

Bild 1 Darstellung der idealen Prozesse im  $h,x$ -Diagramm.

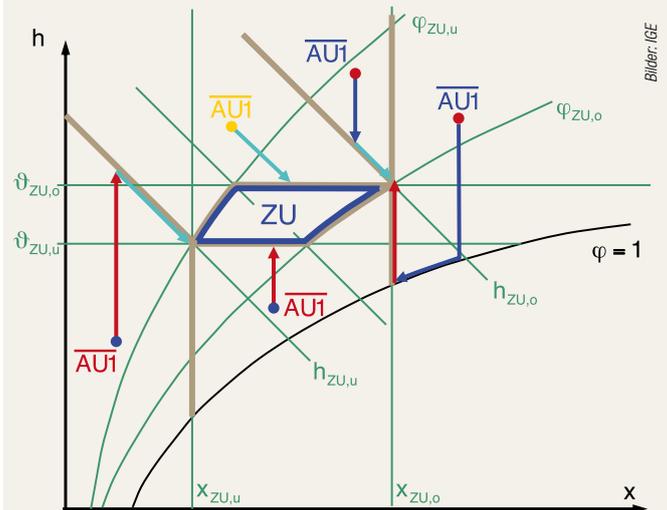


Bild 2 Darstellung der praktisch realisierbaren Prozesse im  $h,x$ -Diagramm.

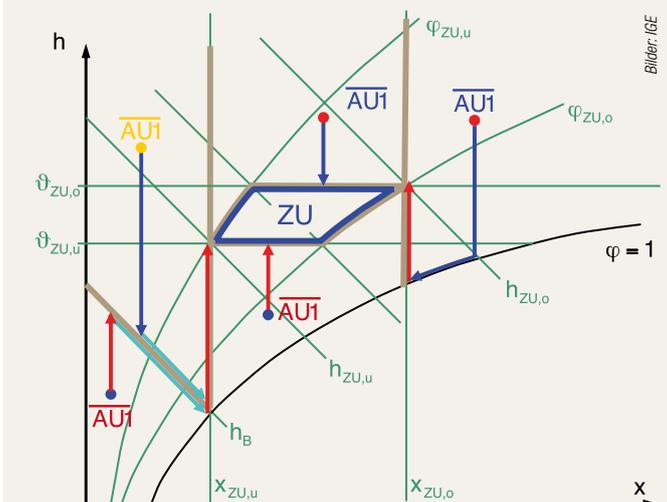


Bild 3 Darstellung der üblichen realen Prozesse („Stand der Technik“) im  $h,x$ -Diagramm.

Entwicklung energetischer Kennwerte für  
Raumluftechnische Anlagen

# RLT-Anlagen richtig bewerten

Um Energieeinsparungen zu erzwingen, ist eine Limitierung des Energiebedarfs für RLT-Anlagen sinnvoll. Bisher fehlten dazu aber energetische Kennwerte. Das Forschungsvorhaben ENERGO<sup>1)</sup>

(Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung von Energetischen Kennwerten für Raumluftechnische Anlagen) schließt diese Lücke mit einem Verfahren, das fallbezogen Ziel- und Deckelwerte liefert.

Mit der Neufassung der Energieeinsparverordnung (EnEV) wird die Ausführungsverordnung zum neuen Energieeinsparungsgesetz in Kürze vorgelegt. Die neue Verordnung gilt dann auch für Anlagen und Einrichtungen der Kühl- und Raumluftechnik in Gebäuden. In Deutschland werden tausende von RLT-Anlagen betrieben und in zahlreichen Neubauten werden RLT-Anlagen eingeplant und eingebaut. Und der Trend ist eindeutig: Aufgrund der immer besseren Wärmedämmung, der immer dichteren Gebäudehülle und der zunehmenden Bedeutung der inneren thermischen Quellen (PC, usw.) werden RLT-Anlagen künftig vermehrt eingesetzt. Um Energieeinsparungen zu erzwingen, ist eine Limitierung des Energiebedarfs für RLT-Anlagen sinnvoll.

Um die Voraussetzungen für einen energetisch optimalen Betrieb einer RLT-Anlage zu schaffen, ist es notwendig, durch Vorgabe von Ziel- und Deckelwerten geeignete Anlagen und Anlagenkonzepte zu erzwingen. Durch die Vorgabe energetischer Ziel- und Deckelwerte werden die Planung und die Realisierung von Anlagen ermöglicht, die fallbezogen einen niedrigen Energiebedarf aufweisen.

