

Effizienz durch Systemintegration

M. Riedel, Berlin

Obwohl bekannt ist, dass sich Heizungs-, Lüftungs- und Beleuchtungsanlagen gegenseitig beeinflussen, werden die Anlagen von jedem Gewerk unabhängig mit Regelungs- und Steuerungstechnik ausgerüstet. Gerade dabei ist Systemintegration auf der Basis von Bustechnik gefordert, eine Aufgabe, die der „Fachbetrieb für Gebäudetechnik“ übernehmen sollte.

Im Folgenden wird eine Lösung vorgestellt, die durch gewerkeübergreifende Vernetzung den Heizenergie- und Elektroenergieverbrauch minimiert¹⁾.

1 Heizung und Lüftung im Verbund

In mehrgeschossigen Wohngebäuden besteht die Aufgabe, durch Absenken der Gebäudeinnentemperatur und Verringerung der Lüftungswärmeverluste Energie einzusparen. Gleichzeitig soll dabei der Wohnkomfort erhalten bzw. verbessert werden. Diese Aufgabe ist nur durch Berücksichtigung der Verkopplung von Heizung und Lüftung im Gebäude lösbar.

Bild 1 zeigt den prinzipiellen Lösungsweg. Folgende gebäudetechnische Ausstattung wird zu Grunde gelegt:

- Heizungsanlage mit statischen Heizkörpern, ausgeführt als Ein- oder Zweirohrheizungen mit vertikaler oder horizontaler Anbindung. Die Wärmeübergabe im Gebäudeanschluss erfolgt über Fernwärmestationen oder Heizkesselanlagen.
- Die mechanische Abluftanlage besteht aus zentralen Dachventilatoren mit abgeschlossenem Luftkanalsystem sowie motorisch ansteuerbaren Abluftventilen im Küchen- und Badbereich und Außenluftdurchlasselementen in den Fenstern.

tenmanager, der die Koordinierung von Heizung und Lüftung vornimmt.

Am zentralen Bedienterminal (Bild 2) können die individuellen Nutzungszeiten der einzelnen Räume sowie die gewünschten Warmtemperaturen eingestellt werden. Diese Einstellungen erfolgen für jeden Tag einer Woche sowie für längere Abwesenheitszeiten. Während der Nutzung wird die eingestellte Warmtemperatur realisiert, außerhalb der Nutzungszeit wird eine Mindesttemperatur gesichert (z. B. 12 °C). Die Mindesttemperatur wird vom Gebäudeeigentümer vorgeschrieben, um alle Wohnungen ordnungsgemäß versorgen zu können und Taupunktunterschreitungen an Außenwänden zu vermeiden.

Nutzungszeiten. Der Energiesparerfolg einer Einzelraumregelung hängt von der einfachen Handhabbarkeit ab. Besonders geeignet ist die Darstellung der Nutzungszeiten als dunkle Balken über einer 24 Stunden Skala (Bild 2). Mit einem Blick ist das Nutzungszeitregime für den jeweiligen Raum zu erkennen. Alle weiteren Maßnahmen hinsichtlich des thermischen

Verhaltens der einzelnen Räume übernimmt das Automatisierungssystem.

Vorheizzeiten. Automatisch werden die erforderlichen Vorheizzeiten ermittelt, um zum Nutzungsbeginn die eingestellte Raumtemperatur zu sichern. Dazu verfügt das System über einen Lernalgorithmus, der für das jeweilige Gebäude und die dort installierte Heizungsanlage den spätest möglichen Aufheizzeitpunkt nach einer Heizunterbrechung berechnet. Durch die Optimierung der jeweiligen Vorheizzeit wird erreicht, dass die Heizungsanlage möglichst lange unterbrochen bleiben kann. Auf diese Weise werden minimale Gebäudeinnentemperaturen realisiert, die geringere Transmissions- und Lüftungswärmeverluste zur Folge haben.

