

# **Ganzheitlich optimierte Raumklimaregelung unter Verwendung von Jalousiesteuerungen**

**Thomas Bernard**

**Fraunhofer-Institut für Informations- und Datenverarbeitung IITB**

Fraunhoferstr. 1, 76131 Karlsruhe

Tel. 0721/6091-360, Fax -413, Email: bnd@iitb.fhg.de

## **Zusammenfassung**

Raumklimaregelkreise können nach unterschiedlichen, teils zuwiderlaufenden Komfort- und Ökonomiekriterien geführt werden. Wegen der physikalisch sehr komplexen Raumklimavorgänge ist der Nutzer weitgehend überfordert, die Konsequenzen bezüglich des Komforts und des Energieverbrauchs zu überblicken. Zur Lösung dieses multikriteriellen Prozessoptimierungsproblems wurde am IITB ein neuartiges, auf der Theorie des Fuzzy Decision Making basierendes Leitkonzept entwickelt. Es gestattet dem Benutzer, über einen einfachen Kosten-Komfort-Schieber Heizungs- und Lüftungssteuerungen, aber auch Jalousiesteuerungen so zu führen, dass sein individuelles Komfort- oder Kostenkriterium entsprechend der jeweils gewählten Wichtung bewertet wird. Die Leistungsfähigkeit des vor der praktischen Erprobung stehenden Leitkonzeptes wird anhand von realitätsnahen Simulationen nachgewiesen.

## **1 Einleitung**

Mit Hilfe moderner Heizungs-, Lüftungs- und Jalousieanlagen lässt sich das Raumklima im Wohn- und Bürobereich nach sehr unterschiedlichen, teils zuwiderlaufenden Komfort- und Ökonomie-Gütekriterien steuern und regeln. Zur Optimierung des Wohnkomforts und Behaglichkeitsempfindens gilt es, diese drei Stellsysteme so zu steuern, dass eine unscharfe Bandbreite der Raumtemperatur, der Luftqualität, der relativen Feuchte und der Helligkeit im Raum eingehalten wird. Während im Sommer eher Komfortkriterien im Vordergrund stehen, wird besonders in der Wintersaison eine kostensparende Betriebsweise darauf gerichtet sein, den Heizenergieverbrauch durch Minimierung des Heizungs- und Lüftungsbetriebs sowie einer Maximierung der solaren Energiegewinne niedrig zu halten.

Die gegenwärtig am Markt erhältlichen Heizungs-, Lüftungs- und Jalousiesysteme werden weitgehend isoliert voneinander betrieben und berücksichtigen daher diese für den Endanwender besonders wichtigen gesamtheitlichen multikriteriellen Güteanforderungen nicht bzw. nur sehr ungenügend. Bei der Bedienung dieser Stellsysteme sind die Anwender darüber hinaus weitgehend überfordert, die Konsequenzen der physikalisch sehr komplexen Raumklimavorgänge bezüglich des Komforts und des Energieverbrauchs zu überblicken.

Zur Lösung dieses multikriteriellen Prozessoptimierungsproblems wurde am IITB ein neuartiges, auf der Theorie des Fuzzy Decision Making [1,2] basierendes Leitkonzept entwickelt [3-6]. Es gestattet dem Benutzer, über einen einfachen Kosten-Komfort-Schieber die Heizungs- und Lüftungsregelkreise so zu führen, dass sein individuelles Komfort- oder Kostenkriterium entsprechend der jeweils gewählten Wichtung bewertet wird. Die Funktionsweise und Leistungsfähigkeit der Leitkomponente wurde anhand realitätsnaher Simulationen und experimenteller Ergebnisse nachgewiesen [3-6]. Gegenstand dieses Beitrages ist die Erweiterung des Konzeptes durch zusätzliche Einbeziehung von Verschattungsanlagen (z.B. Jalousien) zur intelligenten Steuerung der Strahlungsgewinne und Helligkeit im Raum.

## 2 Problemstellung

Ähnlich wie bei den Heizungs- und Lüftungsregelkreisen sind bei der Optimierung der Jalousiesteuerung verschiedene Komfort- und Ökonomiekriterien zu berücksichtigen. Wesentliche Gütekriterien sind Komfort bezüglich mittlerer Temperatur und Helligkeit im Raum sowie die zu erwartende Heizleistung als Ökonomiekriterium [9]. Die Modellierung dieser Kriterien über Fuzzy-Zugehörigkeitsfunktionen (ZGF) bietet sich aufgrund der Unschärfe des menschlichen Empfindens an.

