

Die für die Jahrtausendwende erwartete Energiesparverordnung (ESVO) wird die Wärmeschutzverordnung und die Heizungsanlagen-Verordnung zusammenfassen und soll zu einer Absenkung des Energiebedarfes von Neubauten um 30% gegenüber dem aktuell gültigen Standard führen. Mit der ESVO soll insbesondere die installierte Haustechnik in eine gesamtheitliche energetische Bewertung der Gebäude miteinbezogen werden. Für die Gaswirtschaft werden Niedrigener-

giehäuser nach der ESVO zu einer Herausforderung, da sie den Gasanschluß in vielen Fällen ökonomisch in Frage stellen. In einem Forschungsprojekt der TU Hamburg-Harburg<sup>1)</sup> wurden daher Planungshinweise für Heizungs-, Lüftungs- und Warmwasseranlagen in gasbeheizten Niedrigenergiehäusern erarbeitet [8]. Dabei stand vor allem die Frage des Einflusses des Nutzerverhaltens im Vordergrund. Die Ergebnisse zu Heizungs- und Warmwasseranlagen bleiben weiteren Veröffentlichungen vorbehalten. Im folgenden Beitrag wird der Einfluß

des Nutzerverhaltens auf die Primärenergieeinsparungen bei Einsatz einer Kontrollierten Lüftung mit Wärmerückgewinnung durch einen Wärmeaustauscher diskutiert. Es wird aufgezeigt, daß die Lernfähigkeit der Nutzer zugunsten einer rein mechanischen Belüftung ihrer Wohnung auf Fensterlüftung zu verzichten für die Realisierung einer Primärenergieeinsparung durch diese Technik entscheidend ist.

## Kontrollierte Lüftung im Niedrigenergiehaus

Primärenergiebilanzen unter Berücksichtigung des Nutzerverhaltens

Bruno Lüdemann und Gerhard Schmitz, Hamburg

### Vorgehensweise

Die Untersuchungen wurden vorwiegend theoretisch durch Abbildung bestimmter Gebäudetypen (Einzelhaus, Reihenhauses, Mehrfamilienhaus) und der Systeme zur Beheizung und Belüftung in Simulationsmodelle vorgenommen. Während Feldmessungen an realen Objekten durch die sich ständig ändernden äußeren Randbedingungen (Nutzerverhalten, Witterung) wesentlich beeinflusst werden und eine Vergleichbarkeit der Messungen auch bei baugleichen Objekten meist kaum gegeben ist, bietet die dynamische Simulation des thermischen Gebäudeverhaltens den Vorteil, daß die Randbedingungen der Simulation in jedem Rechengang exakt wiederholt oder gezielt verändert werden können. Durch die Sensitivitätsanalyse, das heißt durch den Quervergleich der Simulationsergebnisse bei gezielter Variation von Parametern und Einflußgrößen, lassen sich die Haupteinflußgrößen auf den Heizwärmebedarf identifizieren.

Die dynamische Simulation des thermischen Gebäudeverhaltens wird in der Regel mit Zeitschritten von einer Stunde über den Zeitraum der Heizperiode durchgeführt. Zu diesem Zweck wird die Simulationssoftware TRNSYS eingesetzt [12]. Für die Simulation sehr schneller dynamischer Vorgänge,

die z.B. bei der Untersuchung von Warmwassersystemen abgebildet werden müssen, kommt die neue objektorientierte Simulationsumgebung Smile, die an der TU Berlin entwickelt wird, zum Einsatz [9]. Die Simulationsrechnungen erfassen sowohl die Dynamik der instationären Wärme- und Stoffströme im Gebäude als auch den Austausch mit der Umgebung durch den zeitlichen Einfluß der Klimaschwankungen. Das Nutzerverhalten (Lüftung, interne Wärmegewinne) wurde durch Auswertung statistischer Daten und Meßdaten erfaßt und in den Simulationsmodellen berücksichtigt.

Mit den Simulationsmodellen werden reale Gebäude abgebildet, die nach damaligem Stand (1991) in Niedrigenergiebauweise, entsprechend dem heute gültigen Standard der Wärmeschutzverord-

nung 1995, zu Forschungszwecken errichtet und vermessen wurden: ein Einfamilienhaus in Bocholt [7] und ein 14-Familienhaus in Hamburg-Harburg. Bild 1 zeigt das Mehrfamilienhaus in Hamburg-Harburg, das von den Hamburger Gaswerken im Auftrag der Umweltbehörde der Stadt Hamburg über zwei Heizperioden vermessen wurde [13]. Die Modelle wurden mit den vorliegenden Meßdaten überprüft und dann an den zu erwartenden Gebäudestandard nach ESVO angepaßt. Zur Ergänzung wurde die Geometrie eines Reihenhausesmodells aus den statistischen Daten der IKARUS-Studien erstellt.

### Gebäudemodellierung

In der Gebäudesimulation werden alle relevanten Wärmeverluste

Dipl.-Ing. Bruno Lüdemann, Jahrgang 1964, studierte Maschinenbau, Fachrichtung Energieanlagen, an der Technischen Universität Hamburg-Harburg (TUHH), seit November 1995 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Arbeitsbereich Technische Thermodynamik der TUHH.