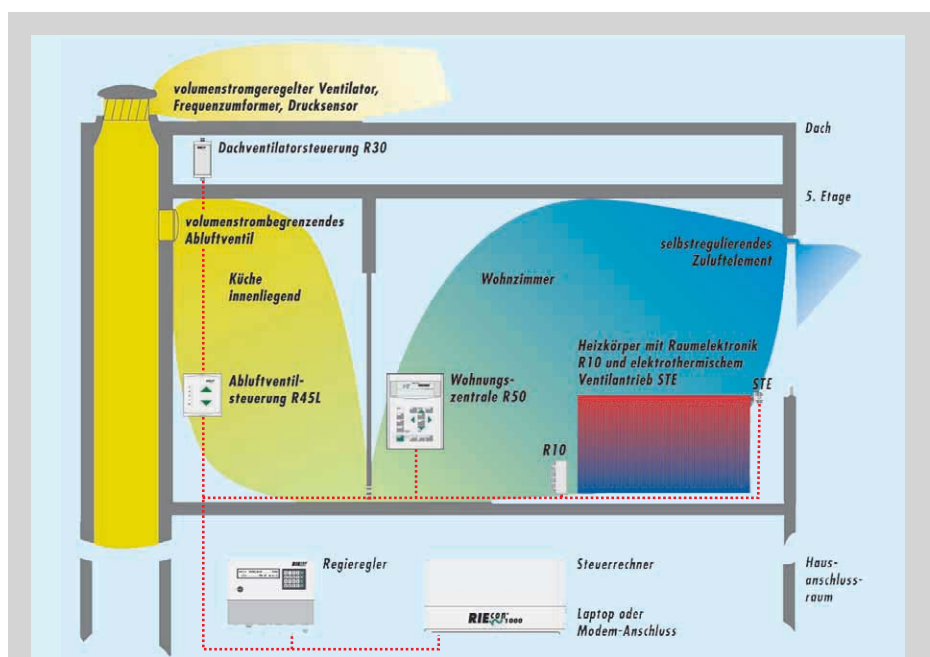
Offene Fenster. Eine wesentliche Energieeinsparfunktion ist die automatische Erkennung geöffneter Fenster. Stellt das System eine schnelle Temperaturabsenkung im Raum fest, dann ist das auf ein geöffnetes Fenster zurückzuführen (bei geschlossener Außenfassade erfolgen Temperaturänderungen sehr langsam). In diesem Fall wird der Heizkörper abgeschaltet, das heißt die Wärmezufuhr vollständig gestoppt. Der Heizkörper bleibt bis zum Erreichen der Mindesttemperatur geschlossen. Werden bei abgeschaltetem Heizkörper die Fenster wieder geschlossen, so wird die in den Umfassungswänden gespeicherte Wärme in den Raum abgegeben.

¹⁾ Das diesem Beitrag zugrundeliegende Vorhaben entstand in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme Dresden und dem IEMB an der TU Berlin. Es wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie gefördert.

2 Einzelraum-Temperaturregelung

Jede Wohnung erhält ein Einzelraumregelungssystem. Das System besteht aus einem zentralen Bedienterminal, elektronischen Raumreglern in Verbindung mit Temperatursensoren und elektrothermischen Antrieben an den Heizkörperventilen. In ausgewählten Räumen befinden sich Terminals zur individuellen Nachforderung von Heizzeiten und zur Veränderung von Temperaturen.

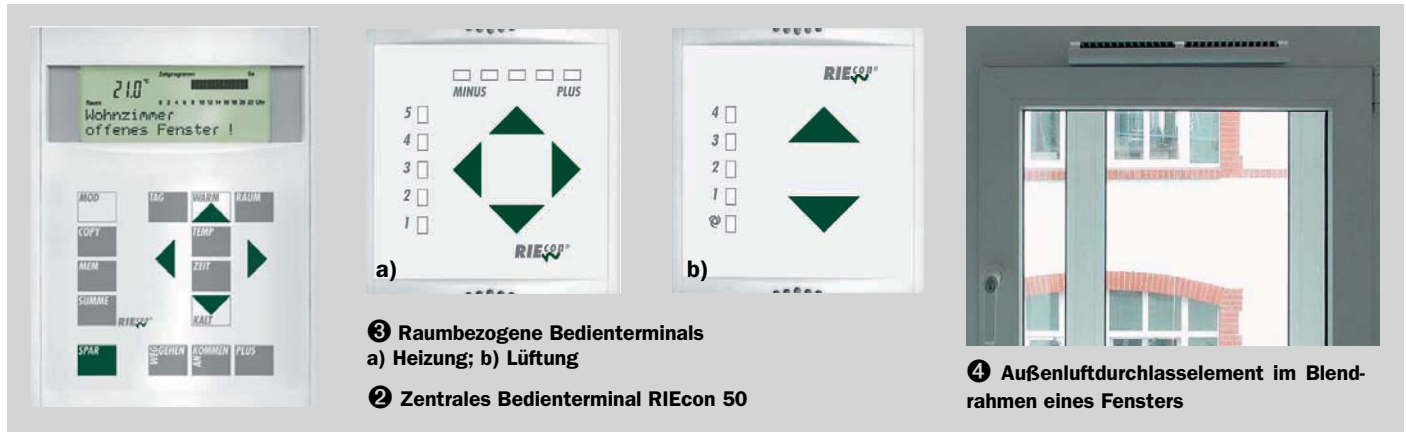
Das zentrale Bedienterminal ist mit den weiteren Komponenten über ein Gebädebussystem verbunden (Bild 1). Am Ende des Systems steht der zentrale Gebäudedat



