www.tga-fachplaner.de
Fachbeitrag aus dem TGA Fachplaner

Rebound-Effekt durch unwillkürliches Nutzerverhalten?

EnEV-Gebäude neigen zur Übererwärmung

Viele der nach aktuellem EnEV-Standard erstellten Neubauten verbrauchen mehr Energie als theoretisch berechnet. Der Grund liegt häufig in systemisch bedingten „überkomfortablen" Raumtemperaturen und fehlenden wohnungsinternen „Kälteerfahrungen", die bei den Nutzern offenbar zu einem unwillkürlichen Bedürfnis nach kühler Außenluft führen. Zwei Studien aus Deutschland und der Schweiz mit ganz unterschiedlichen Ansätzen und Zielrichtungen kommen zu dem Ergebnis, dass sich viele Nutzer in modernen Wohnumgebungen regelungstechnisch überfordert fühlen und deshalb die Raumtemperatur über Fenster regulieren. Ein Mehrverbrauch an Energie von bis zu 30 % ist die Folge.

KOMPAKT INFORMIEREN

Mit sinkendem (rechnerischen) Heizwärmebedarf reagiert der tatsächliche Endenergiebedarf empfindlich auf Abweichungen von den Annahmen bei der Bedarfsermittlung.

Träge Heizsysteme können den Effekt verstärken und dazu führen, dass dynamische Fremdwärmegewinne den Energieverbrauch nicht adäquat absenken bzw. zu einer Übererwärmung führen. Abhilfe kann eine präzise und vorausschauende Vorlauf- und Raumtemperaturregelung schaffen.

Weiterhin steigt mit sinkendem Heizwärmebedarf die Bedeutung des Energiebedarfs für die Trinkwassererwärmung. Dieser kann bei unvorteilhaften Lösungen schon deutlich vor dem Passivhaus-Standard zur dominierenden Größe des Gesamtenergieverbrauchs werden.

Das unwillkürliche Verhalten (überforderter) Nutzer hat einen Einfluss auf den Energieverbrauch, der in der Größenordnung der beiden großen (rechnerischen) Anhebungen der energetischen Anforderungen in der Energieeinsparverordnung (2009: ca. 30 %; 2016: ca. 25 %; jeweils Primärenergie) liegt.

Real gemessene Raumtemperaturen in neueren Gebäuden liegen auch innerhalb der Heizzeit deutlich über den normativen Berechnungsannahmen.

Bild: Metrona Union, München

❶ Wohngebäude in München nach EnEV 2009, Baujahr 2010, mit rund 600 m² Wohnfläche in acht Wohneinheiten. Das Trinkwassererwärmungssystem deckt in der Übergangszeit den Wärmebedarf der Wohnungen.

Der aktuelle Dämmstandard nach der Energieeinsparverordnung (EnEV) bzw. nach dem schweizerischen Baustandard SIA 380/1:2016 „Heizwärmebedarf" kann aufgrund von systemisch bedingtem „Überkomfort" bzw. einer falschen Einschätzung des Selbstregeleffekts bei Flächenheizungen zu Energiemehrverbräuchen führen, die bis zu 30 % über dem rechnerischen Verbrauch der jeweiligen Norm liegen. Zu diesem Resultat kommen in Deutschland eine Forschungskooperation zwischen Wohnungswirtschaft, zwei Hochschulen und dem Wärmedienstleister Brunata-Metrona, und in der Schweiz eine Studie des Bundesamtes für Energie – „EnergieSchweiz".

Der aus der deutschen Studie entstandene Fachbeitrag „Ist der Rebound-Effekt vermeidbar?" ist erstmals in der Fachzeitschrift „GI – Gebäudetechnik in Wissenschaft und Praxis", Ausgabe 6-2018, erschienen; die schweizerische Studie mit dem Titel „Projekt OpEEr – Optimierung der Energieeffizienz von Gebäuden durch Einzelraumtemperaturregelung" ist unter www.energieschweiz.ch abrufbar.

Beide Studien verfolgen ganz unterschiedliche Ansätze: Bei der Brunata-Metrona-Studie geht es in erster Linie um unkontrollierte Wärmeeinträge in Geschosswohnungen und das daraus resultierende Nutzerverhalten.

