

Mit ersten Pilotanlagen hat die Abteilung Anwendungstechnik der VEW Energie AG bereits ab 1984/1985 gezeigt, daß Wohnungslüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung in Verbindung mit gesamtheitlichen Systemlösungen als aktive Maßnahme auch im Gebäudebestand in erheblichem Umfang Energie einsparen können. So wurden zur damaligen Zeit bereits im Zuge der Pflege eines Altbaubestandes in Dortmund in acht aus dem Jahre 1910

stammenden Wohngebäuden mit 64 Wohneinheiten zusätzlich zu folgenden passiven Wärmedämmmaßnahmen

- Einbau moderner Fenster
- Wärmedämmung der Kellerdecke
- Wärmedämmung der Dachgeschoßdecken

auch Wohnungslüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung und Wärmepumpe eingebaut. Die Ergebnisse zeigen, daß im Betrachtungszeitraum 1986 bis 1994 der durchschnittliche Jahresenergieverbrauch (Stromverbrauch) für Heizung und Lüftung bei ca. 74 kWh/m²a liegt (25 kWh/m²a für die Wohnungslüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und 49 kWh/m²a

für die Erg...
elektrisch...
Um den Er...
bestand z...
Wärmedämm... nach der Wärme...
schutzV 95 oder niedriger zu bringen,
bieten sich passive und/oder aktive
Maßnahmen an. Es stellt sich dabei die
Frage, inwieweit die Maßnahmen sich in
der gesamtheitlichen Betrachtung auch
betriebswirtschaftlich als sinnvoll dar-
stellen.

AIVC 10986

Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung

Teil 2: Ermittlung des Heizwärmebedarfs und weiterführende Kostenrechnung*)

L. Rouvel u. M. Elsberger, München, P. Müller, W. Reimers, Dortmund

Ermittlung der Heizwärmebedarfswerte durch quasi-stationäre Beschreibung des thermischen Gebäudeverhaltens (nach DIN EN 832)

Die Algorithmen, wie sie in der Wärmeschutzverordnung 95 beschrieben sind, lassen nur überschlägige Näherungsangaben bezüglich der Energiebedarfswerte eines Gebäudes zu. Sämtliche Typgebäude sind deshalb, neben der Prüfung der Erfüllung der WärmeschutzV 95, einer Energiebedarfsuntersuchung nach DIN EN 832 (Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden) unterzogen. Auf diese Weise können die Pauschalannahmen der WärmeschutzV 95 hinsichtlich der Eingangsparameter (Klimawerte, Nutzerverhalten bzgl. Luftwechsel, innere Wärmequellen, Gebäudenettovolumen etc.) durch gebäudespezifisch festgelegte Eingangsparameter ersetzt sowie die Jahresbetrachtung zugunsten einer detaillierten Betrachtung auf Monatsbasis abgelöst werden.

Angesetzte Luftwechselraten

Im Rahmen der Ergebnisse findet bezüglich der Luftwechselrate n eine Differenzierung statt:

- Verwendung einer Luftwechselrate bei *reiner Fensterlüftung*, wie sie im Rahmen von Untersuchungen (u. a. im Rahmen des IKA-

RUS-Forschungsvorhabens) zur Fensterlüftung als im Gebäudebestand *real üblicher Durchschnittswert* ermittelt wurde.⁴⁾ Dabei ergibt sich eine *mittlere Luftwechselrate von 0,9 1/h (bezogen auf das Gebäudenettovolumen) bei reiner Fensterlüftung*.

Es wird berücksichtigt, daß üblicherweise in der Übergangszeit vom Gebäudenutzer etwas höhere Luftwechselraten gewünscht werden als bei sehr kaltem Außenklima, so daß sich die festgelegten Monatswerte des Luftwechsels n bei reiner Fensterlüftung mit steigender Außentemperatur von $n = 0,7$ 1/h bei Auslegungstemperatur auf $n = 1,0$ 1/h bei Heizgrenztemperatur erhöhen. Gezieltes zusätzliches Lüften während der Sommerperiode zur Vermeidung zu hoher Raumtemperaturen ist in dieser Luftwechselrate nicht enthalten.