1 Strukturbild des mehrgeschossigen Hauses

Autor

Dr.-Ing. Manfred Riedel ist Geschäftsführer der Dr. Riedel Automatisierungstechnik GmbH, Berlin.



③ Raumbezogene Bedienterminals
a) Heizung; b) Lüftung

② Zentrales Bedienterminal RIEcon 50

④ Außenluftdurchlasselement im Blendrahmen eines Fensters

Die Temperatur erhöht sich, ohne dass der Heizkörper wieder freigeschaltet ist. Diese Raumtemperaturerhöhung wird vom System als geschlossenes Fenster interpretiert. Die Heizungsregelung wird wieder freigegeben und die eingestellte Raum-Solltemperatur realisiert.

Kurzfristige Abwesenheit. Die Analyse des Bedienvhaltens der Nutzer zeigt, dass das Regime für die einzelnen Räume während einer Woche nicht ständig aktualisiert wird. Abweichungen vom eingestellten Nutzungsregime, z. B. zeitweiliges Verlassen der Wohnung oder frühere Rückkehr, können durch Betätigung von Funktionstasten berücksichtigt werden. Bei außerplanmäßigem Verlassen werden nach Druck der Taste „Weggehen“ die Warmtemperaturen der Räume automatisch um 2 K abgesenkt. Bis zum Erreichen dieser abgesenkten Temperatur wird die Wärmezufuhr unterbrochen. Bei Betätigung der Taste „Ankommen“ werden die eingestellten Warmtemperaturen reaktiviert.

Korrektur der Nutzungszeit. Über Raumterminals (Bild ③a) können abweichend vom zentral vorgegebenen Nutzungszeitregime Korrekturen vorgenommen werden. Die Terminals zeigen an, ob sich der jeweilige Raum momentan in Nutzung befindet. Die Nutzungszeit kann entweder verkürzt oder verlängert werden. Gleichzeitig besteht die Möglichkeit, den zentral vorgegebenen Temperatursollwert zu erhöhen oder zu erniedrigen. Temporär veränderte Nutzungszeiten und Wunschtemperaturen werden am Tagesende wieder gelöscht. Für den nächsten Tag gelten wieder die zentralen Vorgaben hinsichtlich Nutzung und Temperatur. Die Raumterminals werden vorrangig in Wohn- und Arbeitszimmern eingesetzt.

Stellantriebe. Innerhalb der Wohnung erfolgt die Regelung der Raumtemperatur durch Aktivierung oder Deaktivierung der Heizkörperventil-Stellantriebe. Die Stellantriebe verfügen über eine geringe Leistungsaufnahme, denn selbst geringe Werte addieren sich in einem mehrgeschossigen Wohnungsbau zu einem erheblichen Betrag.

