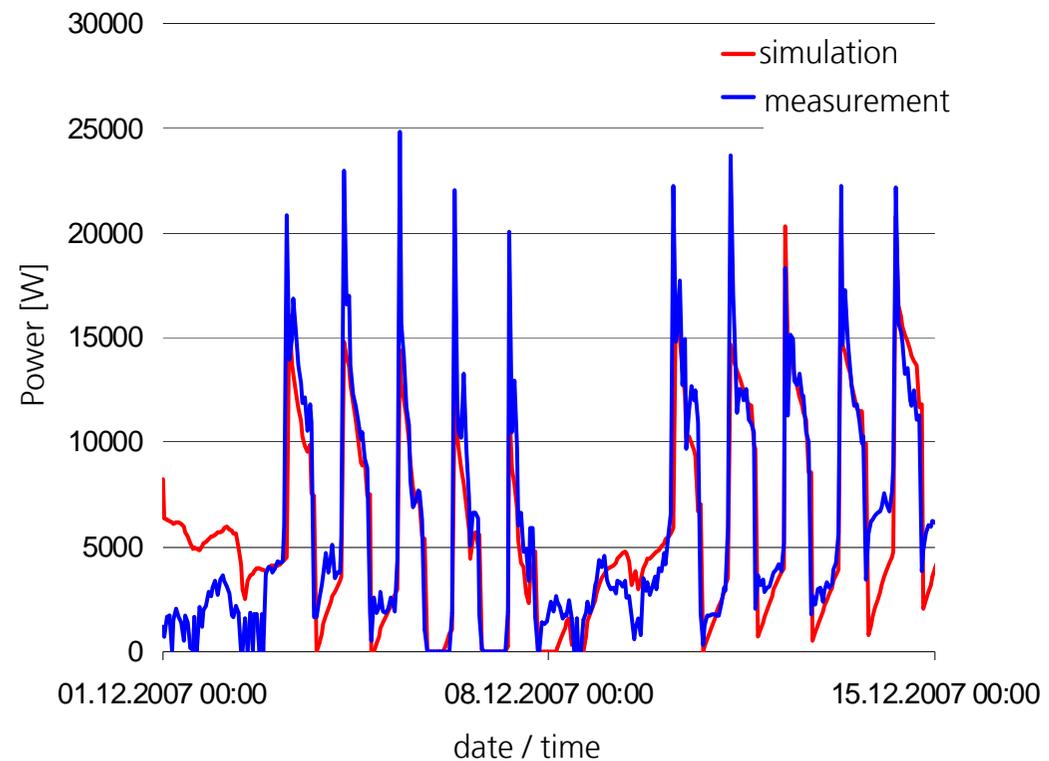


Deterministisches Gebäude- und Anlagenmodell

- Modell in Dymola / Modelica
- Gebäudemodell nach ISO 13790 (5R1C)
- 19 m² Kollektor (Isakson; stetig)
- 1000 l Speicher



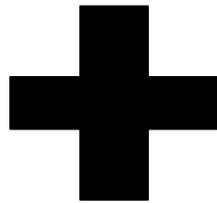
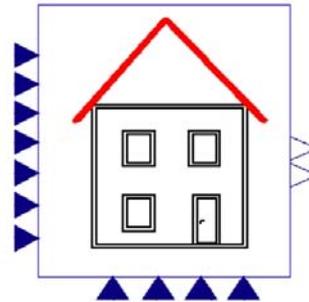
Validierung des deterministischen Modells



- gemessen: 5453 kWh
- simuliert: 5700 kWh
- Abweichung: 4,5 %

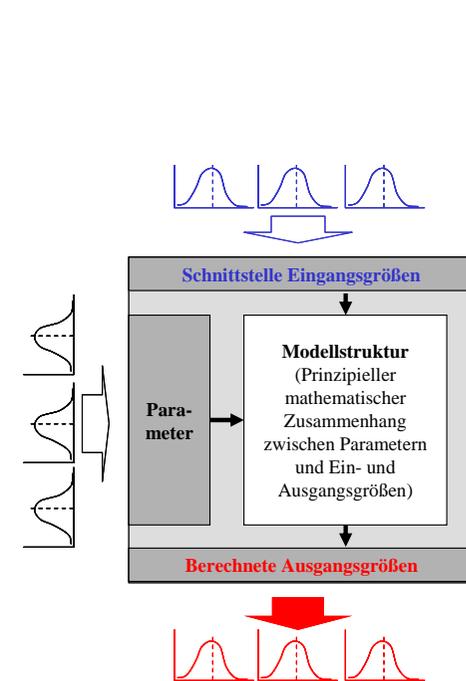
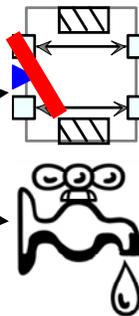
Stochastisches Gebäudemodell:

Deterministisches Modell

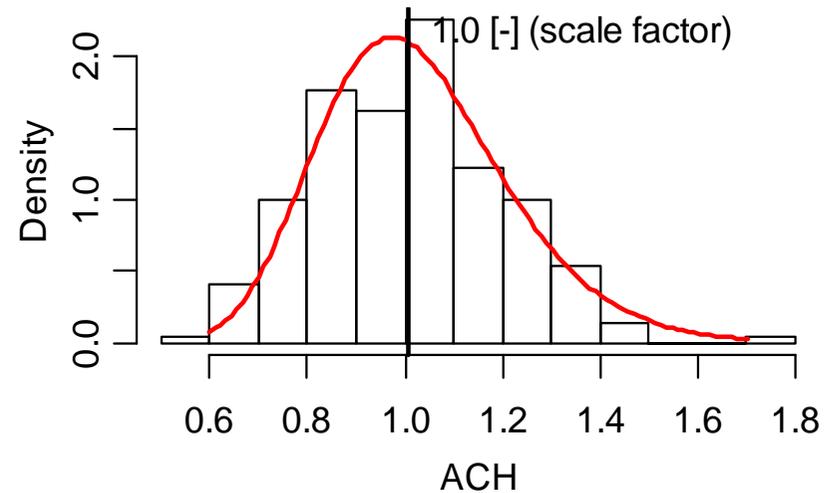


stochastische Randbedingungen:
(Nutzerdominiertes Gebäude →)