Prof. Dr.-Ing. Gerhard Schmitz, Jahrgang 1955, studierte Allgemeinen Maschinenbau an der Ruhruniversität Bochum. Nach dem Studium ging er als wissenschaftlicher Mitarbeiter an das Gaswärme-Institut (GWI) in Essen. Neben dieser Tätigkeit promovierte er 1985 an der Ruhruniversität Bochum mit einer Arbeit zur optimalen Fahrweise von gasbeheizten Chargenöfen. 1986 übernahm er die Leitung der Abt. Wärmetechnik des GWI, um dann 1991 einem Ruf auf eine Professur für Angewandte Thermodynamik, Heizung und Klimatechnik an der Technischen Universität Hamburg-Harburg zu folgen.



<sup>1)</sup> Die Verfasser danken der Hamburger Gaswerke GmbH, Hamburg, der Ruhrgas AG, Essen, der Thyssengas GmbH, Duisburg, und der VEW Energie AG, Dortmund, für die finanzielle Unterstützung zu dieser Arbeit.



Bild 1 | Südwestansicht  
NEH Hamburg-Harburg.

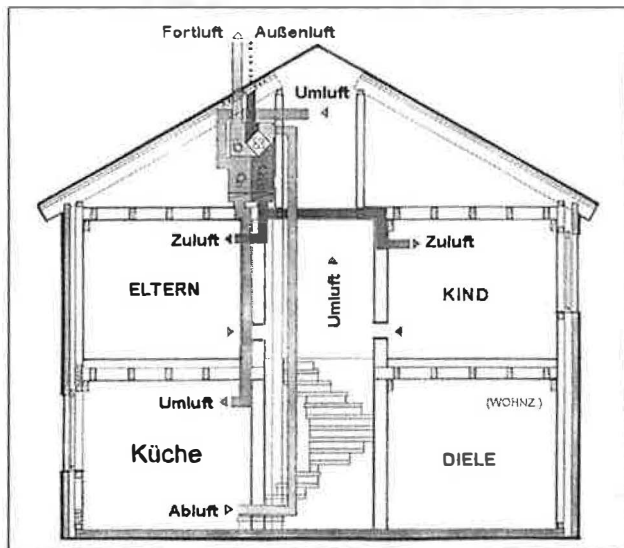
und -gewinne in ihrer zeitlichen Abhängigkeit erfaßt und bilanziert. Im folgenden soll kurz verdeutlicht werden, welche Einflußgrößen in den Modellen Berücksichtigung finden.

- Für die Untersuchungen zur Kontrollierten Lüftung wurden die Gebäudemodelle mit einer *idealen Heizung* ausgestattet, die unabhängig von der Lüftung trägheitslos für eine konstante Solltemperatur von 20 °C in den Räumen sorgt. Damit ist die Vergleichbarkeit der durch die Simulation errechneten Werte für den Wärmebedarf unabhängig von den vorgegebenen Anlagenparametern der Lüftungsanlage gewährleistet.

- Die *Klimadaten* der Testreferenzjahre TRY2 Hannover und TRY3 Essen bilden in Form stündlicher Summen- oder Mittelwerte für Außentemperatur, solare Einstrahlung und Windgeschwindigkeit den Einfluß des Außenklimas ab.

- Die *internen Wärmequellen* ge-

Bild 2 | Kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung am Beispiel des Bocholter Einfamilienhauses.



hen in die Simulation als Tagesgang ein, der aus Daten einer Untersuchung von Feist [4] erstellt wurde.

- Die *solaren Gewinne* für das Gebäude werden aus den Einstrahlungsdaten über ein detailliertes Fenstermodell ( $k = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ,  $g = 0,59$ ) für jeden Raum berechnet.

- Die *Transmissionsverluste* werden aus dem zeitlichen Wärmedurchgangsverhalten der detailliert abgebildeten Wandaufbauten (Schichten, Materialien) im Zusammenspiel mit der dynamischen Temperaturdifferenz zwischen Außen und innen berechnet.

- Der *Lüftungswärmeverlust* ergibt sich aus dem Austausch kalter Außenluft und warmer Raumluft, der in das Modell als stündlicher Luftwechsel  $n$  eingegeben wird. Für die Gebäudedichtigkeit (Infiltration) wurde der für den Einsatz von Kontrollierter Lüftung mit Wärmerückgewinnung geforderte hohe Dichtigkeitsstandard nach der Blower-Door Methode  $n_{150} \leq 1 \text{ h}^{-1}$  angesetzt. Zusätzlich wird der Einfluß der am Gebäude auftretenden Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Gebäudehöhe auf den Luftwechsel berücksichtigt. Neben dem Infiltrationsluftwechsel wird der Luftwechsel durch Fensterlüftung als Lüftungsprofil oder als konstanter mittlerer Luftwechsel eingegeben. Für die Untersuchung der mechanischen Lüftung wird die Luftführung im Gebäude und die Wärmerückgewinnung zwischen Abluft und Raumluft abgebildet. In den Simulationsläufen wird die Lüftungsanlage mit konstantem Luftwechsel betrieben.