In dem Forschungsvorhaben ENERGO wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem die fallbezogenen energetischen Ziel- und Deckelwerte für den Betrieb von RLT-Anlagen abgeleitet werden können. Für alle Fälle werden jeweils mindestens

Skizziert sind in den  $h,x$ -Diagrammen die Zustandsverläufe der Luft für verschiedene Luftzustände ( $\overline{AU1}$ ) nach Wärmerückgewinnung und Umluftbeimischung. Unter den jeweiligen Voraussetzungen „ideale“, „praktisch realisierbare“ und „übliche reale“ Prozesse ergeben sich jeweils definierte Außenluftzustandslinien.

<sup>1)</sup> Gefördert unter der FV-Nr. 13975N aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF), Projektbegleitung durch Forschungsvereinigung für Luft- und Trocknungstechnik e.V. (FLT).

zwei Prozessführungen bzw. Anlagentypen erarbeitet. Dabei soll eine der Prozessführungen das energetische Optimum und eine den „Stand der Technik“ darstellen. Damit wird die Bandbreite der heutigen Technik eingegrenzt. Für eine Anlage wird dann schon früh in der ersten Planungsphase der Energiebedarfswert bestimmt und die Einhaltung der Ziel- und Deckelwerte überprüft. So wird eine, für einen definierten Nutzungsfall ungeeignete Anlagenausführung identifizierbar und kann ausgeschlossen werden. Ziel ist es, mit dieser Vorgehensweise die energetische Qualität der Anlagen zu sichern und zu verbessern.

### Prozesse zur Luftbehandlung

Für viele Nutzungsfälle ist bei genauer Prüfung der Raumanforderungen keine Einhaltung eines konstanten Sollwerts hinsichtlich Raumtemperatur und -feuchte erforderlich. In DIN EN 13779 [1] sind die Anforderungen durch ein Sollwertband der Raumtemperatur und -feuchte angegeben. Um die Nutzenanforderungen im Raum einzuhalten, müssen Wärme- und Stoffströme zu- oder abgeführt werden. Bei RLT-Anlagen wird der Bedarf des Raums durch die Zufuhr konditionierter Luft gedeckt.

Der Energieaufwand der Luftbehandlung von RLT-Anlagen hängt neben dem Bedarfswert von den verwendeten Komponenten, der Betriebsweise, den Auslegungsdaten u. a. ab. Wenn der für die Abfuhr der Raumlasten notwendige Zuluftzustand eine Bandbreite hat, sind die Grenzen dieses Bandes bzw. Feldes für die Bestimmung des Energieaufwands maßgeblich. In den Bildern 1 bis 3 ist der Zustandsverlauf der Luft im  $h,x$ -Diagramm für verschiedene Luftzustände (AU1) nach Wärmerückgewinnung und Umluftbeimischung skizziert. Bild 1 stellt – rein theoretisch – dar, dass die Prozessführungen im idealen Vergleichsprozess nur Erwärmung und isenthalpe Feuchteänderung, isenthalpe Feuchteänderung sowie Kühlung und isenthalpe Feuchteänderung sind. Diesen Prozessen können im  $h,x$ -Diagramm Zonen zutreffenden Außenluftzustands zugeordnet werden. Durch energetisch optimale Regelungen hat dieser Vergleichsprozess die theoretisch minimale Enthalpedifferenz zum Sollwertfeldrand.

Für Bild 1 wurden noch theoretisch denkbare, aber praktisch nicht realisierbare Luftbehandlungsprozesse berücksichtigt. Wird die Betrachtung auf realisierbare Prozesse beschränkt, ist die in Bild 2 gekennzeichnete Prozessführung am günstigsten. Die Zuordnung der Außenluftzustandszonen hat sich dabei verändert. Der Stand der Technik wird durch die in Bild 3 gezeigten üblichen Prozessführungen repräsentiert. Gezeigt wird ein Prozess mit adiabatem Luftbefeuchter. Analog kann dieser Prozess auch mit einem Dampf-befeuchter dargestellt werden. Es ergeben sich nochmals andere Außenluftzustandszonen.