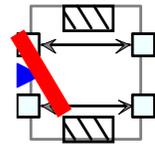
- natürliche Lüftung
- Warmwasser



Stochastische Randbedingungen



unsicherer
parameter pdf 1



Luftwechsel Skalierungsparameter

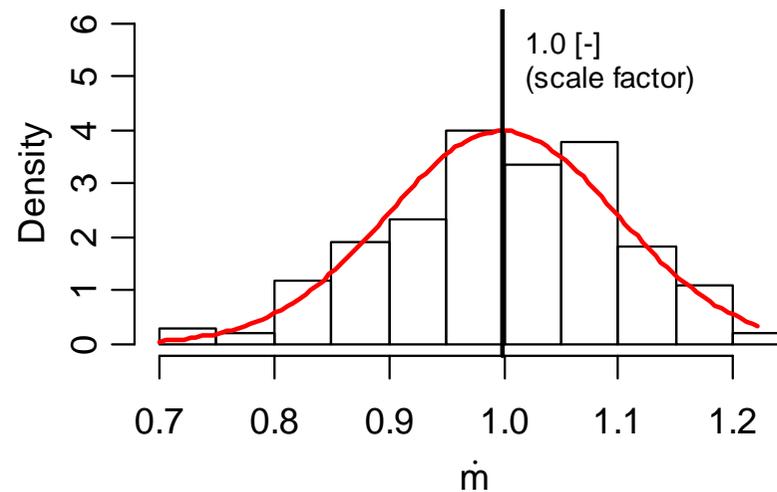
$\mu = 1.0$ and $\sigma = 0.19$

Log-Normal-Verteilung:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma x \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln(x) - \mu}{\sigma}\right)^2\right)$$

Stochastische Randbedingungen

unsicherer
parameter pdf 2



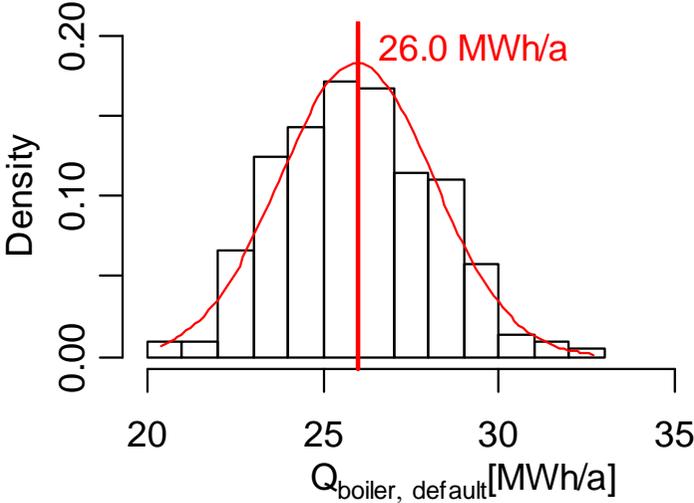
Warmwasser \dot{m}
Skalierungsparameter

$\mu = 1.0$ and $\sigma = 0.20$

Normal-Verteilung:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right)$$

Stochastisches Ergebnis



Verteilung Jahresheizenergie

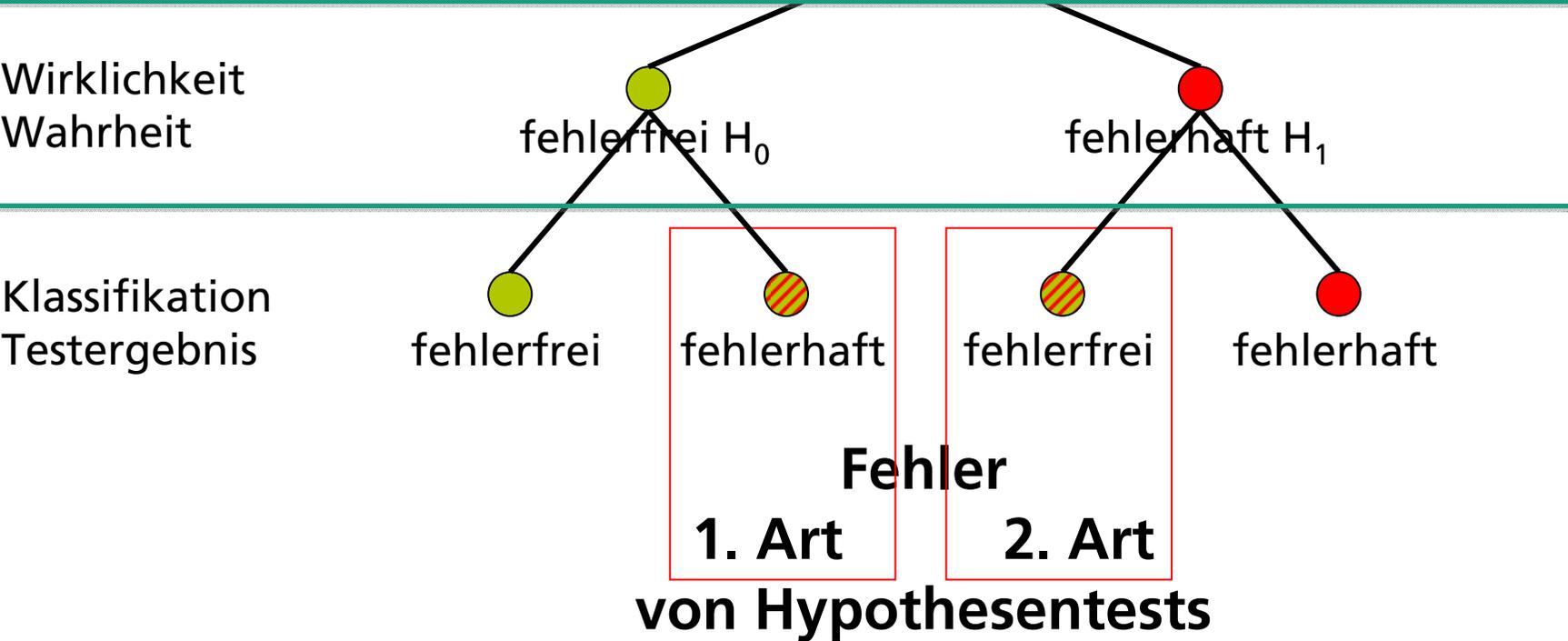
Fault Detection, Isolation and Identification (FDII) (unter unsicheren Randbedingungen):