### Berechnungsgrundlagen

Durch Einsatz der Kontrollierten Lüftung soll der unkontrollierte freie Luftwechsel über Fensterlüftung  $n_{fen}$  und Infiltration  $n_{inf}$  weitgehend durch einen mechanischen Luftwechsel  $n_{mech}$  ersetzt werden. Der mechanische Luftwechsel bedingt einen eigenen Lüftungsverlust, der bei Systemen mit Wärmerückgewinnung durch die an die Zuluft ausgetauschte Wärme stark eingeschränkt wird. Mit Hilfe der

trockenen Rückwärmzahl  $\Phi$  läßt sich der Anteil des mechanischen Luftwechsels, der einen Lüftungsverlust verursacht, näherungsweise mit  $(1-\Phi)n_{mech}$  beschreiben. Der energetisch wirksame Gesamtluftwechsel  $n_{ges,eff}$  eines Gebäudes ergibt sich damit zu:

$$n_{ges,eff} = n_{fen} + n_{inf} + (1-\Phi)n_{mech} \quad (1)$$

Eine Primärenergieeinsparung ist möglich, wenn es gelingt,  $n_{ges,eff}$  durch die Kontrollierte Lüftung einzuschränken und über die Einsparung an Lüftungswärme mehr als den Strombedarf der Anlage primärenergetisch zu kompensieren.

Untersucht wurde der Einsatz einer Kontrollierten Lüftung mit Wärmerückgewinnung (KLW) durch einen Plattenwärmeaustauscher als Luft/Luft-Anlage. Bild 2 zeigt schematisch die Installation dieser Systemtechnik im untersuchten Einfamilienhaus. Die Modelle bilden einwandfrei installierte und funktionsfähige Lüftungsanlagen ab.

Zur Bewertung der benötigten elektrischen Energie läßt sich die luftmengenspezifische elektrische Leistungsaufnahme  $P_{spez}$  heranziehen, die den Aufwand an elektrischer Energie pro  $\text{m}^3$  umgewälzter Luft pro Stunde kennzeichnet. Die Ergebnisse einer VEW-Felduntersuchung [10] quantifizieren die durchschnittliche Leistung marktgängiger Anlagen für Einfamilien- und Reihenhäuser mit 0,46 bis 0,57  $\text{W}/(\text{m}^3/\text{h})$ . Durch den Einsatz von Gleichstromventilatoren wird hier eine Reduktion auf 0,3 bis 0,4  $\text{W}/(\text{m}^3/\text{h})$  für möglich gehalten.

Die zur Zeit gebräuchliche Kennzahl zur Bewertung von Wohnungslüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung ist die in der VDI-Richtlinie 2071 definierte Rückwärmzahl  $\Phi$ . Mit den Bezeichnungen Abluft (AB), Frischluft (FRI) und Zuluft (ZU) läßt sich die Rückwärmzahl auch folgendermaßen ausdrücken:

$$\Phi = \frac{\vartheta_{ZU} - \vartheta_{FRI}}{\vartheta_{AB} - \vartheta_{FRI}} \quad (2)$$

Ohne Berücksichtigung der latenten Wärme und der Abwärme der Ventilatoren wird durch die Rück-

wärmzahl einzig die Eigenschaft des Wärmeaustauschers ausgedrückt, die Frischluft um den entsprechenden Anteil der zur Verfügung stehenden Temperaturdifferenz zwischen Raumluft und Außenluft zu erwärmen. Die in der Systemunit eingesetzten marktgängigen Kreuzstromwärmetauscher erreichen Rückwärmzahlen zwischen 0,5 und 0,65. Um den Wärmeertrag der Systemunit komplett zu beschreiben wurde in jüngerer Zeit der Wärmebereitstellungsgrad  $\eta_w$  definiert, der die insgesamt bereitgestellte Wärme auf den Enthalpieunterschied zwischen Außen-

und Abluft bezieht [1]. In der hier vorgestellten Studie wurde ein Wärmetauschermodell mit konstanter Rückwärmzahl eingesetzt. Zur korrekten Beschreibung des Gesamtwärmeertrages der Unit wurde der Einfluß der Kondensation und der Ventilatorabwärme gesondert berücksichtigt.

Es sei betont, daß weder Rückwärmzahl noch Wärmebereitstellungsgrad das Einsparpotential der Wärmerückgewinnungstechnik für den Heizwärmebedarf wiedergeben. Wie in [1] gefordert, läßt sich erst durch die Betrachtung des Zusammenspiels zwischen Gebäude, Lüftungsanlage, Nutzer und Klima berücksichtigen, in welchem Maße die bereitgestellte Wärme der Unit im Gebäude für eine Heizwärmeeinsparung genutzt werden kann. Da die Rückwärmzahl zur Zeit eine griffigere Größe zur Einordnung der Qualität des eingesetzten Wärmeaustauschers darstellt, wird sie weiterhin bei der Darstellung der Ergebnisse verwandt, Kondensation und Ventilatorabwärme finden aber Berücksichtigung.

Der Vorgang der Kondensation im Wärmetauscher an kalten Tagen mußte durch eine vereinfachte Betrachtung, die die Dynamik des Vorgangs in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur, -feuchte und der Qualität des Wärmeaustauschers richtig wiedergibt, in die TRNSYS-Simulation integriert werden. Die Vereinfachungen führen zu einer oberen Abschätzung der übertragenen Kondensationswärme mit der z.B. bei einem mechanischen Luftwechsel von  $0,5 \text{ h}^{-1}$  die

Tabelle 1 | Primärenergieeinsparung marktgängiger Anlagen (Rückwärmzahl:  $0,5 \leq \Phi \leq 0,7$ ; spezifischer Leistungsbedarf:  $0,4 \leq P_{\text{spez}} \leq 0,8$ ) zur Kontrollierten Lüftung mit Wärmerückgewinnung bei Variation des Nutzerverhaltens.