- Für *Wohnungslüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung* wird ein Außenluftwechsel von 0,6 1/h sowie von zusätzlich 0,2 1/h durch Infiltration und im Mittel 0,1 1/h durch zusätzliche Fensterlüftung (jeweils bezogen auf das Gebäudenettovolumen) angesetzt. Dadurch ergibt sich ein *Gesamtaußenluftwechsel von 0,9 1/h*, der zwar zahlenmäßig mit dem vorgenannten Luftwechsel bei reiner Fensterlüftung gleich ist, die Luftqualität in den Räumen ist allerdings nicht iden-

tisch: bei Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung ist der Außenluftwechsel in den direkt belüfteten Räumen (ca. 40% der Wohnfläche eines Gebäudes) über 1,5 1/h. In den indirekt belüfteten Räumen (Küche, Bad, WC) ist ein Luftwechsel deutlich über 2 1/h vorhanden. Somit sind im Vergleich zur reinen Fensterlüftung mit einem mittleren Luftwechsel von 0,9 1/h deutlich bessere lufthygienische Bedingungen gegeben.

- Verwendung einer Luftwechselrate bei *reiner Fensterlüftung*, die im Vergleich zur Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung *hygienisch vergleichbare Verhältnisse* gewährleistet. Um dies bei reiner Fensterlüftung in den einzelnen Räumen sicherzustellen, ist eine höhere durchschnittliche Außenluftwechselrate, bezogen auf das Gebäudenettovolumen, als bei Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung notwendig.

L. Rouvel ist Universitätsprofessor für Energietechnik und -versorgung am Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik der Technischen Universität München, M. Elsberger ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am selben Lehrstuhl, P. Müller und W. Reimers sind Mitarbeiter der VEW Energie AG Dortmund, Abteilung HVKS At.

*) Teil 1 erschien in HLH 10/97, S. 62-65.

⁴⁾ Geiger, B.; Rouvel, L.: Lüftung im Wohnungsbau - Fensterlüftung. HLH Bd. 38 (1987), Nr. 4, S. 185/190. Gülec, T.; Kolmetz, S.; Rouvel, L.: Nutzenergiebedarf für Raumwärme in der Bundesrepublik Deutschland (Alte und Neue Bundesländer, 1989). Projektbericht 5-11 des IKARUS-Forschungsvorhabens, ISSN-Nr. 0946-0012, Jülich 1993

Tabelle 1 | Ermittelte Ergebnisse am Beispiel des Typgebäudes freistehendes Einfamilienhaus, Baualtersklasse 3 (1984–1994).

Variante	Maßnahmen am Gebäude	Heizwärmebedarf nach WärmeschutzV 95 [kWh/m ² Nutzfläche a]	mittlerer k-Wert des Gebäudes [W/m ² a]	Brennstoffbedarf [kWh/m ² a]	Strombedarf [kWh/m ² a]	bereinigter Energiebedarf [DM/m ² Wfl.]	Zusatz-Investition [DM/m ² Wfl.]	Gesamt-Investition [DM/m ² Wfl.]	Energieeinsparung [kWh/m ² Wfl.] in 40 a	Zusatzinvestition [DPf/kWh Einsparung]	Gesamtinvestition [DPf/kWh Einsparung]
ganzjährig gemittelter Luftwechsel [1/h]: reine Fensterlüftung (Var. 0 und 1) 0,9; mechanische Lüftung (Var. 2–4') 0,9 (0,6 mech. + 0,3 zus. Fensterlüftung und Infiltration) Laufzeit (Strombedarf) der mechanischen Lüftung nur während Heizperiode, sonst (Sommerperiode): reine Fensterlüftung											
0	Ausgangsstandard ohne Maßnahmen	142	0,62	208	0	208	0	0	0	0,0	0,0
1	FE 1,4 + DA 8 cm + AW 4 cm	93	0,38	140	0	140	145	336	2724	5,3	12,4
2	AW 8 cm + Plattenwärmeaustauscher	93	0,46	121	4	133	206	337	2999	6,9	11,2
3	AW 8 cm + Plattenwärmeaustauscher + Luft/Luft-Wärmepumpe	93	0,46	55	21	117	239	370	3668	6,5	10,1
4	AW 8 cm + Luft/Wasser-Wärmepumpe	93	0,46	63	21	125	191	322	3315	5,8	9,7
4'	Variante 4 incl. Gutschrift für WW-Bereitung	93	0,46	40	26	117	191	322	3649	5,2	8,8
ganzjährig gemittelte Luftwechselrate (hygienisch vergleichbare Verhältnisse): reine Fensterlüftung (Varianten 0A und 1A) 1,2 1/h; mechanische Lüftung (Var. 2A–4A) 0,9 1/h (0,6 1/h mech. + 0,3 1/h zus. Fensterlüftung und Infiltration). Laufzeit (Strombedarf) der mechanischen Lüftung: ganzjährig											
0A	Ausgangsstandard ohne Maßnahmen	142	0,62	238	0	238	0	0	0	0,0	0,0
1A	FE 1,4 + DA 8 cm + AW 4 cm	93	0,38	169	0	169	145	336	2736	5,3	12,3
2A	AW 8 cm + Plattenwärmeaustauscher	93	0,46	121	6	138	206	337	3982	5,2	8,5
3A	AW 8 cm + Plattenwärmeaustauscher + Luft/Luft-Wärmepumpe	93	0,46	55	23	123	239	370	4594	5,2	8,0
4A	AW 8 cm + Luft/Wasser-Wärmepumpe	93	0,46	63	23	131	191	322	4283	4,5	7,5
4A	Variante 4 incl. Gutschrift für WW-Bereitung	93	0,46	40	27	121	191	322	4657	4,1	6,9