Aufgabe	notwendiges Modell
Fehlererkennung	Nominalmodell
Fehlerisolierung	Nominalmodelle (aller Komponenten)
Fehleridentifizierung	Nominal- und Fehlermodelle

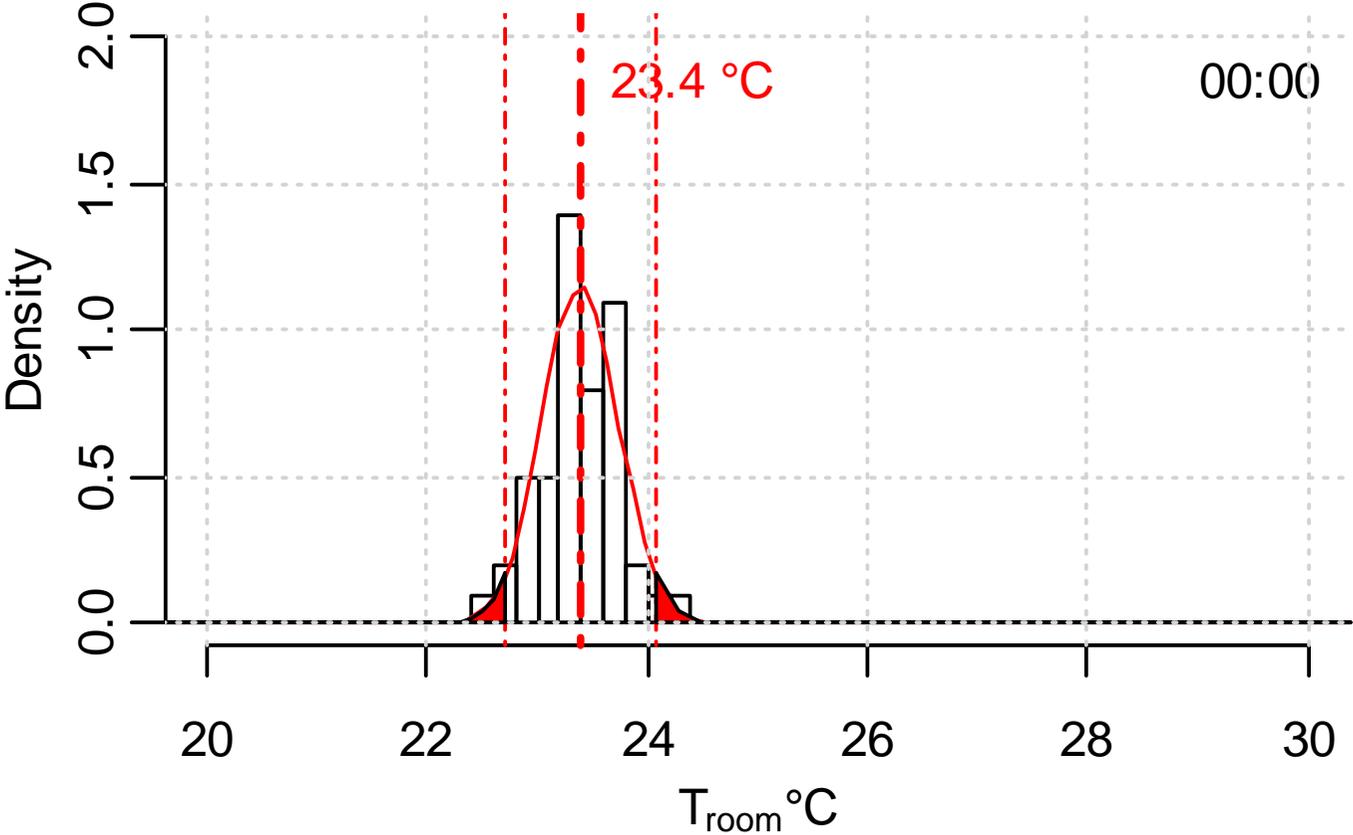
auch bei Berücksichtigung von unsicheren Randbedingungen ist das so

Wie kommt man von Verteilung zu Klassifikation?