Primärenergieeinsparung [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	Bezug: erhöhte Fensterlüftung, $n_{\text{fen}} = 1,0 \text{ h}^{-1}$ :		
$n_{\text{mech}}$ :	0,4 h <sup>-1</sup>	0,6 h <sup>-1</sup>	1,0 h <sup>-1</sup>
Fensterlüftung entfällt	60 bis 76	43 bis 68	10 bis 52
Verlust Fensterlüftung 15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	42 bis 58	25 bis 51	-8 bis 34
Verlust Fensterlüftung 39 kWh/(m <sup>2</sup> a)	24 bis 41	7 bis 33	-25 bis 16

Primärenergieeinsparung [kWh/(m <sup>2</sup> a)]	Bezug: Fensterluftwechsel gleich mechanischem Luftwechsel		
$n_{\text{mech}}$ :	0,4 h <sup>-1</sup>	0,6 h <sup>-1</sup>	1,0 h <sup>-1</sup>
Fensterlüftung entfällt	4 bis 21	6 bis 35	10 bis 52
Verlust Fensterlüftung 15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	-13 bis 7	-11 bis 14	-8 bis 34
Verlust Fensterlüftung 30 kWh/(m <sup>2</sup> a)	-31 bis -14	-29 bis -3	-25 bis 16

maximale Nutzwärmereduktion durch Kondensation mit der Rückwärmzahl  $\Phi = 0,7$  zu  $2,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  errechnet wird. Die Ventilatorabwärme liegt je nach elektrischem Wirkungsgrad  $\eta_{\text{V,el}}$  des Ventilators zwischen 80 und 90% der elektrischen Aufnahmeleistung. Bei günstiger Anordnung der Ventilatoren führt die Abwärme in der Unit zu einer Erhöhung der Zu- und Ablufttemperatur im Wärmeaustauscher. Durch Simulation konnte der Nutzungsgrad  $\omega_{\text{V,Q,ab}}$  dieses zusätzlichen Wärmeangebotes für den Nutzwärmebedarf des Gebäudes über die Heizperiode ermittelt werden. Bestimmend für den Nutzungsgrad ist die Qualität des Wärmeaustauschers. Je mehr Wärme der Tauscher für die Gebäudebeheizung ohnehin schon bereitstellt, desto schlechter kann ein zusätzlicher Wärmeeintrag im Zusammenspiel mit der thermischen Dynamik im Gebäude genutzt werden. Für Rückwärmzahlen zwischen 0,5 und 0,9 liegt der Nutzungsgrad für die Abwärme der Ventilatoren  $\omega_{\text{V,Q,ab}}$  zwischen 0,58 und 0,38.

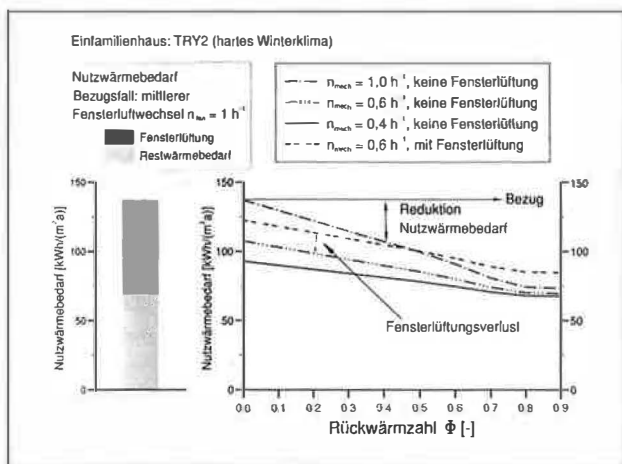
Die Primärenergieeinsparung durch eine KLW wird gegenüber einem Bezugsfall ermittelt, in dem der Nutzer das Haus nur über die Fenster belüftet.  $Q_{\text{H}}(\text{Bezug})$  ist der über die Heizperiode (September bis Mai) simulierte Nutzwärmebedarf im Bezugsfall. Die Primärenergieeinsparung wird wie folgt berechnet:

$$\Delta Q_{\text{Prim}} = \underbrace{\left( Q_{\text{H}}(\text{Bezug}) - Q_{\text{H}}(n_{\text{mech}}, \Phi) \right) \frac{1}{\eta_{\text{WE}}} f_{\text{Gas}}}_{\text{Wärmerückgew. u. Kondensation}} + \underbrace{\left( P_{\text{spez}} n_{\text{mech}} V_{\text{L,Geb.}} (1 - \eta_{\text{V,el}}) \omega_{\text{V,Q,ab}} f_{\text{Gas}} \right)}_{\text{Ventilatorabwärme}} - \underbrace{\left( P_{\text{spez}} n_{\text{mech}} V_{\text{L,Geb.}} \right) f_{\text{Strom}}}_{\text{Aufwand el. Energie}} \quad \text{kWh}/(\text{m}^2\text{a}) \quad (3)$$