3 Ermittlung der Raumheizwärme

Das Automatisierungssystem ermittelt automatisch den wohnungsspezifischen Verbrauch wie in der Heizkostenverordnung gefordert. Dazu werden die Eintritts- und Austrittstemperaturen am jeweiligen Heizkörper gemessen. Die Messwert der Raumlufttemperatur liegt dem System bereits von der Raumtemperaturregelung vor. Aus der Heizkörpervorlauf-, -rücklauf- und der Raumtemperatur sowie den Heizkörperkennwerten wird der Wärmestrom berechnet. Der Wärmestrom wird zeitlich akkumuliert und ist am Zentralsdisplay abrufbar. Der Vergleich des aktuellen Verbrauchswertes mit dem Vorjahreswert ermöglicht dem Nutzer eine Verbrauchskontrolle und motiviert zur Einsparung. Das zentrale Bedienterminal verfügt über Schnittstellen, um Wasserzähler bzw. Elektro- oder Gaszähler aufschalten zu können. Sämtliche Meßdaten stehen im System zur Verfügung für die spätere Verteilung der Kosten für Heizung, Warm- und Kaltwasserverbrauch. Die Meßdaten werden ohne Betreten der Wohnung über die Gebäudebusleitung am zentralen Gebäudedatenmanager abgelesen.

4 Bedarfsgeführte Lüftungssteuerung

4.1 Mindestluftwechselrate

Die Lüftungskomponenten haben die Aufgabe, in der Wohnung entstehende Schadstoffe und Feuchte abzutransportieren. In einem Haushalt mit 3 bis 4 Personen werden z. B. täglich etwa 10 l Wasser in die Luft eingetragen. Diese Feuchtigkeit kann bei mangelnder Belüftung an kalten Außenwänden kondensieren und zur Schimmelpilzbildung führen.

Die Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes hat zu einer starken Reduzierung der Transmissionswärmeverluste geführt. Außenfassaden inkl. Fenster sind so dicht, dass die erforderliche Mindestluftwechselrate nicht erreicht wird. Aus bauphysikalischen und gesundheitlichen Gründen wird

ein Mindestluftwechsel von 0,5 bis 0,6/h gefordert. Bei diesem Wert werden Schadstoffkonzentrationen niedrig gehalten und Schimmelpilzbildung vermieden.

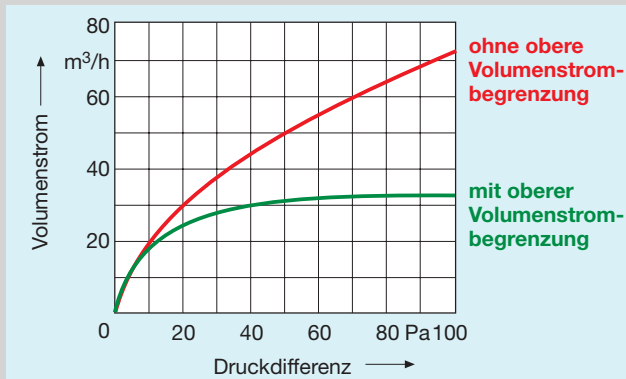
4.2 Maschinelle Lüftungssysteme

Durch diese Systeme wird ein von Bewohnern und meteorologischen Schwankungen weitgehend unabhängiger Luftwechsel realisiert. Höchste Priorität haben dabei der Luftaustausch mit möglichst geringer thermischer Energie und der Lufttransport mit minimaler elektrischer Antriebsenergie. Die erforderlichen Luftvolumenströme werden vorzugsweise mit zentralen Dachventilatoren angesaugt und durch Lüftungssysteme befördert.

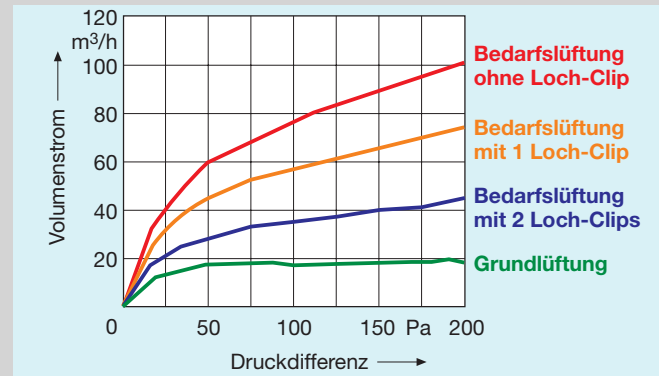
Außenluftdurchlass. Selbst bei mechanischer Entlüftung und einer Druckdifferenz von 8 Pa beträgt der Luftwechsel über Undichtigkeiten der Außenfassade (inkl. Fenster) lediglich 0,13 /h. Für Schachtentlüftung ergeben sich 0,08 /h und bei Quertlüftung nur 0,04 /h.