nahmen (marktgängige Dämmstärken) und zusätzlicher Wohnungslüftung mit 60% Wärmerückgewinnung (Plattenwärmeaustauscher) auf die Anforderungen der WärmeschutzV 95 verbessert. Diese Variante ist somit auf vergleichbarem energetischen Standard wie Variante 1. Im Ergebnis ist der bereinigte Energiebedarf⁵⁾ der Variante ausgewiesen.

Variante 3:

Gebäude ist durch gegenüber Variante 1 reduzierten Wärmedämmmaßnahmen (marktgängige Dämmstärken, identisch mit Variante 2) und zusätzlicher Wohnungslüftung mit 60% Wärmerückgewinnung (Plattenwärmeaustauscher) sowie zusätzlicher Luft/Luft-Wärmepumpe auf die Anforderungen der WärmeschutzV 95 verbessert. Diese Variante ist somit auf vergleichbarem energetischen Standard wie Variante 1. Im Ergebnis ist der bereinigte Energiebedarf⁵⁾ der Variante ausgewiesen.

Variante 4:

Gebäude ist durch gegenüber Variante 1 reduzierten Wärmedämmmaßnahmen (marktgängige Dämmstärken, identisch mit Variante 2) und zusätzlicher Wohnungslüftung mit Luft/Wasser-Wärmepumpe auf die Anforderungen der WärmeschutzV 95 verbessert. Diese Variante ist somit auf vergleichbarem energetischen Standard wie Variante 1. Im Ergebnis ist der bereinigte Energiebedarf⁵⁾ der Variante ausgewiesen.

Variante 4':

Anlagentechnisch und bauphysikalisch identisch mit Variante 4. Hier wird gegenüber Variante 4 zusätzlich eine Gutschrift für die Warmwasserbereitung der Wärmepumpe außerhalb der Laufzeiten für Heizwärmeerzeugung saldiert und in den Kostenkennwerten ausgewiesen. Im Ergebnis ist der bereinigte Energiebedarf⁵⁾ der Variante ausgewiesen.

Die Angaben innerhalb der Tabellenspalten der Ergebnisse sind wie folgt definiert:

Energieeinsparung [kWh/m² Wfl.] in 40 a

In dieser Spalte ist die gegenüber Variante 0 errechnete Gesamtenergieeinsparung je m² Wohnfläche über die Lebensdauer der wärmetechnischen Maßnahmen (40 Jahre) ausgewiesen.

Zusatzinvestition [DM/m² Wfl.]

Wie bereits erläutert, wird bei Wärmedämmmaßnahmen zwischen Gesamtinvestition und Zusatzinvestition unterschieden. In dieser Spalte sind daher die zusätzlichen Investitionen des variantenspezifischen Maßnahmenbündels (vgl. Spalte „Maßnahmen“) ausgewiesen.

Gesamtinvestitionen [DM/m² Wfl.]

In dieser Spalte sind die insgesamt aufzuwendenden Investitionen des variantenspezifischen Maßnahmenbündels (vgl. Spalte „Maßnahmen“) ausgewiesen.

Zusatzinvestition

[DPf/kWh_{Einsparung}] und

Gesamtinvestition

[DPf/kWh_{Einsparung}]

Diese Spalten geben die Zusatz- bzw. Gesamtinvestition des variantenspezifischen Maßnahmenbündels bezogen auf die Gesamtenergieeinsparung in 40 Jahren als bereinigter Energiebedarfswert gegenüber Variante 0 wieder.