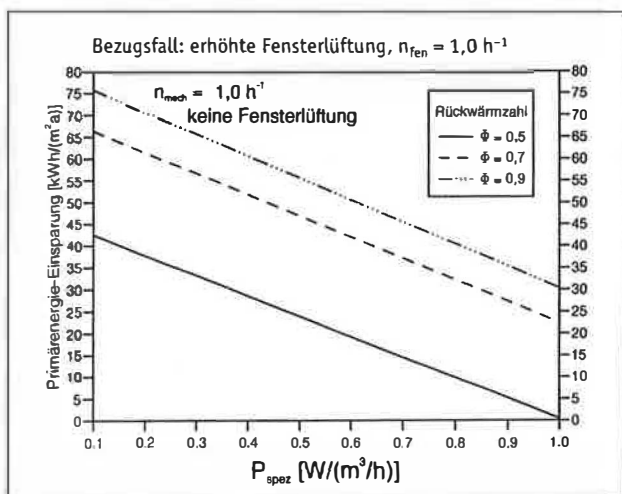
Alle Terme der Gleichung sind auf den Zeitraum der Heizperiode von 6552 h/a und die Wohnfläche des Hauses bezogen. Der Gesamtwirkungsgrad des Wärmeerzeugers  $\eta_{\text{WE}}$  bezogen auf den Nutzwärmebedarf wurde mit 0,93 abgeschätzt (moderne Technik), das Lüftungsvolumen  $V_{\text{L,Geb.}}$  geht exakt in die verwendeten Gebäudemodelle ein. Die Primärenergiefaktoren für Gas und Strom von der Exploration bis zum Endverbraucher ergeben sich aus den Angaben in [6; 2] zu:

$$f_{\text{Gas}} = 1,18; f_{\text{Strom}} = 3,33$$

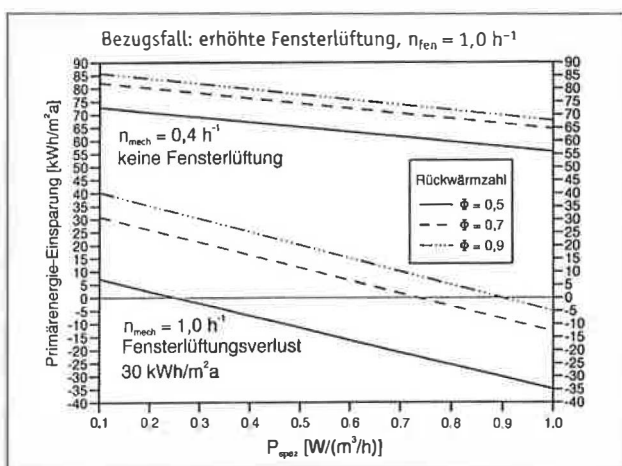
Die Gleichung Gl.(3) macht deutlich, daß der Bezugsfall eine entscheidende Größe für die Bewertung der Energieeinsparung durch eine KLW ist. Der Bezugsfall legt fest, welches Potential zur Energieeinsparung vorhanden ist. Bei einem Nutzer, der gewohnheitsmäßig wenig lüftet, sind die Möglichkeiten, durch die Installation einer KLW Primärenergie einzusparen, von vornherein beschränkter als bei einem Nutzer, der gewohnt ist, viel zu lüften.



**Bild 3** Nutzwärmebedarf bei Variation des mechanischen Luftwechsels und der Rückwärmzahl unter Berücksichtigung der Kondensation.



**Bild 4** Primärenergieeinsparung bei Substitution des hohen Fensterluftwechsels ( $n_{fen} = 1 \text{ h}^{-1}$ ) durch einen gleichgroßen mechanischen Luftwechsel ( $n_{mech} = 1 \text{ h}^{-1}$ ).



**Bild 5** Primärenergieeinsparung gegenüber dem Bezugsfall bei reduziertem mechanischen Luftwechsel bzw. gleichem mechanischen Luftwechsel und Fensterlüftung.

Zur Festlegung der Bezugsfälle für das Nutzerverhalten dient die in [5] und [11] als Durchschnittsverhalten ermittelte Bandbreite für mittlere Fensterluftwechsel, die mit  $0,6 \text{ h}^{-1}$  bis  $1,0 \text{ h}^{-1}$  angegeben wird. Die Eckwerte werden als mittleres bzw. erhöhtes Lüften durch den Nutzer angenommen. Hinzugenommen wird ein sparsames Lüftungsverhalten. Die Bezugsfälle für die Nutzwärmeeinsparungen ergeben sich so zu:

- *sparsames Lüften*: mittlerer Fensterluftwechsel  $n_{fen} = 0,4 \text{ h}^{-1}$
- *mittleres Lüften*: mittlerer Fensterluftwechsel  $n_{fen} = 0,6 \text{ h}^{-1}$
- *erhöhtes Lüften*: mittlerer Fensterluftwechsel  $n_{fen} = 1 \text{ h}^{-1}$

Im windreichen und kalten Testreferenzjahr TRY2 führt das „erhöhte Lüften“ je nach Gebäudetyp zu einem Lüftungsverlust durch Fensterlüftung von 63 bis 68  $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Beim „sparsamen“ und „mittleren Lüften“ liegen die Verluste bei 26 bzw. 40  $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ . Die Simulation bestätigt die in [5] aufgeführten Abschätzungen der Lüftungsverluste.

Trotz des Einsatzes einer KLW wurde in vielen vermessenen Objekten beobachtet, daß die Nutzer weiterhin über die Fenster lüften, z.B. [3; 13; 11]. Um den Einfluß der eingeschränkten zusätzlichen Fensterlüftung auf die Primärenergiebilanz bei Einsatz einer KLW zu betrachten, wurden zwei Fälle berücksichtigt:

- **Lüftungsverlust 15  $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$** : Dieser Lüftungsverlust entspricht einem sehr vernünftigen Nutzerverhalten mit einem weitgehenden Verzicht auf Fensterlüftung in den Kernmonaten der Heizperiode.
- **Lüftungsverlust 30  $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$** : Dieses Verhalten entspricht der Halbierung der Fensteröffnungen bei erhöhter Lüftung, also einer deutlichen Reaktion im Verhalten der Nutzer.