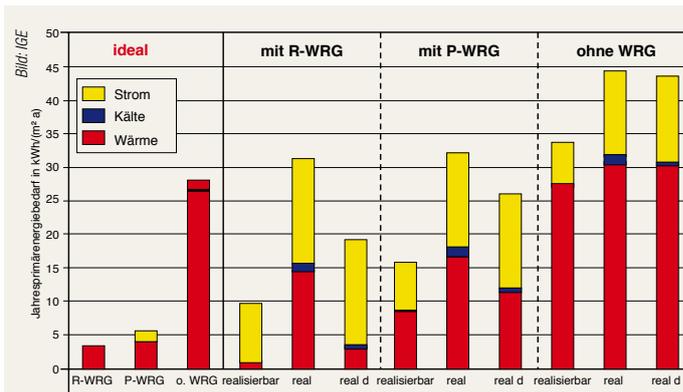


Bild 4 Flächenbezogener Jahresprimärenergieaufwand (Nutzungsfall: Büroraum, 1 Person, Sollwertfeld).

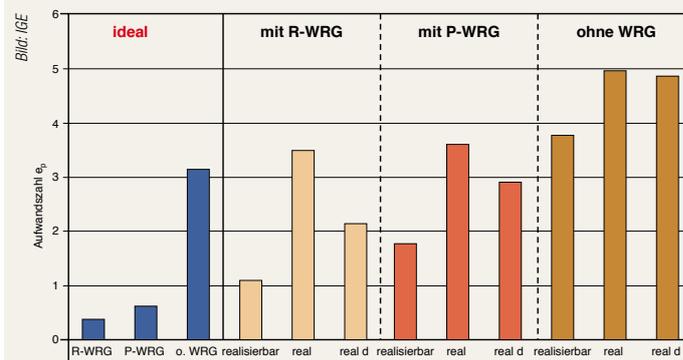


Bild 5 Aufwandszahlen (Nutzungsfall: Büroraum, 1 Person, Sollwertfeld).

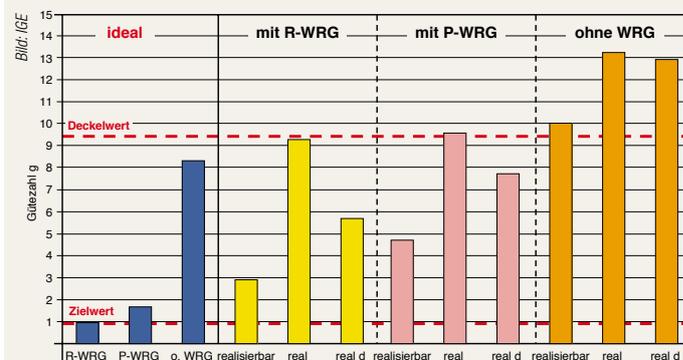


Bild 6 Gütezahlen (Nutzungsfall: Büroraum, 1 Person, Sollwertfeld).

- R-WRG:** Rotor-Wärmerückgewinner  
**P-WRG:** Platten-Wärmerückgewinner  
**o. WRG:** ohne Wärmerückgewinner  
**realisierbar:** praktisch realisierbarer Prozess  
**real:** üblicher realer Prozess mit adiabater Befeuchtung  
**real d:** üblicher realer Prozess mit Dampf-befeuchtung

### Energetische Bewertung

Bei der energetischen Bewertung wird nur der Systembereich der „Nutzenübergabe“ nach VDI 2067 [2] betrachtet. Zur genaueren Analyse kann die Nutzenübergabe bei RLT-Anlagen in die auch technisch leicht abgrenzbaren Untersysteme unterteilt werden:

- Luftführung (Luftauslass, Erfassungseinrichtungen etc.),

- Lufttransport (Ventilator, Luftkanal, Luftklappen etc.) und
- Luftbehandlung (Kühler, Erwärmer, Befeuchter, Filter etc.).