Bei der Wahl der Wärmedämmmaßnahmen ist Kriterium, eine möglichst geringe Gesamtinvestition [DPf/kWh_{Einsparung}] zu erhalten.

Weiterführende Kostenrechnung

Die in den Ergebnissen ausgewiesenen Kennwerte „Zusatz- bzw. Gesamtinvestition je kWh Einsparung“ – wobei sich sowohl die Investitionen als auch die Einsparung auf 40 Jahre beziehen – läßt einen direkten Vergleich der verschiedenen Varianten zu. Darüber hinaus können aus den dargestellten Ergebnissen mit Hilfe der Berechnungsmethodik

gemäß Richtlinie VDI 2067⁶⁾ (Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen. Betriebstechnische und wirtschaftliche Grundlagen) auf einfache Weise weitere Aussagen bezüglich der wirtschaftlichen Effizienz der einzelnen Maßnahmen getroffen werden.

Dabei stellen die aus Kapitalkosten (KK), verbrauchsgebundenen Kosten (VK) und Kosten für Instandhaltung, Wartung und sonstiges (IK) gebildeten Gesamtkosten (GK) eine wesentliche Kenngröße dar:

$$GK = KK + VK + IK$$

Aufgrund der gewählten Vorgehensweise der Vereinheitlichung des Bilanzzeitraums mittels des Bewertungsfaktors B ist bei einer Berechnung der Kapitalkosten für Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung und Wärmedämmmaßnahmen ein *identischer jährlicher Annuitätswert* zu verwenden.

Damit ist ein Vergleich der verschiedenen Maßnahmen hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen Effizienz nach folgender Vorgehensweise möglich:

1. Ermittlung der Summe aus Kapital- und Instandhaltungskosten einer Maßnahme über den einheitlichen Bilanzzeitraum von 40 Jahren $I \cdot (a + z) \cdot LD$ mit:

I Investitionen für eine wärmetechnische Maßnahme (im Ergebnis bezogen auf 1 m² Wohnfläche ausgewiesen) [DM/m² Wfl.]

a jährliche Annuität [%]

z prozentualer Anteil der jährlichen Kosten für Wartung, Instandhaltung und sonstiges. Gemäß VDI 2067 liegt dieser Wert für die untersuchten Wohnungslüftungssysteme bei 1,5% (1,0% Wartung + 0,5% Instandhaltung), für Wärmedämmmaßnahmen bei 1,0%⁶⁾

LD technische Lebensdauer einer Maßnahme (Bilanzzeitraum) = 40 Jahre

2. Ermittlung der durch die wärmetechnische Maßnahme über den Bilanzzeitraum eingesparten Kosten für Endenergie:

⁶⁾ VDI 2067: Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen. Betriebstechnische und wirtschaftliche Grundlagen, Blatt 1 und 7, Ausgabe Dezember 1983.

$$\Delta W_{LD} \cdot p$$

mit:

ΔW_{LD} innerhalb des Bilanzzeitraums (=40 Jahre) durch eine wärmetechnische Maßnahme eingesparte Endenergie (in den Ergebnissen unter der Spalte „Energieeinsparung“ bezogen auf 1 m² Wohnfläche ausgewiesen) [kWh/m² Wfl.]

p Energiepreis des jeweiligen Energieträgers [DM/kWh]

3. Ermittlung des Break-even-point des Energiepreises, ab dem eine wärmetechnische Maßnahme bzw. ein Maßnahmenbündel wirtschaftlich rentabel durchführbar ist. Hierzu ist nachfolgende Bedingung zu erfüllen:

$$\begin{aligned} \sum (I \cdot (a+z) \cdot LD) &= \Delta W_{LD} \cdot p_{BEP} \\ \Rightarrow p_{BEP} &= \frac{\sum (I \cdot (a+z) \cdot LD)}{\Delta W_{LD}} \\ &= I \cdot (a+z) \cdot LD \end{aligned}$$

mit:

p_{BEP} Break-even-point des Energiepreises [DM/kWh]

I Investitionen je eingesparter kWh

Dies bedeutet, daß im Falle eines höheren Energiepreises als dem des Break-even-point ($p \geq p_{BEP}$) eine Wärmedämmmaßnahme oder Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung wirtschaftlich rentabel durchführbar ist: die anfallenden Kapital-, Instandhaltungs- und Wartungskosten sind geringer als die über den Bilanzzeitraum eingesparten Energiekosten.