Um den geforderten Außenluftvolumenstrom (DIN 1946-6 Lüftung von Wohnungen) sicherzustellen, sind Außenluftdurchlässe (ALD) erforderlich. Zweckmäßig werden die ALD in die Blendrahmen der Fenster integriert (Bild ④). Sie sollen eine obere Volumenstrombegrenzung aufweisen (Bild ⑤), um bei hohen Windlasten und großen Temperaturunterschieden Zugscheinungen und erhöhten Heizwärmebedarf zu vermeiden. Geeignete ALD mit Regulierfolie, hoher Schalldämmung, Zugfreiheit, Einbruch- und Schlagregensicherheit sind am Markt kostengünstig erhältlich.

Abluftventile. Besondere Aufmerksamkeit ist den Abluftventilen in Küche und Bad zu widmen. Empfehlenswert sind volumenstrombegrenzende Abluftventile, um von der Stellung anderer Ventile im Luftschacht unabhängige wohnungsbezogene Abluftvolumenströme zu erhalten. Aufwendige Einregulierungen bei der Inbetriebnahme entfallen. In der Planungsphase wird der erforderliche Typ für die Grund- und Bedarfsluftstellung ausgewählt. Bild ⑥ verdeutlicht die begrenzende Wirkung.



⑤ Volumenstrom eines Außenluftdurchlasses mit und ohne Begrenzung



⑥ Volumenstrombegrenzendes Abluftventil in Grund- und Bedarfs-lüftungsstellung

Ventilatoren. Die im Entwurf vorliegende Energieeinsparverordnung gibt Grenzwerte für die Heizenergie vor, zu der auch die elektrische Antriebsenergie für die Ventilatoren zählt. Die spezifische Leistung von zentralen Abluftanlagen mit Wechselstrommotoren liegt zwischen 0,1 und 0,4 Wh/m³. Noch bessere Werte lassen sich mit Gleichstrommotoren erreichen. Empfehlenswert sind Ventilatoren mit Werten zwischen 0,1 und 0,2 Wh/m³.

4.3 Steuerungskonzept

Bei primärenergetischer Bewertung ergibt sich für Abluftanlagen ein Mehrbedarf gegenüber der reinen Fensterlüftung, wenn von beiden ein Luftwechsel von etwa 0,5 /h eingehalten wird. Mit dem Steuerungskonzept wird deshalb das Ziel verfolgt, den Primärenergieverbrauch für Beheizung und Belüftung der Wohnungen zu minimieren. Die technischen Voraussetzungen für dieses Konzept sind:

- volumenstromregelbare Dachventilatoren mit Asynchronmotor und Frequenzumrichter bzw. Gleichstrommotor
- dezentrale Dachventilatorsteuerungen
- volumenstrombegrenzende Abluftventile mit motorischem Antrieb für Küche und Bad
- dezentrale Abluftventilsteuerungen für manuellen und Automatikbetrieb
- fensterintegrierte, volumenstrombegrenzende Außenluftdurchlasselemente

- zentraler Gebäudesteuerrechner
 - elektronische Einzelraumregelungen.
- Zur kontrollierten Be- und Entlüftung des Wohnbereiches ist eine Steuerung notwendig, die im zeitlichen Mittel den gewünschten Luftaustausch mit minimaler Heizwärme und Elektroenergie garantiert. Auf zusätzliche Sensoren zur Feuchte- und CO₂-Messung wird verzichtet.

Luftwechselrate

Der Steuerungsstrategie liegt der empirische Ansatz zu Grunde, dass bei einem mittleren Luftwechsel von etwa 0,5 /h die bauphysikalischen und hygienischen Anforderungen erfüllt werden.

Nach einschlägigen Vorschriften wird für fensterlose Küchen und Bäder ein Abluftvolumen von 40 m³/h bei einer Mindestbetriebsdauer von 12 h gefordert. Folglich müssen pro Tag und Wohnung mindestens 480 m³ Luft abgesaugt werden.

Dieser Luftwechsel wird durch folgende Anteile realisiert:

- eine reduzierte Grundlüftung
- eine Bedarfslüftung, die angerechnet wird, und
- eine Nachlüftung.