Bei der schweizerischen Studie geht es darum, ob der Selbstregeleffekt von Fußbodenheizungen in hochwärmegedämmten Geschosswohnungen und damit der Verzicht auf eine Raumtemperaturregelung noch dem Stand der Technik entspricht und mit welchen Maßnahmen bzw. welcher Art von Regelung man das Problem der Überheizung bei flächenbeheizten Wohnungen beheben kann.

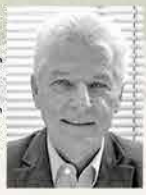


Bild: Margot Dertinger-Schmid

Wolfgang Schmid
ist freier Fachjournalist für Technische Gebäudeausrüstung, München, wsm@tele2.de

➔: Hier bietet das TGAepaper (WEBCODE 595030) zusätzliche Infos und Funktionen an.

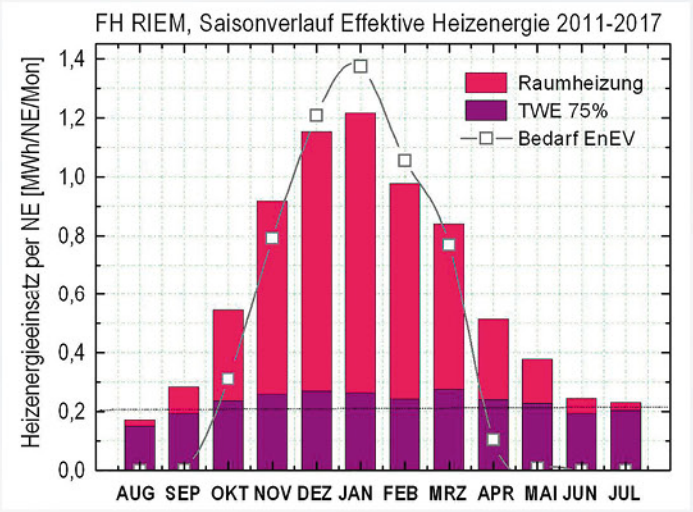


Bild: Metrona Union, München

❷ Saisonale Verteilung des mittleren Heizenergiekonsums pro Wohnung in sechs untersuchten EnEV-2009-Wohngebäuden. Rot: mittlerer Energieeintrag über Heizkörper, lila: anteiliger mittelbarer Heizenergiebeitrag über konsumiertes Warmwasser (75 % TWE).

Beide Untersuchungen kommen zu dem Ergebnis, dass bei der künftigen Gestaltung von bautechnischen Standardanforderungen an energieeffiziente Gebäude die Berücksichtigung des Nutzerverhaltens eine wichtigere Rolle spielen muss, will man den Rebound-Effekt vermeiden. Mit Rebound-Effekt werden in der Energiewirtschaft mehrere Effekte bezeichnet, die dazu führen, dass das Einsparpotenzial von Effizienzsteigerungen nicht oder nur teilweise verwirklicht wird.

Beide Studien kommen zu ähnlichen Lösungen: Mit einer stärkeren Visualisierung des Verbrauchsverhaltens in Kombination mit einer digitalen Systemtechnik und einer hochwertigen Einzelraumregelung könnte der eher unwillkürliche Griff des Nutzers nach dem Fester reduziert werden, da dann der Anlass „Überheizung" entfällt.

Brunata-Metrona-Studie: Unkontrolliertes Heizen über das Trinkwarmwassersystem

Sechs baugleiche Wohnhäuser nach EnEV 2009 mit je 600 m² Wohnfläche und 750 m² Nutzfläche, verteilt auf drei Stockwerke, wurden über einen Zeitraum von sechs Jahren in einem monatlichen energetischen Monitoring erfasst (48 Wohnungen, Heizenergie und Warmwasserverbrauch separat, etwa 120 Messstellen). Zusätzlich wurden von Herbst 2012 bis Spätsommer 2013 die Innenraumtemperaturen im Stundentakt aufgezeichnet. Die Auswertung ergab folgendes Bild:

- Die mittleren Raumtemperaturen (TL) unterschreiten über einen weiten Bereich der Außentemperaturen (TA) unterhalb von 14 °C nie den Komfortbereich von 21 bis 22 °C, egal wie weit die Außentemperatur absinkt.
- Oberhalb mittlerer Außentemperaturen von etwa 14 °C liegen die Raumtemperaturen permanent um 4 bis 5 K über den Tagesmitteltemperaturen.
- Laut Normbedarfsberechnung umfasst die Heizsaison die Monate von Oktober bis Mitte / Ende April. In der Realität verteilen sich die Heizenergieanteile zwischen September und Juni.
- Der (technische) Wärmeeintrag in die Gebäudehülle ist durch einen relativ hohen Warmwasserkonsum – durchschnittlich 40 m³ pro Wohnung (ca. 110 l/d) – überdurchschnittlich hoch.
- Mit rund 52 kWh/(m²·a) ist der Energieeinsatz für die Trinkwassererwärmung (TWE) relativ hoch. Er variiert zwischen 3,5 kWh/(m²·Monat) im Sommer und 5 kWh/(m²·Monat) im Hochwinter. Zum Vergleich: Der reine Heizenergieverbrauch liegt witterungskorrigiert bei knapp 65 kWh/(m²·a) und ist damit nahezu EnEV-konform.

Die Autoren schließen daraus:

- Die TWE liefert ganzjährig einen Sockelbeitrag zur Erwärmung der Gebäudehülle und
- die Nutzbarkeit anderer Wärmegewinne, wie Sonneneinstrahlung, Elektrogeräte etc., wird dadurch geschmälert bzw. führt zu einer Übererwärmung der Wohnungen in der eigentlich heizfreien Zeit.

Die Autoren gehen davon aus, dass die permanent hohen Fensteröffnungsraten die maßgebliche Energiesenke in den untersuchten Wohngebäuden ausmachen und damit eine wesentliche Ursache des Rebound-Effekts darstellen. Der Rebound-Effekt definiert in diesem Fall den mengenmäßigen Unterschied zwischen dem Heizwärmebedarf nach EnEV 2009 und dem tatsächlich gemessenen Heizenergieverbrauch. Bei den konkreten Gebäuden geht es um kostenpflichtige Heizenergie von jährlich 2 MWh pro Wohnung oder 16 MWh pro Gebäude, die ungenutzt via Fensteröffnung weggelüftet wird, um offensichtlich überheizte Räume zu kühlen ❷.

Schweizerische OpEEr-Studie: Energy Performance Gap durch offene Fenster

Die Kombination Wärmepumpe und Fußbodenheizung ist in der Schweiz gängige Praxis, auch im Geschosswohnbau. Je niedriger dort die Heizungsvorlauftemperatur in flächenbeheizten, hochwärmegedämmten Gebäuden ausgewählt wird, desto höher ist der Selbstregeleffekt des Heizsystems, desto besser ist auch die Leistungszahl der Wärmepumpe.

Um Kosten einzusparen, wurde und wird bei Fußbodenheizungen häufig auf eine Einzelraumregelung verzichtet. In der Schweiz ist diese Option in der Norm SIA 384/1 „Heizungsanlagen in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen" ausdrücklich gestattet. Allerdings haben nicht alle Kantone diese Option im Rahmen der Harmonisierung energierechtlicher Vorschriften im Gebäudebereich, den sogenannten „Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich" (MuKEn), übernommen.

Ähnlich wie in Deutschland erfolgt die Regelung von Fußbodenheizungen sowohl kollektiv nach der Außentemperatur, über einen Referenzraum oder über Einzelraumregler. Wegen der hohen Anforderungen der MuKEn 2014 haben die Verantwortlichen den relativ großen Spielraum bei der Auswahl von Regelstrategien

Wichtig für TGA-Planer, Anlagenbauer und Bauherren

TGA-Planer: Der rechnerisch nach dem Ordnungsrecht ermittelte Energiebedarf und der tatsächliche Energieverbrauch aktueller Gebäude können, je nach eingesetzter Anlagentechnik, deutlich voneinander abweichen. Realistischere Prognosen sind mit einer Anpassung der Raumtemperaturen und durch Simulationen möglich.

Anlagenbauer: Anlagentechnik muss einfach und auf den Nutzer abgestimmt zu bedienen sein. Im Idealfall sollte der Nutzer möglichst wenig eingreifen müssen, das Regelsystem also in der Lage sein, die gewünschten Raumtemperaturen mit einer sehr geringen Abweichung unter Ausnutzung von Fremdwärmegewinnen einzuhalten.