Statistik: Hypothesentests

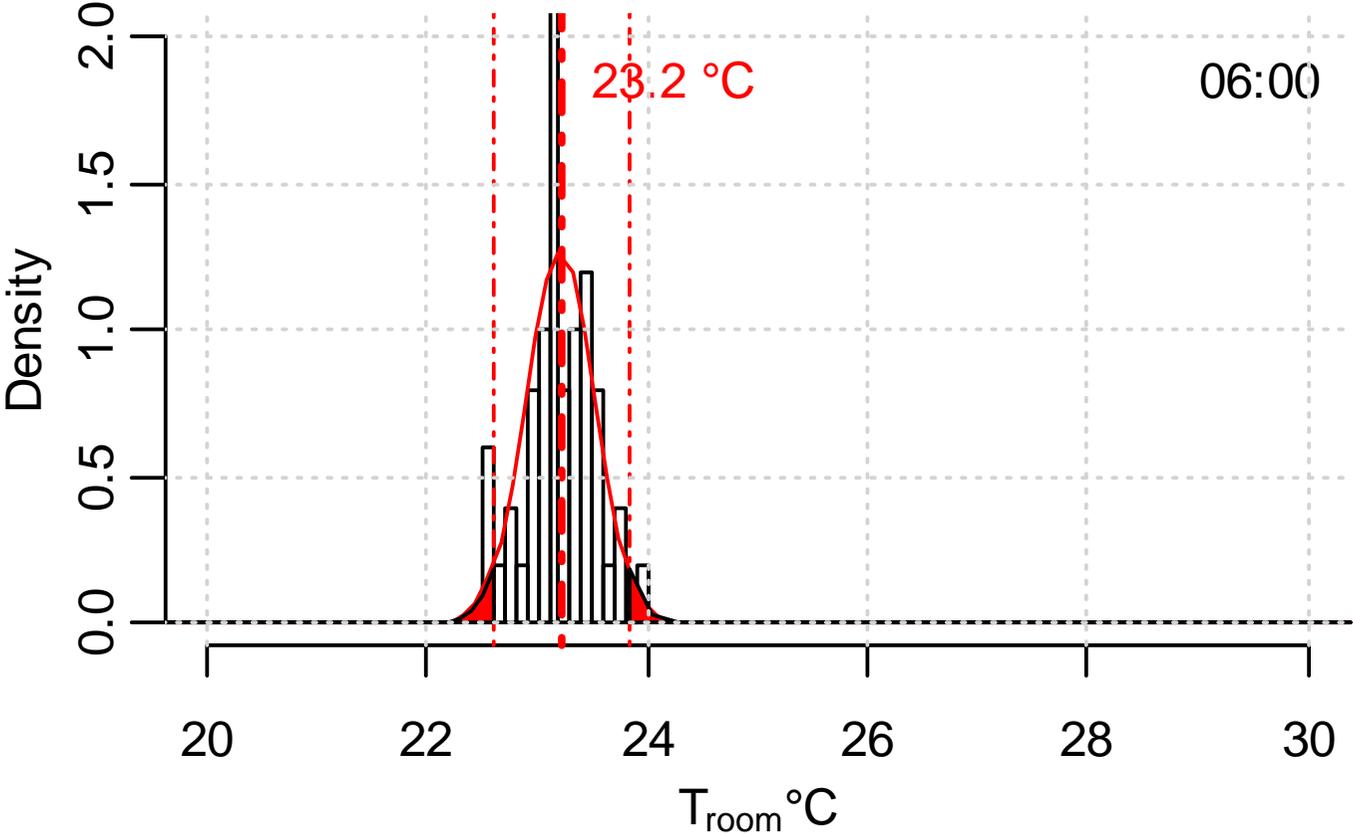


Stochastisches Ergebnis (Beispiel)



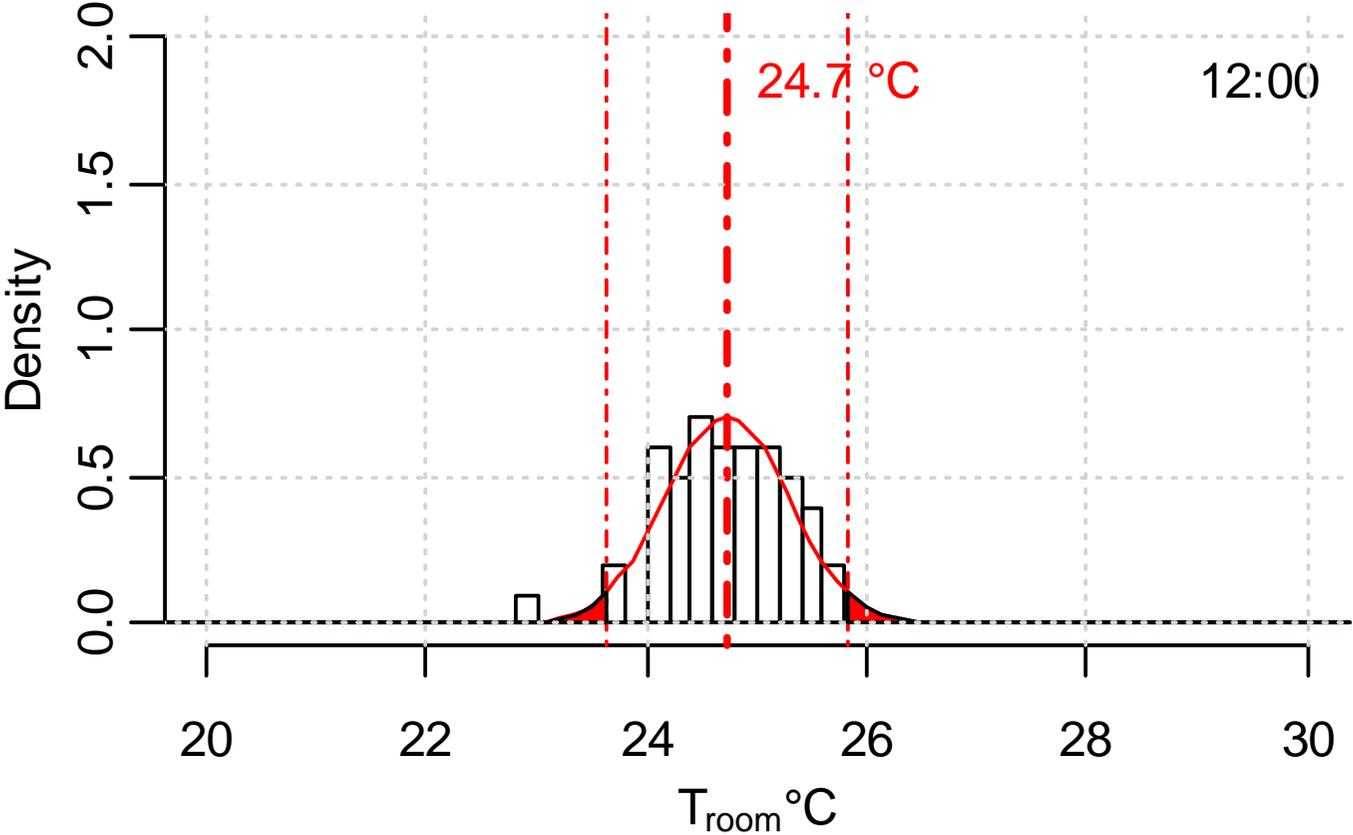
Verteilung Raumtemperatur

Stochastisches Ergebnis (Beispiel)