Anders als bei der Optimierung der Heizungs- und Lüftungsregelkreise [3-6] gestaltet sich die Einbeziehung von Modellkomponenten bei der Optimierung der Jalousiesteuerung schwieriger, da der Einfluss der Jalousie auf Temperatur, Helligkeit und gewonnener solarer Energie aufgrund des komplexen Zusammenhangs zwischen Raumgeometrie, Jalousiestellung und äußerer Sonnenstrahlung nicht durch global gültige, analytisch geschlossene Beziehungen beschrieben werden kann [8].

Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, dass die zu berücksichtigenden Zeithorizonte bei den einzelnen Gütekriterien sehr unterschiedlich sind. Während die Helligkeit sich unmittelbar ändert, ist bezüglich der Temperatur ein größerer Horizont zu berücksichtigen.

Die Zielstellung dieser Arbeit besteht darin, eine Leitkomponente zu entwickeln, die die Jalousiesteuerung entsprechend der Komfort- und Ökonomiekriterien optimiert. Dabei soll eine einfache und transparente Wichtung der Gütekriterien möglich sein. Die Struktur der zu entwickelnden Leitkomponente und deren Stellung im geschlossenen Regelkreis ist in Bild 1 dargestellt.

Hervorzuheben ist die modulare Struktur der Leitkomponente. So stellt die Einbeziehung der Jalousie eine Ergänzung des bisherigen, ausschließlich auf die Optimierung des Temperatur- und Lüftungsregelkreisen ausgerichteten Konzeptes dar. Es ist jedoch ebenso möglich, den auf die Jalousie bezogenen Teil der Leitkomponente unabhängig von den Heizungs- und Lüftungsregelkreisen zu betreiben.

Während bei der Temperaturregelung von räumlich verteilten, meist dezentralen Reglern (z. B. Thermostaten) zur Verfügung stehen, wird die Nachführregelung der Lüftung und der Jalousie durch interne Regelalgorithmen in der zentralen Leitkomponente bewirkt.