Betrachtet werden hier nur die Subsysteme Lufttransport und Luftbehandlung. Für die raumluftechnischen Nutzungsfälle werden nicht nur der flächenbezogene Jahresprimärenergieaufwand (z. B. in kWh/(m² a)) sondern auch die energetischen Kennwerte Aufwandszahl  $e_p$  und Güte-

zahl  $g$  ermittelt. Als ein energetischer Kennwert der RLT-Anlage wird die Aufwandszahl für diese Betrachtung definiert:

$$e_p = \frac{\text{Primärenergieaufwand}}{\text{Referenzenergiebedarf des Raums}} \quad [\text{Gl. 1}]$$

Das Verhältnis des flächenbezogenen Jahresprimärenergieaufwands des realen bzw. realisierbaren Prozesses und des flächenbezogenen Jahresprimärenergieaufwands des idealen Prozesses wird als Gütezahl für die RLT-Anlagen definiert. Sie zeigt, wie weit der wirkliche Prozess bzw. die jeweils gewählte Lösung von dem idealen Prozess entfernt ist. Es ergibt sich:

$$g = \frac{q_{p,\text{real}}}{q_{p,\text{ideal}}} \quad \text{bzw.} \quad g = \frac{q_{p,\text{realisierbar,real}}}{q_{p,\text{ideal}}} \quad [\text{Gl. 2}]$$

Entwickelt wurde eine Bewertungsmethode für den Jahresenergieaufwand der Luftbehandlung und des Lufttransports, dargestellt mit den energetischen Kennwerten Aufwandszahl  $e_p$  und Gütezahl  $g$  für RLT-Anlagen. Bild 7 stellt das Ablaufschema zur Berechnung des Energie- und

Stoffaufwands sowie zur Bestimmung der energetischen Kennwerte dar.

### Beispiel

Als Beispiel zur Bewertung des Energieaufwands wurde ein Büroraum als häufiger Nutzungsfall für RLT-Anlagen ausgewählt. Für die Untersuchung wird der Testraum verwendet, der auch in VDI 2067-21 [2] zum Einsatz kommt. Für die Nutzung wurden Annahmen getroffen und mit den nachstehenden Randbedingungen in das Simulationsprogramm TRNSYS [3] eingearbeitet. Für die Beispiele wurden nach [1] festgelegt:

- Raumtemperatur:  $21^\circ\text{C} \leq \vartheta_{\text{RA}} \leq 26^\circ\text{C}$  und
- Raumluftfeuchte:  $30\% \leq \varphi_{\text{RA}} \leq 70\%$

Als Wetterdatensatz wurde das Testreferenzjahr TRY05 des DWD verwendet. Der Energiebedarf des Raums aus der Gebäudesimulation (Nutzenergiebedarf) für die festgelegten Anforderungen beträgt bei der Belegung mit einer Person:

- $Q_{0,H} = 18,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$
- $Q_{0,K} = -27,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$

Als RLT-Anlage für den Büroraum wird eine KVS-Anlage betrachtet. Sie umfasst:

- Filter,
- Vorerwärmer,
- Kühler,
- Befeuchter (adiabater bzw. Dampfbefeuchter),
- Nacherwärmer,
- Schalldämpfer,
- Zu- und Abluftventilatoren und
- mit bzw. ohne Wärmerückgewinner (WRG).

Für den idealen Prozess wird der personenbezogene Außenluftstrom von  $40 \text{ m}^3/(\text{Pers h})$  als Referenzzuluftstrom angesetzt. Um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, gilt dieser Zuluftstrom auch für alle anderen Prozesse. Die Anlagenbetriebszeit wurde von Montag bis Freitag jeweils von 6.00 bis 18.00 Uhr, also mit  $3129 \text{ h/a}$  festgelegt. Weitere Randbedingungen zu den untersuchten Anlagen finden sich in den Tabellen 1 bis 3.

### Ergebnisse und Analyse

Betrachtet wird nur der Bereich der „Nutzenübergabe“ nach VDI 2067 [2]. Der thermische Energieaufwand erfasst nur die Enthalpiedifferenzen

**Tabelle 1**

**Rückwärmzahlen  $\phi$  für verschiedene WRG-Typen**

	Prozesse		
	ideal	realisierbar	üblich
Plattenwärmeübertrager (PWÜ)	0,85	0,60	0,55
Rotorwärmeübertrager (RWÜ) <sup>*)</sup>	0,90	0,75	0,70

<sup>\*)</sup> Für Rotorwärmeübertrager sind Rückwärme- und Rückfeuchtezahl gleich groß.