Als mittlere Luftwechselrate gilt für jeden Raum 0,4 bis 0,5 /h.

Bei der Lüftung wird die An-/Abwesenheit von Bewohnern berücksichtigt. Sie wird automatisch erkannt.

Als Anwesenheit wird interpretiert, wenn Nutzungszeit und Warmzeit für mindestens einen Raum oder offene Heizkörper ermittelt werden. Abwesenheit wird erkannt, wenn keine Nutzungszeit und Warmzeit für alle Räume oder längere Aus-Zeiten von Heizkörpern festgestellt werden.

Grundlüftung

Bei Anwesenheit werden die Luftwechselraten oder Abluftvolumenströme auf ein notwendiges Maß reduziert (30 m³/h pro Abluftventil), um Zugerscheinungen, Lüftungsgeräusche und Lüftungswärmeverluste zu vermeiden. Der Volumenstrom ist im Grundlüftungsfall bei volumenstrombegrenzenden Abluftventilen bekannt.

Bedarfslüftung

Mit Hilfe von Tasten (Bild 3 b) kann der Nutzer in Küche oder Bad eine Bedarfslüftungszeit wählen. Die Steuerung führt diesen Auftrag mit höchster Priorität aus. Entsprechend der gewählten Lüftungszeit verharrt das entsprechende Abluftventil in Bedarfsstellung. Vor Ablauf der Bedarfszeit kann die Grundlüftung wieder ausgewählt werden.

Nachlüftung

Um den gesamten Abluftvolumenstrom für Bad und Küche und die Luftwechselrate zu erreichen, wird über einen definierten Zeithorizont eine Nachlüftungszeit aus den

Grundlüftungszeiten und den Bedarfslüftungszeiten errechnet. Die Berechnung der Nachlüftungszeit erfolgt durch Abschätzung der Volumenströme der in Bedarfsstellung stehenden Ventile aus Druckdifferenz und Drehzahl des Ventilators. Die Volumenströme bei Grundlüftung sind bekannt.

Die Nachlüftung entfällt bei ausreichender Bedarfslüftung durch den Bewohner. Bei Minderlüftung wird die Nachlüftung abhängig von An-/Abwesenheit durch die Steuerung erzwungen.

Anwesenheit. Bei Anwesenheit wird mit dem Nachlüftungsvorgang gewartet, bis ein Schwellwert für das Lüftungsdefizit überschritten ist. Der Zeithorizont für diese Stoßlüftung ist einstellbar. Bei offenen Heizkörpern können kurze Stoßlüftungszyklen veranlasst werden. Die Heizkörper werden dann für diesen Zeitraum über die Einzelraumregelung geschlossen.

Abwesenheit. Bei Abwesenheit wird sofort mit der Lüftung begonnen. Mit einer einstellbaren Lüftungsdauer wird der gesamte Nachlüftungsbedarf abgedeckt, da die Heizkörper im allgemeinen geschlossen sind. Eine Nachlüftung vor der nächsten Anwesenheit ist sinnvoll, um Frischluft für die folgende Nutzungszeit zur Verfügung zu stellen.

Geöffnete Fenster. Bei geöffnetem Fenster (schnelle Änderung der Raumtemperatur) wird die Nachlüftung unterbrochen.

Duschbetrieb. Bei Doppeltastendruck an der Tastatur im Bad wird die Lüftung gesperrt, um Zugerscheinungen zu vermeiden.

Übergangszeit, tiefe Außentemperatur. In Abhängigkeit von der Außentemperatur wird die Luftwechselrate angepasst.

Regelung der Luftwechselrate

Die Regelung der Luftwechselrate erfolgt durch Zweipunktreger mit Hysterese, die für Anwesenheit/Abwesenheit unterschiedlich parametrisiert werden. Diesen Elementen wird prozentual der Wert der noch auszutauschenden Raumluft zugeführt, um die gewünschte mittlere Luftwechselrate zu erreichen.