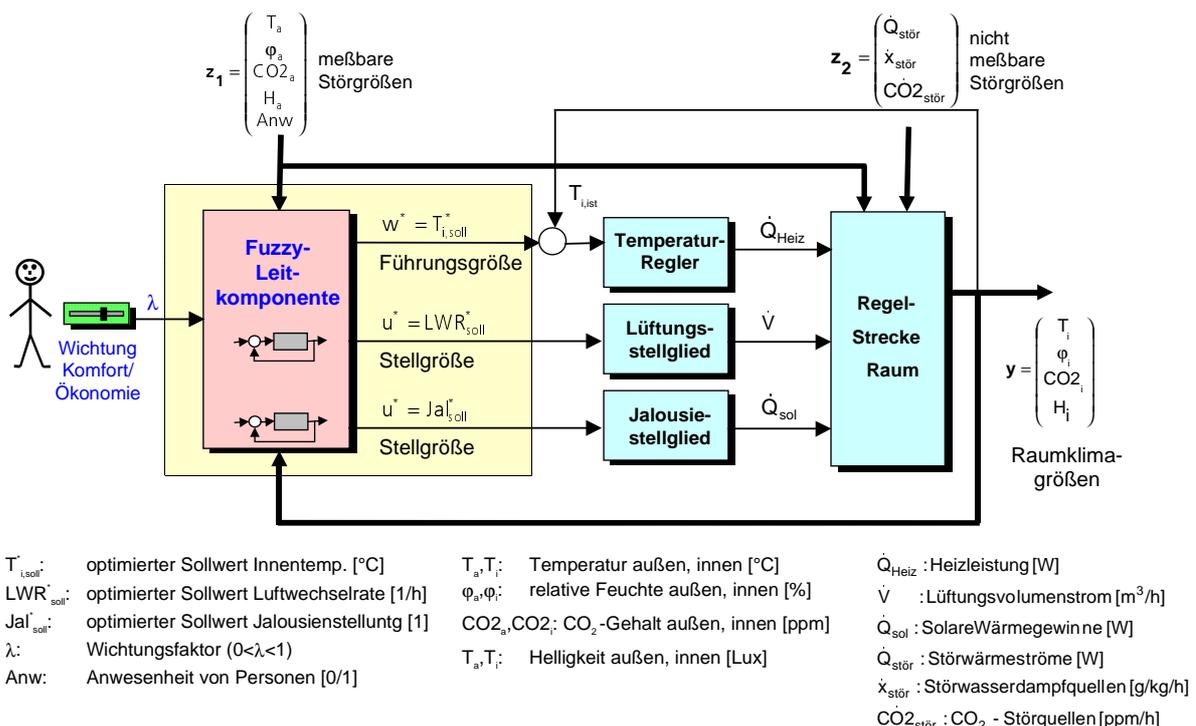


Bild 1: Stellung der Leitkomponente im geschlossenen Regelkreis

Es wird vorausgesetzt, dass die Raumklimagrößen ( $T_i$ ,  $\varphi_i$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $H_i$ ) und Außenklimagrößen ( $T_a$ ,  $\varphi_a$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $H_a$ ) sensorisch gemessen werden.

Bild 2 zeigt das Modell eines Raumes mit den wesentlichen Ausgangs-, Stell- und Störgrößen. Die Jalousie wird als Vertikaljalousie angenommen, der Öffnungsgrad der Jalousie wird mit  $Jal$  bezeichnet.  $Jal$  liegt im Intervall  $[0,1]$ , wobei  $Jal = 1$  einer vollkommen geöffneten und  $Jal = 0$  einer vollkommen geschlossenen Jalousie entspricht (vgl. Bild 2). Der Zusammenhang zwischen der einfallenden Strahlungsleistungsdichte  $\dot{q}_{\text{sol},a}$ , dem Öffnungsgrad  $Jal$  und dem Strahlungsgewinn in den Raum  $\dot{Q}_{\text{sol}}$  ist durch physikalische Grundgesetze festgelegt (Stefan-Boltzmann-Gesetz, Lambert'sches Gesetz, Kirchhoff'sches Gesetz [10]). Die Berechnung von  $\dot{Q}_{\text{sol}}$  ist wegen der zu berücksichtigenden Raumgeometrie und Strahlungsverhältnisse außerordentlich komplex und rechenintensiv [8]. Für den Entwurf und die Entwicklung der Leitkomponente zeigt sich jedoch, dass es ausreichend ist, zunächst auf einfache linearisierte Modelle zurückzugreifen.

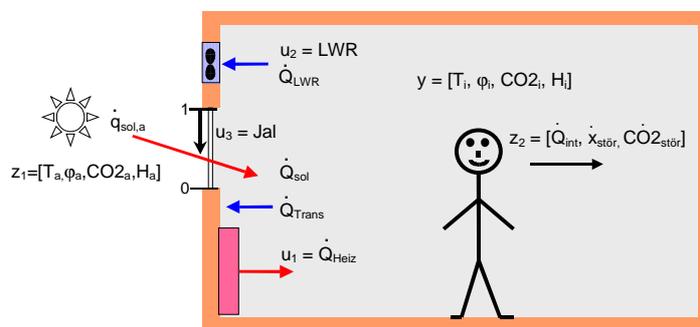


Bild 2: Schematische Darstellung eines Raumes mit Ausgangs-, Stell- und Störgrößen

### 3 Lösungskonzept

Wegen der Unschärfe des menschlichen Empfindens bieten sich fuzzy-basierte Methoden zur Lösung des Prozessoptimierungsproblems an. Weil sich die Komfortkriterien realitätsnah durch Fuzzy-ZGF darstellen lassen, sind zur Problemlösung Methoden des Fuzzy Decision Making besonders vorteilhaft [1,2]. Prinzipiell sind auch wissensbasierte Ansätze mit Fuzzy-Regeln denkbar, jedoch erscheint die Bewertung und Wichtung der Gütekriterien im Konzept des Fuzzy Decision Making sowie die Einbeziehung von physikalischen Modellen als besonders einfach und transparent [6].