**Tabelle 2**

**Gesamtwirkungsgrad  $\eta_{\text{ges}}$  der Ventilatoren**

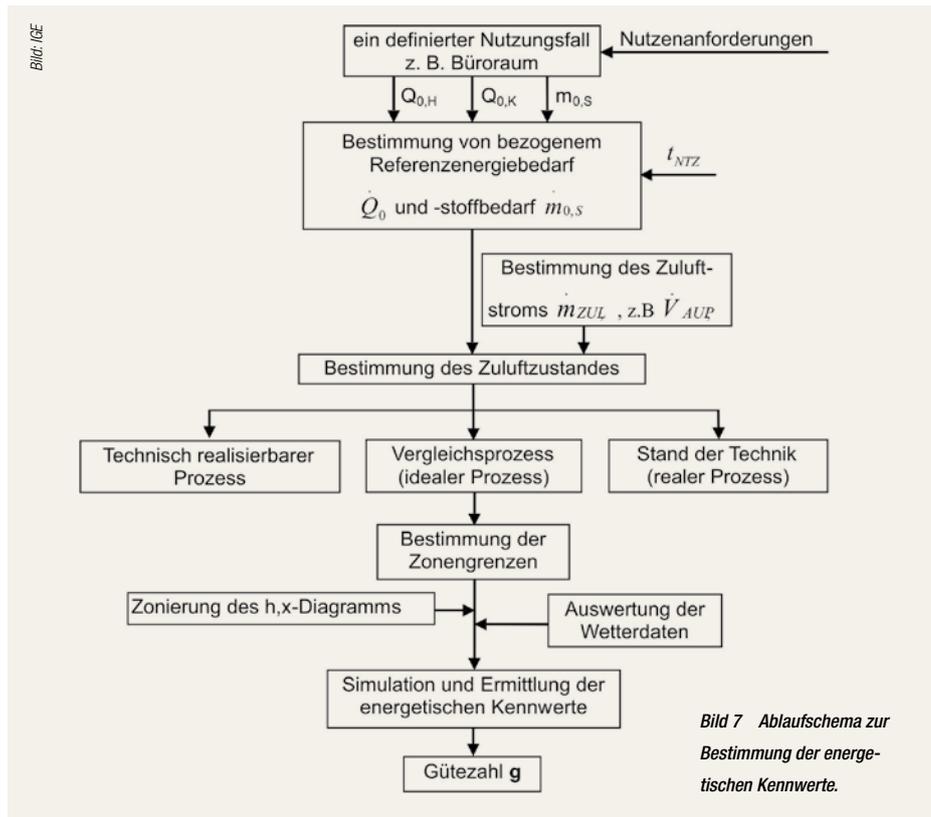
	Prozesse		
	ideal	realisierbar	üblich
$\eta_{\text{ges}}$	1,0	0,81	0,61

**Tabelle 3**

**Druckdifferenz der Anlagen<sup>\*)</sup>**

	Druckdifferenz in Pa					
	Zuluft			Abluft		
	ideal	realisierbar	üblich	ideal	realisierbar	üblich
Summe Apparate	244	305	799	210	240	402
Kanal	0	250	643	0	200	607
Summe Anlage	244	555	1442	210	440	1009

<sup>\*)</sup> Anlagen mit Wärmerückgewinner und Abluftfilter, Deutschland (Stand 1997), aus der Marktanalyse RLT-Anlagen [4].



des Luftstroms in der Luftbehandlung. Der Stromaufwand resultiert nur aus der Antriebsenergie der Ventilatoren zur Förderung des Mindest-Außenluftvolumenstroms und der Antriebsenergie der Rotoren für die Wärmerückgewinnung. Aufwände für Pumpen, usw. sind in der Berechnung nicht mit eingeschlossen, da diese nach [2] in den Bereich „Verteilung“ einzuordnen sind.

Bei den realen Prozessen wurde der Mehraufwand für die Regelung der Wärmeübertrager pauschal mit dem Faktor 1,1 in Anlehnung an DIN V 18 599 [5] angenommen. Um die Aufwandswerte vergleichen zu können, werden sie mit den Faktoren nach DIN V 18 599-1 primärenergetisch bewertet. In der graphischen Darstellung werden der auf die Nutzfläche bezogene Jahresprimärenergieaufwand (Bild 4), die Aufwandszahlen (Bild 5) und die Gütezahlen (Bild 6) getrennt nach den verschiedenen Prozessen mit und ohne WRG dargestellt. Es wird gezeigt, dass sich mit Hilfe des Jahresenergiebedarfs des Raums und des Energieaufwands der RLT-Anlage energetische Kennwerte bilden lassen.