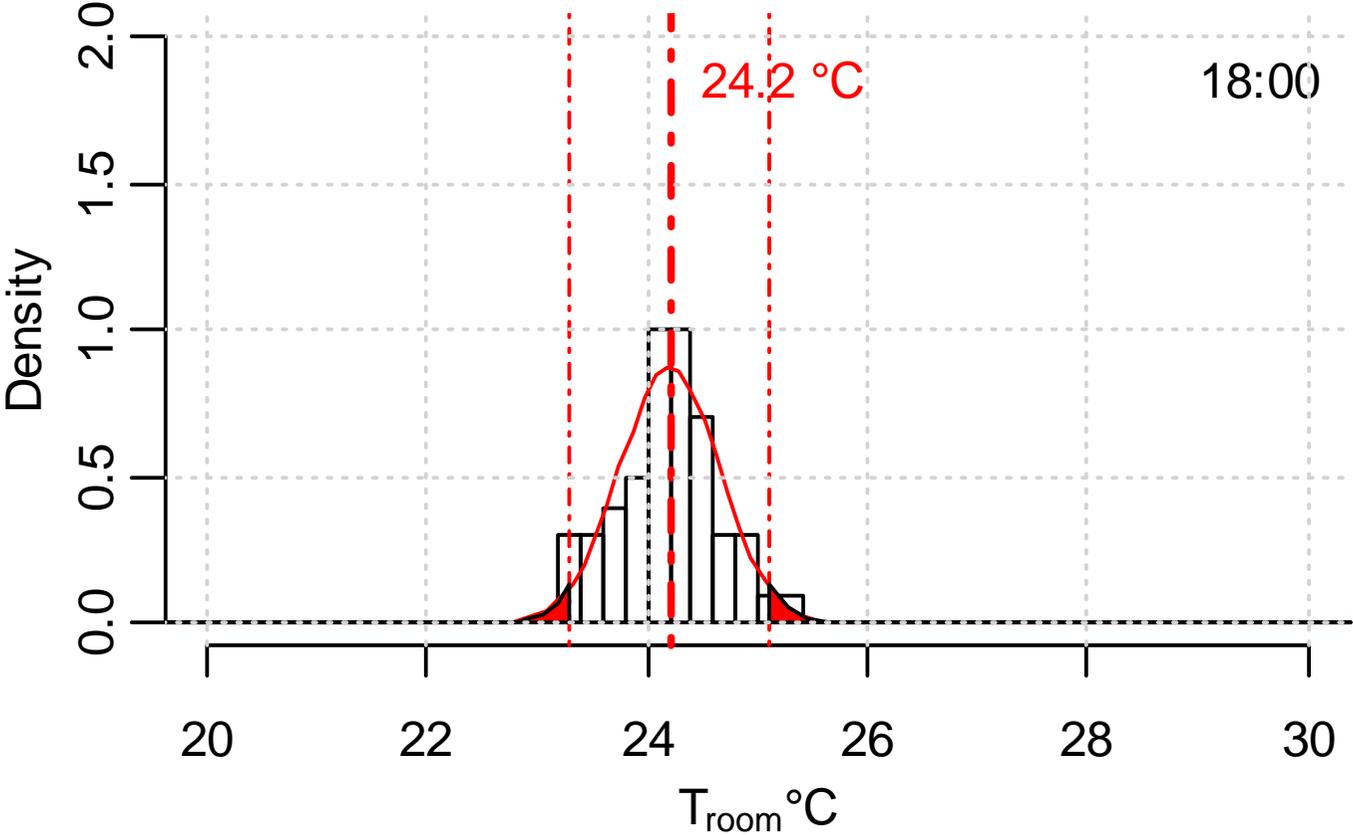
Verteilung Raumtemperatur

Stochastisches Ergebnis (Beispiel)