## Ergebnisse

Da die Ergebnisse kaum vom Gebäudetyp abhängen, werden im folgenden nur die Simulationsergebnisse und die Primärenergieeinsparungen für das Einfamilienhaus betrachtet. Das Verhältnis von be-

heizter Fläche zu belüftetem Raumvolumen, bei allen modernen Wohngebäuden aufgrund der genormten Deckenhöhe etwa gleich, führt zu dieser Ähnlichkeit.

**Bild 3** zeigt im linken Teil den Anteil der Fensterlüftung am Nutzwärmebedarf im dargestellten Basisfall „erhöhtes Lüften“. Der Wärmeverlust durch Fensterlüftung von  $68 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$  bildet das Potential zur Primärenergieeinsparung.

Die Reduktion des Nutzwärmebedarfes  $Q_H(\text{Bezug}) - Q_H(n_{mech}, \Phi)$  hängt von drei Größen ab: mit steigender Qualität des Wärmeaustauschers, dargestellt durch die trockene Rückwärmzahl  $\Phi$ , sinkt der energetisch wirksame Luftwechsel  $(1 - \Phi) \cdot n_{mech}$  der Anlage, siehe Gl.(1). Entsprechend sinkt der durch die mechanische Lüftung erzeugte Verlust, der sich als Komplementäranteil mit der Einsparung zum Lüftungswärmeverlust im Fall  $\Phi = 0$  summiert. Der vereinfacht simulierte Einfluß der Kondensation zeigt sich deutlich in der Abweichung der Kurvenverläufe von einer Geraden. Erwartungsgemäß er-

bringt die Kondensation bei geringen und sehr hohen Rückwärmzahlen kaum einen Effekt für den Heizwärmebedarf. Wärmeaustauscher mit kleinen Rückwärmzahlen kühlen die Abluft nicht weit genug herunter. Kondensation tritt über die Heizperiode kaum auf. Wärmeaustauscher mit sehr hohen Rückwärmzahlen fahren zwar sehr oft in die Kondensation, da die Abluft aber ohnehin fast auf das Temperaturniveau der Frischluft abgekühlt wird, kann die Kondensationswärme durch die geringe Grädigkeit im Tauscher nur in sehr geringem Maße die Frischluft erwärmen. Den maximalen Einfluß hat die Kondensation etwa bei der mittleren Rückwärmzahl von  $\Phi = 0,7$ .

Bei Reduktion des mechanischen Luftwechsels auf  $0,6$  bzw.  $0,4 \text{ h}^{-1}$  wird der energetisch wirksame Luftwechsel im Gebäude, um den Anteil  $(1 - \Phi) \cdot 0,4 \text{ h}^{-1}$  bzw.  $(1 - \Phi) \cdot 0,6 \text{ h}^{-1}$  gesenkt. Hierdurch ergibt sich gegenüber dem Bezugsfall sofort eine starke Nutzwärmeeinsparung, auch im Fall  $\Phi = 0$  ohne Wärmerückgewinnung. Im Bereich mittlerer Rückwärmzahlen ( $0,5$  bis  $0,7$ ) hängt der Wärmebe-

darf noch signifikant vom eingestellten Luftwechsel ab. Im Bereich sehr guter Wärmeaustauscher fällt die Erhöhung des Wärmebedarfes durch eine Erhöhung des mechanischen Luftwechsel kaum noch ins Gewicht. Unabhängig von der Rückwärmzahl erhöhen sich mit dem Luftwechsel aber die Investitionskosten durch größere Abmessungen der Geräte und Luftleitungen sowie die Betriebskosten und der elektrische Energiebedarf durch die höhere Leistungsaufnahme der Ventilatoren. Hier wird deutlich, daß die energetisch und wirtschaftlich optimierte Nutzung einer Kontrollierten Lüftung nur mit der Begrenzung der Luftwechselzahl auf den unbedingt nötigen Luftwechsel einhergehen kann.

Eine zusätzliche Fensterlüftung macht sich energetisch als konstanter Betrag bemerkbar, der unabhängig von  $n_{mech}$  und  $\Phi$  dem Nutzwärmebedarf zugeschlagen werden muß.

Die Primärenergieeinsparungen nach Gl.(3) lassen sich in Form von Geradenscharen in Abhängigkeit vom Bezugsfall, den Anlagenparametern  $\Phi$  und  $P_{spez}$  sowie dem Nutzerverhalten bei Einbau einer KLV darstellen.