#### 3.1 Fuzzy Decision Making mit Wichtung der Gütekriterien

Methoden des Fuzzy Decision Making eignen sich prinzipiell bei Entscheidungs- und Optimierungsproblemen, in denen die Zielfunktion und Nebenbedingungen nur unscharf formuliert sind [1,2]. Wesentliche Begriffe dabei sind Fuzzy-Ziel (fuzzy goal), Fuzzy-Restriktion (fuzzy constraint) und Fuzzy-Entscheidung (fuzzy decision), die mit ZGFen  $\mu_G$ ,  $\mu_C$  und  $\mu_D$  identifiziert werden.  $\mu_G$  und  $\mu_C$  sollen mit möglichst hohem Zugehörigkeitsgrad erfüllt sein.  $\mu_D$  berechnet sich über Wichtungs- und Fuzzy-Verknüpfungsoperatoren aus  $\mu_G$  und  $\mu_C$ .

Wegen der vollkommen symmetrischen Behandlung von Zielen  $\mu_{G,i}$  und Restriktionen  $\mu_{C,j}$  wird im folgenden allgemein von Gütekriterien  $\mu_i$  gesprochen.

In vielen praktischen Problemstellungen ist es wünschenswert, die Gütekriterien unterschiedlich zu wichten [2]. Als besonders transparent hat sich die Wichtung über Multiplikatoren  $\lambda_i$  in Verbindung mit dem MIN-Operator zur UND-Verknüpfung gezeigt [6]:

$$\mu_D(u) = \lambda_1 \mu_1(y_1) \wedge \dots \wedge \lambda_N \mu_N(y_N) + \varepsilon(\mu_1(y_1) \dots \mu_N(y_N)), \quad 0 < \lambda_i \leq 1, \wedge = \min, \varepsilon \ll 1 \quad (1)$$

Dabei wird das Gütekriterium  $\mu_i$  um so stärker gewichtet je kleiner  $\lambda_i$  ist [6]. Die relative Wichtung zweier Gütekriterien  $\mu_j, \mu_k$  wird durch das Verhältnis  $\lambda_j/\lambda_k$  repräsentiert. Für  $\lambda_j/\lambda_k \rightarrow 0$  wird  $\mu_j$  sehr viel stärker als  $\mu_k$  gewichtet. Der Term  $\varepsilon(\mu_1 \dots \mu_N)$  dient zur Sicherstellung einer eindeutigen Entscheidung für den Fall, dass ein oder mehrere Gütekriterien ein nicht eindeutiges Maximum aufweisen [6]. Die optimale Entscheidung  $\mu_D(u^*)$  berechnet sich über

$$\mu_D(u^*) = \max_{u \in U} \mu_D(u). \quad (2)$$

Bei der Anwendung des eingeführten Formalismus ist zu beachten, dass die Gütekriterien  $\mu_i$  i. A. in Abhängigkeit unterschiedlicher Mess- oder Hilfsgrößen  $y_i$  definiert sind, während die zu optimierende Größe z. B. eine Stellgröße  $u$  ist. Es sind daher Modelle der Form

$$y_{i,\text{präd}} = f_i(\mathbf{y}(k), \mathbf{z}(k), u(k)) \equiv f_i(u(k)), \quad i = 1, \dots, N, \quad \mathbf{y}(k), \mathbf{z}(k): \text{Messgrößen} \quad (3)$$

zu finden, über die der Einfluss von  $u$  auf die Größen  $y_i$  prädiziert werden kann. Für die vorliegende Problemstellung werden in Abschnitt 3.3 linearisierte, lokal gültige Modelle entwickelt. Zuvor werden im folgenden Abschnitt die Gütekriterien definiert.