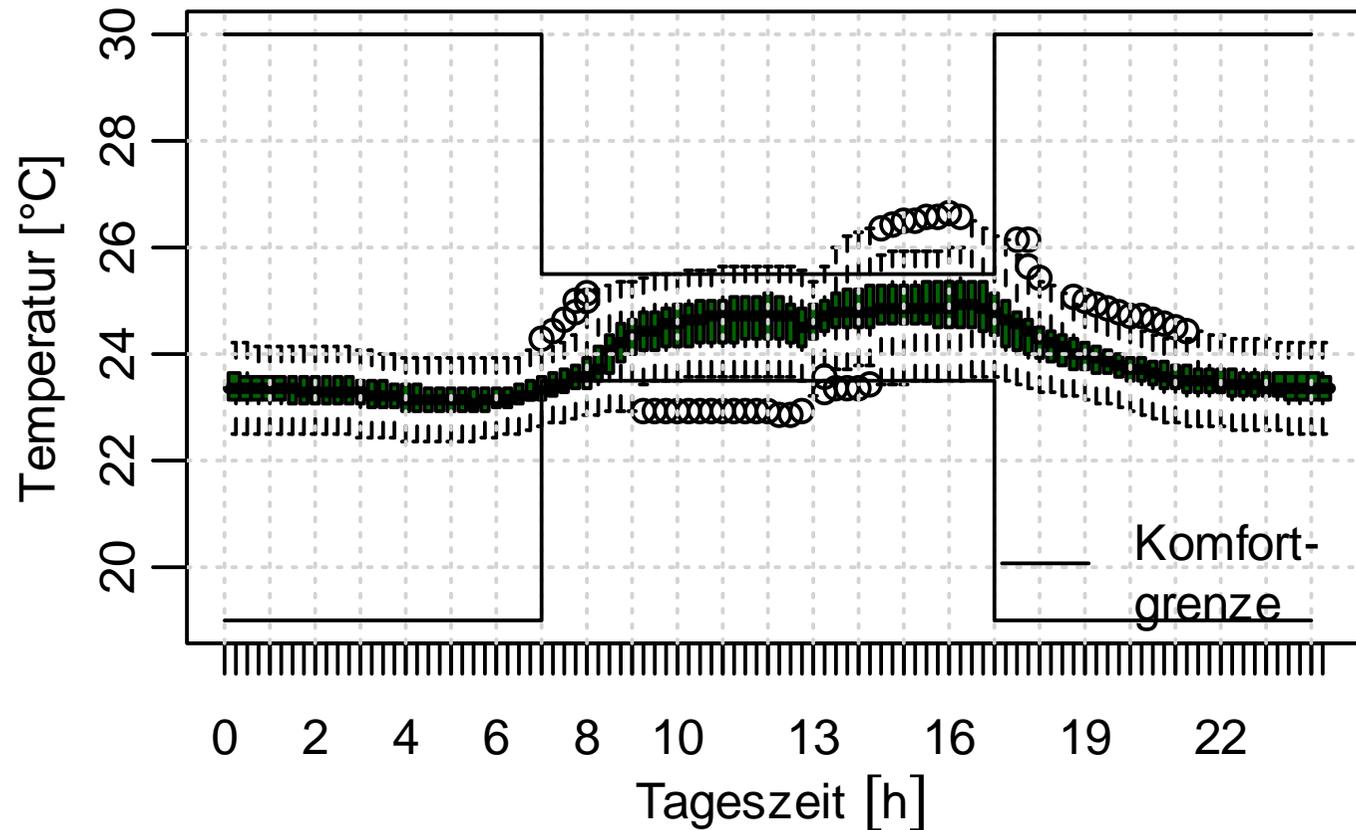
Verteilung Raumtemperatur

Stochastisches Ergebnis (Beispiel)



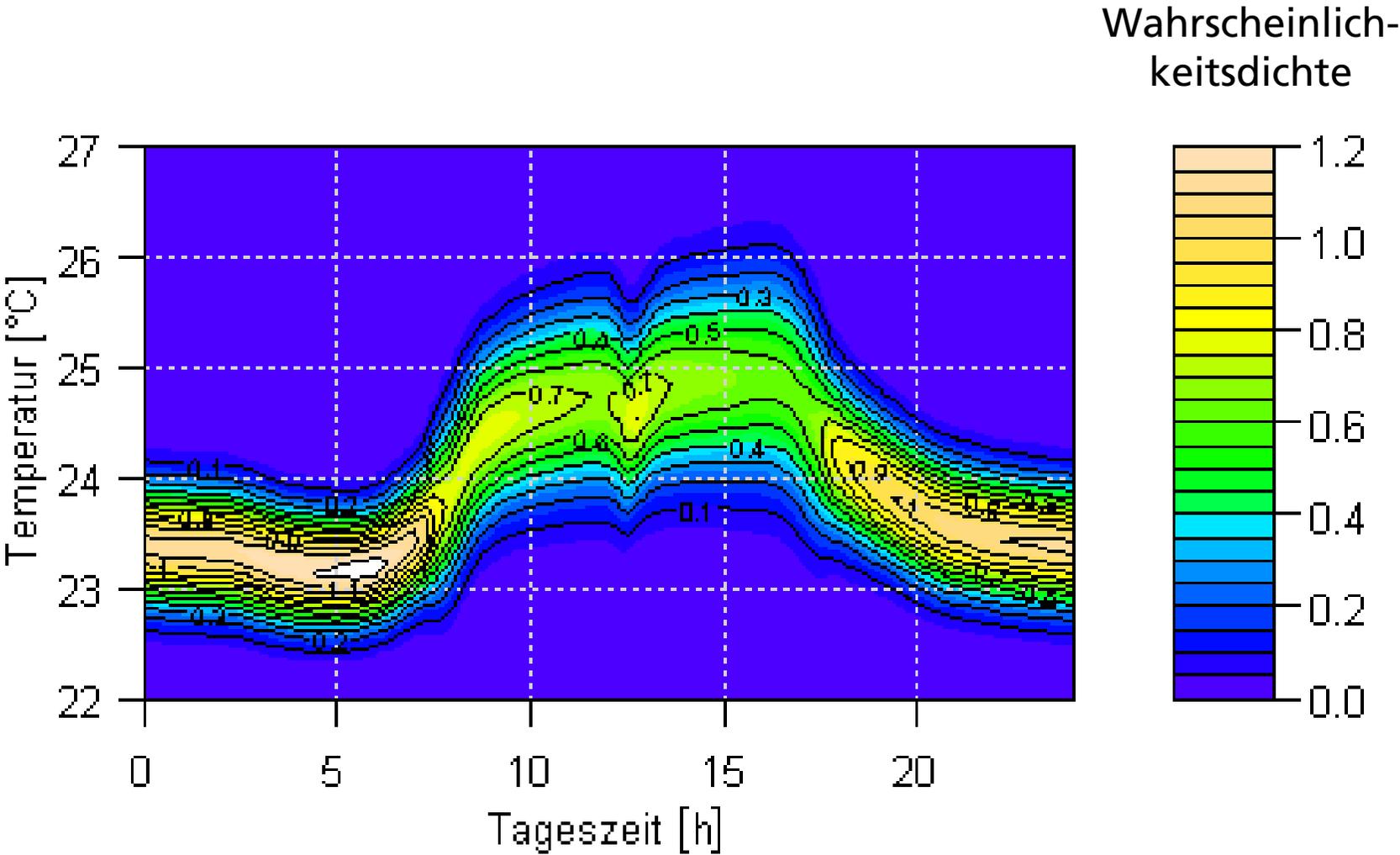
Verteilung Raumtemperatur

Stochastisches Ergebnis (Beispiel)