In Bild 4 wird das angenommene mittlere Nutzerverhalten ( $n_{fen} \approx 1 h^{-1}$ ) durch eine gleichgroße mechanische Luftwechselrate und ideales Nutzerverhalten (keine Fensterlüftung) ersetzt. Es ergibt sich nur im Falle einer geringen Rückwärmzahl ( $\Phi = 0,5$ ) und hoher Stromverbräuche der Ventilatoren ( $P_{spez} \geq 1 W/(m^3h)$ ) keine Verbesserung der Primärenergiebilanz. Im Bereich marktgängiger Anlagen ( $0,5 \leq \Phi \leq 0,7$  und  $0,4 \leq P_{spez} \leq 0,8$ ) werden Primärenergieeinsparungen von 10 bis 55 kWh/(m<sup>2</sup>a) erreicht. Die Bewertung des Einsatzes einer KLV mit reduziertem mechanischen Luftwechsel gegenüber dem Bezug der erhöhten Lüftung spiegelt das Potential der Technik zur Primärenergieeinsparung unter günstigen Randbedingungen wieder, siehe Bild 5. Durch den geringen mechanischen Luftwechsel von 0,4 h<sup>-1</sup> wird der effektive Gesamtluftwechsel im Haus stark reduziert, was unabhängig von den Anlagenparametern zu einer hohen

# SCHRAG.

Heizungs- Lüftungs- Klimatechnik  
Wirtschaftlich & Ökologisch  
Innovation '98

## Allerneueste Technik:

- zur Kontrollierten Wohnungslüftung
- Wärmerückgewinnungsgrad=90%
- Luftleistung 120-280 cbm
- Grundlüftung flexibel nach Grösse
- Bedarfslüftung bis 280 cbm
- extrem niedriger Stromverbrauch
- Mech. Filter mit Filteranzeige
- Option Elektroluft-Filter = Allergiker atmen auf

## Recovery Deluxe 250



## SKL-D 5, indirekt beheiztes Warmluftheizgerät

mit Wärmerückgewinnungs-Modul, für die komplette Be- und Entlüftung, mit zusätzlichem Modul für "Kühlung" und Elektroluftfilter, und selbstverständlich mechanischem Filter. Auch Befeuchtung ist möglich. Mit integrierter Regelung.

Luftleistung bis ca. 3000 m<sup>3</sup>/h für Häuser bis ca. 400 m<sup>2</sup>, und das

SKL-E 5, gleiche Ausrüstung, mit einer Luftleistung bis ca. 3500 m<sup>3</sup>/h für Häuser bis ca. 450 m<sup>2</sup>!

Der Einsatz neuester Technik ermöglicht geringste Stromaufnahme und hohe Leistung!

## SKL-D 5



SCHRAG, ein Programm mit System,  
für Ihren Umsatz  
und den Comfort Ihrer Kunden!



## SCHRAG.

Heizungs-Lüftungs-  
Klima-Technik GmbH  
Hauptstrasse 118  
73061 Ebersbach/Fils  
Tel. 07163-17-0

Fax 07163-17-155

Fordern Sie unsere Unterlagen an!  
Besuchen Sie unsere Hausausstellung!

Internet <http://www.schrag.de>



Energieeinsparung von etwa 45 kWh/(m<sup>2</sup>a) Nutzwärme führt, siehe Bild 3. Dieser Sockelbetrag hängt nur von der Akzeptanz des Nutzers ab, den hohen Luftwechsel über die Fenster durch den geringen, aber hygienisch ausreichenden mechanischen Luftwechsel zu ersetzen. Das Potential einer KLV zur Primärenergieeinsparung liegt unter diesen idealen Randbedingungen für marktgängige Anlagen zwischen 60 bis 75 kWh/(m<sup>2</sup>a). Werden ein gleich großer mechanischer Luftwechsel und ein zusätzlicher Fensterlüftungsverlust von 30 kWh/(m<sup>2</sup>a) Nutzwärme, der immerhin etwa einer Halbierung der Fensteröffnungen entspricht, angesetzt, müssen schon hohe Anforderungen an die Anlagengüte gestellt werden, um eine Energieeinsparung zu erreichen. Der Strombedarf für einen Wärmeaustauscher mit  $\Phi = 0,6$  sollte höchstens 0,4 W/(m<sup>3</sup>h) betragen, ein Wert, der von Anlagen mit Wechselstromventilatoren kaum erreicht wird, aber durch den Einsatz von Gleichstromventilatoren realisiert werden kann.

In Tabelle 1 sind die Bandbreiten der möglichen Einsparungen für alle untersuchten Fälle zusammengefaßt. Mit dem milden Winterklima (TRY3) als Randbedingung wird das Potential der KLV für eine Nutzwärmeeinsparung deutlich eingeschränkt. Die in der Tabelle aufgezeigten Primärenergieeinsparungen für ein hartes Winterklima werden, je nach Güte des Wärmeaustauschers, um 5 bis 7 kWh/(m<sup>2</sup>a) vermindert.

Für die Kontrollierte Lüftung ohne Wärmerückgewinnung läßt sich aufgrund der diskutierten Ergebnisse folgern, daß ein solches System eine Energieeinsparung nur unter sehr eingeschränkten Randbedingungen realisieren kann. Der zusätzliche Bedarf an elektrischer Energie setzt voraus, daß der Nutzer auf den Fensterluftwechsel verzichtet und die Belüftung durch einen deutlich geringeren mechanischen Luftwechsel akzeptiert.

### Folgerungen

Während die Anhebung der Luftqualität durch die KLV und ein damit verbesserter Wohnkomfort

durch Umfrageergebnisse, bestätigt wird, z.B. [3] zeigen die oben diskutierten Ergebnisse, daß die angestrebte Primärenergieeinsparung durch diese Technik in erster Linie von der Akzeptanz des Nutzers und einem damit verbundenen Bewußtsein einhergeht, zusätzliche Fensterlüftung zu unterlassen.