Bauherren: Eine Flächenheizung bietet viele Vorteile und das Potenzial für eine energieeffiziente Beheizung. Um dieses Potenzial nicht ins Gegenteil zu verkehren, sind auf geringe Heizlasten abgestimmte Systeme und eine autoadaptive und vorausschauende Einzelraumregelung erforderlich.

Kommentar

Künftig muss der Energieverbrauch die Messlatte sein

Es ist keine neue, aber eine bisher kaum berücksichtigte Erkenntnis: Allein durch die regelmäßige Kontrolle und Einordnung (Monitoring, Benchmarking) lässt sich der Energieverbrauch durch eine folgende Anpassung der Anlagenregelung und des Nutzerverhaltens ohne Komfortverlust deutlich absenken. Es ist allerdings unrealistisch, dass die breite Masse die Initiative ergreift. Mehr Erfolg versprechende Ansätze sind unterjährige Verbrauchsinformationen, Energiesparkonten, die Energieanalyse aus dem Verbrauch usw. Noch besser: Anlagentechnik mit integrierter Optimierung und Monitoring mit nutzergerechter Information und relevanten Tipps. Einen Impuls könnte auch eine CO_2-Bepreisung der Energieträger bewirken, bei der die Einnahmen gleichmäßig an die Einzahler ausgeschüttet werden.

Zum Thema übererwärmte Räume gibt es übrigens noch einen in den Studien nicht erwähnten, aber aus Niedrigenergie- und Passivhäusern bekannten Effekt: Erhöhte Temperaturen, beispielsweise 23 °C durch solare Fremdwärmegewinne, werden bei entsprechender Raumluftfeuchte nicht unbedingt als unangenehm empfunden und es gibt durchaus einen Gewöhnungseffekt. Allerdings wirken sich die Fremdwärmegewinne nicht in allen Räumen gleichmäßig aus, sodass eigentlich normal temperierte Räume als zu kühl empfunden werden und gegebenenfalls mit einer Anhebung des Sollwerts reagiert wird.

Ein Wink mit dem Zaunpfahl sind auch die Erkenntnisse zum Energiebedarf für die Trinkwassererwärmung. Hier gilt es insbesondere, die Verluste zu verringern, die oft in der gleichen Höhe wie der eigentliche Nutzen liegen, zudem kann die Effizienz der Erwärmungsanlage sehr negativ beeinflusst werden.

Was aber entscheidend ist: Nicht der Energiebedarf, sondern der reale Energieverbrauch muss künftig die Messlatte sein. Das erfordert ein Umdenken bei Planern, Anlagenbauern, Betreibern und beim Gesetzgeber. Letztendlich wird es aber in einem Prozess dazu führen, dass mögliche „Energielecks" vermieden, die Systeme optimiert und im Einsatz wirtschaftlicher werden.

Jochen Vorländer, Chefredakteur TGA Fachplaner

für Fußbodenheizungen von kompetenter Seite auf Effizienz und Wirtschaftlichkeit überprüfen lassen.

Die vom Bundesamt für Energie (BFE) bzw. dessen Plattform „EnergieSchweiz" beauftragte Studie „Optimierung der Energieeffizienz von Gebäuden durch Einzelraumtemperaturregelung (OpEEr)" wurde unter Federführung der Hochschule für Technik, Rapperswil (HSR), Institut für Solartechnik, sowie einer Begleitgruppe aus Fachleuten der betroffenen Verbände erstellt.

Im Gegensatz zur Insitu-Studie von Brunata-Metrona handelt es sich bei der OpEEr-Studie um die dynamische Simulation eines dreistöckigen Referenz-Mehrfamilienhauses in Massivbauweise in drei Regelungsvarianten für fußbodenbeheizte Wohnräume. Das Referenzgebäude basiert auf Erfahrungen und Resultaten aus dem BFE-Projekt „ImmoGap – Einfluss der Kombination aus Nutzerverhalten und Gebäudetechnik auf den Performance-Gap bei Mehrfamilienhäusern". Hierbei handelt es sich um die Erfassung der Heizwärmeverbräuche von 65 Mehrfamilienhäusern der Baujahre 2009 bis 2014, die zu 78 % dem schweizerischen Minergie-Standard entsprechen bzw. dem aktuellen Baustandard für Neubauten nach SIA 380/1:2016 „Heizwärmebedarf".