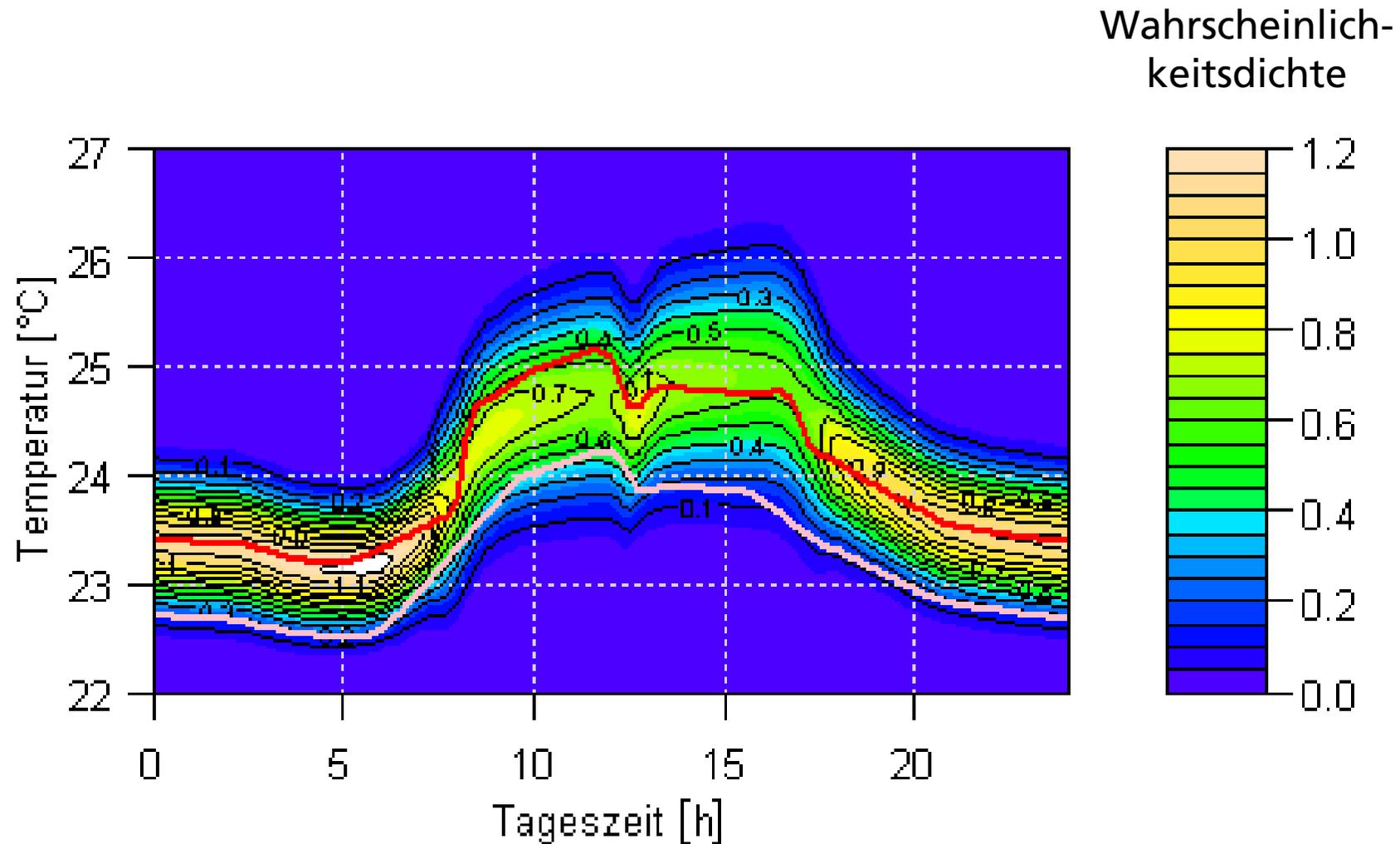


Boxplot für jede viertel Stunde im Tagesverlauf

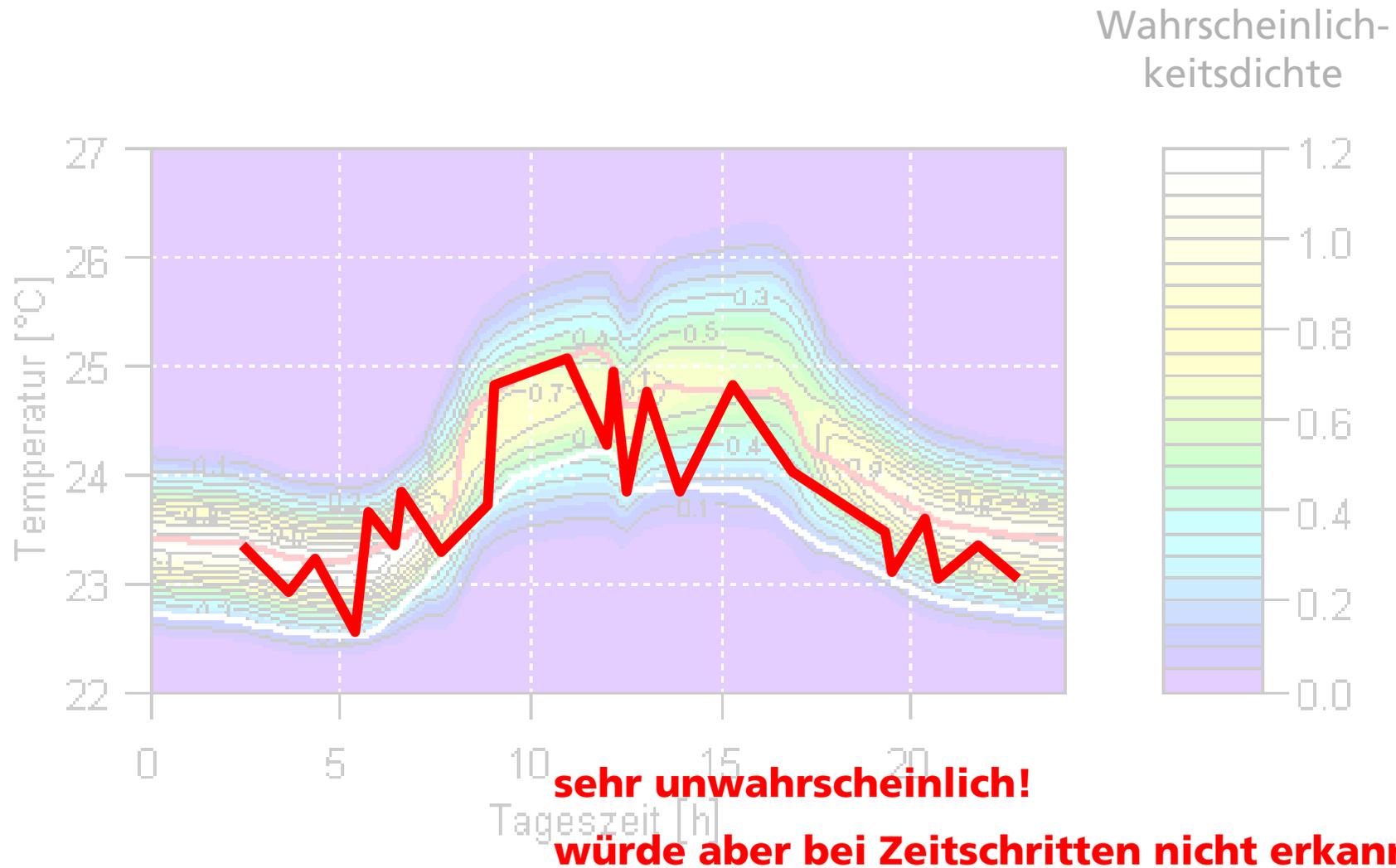
Stochastisches Ergebnis (Beispiel)