Durch einen Vergleich des flächenbezogenen Jahresprimärenergieaufwands aus den realen Prozessen mit einem heute nur theoretisch erreichbaren Prozess (Idealprozess), lässt sich eine Gütezahl der Anlage definieren. Die Gütezahl beschreibt den Mehraufwand der realen Anlagen zum Minimalaufwand einer idealen Anlage. Dabei muss für jeden Nutzungsfall der theoretisch minimale Aufwand der Anlage berechnet werden. Dieser ist abhängig von den Nutzenanforderungen.

Die graphischen Darstellungen zeigen, dass der Jahresprimärenergieaufwand von Anlagen ohne WRG deutlich höher ist, als der Aufwand der Anlagen mit WRG. Unter dem Aspekt der Energieeinsparung muss der Einsatz von WRG bei RLT-Anlagen gefordert werden.

Im Ergebnis der Analysen können nutzungsfallbezogene Deckel- und Zielwerte angegeben werden. Die Deckelwerte stellen den nutzungsfallbezogenen Maximalwert dar, der bei zukünftigen Anlagenplanungen einzuhalten ist. Dieser ist unter Berücksichtigung des derzeitigen Standes der Technik letztlich „politisch“ festzulegen. Im hier diskutierten Fall beispielsweise mit dem Wert einer Anlage mit WRG und adiabater Befeuchtung. Die Zielwerte stellen die nutzungsfallbezogenen theoretischen Minimalwerte dar. Diese zeigen das theoretische Entwicklungspotenzial.

### Zusammenfassung

Um die Planung und die Realisierung von RLT-Anlagen zu ermöglichen, die einen fallbezogenen, niedrigen Energiebedarf haben, ist es notwendig, durch die Vorgabe von energetischen Deckel- oder Zielwerten geeignete Anlagen zu erzwingen.

In der vorliegenden Untersuchung wurde eine Methode erarbeitet, mit der diese Deckel- und Zielwerte nutzungsfallbezogen abgeleitet werden können. Dazu wurden der ideale Prozess, der technisch realisierbare Prozess sowie der reale „Stand der Technik“-Prozess erarbeitet.

Als Beispiel wurde ein Büroraum als häufiger Nutzungsfall für RLT-Anlagen betrachtet. Für die-

sen wurden die energetischen Kennwerte gebildet und ausgewertet. Der Kennwert aus dem idealen Vergleichsprozess ist der Zielwert. Der Kennwert aus dem „Stand der Technik“-Prozess ist der Deckelwert. ■

### Literatur

- [1] DIN EN 13779 Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlagen. Berlin: Beuth Verlag, Mai 2005
- [2] VDI 2067 Blatt 21 Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen; Energieaufwand der Nutzenübergabe; Raumluftechnik. Düsseldorf: VDI-Gesellschaft Technische Gebäudetechnik, in Bearbeitung
- [3] TRNSYS. A Transient System Simulation Program, Version 15, Solar Energy Laboratory, Wisconsin und TRANSOLAR Stuttgart, Stuttgart 2000
- [4] Beck, E.: Energieverbrauch, -einsparpotential und -grenzwerte von Lüftungsanlagen. Kassel: Universität und Gesamthochschule Kassel, Dissertation, Juli 2000.
- [5] DIN V 18 599 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung, 10 Teile. Berlin: Beuth Verlag, Juli 2005



Michael Schmidt

Prof. Dr.-Ing., Institut für GebäudeEnergetik (IGE),  
Universität Stuttgart, [www.ige.uni-stuttgart.de](http://www.ige.uni-stuttgart.de)



Jinchang Ni

Dr.-Ing., Institut für GebäudeEnergetik (IGE),  
Universität Stuttgart,  
E-Mail: [jinchang.ni@ige.uni-stuttgart.de](mailto:jinchang.ni@ige.uni-stuttgart.de)



Thomas Schlosser

Dipl.-Ing., Institut für GebäudeEnergetik (IGE),  
Universität Stuttgart,  
E-Mail: [thomas.schlosser@ige.uni-stuttgart.de](mailto:thomas.schlosser@ige.uni-stuttgart.de)