Das Gebäudemodell besteht aus drei Wohngeschossen und einem Kellergeschoss mit folgenden Eckwerten: Massivbauweise, Energiebezugsfläche (EBF) 1205 m^2, Gebäudehüllzahl 1,3, Fensteranteil 25,1 % der EBF, Heizwärmebedarf 29 kWh/($m^2 \cdot a$).

Das Heizsystem besteht aus Erdwärmesonden, Wärmepumpe und Pufferspeicher. Durch den Minergie-Standard sind die Systemheiztemperaturen sehr tief (23 bis 29 °C Vorlauftemperatur) und somit nahe der Raumtemperatur. Der so entstehende Selbstregeleffekt tritt immer dann ein, wenn sich die nach der Außentemperatur geregelte Vorlauftemperatur der Raumtemperatur nähert.

Aus diesem theoretisch durchaus schlüssigen Sachverhalt wurde in verschiedenen ebenfalls vom BFE in Auftrag gegebenen Untersuchungen abgeleitet, dass bei derart niedrigen Vorlauftemperaturen keine Raumregelung notwendig ist, d.h. eine kollektive witterungsgeführte Regelung oder eine Referenzraumregelung ausreicht. In der Praxis ergaben sich jedoch Quereffekte, die zur Über- und Unterversorgung von Räumen mit Heizenergie führten. In der OpEEr-Studie wurden folgende Varianten der Raumtemperaturregelung simuliert:

- witterungsgeführte Vorlauftemperatur, keine Raumtemperaturregelung
- Regelung der Raumtemperatur nach Referenzraum (je Wohnung)
- Einzelraumregelung mit On/Off-Verhalten und einer Hysterese von 1 K

Im Gegensatz zur Brunata-Metrona-Studie wurde bei der OpEEr-Studie darauf verzichtet, die Trinkwassererwärmung in die Simulation mit einzubeziehen, da es bei diesem Projekt nur um den Vergleich verschiedener Raumtemperaturregelungen ging. Die Auswertung zeigt folgendes Bild:

- Ohne Raumtemperaturregelung ist der elektrische Endenergieverbrauch der Wärmepumpe um bis zu 3551 kWh/a bzw. 41 % höher als mit einer Einzelraumregelung. Der Grund liegt in der deutlich höheren operativen Raumtemperatur als vom Nutzer gewollt. Die Simulation zeigt, dass der Selbstregeleffekt einer Temperaturerhöhung durch interne und externe Wärmeeinträge nicht ausreichend entgegenwirkt.
- Gegenüber der Referenzraumregelung spart die Einzelraumregelung zwischen 538 kWh/a und 1413 kWh/a an Strom für die Wärmepumpe ein. Die gewünschten Raumtemperaturen werden durch den Einsatz von Einzelraumreglern am besten eingehalten.

Eine interessante Erkenntnis ist, dass die Wohnungen im mittleren Geschoss deutlich höhere Raumtemperaturen aufweisen können, je nachdem, welche Raumtemperaturen im darüber bzw. darunter liegenden Stockwerk vorliegen. Zitat: „Bei deutlich höheren Raumtemperaturen (+ 3 K) kann sich der Anteil am Gesamtwärmebedarf im mittleren Geschoss von 20 % auf 1 % reduzieren, und das unabhängig von der Wahl der Raumregelung."

Nicht berücksichtigt wurde in der Simulation die Reaktion des Nutzers auf die unterschiedlichen Regelungskonzepte, da, Zitat, „die wissenschaftlichen Grundlagen zum Benutzerverhalten weitgehend fehlen."

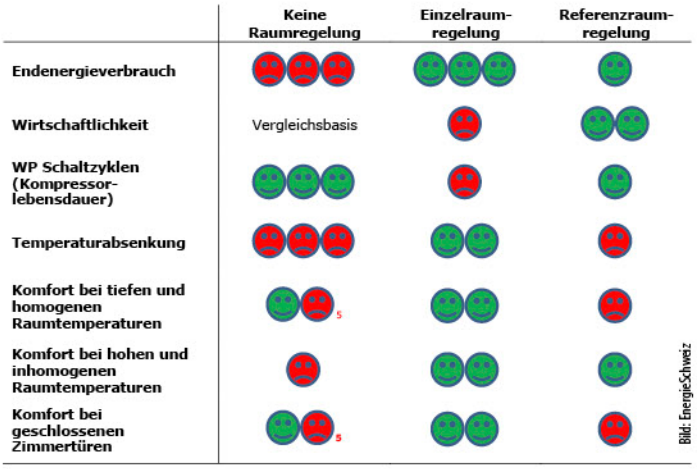
Im schlimmsten Fall werde der Nutzer Raumübertemperaturen durch das Öffnen von Fenstern korrigieren, was dazu führt, dass der reale Endenergieverbrauch noch deutlich höher liegen kann als das Ergebnis der Simulation.