Stochastisches Ergebnis (Beispiel)



Stochastisches Ergebnis (Beispiel)



Stochastische Ergebnisse für Zeitreihen

- Eigentlich kombinierte Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen für alle Zeitschritte (Dimension \triangleq Anzahl der Zeitschritte)
 - u.U. sehr hohe Dimensionalität
 - u.U. große MC-Stichprobe notwendig
 - mögliche Auswege:
 - nur kombinierte Wahrscheinlichkeitsdichte mit Vorgänger
 - kombiniert mit Ableitung (Änderung zum Vorgänger)
 - Fourieranalysen (vgl. Eisenhower 2010)
- wegen der deutlich größeren Komplexität u.U. Reduktion durch Quantisierungen sinnvoll
- Qualitative Modelle ableiten

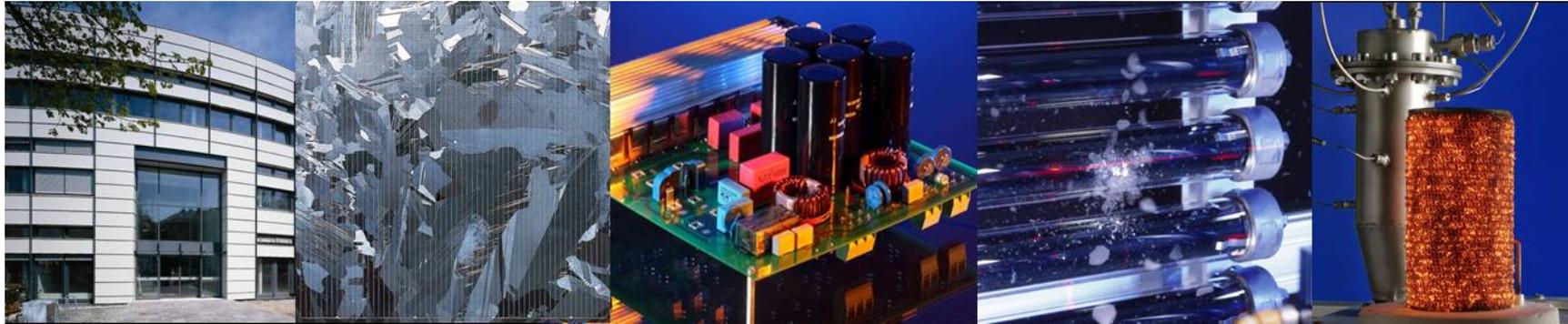
Zusammenfassung

- Die Berücksichtigung von stochastischen Effekten im Gebäudebereich ist möglich und sollte wesentlich häufiger angewendet werden.
- Bei FDD ist dies besonders wichtig, um (stochastische) Störungen und Fehler trennen zu können.
- Erfolgreiche Kopplungen von MC-Methoden mit (Gebäude-) Simulationsprogrammen teilweise schon hoch parallelisiert. (Dymola / Modelica, MATLAB)
- Erste Anwendungen im FDD-Bereich bei Gebäuden (Bayes'sche Netze) (und bei Optimierungen)

Ausblick

- Noch bessere statistische Datengrundlage notwendig (z.B. Nutzerprofile mit Selbstkorrelation, Lüftungsverhalten).
- Anwendung qualitativer Modelle im Gebäudebereich.
- Die im Gebäudebereich verbreiteten Grenzwertüberwachungen können mit solchen stochastischen Methoden mit Gebäudemodellen verknüpft werden.
U.U. zeigt sich dabei, dass bei manchen Anwendungen dynamische Grenzen wichtig sind.
- Verstärkte Berücksichtigung der Ableitung (Änderungsrate, Änderung zum Vorgänger).
- Vergleich mit Fourieranalysetechniken.

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Dirk Jacob

www.ise.fraunhofer.de
[dirk.jacob\(at\)ise.fraunhofer.de](mailto:dirk.jacob(at)ise.fraunhofer.de)

Das Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Rahmen des Programms EnOB gefördert (BMWi 0327893A).

Modos

Gefördert durch das
 Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

TUHH
Technische Universität Hamburg-Harburg