### 3.2 Definition der Gütekriterien

Als Gütekriterien werden die wesentlichen Komfort- und Ökonomiekriterien berücksichtigt, die durch die Jalousie beeinflusst werden. Dies sind Komfort bezüglich empfundener Temperatur ( $T_i$ ), Komfort bezüglich mittlerer Helligkeit im Raum ( $H_i$ ) und ein Ökonomiekriterium in Abhängigkeit der zu erwartenden Heizleistung  $\dot{Q}_{\text{Heiz}}$ . In Bild 3 sind beispielhaft die entsprechenden ZGFen  $\mu_{\text{komf}_T}$ ,  $\mu_{\text{komf}_H}$  und  $\mu_{\text{öko}}$  dargestellt. Es ist ersichtlich, dass die ZGFen über die Parameter  $T_{\text{min}}, T_{\text{opt}}, T_{\text{max}}; H_{\text{min}}, H_{\text{opt1}}, H_{\text{opt2}}, H_{\text{max}}$  und  $\dot{Q}_{\text{ref}}$  einfach individuell angepasst werden können. Die Komfort-ZGFen stützen sich auf Behaglichkeitskriterien, die in einschlägigen Normen wie DIN 1946 definiert sind [9]. Danach sollte die empfundene Temperatur zwischen 20 °C und 26 °C liegen, als Helligkeitswert an Arbeitsplätzen sind etwa 1000 Lux vorgeschrieben. Da diese Werte jedoch nur ungefähre Empfehlungen angeben, ist die Darstellung über Fuzzy-ZGFen sinnvoll. Neben den optimalen Bereichen mit Zugehörigkeitsgrad Eins sind die Bereiche mit Zugehörigkeitsgrad Null von besonderer Bedeutung. Diese Bereiche ( $T_{\text{opt}} < 18^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{opt}} > 30^\circ\text{C}$  bzw.  $H_i < 500$  Lux,  $H_i > 2000$  Lux) sind als inakzeptabel anzusehen [9]. Daher ist der Raumklimaprozess so zu führen, dass diese Bereiche niemals erreicht werden. Dies wird über den Algorithmus (1), (2) prinzipiell sichergestellt [6] und wird im Simulationsergebnis in Abschnitt 4 nachgewiesen.

Zur Berechnung der Fuzzy-Entscheidung  $\mu_D(\text{Jal})$  ist eine Unterscheidung zwischen Winter- und Sommerfall sinnvoll. Während im Winterfall, d.h. bei aktivierter Heizung, das Ökonomiekriterium im Vordergrund steht, dient im Sommer die Jalousie auch zur Beeinflussung der Temperatur. Daher erscheint der Ansatz (4)

$$\begin{aligned} \mu_D(\text{Jal}) &= \lambda_1 \mu_{\text{komf}_H}(H_i) \wedge \lambda_2 \mu_{\text{öko}}(\dot{Q}_{\text{Heiz}}) && \text{(Winterfall)} \\ \mu_D(\text{Jal}) &= \lambda_1 \mu_{\text{komf}_H}(H_i) \wedge \lambda_2 \mu_{\text{komf}_T}(T_i) && \text{(Sommerfall)} \end{aligned} \quad (4)$$

als geeignet. Gleichung (4) entspricht der allgemeinen Form (1).

Als heuristisches Element geht ein, dass  $\mu_{\text{komf}_H}$  bei Nichtbelegung des Raumes nicht berücksichtigt werden muss. Daher wird in diesem Fall  $\mu_{\text{komf}_H}$  identisch Eins gesetzt ( $\mu_{\text{komf}_H} \equiv 1$ ). Somit kann bei Abwesenheit die Jalousie stärker geöffnet und somit mehr Energie gewonnen werden.

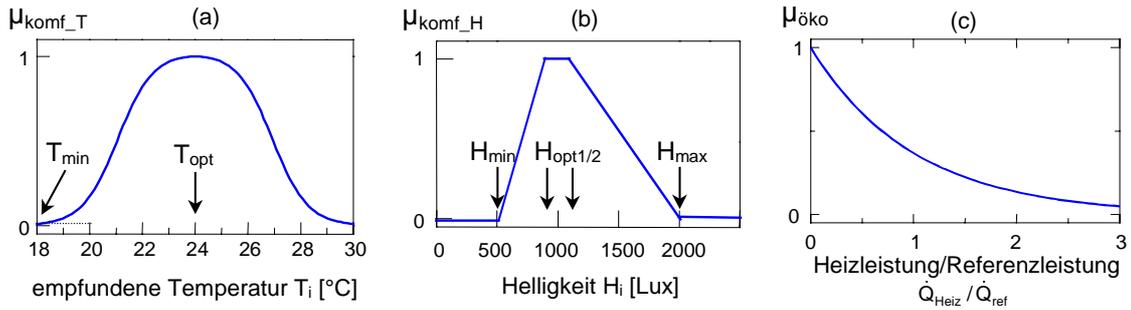


Bild 3: Mögliche Komfort-Zugehörigkeitsfunktionen bezüglich der empfindenen Temperatur  $T_i$  (a), der Helligkeit  $H_i$  (b) sowie eine Ökonomie-Zugehörigkeitsfunktion (c).