Unabhängig von der individuellen Nutzung werden automatisch die erforderlichen Nachlüftungszyklen aktiviert, um den angestrebten Luftwechsel von 0,5 /h zu erreichen. Der notwendige Luftaustausch wird demnach auch dann garantiert, wenn die Fenster ständig geschlossen bleiben. Die automatische Aktivierung der Abluftventile in Bedarfsstellung wird durch den zentralen Gebäudedatenmanager veranlasst. Zur Regelung des Abluftventilators wird die Volumenstromregelung eingesetzt und so der Lüfter bedarfsgerecht und energiesparend betrieben.

Steuerrechner

Die Lösung der aufgeführten Steuerungs-

aufgaben erfolgt mit Hilfe des Steuerrechners RIEcon 1000, der über das Bussystem mit den dezentralen Komponenten verbunden ist. Für die Realisierung der Aufgaben steht eine von mehreren Programmen nutzbare Datenbasis zur Verfügung. Es wurde eine Access-Datenbank gewählt, die einen Mehrbenutzerzugriff, Transaktionssicherung und Datenschutz garantiert. Der Zugriff auf die Datenbank durch die einzelnen Programme erfolgt über eine neu implementierte Schnittstelle. Der Steuerrechner ist dabei sowohl Koordinierungsstelle für die Regelung und Steuerung der Heizungs- und Lüftungskomponenten in den Wohnungen als auch der zentralen Dachventilatoren und für die Hausanschlussstationen. So erfolgt durch Analyse des Betriebs aller Heizkörper eine automatische Anpassung der Heizkurve im Gebäudeanschluss. Damit wird einerseits ein unterbrochener Heizungsbetrieb garantiert und andererseits die Rohrwärmeabgabe minimiert.

■ 5 Zusammenfassung

Nennenswerte Energieeinsparpotentiale im mehrgeschossigen Wohnungsbau sind neben der Verbesserung der Wärmedämmung durch Senkung der Lüftungswärmeverluste und durch Absenkung der mittleren Gebäudeinnentemperatur zu erzielen. Die vorgestellte Lösung erfüllt beide Anforderungen. Mit Hilfe der zeitprogrammierbaren Einzelraumregelung wird den Räumen nur während der Nutzung Wärme zugeführt. Bei Abwesenheit und bei geöffnetem Fenster wird die Wärmezufuhr bis zum Erreichen der vorgegebenen Mindesttemperatur unterbrochen. Umfangreiche Untersuchungen (5000 Wohnungen) belegen, dass gegenüber traditionell ausgerüsteten Heizungsanlagen (Heizkörperthermostate) der Heizwärmeverbrauch im

Mittel um 30 bis 40 kWh/m² · a gesenkt wird.

Eine Minimierung des Primärenergieaufwandes in Gebäuden lässt sich durch Regelung der wohnungsbezogenen Luftwechselraten mit volumenstrombegrenzenden Abluftventilen und Außenluftdurchlässen sowie volumenstromgeregelten Dachventilatoren erreichen. Die Steuerung berücksichtigt die jeweiligen Raumtemperaturen, die Raumnutzung, die Fensterstellungen, die Außentemperatur sowie die von den Bewohnern ausgelösten Bedarfslüftungszeiten. Durch Ermittlung der energieoptimalen Arbeitspunkte der Dachventilatoren wird der Elektroenergieaufwand für den Lufttransport minimiert. Während der erhöhten Bedarfslüftung sind die Heizkörper überwiegend abgeschaltet, um den Heizwärmeverbrauch so gering wie möglich zu halten.

Die Lösung zeigt, wie durch Systemintegration der Heizungs- und Lüftungsprozesse im Haus- und Wohnbereich die Energieeffizienz bedeutend gesteigert werden kann.

Die meisten Regelungs- und Steuerungsprozesse laufen im Hintergrund ab. Der Nutzer muß sich darum nicht kümmern. Dennoch wird kein Zwangsregime verordnet. Über Bedienterminals teilt der Nutzer seine Wünsche mit und erhält als Rückkopplung Informationen zum Energiesparen.

Das vernetzte Steuerungssystem ist in der Lage, weitere Funktionen, wie Lichtsteuerung, Sicherheitstechnik u. a., zu integrieren. Ebenso sind Ferneinstellungen und Zustandsübersichten mit Hilfe von Internettechnologien möglich. Die Geräte melden sich mit ihrer Homepage, in die dynamisch die aktuellen Prozessdaten eingeblendet werden. Störmeldungen werden automatisch gesendet, z. B. per SMS.