Dieses Bewußtsein setzt ein hohes Maß an Information und ein Verständnis der zugrundeliegenden physikalischen Zusammenhänge voraus. Für einen energetisch erfolgreichen Einsatz der KLV scheint eine individuelle und intensive Beratung der Nutzer, die das bisherige Nutzerverhalten berücksichtigt und die notwendige Akzeptanz des veränderten Verhaltens abklärt, unerlässlich. Andernfalls droht selbst bei einer deutlich eingeschränkten Fensterlüftung nach Installation einer kontrollierten Lüftung eine Erhöhung des Primärenergiebedarfes, die im Extremfall unabhängig von der technischen Ausführung der Anlage ist. Um auch bei einem zusätzlich stattfindenden Fensterluftwechsel noch zu Primärenergieeinsparungen zu kommen, sollten die Anlagen auf den kleinsten Luftwechsel, der im konkreten Anwendungsfall Hygiene gewährleistet, ausgelegt werden. Zudem ist für den Stromverbrauch der Gesamtanlage (Ventilatoren + Regelung)  $P_{\text{spez}} \leq 0,5$  W/(m<sup>3</sup>h) und für die Qualität des Wärmeaustauschers eine Rückwärmzahl  $\Phi \leq 0,6$  zu fordern.

Der aufgezeigte Einfluß der KLV auf die Primärenergiebilanz wird bei weiter absinkenden Transmissionsverlusten und gleichbleibendem Lüftungswärmebedarf zukünftiger Gebäudestandards anteilmäßig an Bedeutung gewinnen. Dementsprechend kann diese Gebäudetechnik in Zukunft, je nach Nutzerverhalten, in steigendem Maße den Wärmebedarf abdecken, andererseits aber zu einem Mehrbedarf führen, der in Kopplung mit den geringen Leistungen der Wärmeerzeuger in einigen Situationen auch einem verminderten Raumkomfort durch Auskühlung bedingen könnte.

Die obigen Ergebnisse und Schlußfolgerungen sind unter der Voraussetzung einer einwandfrei

funktionierenden Anlage entstanden. Die viel diskutierten Fragen der Erreichbarkeit und Stabilität der nötigen Gebäudedichtigkeit zum Betrieb einer KLV, der individuellen Regelbarkeit solcher Anlagen und der Wartung werden in der Praxis zu einer weiteren Einschränkung der Effizienz führen. Die hier durch die Simulation errechneten Einsparungen an Primärenergie stellen also eher die obere Grenze unter den gegebenen Randbedingungen dar. H 665]

### Literaturangaben

- [1] Banck, U. P.: Meß- und Prüfverfahren zur Bestimmung der Kennzahlen von Wohnungslüftungsanlagen. *elektrowärme international* 54 (1996), S. 25-28.
- [2] Statistischer Jahresbericht des Referats Elektrizitätswirtschaft im Bundesministerium für Wirtschaft, 1992.
- [3] Busching, S.; Herbert, W.: Ermittlung des Wärmeverbrauchs in ausgewählten Niedrigenergiehäusern in Schleswig-Holstein, erster und zweiter Zwischenbericht. *Forschungsges. für umweltschonende Energieumwandlung und -nutzung mbH, Kiel 1994/95.*
- [4] Feist, W.: Innere Gewinne werden überschätzt. *Sonnenenergie & Wärmetechnik*, 4/94.
- [5] Geiger B., Rouvel R.: Lüftung im Wohnungsbau - Fensterlüftung. *HLH Bd. 38 (1987) Nr. 4*, S. 185-190.
- [6] Fritsche, U.; Rausch, L.; Simon, K.-H.: Umweltwirkungsanalyse von Energiesystemen: Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), Endbericht. *öko-Institut, Gesamthochschule Kassel, Darmstadt, Kassel, 4. Auflage, 1989.*
- [7] Jäschke, S.; Schulz, K.: Betriebserfahrungen mit einem Niedrigenergiehaus. *gwf* 10/1995, S. 506-516.
- [8] Lüdemann, B.; Schmitz, G.: Planung von Anlagen zur Heizung und Warmwasserbereitung in gasbeheizten Niedrigenergiehäusern. *Abschlußbericht, TU Hamburg-Harburg, Arbeitsbereich Technische Thermodynamik, 1997.*
- [9] Kloas, M.; Jochum P.: The Dynamic Simulation Environment Smile. In: Tsatsaronis G. (Hrsg.): *Second Biennial European Conference on System Design & Analysis*, S. 53-56. *The American Society of Mechanical Engineers, 1994.*
- [10] Reiners, W.: Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung, Endbericht, Felduntersuchung an 60 Wohnungslüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung, 1995.
- [11] Rouvel, L.; Nikolic, V.: Lüftung im Wohnungsbau - Demonstrationsvorhaben Mehrfamilienhaus Berlin. *Forschungsbericht BMFT-FB (03E-8365A)*, 1985.
- [12] Klein, S. et al.: TRNSYS - A Transient System Simulation Program. *Solar Energy Laboratory University of Wisconsin, Madison (USA)*, Version 13.1, 1990, Version 14.1, 1995, Version 14.2, 1996.
- [13] Weise, W.; Richter, P.: Pilotprojekt Niedrigenergiehaus Hamburg-Harburg, Berichte 1. und 2. Heizperiode. *Amt für Verwaltung, Grundsatzfragen u. Energiepolitik Hamburg, 1994/95.*