### 3.3 Entwicklung von Modellgleichungen

Zur Berechnung von  $\mu_D$  über (4) sind zunächst Modellgleichungen zu entwickeln, mit denen der Einfluss von  $Jal$  auf die Größen  $H_i$ ,  $T_i$  und  $\dot{Q}_{\text{Heiz}}$  abgeschätzt werden kann. Da eine globale Modellbildung sehr aufwendig ist [8], werden im folgenden stark vereinfachte und linearisierte Modelle vorgeschlagen. Die Modelle bestehen jedoch aus iterativen Gleichungen, so dass eine gute Adaption an das tatsächliche Streckenverhalten erfolgt. Der lokalen Gültigkeit der Modelle wird durch eine Einschränkung der Änderung von  $Jal$  Rechnung getragen.

#### Modell der Temperatur

Obwohl der in den Raum eingehende Strahlungsgewinn  $\dot{Q}_{\text{sol}}$  und somit die Auswirkung auf  $T_i$  nur schwierig zu berechnen ist, ist es auch bei nicht genau bekannter Strecke bzw. Streckenparametern möglich, über einen einfachen Regelalgorithmus, z.B. PI-Regler,  $T_i$  über  $Jal$  zu regeln. Zu beachten ist jedoch die Stellbeschränkung der Jalousie sowie die Abhängigkeit von der äußeren Solarstrahlung  $\dot{q}_{\text{sol},a}$ . Im folgenden wird zunächst davon ausgegangen, dass ein interner Temperatursollwert  $T_{i,\text{soll}}$  existiert. Mit der Regeldifferenz

$$e(k) = T_{i,\text{soll}}(k) - T_i(k) \quad (5)$$

berechnet sich  $Jal(k)$  mit dem diskretisierten PI-Algorithmus [7] über

$$Jal(k) = Jal(k-1) + K \left( \left( 1 + \frac{\Delta t}{\tau_i} \right) e(k) - e(k-1) \right). \quad (6)$$

In (6) bezeichnet  $K$  die Proportionalverstärkung,  $\Delta t$  die Abtastzeit und  $\tau_i$  die Vorhaltezeit. Durch Auflösen von (6) nach  $T_{i,\text{soll}}$  wird eine einfache Prädiktion von  $T_{i,\text{soll}}$  in Abhängigkeit der zu optimierenden Größe  $Jal(k)$  erreicht:

$$T_{i,\text{soll}}(k) = T_i(k) + \frac{1}{1 + \frac{\Delta t}{\tau_i}} \left( e(k-1) + \frac{1}{K} (Jal(k) - Jal(k-1)) \right) \equiv f(Jal(k)) \quad (7)$$

Gleichung (7) entspricht der geforderten Struktur (3).  $T_{i,\text{soll}}(Jal)$  wird in  $\mu_{\text{komf}_T}(T_{i,\text{soll}})$  eingesetzt, so dass der Komfort-Zugehörigkeitsgrad bezüglich  $T_i$  mit  $T_{i,\text{soll}}$  identifiziert wird. Der zur Berechnung von  $e(k-1)$  notwendige Vergangenheitswert  $T_{i,\text{soll}}(k-1)$  ist mit dem optimierten Wert  $Jal^*(k-1)$  über (7) zu ermitteln.

#### Modell der Helligkeit

Es wird von der plausiblen Annahme ausgegangen, dass die Helligkeitsänderung  $H_i(k) - H_i(k-1)$  im Raum proportional zu kleinen Änderungen der Jalousiestellung  $\Delta Jal(k) \equiv Jal(k) - Jal(k-1)$  ist:

$$\frac{H_i(k) - H_i(k-1)}{\Delta \text{Jal}(k)} = \alpha(k) \quad (8)$$

Unter der Annahme, dass für vollkommen geschlossene Jalousie ( $\text{Jal} = 0$ )  $H_i = 0$  gilt, kann  $\alpha(k)$  abgeschätzt werden zu

$$\alpha(k) = \frac{H_i(k)}{\text{Jal}(k)}. \quad (9)$$

Da dieses linearisierte Modell sicher nur für kleine Änderungen  $\Delta \text{Jal}(k)$  gilt, muss der Definitionsbereich von  $\Delta \text{Jal}$  entsprechend eingegrenzt werden. In Simulationen zeigte sich eine Beschränkung von  $\Delta \text{Jal}$  auf 20 % des Stellbereiches als ausreichend.