Bei Verzicht auf Einzelraumregelungen müsse zudem damit gerechnet werden, dass wegen vereinzelter Wärmeunterversorgung von Wohnräumen aufgrund von Beschwerden der Bewohner die kollektive Vorlauftemperatur erhöht werde.

Vermutlich seien diese Begleitumstände Mitverursacher des sogenannten „Energy Performance Gap", was dem in der Brunata-Metrona-Studie verwendeten Begriff „Rebound-Effekt" entspricht. Die Empfehlung der Autoren der schweizerischen Studie:

- Bei Einfamilienhäusern ist eine Einzelraumregelung immer vorzuziehen,
- Für den Einsatz im Geschosswohnbau müssten die Kosten pro Regelkreis jedoch deutlich günstiger werden (Anmerkung des

: Hier bietet das TGAepaper (WEBCODE 595030) zusätzliche Infos und Funktionen an.



[5] Die minimalen Temperaturen werden zu jederzeit eingehalten, jedoch wird die gewünschte Temperatur häufig überschritten. Wenn die Übertemperatur mit Fensterlüften korrigiert wird durch die Nutzenden, dann kann das auch als Komforteinbusse betrachtet werden.

❸ Qualitative Bewertung der Einzelraumregelung und der Referenzraumregelung für unterschiedliche Simulationsbedingungen. Zu beachten ist, dass die Stromkosten in der Schweiz bei umgerechnet etwa 0,19 Euro/kWh liegen, deshalb die für die Schweiz als schlecht bewertete Wirtschaftlichkeit.

Autors: die Wirtschaftlichkeitsberechnung basiert auf Stromkosten von 0,22 CHF/kWh, das entspricht etwa 0,19 Euro/kWh) ❸.

Unkalkulierbares Nutzerverhalten

Die Verschärfung der Energieeinsparverordnung in Deutschland bzw. der hohe energetische Baustandard in der Schweiz läuft offensichtlich ins Leere, da sich die Nutzer von Wohnungen im Umgang mit der Heizung in vielen Fällen nicht „regelkonform" verhalten. Schon wegen der thermischen Trägheit eines hochwärmegedämmten Wohngebäudes in Massivbauweise macht es für die Nutzer gar keinen Sinn, bei unkomfortabel hohen Raumtemperaturen zum Thermostat zu greifen: Der unwillkürliche, oft unbewusste Griff zum Fenster ist Usus. Jeder erlebt das fast täglich in seinem beruflichen und privaten Umkreis.

Unter diesem Aspekt macht der Ruf nach noch mehr Dämmung aus Sicht des Autors wenig Sinn. Viel wichtiger erscheint es, die Entwicklung von Einzelraumreglern mit eingebauter Intelligenz voranzutreiben. Wer schon einmal versucht hat, in seinem persönlichen Umfeld für mehr Energiebewusstsein und Klimaschutz zu werben, oder versucht, Regelungsfunktionen zu erklären, der weiß, wie heikel das Thema ist und wie schnell gute Absichten wieder verpuffen.

Was bei allen Appellen zum sorgsamen Umgang mit Heizenergie unterschätzt wird: Das Öffnen eines Fensters zur Temperaturregulierung ist eine uralte menschliche Gewohnheit. Das lässt sich nur ändern, wenn schon die Ausgangssituation vermieden wird. Die Raumtemperatur muss vorausschauend und möglichst ohne Eingriff des Nutzers so geführt werden, dass Situationen, die den Gang zum Fenster auslösen könnten, erst gar nicht entstehen.

Die Ergebnisse der Studien sind als Aufruf an die Heizungs- und Regelungsindustrie zu verstehen, die vorhandenen Regelungskonzepte auf den Prüfstand zu stellen. Die Vorgaben für Einzelraumregler könnten lauten: Genauer, schneller, intelligenter, mit verständlicher Rückmeldung an den Bewohner und exakter Diagnose für den Betreiber.