### Modell der solaren Wärmegewinne

Zur Abschätzung des solaren Wärmegewinns in Abhängigkeit von  $\text{Jal}$  wird von der plausiblen Annahme ausgegangen, dass sich der momentane Wert der Heizleistung  $\dot{Q}_{\text{Heiz}}(k)$  ändert um einen Beitrag, der proportional zur Änderung der Jalousiestellung sowie der äußeren Solarstrahlung  $\dot{q}_{\text{sol,a}}$  ist:

$$\hat{Q}_{\text{Heiz}}(k+1) = \dot{Q}_{\text{Heiz}}(k) - \gamma \Delta \text{Jal}(k) \dot{q}_{\text{sol,a}}(k). \quad (10)$$

Der Parameter  $\gamma$  kann über die Fensterfläche  $A_{\text{Fenster}}$  und den Durchlassgrad  $g_{\text{Fenster}}$  abgeschätzt werden zu [9]

$$\gamma = A_{\text{Fenster}} \cdot g_{\text{Fenster}}. \quad (11)$$

## 4 Simulationsergebnisse

Die Ergebnisse wurden mit Hilfe eines realitätsnahen Raummodells [6] unter MATLAB/Simulink erzielt. Der Raum ist dabei als Mischkammer modelliert, die Wände sind in fünf Schichten diskretisiert. Im folgenden wird die Simulation eines sehr sonnigen, aber kalten Wintertages vorgestellt. In Bild 4 sind die Zeitverläufe der Raumbelegung, der Jalousienstellung, der Temperatur und Helligkeit innen, der Heizleistung sowie der Helligkeit außen aufgetragen. Es sind drei Simulationen mit den Wichtungen "max. Komfort", "mittel" und "max. Ökonomie" dargestellt. Die charakteristischen Parameter der Komfort-ZGF ( $T_{\text{opt}}$ ,  $T_{\text{min}}$ ;  $T_{\text{min}}$ ,  $H_{\text{opt1}}$ ,  $H_{\text{opt2}}$ ,  $H_{\text{max}}$ ) sind durch Hilfslinien gekennzeichnet. Im Szenario "max. Komfort" stellt sich die Jalousie so ein, dass der obere Wert des definierten optimalen Helligkeitsbereiches ( $H_{\text{opt2}} = 1100 \text{ Lux}$ ) genau gehalten wird. Somit wird die Jalousie bei größer werdender Helligkeit außen um 8:30 h beginnend bis um 13:00 h von  $\text{Jal} = 1$  auf  $\text{Jal} \approx 0.6$  heruntergefahren. Im Szenario "max. Ökonomie" hingegen bleibt die Jalousie solange vollständig geöffnet ( $\text{Jal} = 1$ ), bis gegen 10:00 h der definierte obere Helligkeitswert  $H_{\text{max}} = 2000 \text{ Lux}$  erreicht ist. Dieser Wert wird im weiteren Verlauf genau eingestellt. Im Szenario "mittel" stellen sich Werte von  $\text{Jal}$  und  $H_i$  ein, die zwischen denen der beiden anderen Szenarien liegen. Da bei nicht belegtem Raum (13:00 h - 14:00 h) das Komfortkriterium bezüglich Helligkeit  $\mu_{\text{komf}_H}$  nicht berücksichtigt wird (vgl. Abschnitt 3.2), wird in diesem Zeitraum die Jalousie vollständig geöffnet, so dass zusätzliche Energie gewonnen wird.

Das vorgestellte Simulationsergebnis lässt also erkennen, dass die Jalousie entsprechend der definierten Gütekriterien und der gewählten Wichtung gesteuert wird.

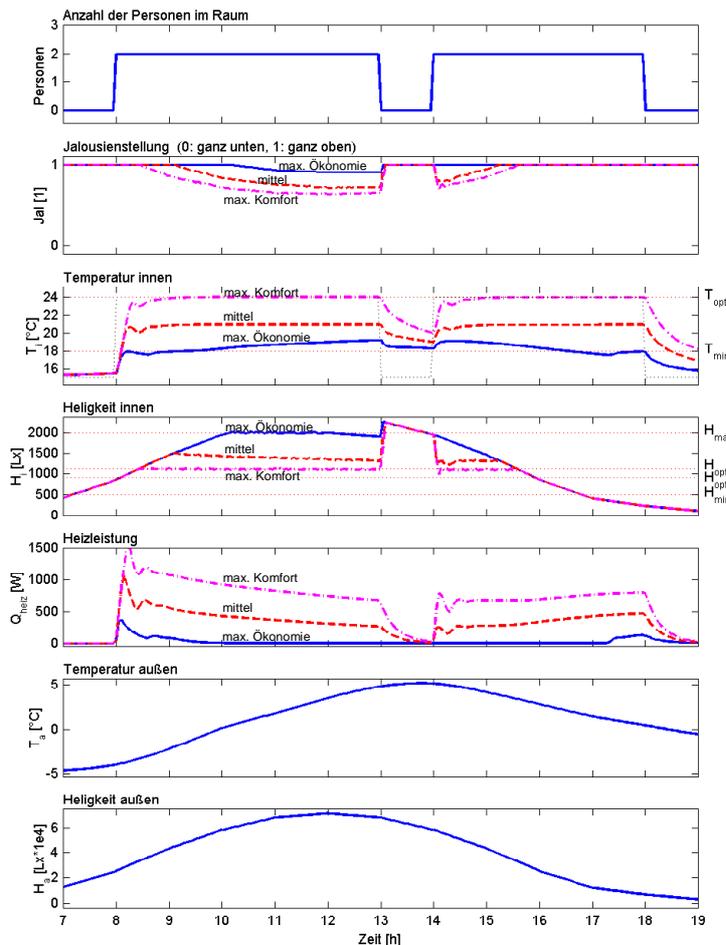


Bild 4: Simulation eines Wintertages

## Literatur

- [1] Bellman, R.E.; Zadeh, L.A.: Decision Making In A Fuzzy Environment. Management Science, 17 (1970), S. 141-163
- [2] Rommelfanger, H.: Fuzzy Decision Support Systeme. Springer-Verlag, Heidelberg 1994
- [3] Bernard, T; Kuntze, H.-B.: Ein fuzzy-basiertes Konzept zur multikriteriellen Prozeßoptimierung angewendet auf die bedarfsgerechte Führung von Klimaregelkreisen. VDI/VDE GMA-Kongreß "Computational Intelligence. Neuronale Netze, Evolutionäre Algorithmen, Fuzzy Control im industriellen Einsatz", Berlin 1998
- [4] Bernard, T; Kuntze, H.-B.: Multi-objective Optimization of Building Climate Control Systems Using Fuzzy-Logic. Proc. European Control Conference ECC'99, F0851, Karlsruhe 1999
- [5] Bernard, T; Kuntze, H.-B.: Erfahrungen bei der Realisierung eines fuzzy-basierten Leitkonzeptes für Raumklimaregelkreise. 8. Workshop "Fuzzy Control" des GMA-UA 5.22, Dortmund 1998
- [6] Bernard, T: Ein Beitrag zur gewichteten multikriteriellen Optimierung von Heizungs- und Lüftungsregelkreisen auf Grundlage des Fuzzy Decision Making. Dissertation Universität Karlsruhe (TH), 2000
- [7] Föllinger, O.: Regelungstechnik: Einführung in die Methoden und ihre Anwendung. Hüthig, Heidelberg 1994
- [8] Feist, W.: Thermische Gebäudesimulation: Kritische Prüfung unterschiedlicher Modellansätze, C.F. Müller, Heidelberg 1994
- [9] Recknagel, Sprenger, Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. 67. Auflage, Oldenbourg, München 1995
- [10] Stöcker, H. (Hrsg.): Taschenbuch der Physik: Formeln, Tabellen, Übersichten. Harri Deutsch, Frankfurt/M. 1994

## 5 Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wird die Erweiterung eines fuzzy-basierten Leitkonzeptes zur bedarfsgewichteten multikriteriellen Optimierung von Raumklimaregelkreisen auf Jalousiesteuerungen vorgestellt. Als Gütekriterien werden Komfort bezüglich Temperatur und Helligkeit sowie Ökonomie berücksichtigt. Die Gütekriterien werden über Fuzzy-Zugehörigkeitsfunktionen modelliert. Die Leistungsfähigkeit bezüglich Energieeinsparung und Komfort-erhöhung wird anhand realitätsnaher Simulationen verdeutlicht. Zukünftige F+E-Arbeiten beschäftigen sich mit der experimentellen Erprobung des Leitkonzeptes in einem Test- und Demonstrationszentrum des IITB.