Näherungsweise läßt sich bei einem kalkulatorischen Zinssatz von etwa 8% der Break-even-point des Energiepreises (Brennstoff) mit Hilfe der ausgewiesenen Ergebnisse (s. „Investitionen pro eingesparter kWh Energie“) errechnen zu:

$$p_{BEP} \approx 4 \cdot (\text{Investition pro kWh eingesparter Energie})$$

Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse und Schlußfolgerungen

Die ermittelten Ergebnisse sind nach Baualtersklassen und Kostenbetrachtung (Zusatz- oder Gesamtinvestitionen je eingesparter kWh Endenergie) differenziert zu werten.

Zudem weisen die Ergebnisse eine starke Abhängigkeit davon auf, ob bei reiner Fensterlüftung und Wohnungslüftungssystemen mit Wärmerückgewinnung ein ganzjährig gemittelter Luftwechsel von jeweils 0,9 1/h angesetzt wird oder ob hygienisch vergleichbare Verhältnisse (reine Fensterlüftung 1,2 1/h; Wohnungslüftungssystem mit Wärmerückgewinnung 0,9 1/h) betrachtet werden. *Es lassen sich über alle betrachteten Typgebäude hinweg folgende Tendenzen feststellen:*

- **Baualtersklasse 1** (Ausgangsstandard 1969, Erfüllung der DIN 4108, Ausgabe 1969. Verbesserung auf Standard WärmeschutzV 95)

Aufgrund des Baualters ist hier in erster Linie die Zusatzinvestition für die Durchführung eines Maßnahmenbündels im Renovierungszyklus anzusetzen. Reine Wärmedämmmaßnahmen schneiden dabei deutlich günstiger ab als die drei betrachteten Varianten für Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung, wobei die drei Wohnungslüftungssysteme auf etwa gleich hohem Investitionsniveau je eingesparter kWh Energie liegen. Werden nur die Zusatzinvestitionen je kWh eingesparter Energie betrachtet (ohne Zins-, Instandhaltungs- und Wartungskosten), liegen die vier Maßnahmenbündel zur Erfüllung der WärmeschutzV 95 für alle untersuchten Gebäudetypen in einem Bereich, der unter den angesetzten Randbedingungen als wirtschaftlich anzusehen ist.

Das günstigere Abschneiden der Wärmedämmmaßnahmen gegenüber den Wohnungslüftungssystemen mit Wärmerückgewinnung beruht auf dem sehr niedrigen bauphysikalischen Ausgangsstandard für diese Baualtersklasse, so daß Maßnahmen an der Gebäudehülle zu einer sehr hohen Energieeinsparung führen. Bei Betrachtung der Investitionen je eingesparter kWh Energie ergibt sich somit ein sehr günstiger Wert für Wärmedämmmaßnahmen.

- **Baualtersklasse 2** (Ausgangsstandard 1978, Erfüllung der WärmeschutzV 78. Verbesserung auf Standard WärmeschutzV 95)

Je nach bautechnischem Zustand eines Gebäudes (d. h. Notwendigkeit einer Renovierung) sind für diese Baualtersklasse Zusatz- oder Gesamtinvestitionen anzusetzen.

Bei Zusatzinvestitionsbetrachtung schneiden reine Wärmedämmmaßnahmen am Gebäude dabei günstiger ab als die Varianten für Wohnungslüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung, die jeweils auf etwa gleich hohem Investitionsniveau liegen. Werden die Gesamtinvestitionen betrachtet, liegen reine Wärmedämmmaßnahmen und die Varianten mit Wohnungslüftungssystemen mit Wärmerückgewinnung auf vergleichbarem, wenngleich hohem Investitionsniveau je kWh eingesparter Energie (ca. 7 bis 10 DPf Gesamtinvestition je kWh eingesparter Energie).

- **Baualtersklasse 3** (Ausgangsstandard 1984 mit Erfüllung der WärmeschutzV 84. Verbesserung auf Standard WärmeschutzV 95)

Bei dieser Baualtersklasse ist nicht von notwendigen Renovierungsmaßnahmen auszugehen, es sind folglich i. a. die in den Ergebnissen ausgewiesenen Gesamtinvestitionen anzusetzen. Dabei schneiden die Varianten für Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung deutlich günstiger ab als reine Wärmedämmmaßnahmen. Insbesondere die Variante mit Luft/Wasser-Wärmepumpe incl. Gutschrift für die Warmwasserbereitung weist eine vergleichsweise günstige Kosten-/Nutzenrelation auf.

Die **Bilder 4 bis 6** zeigen beispielhaft für das Typgebäude „freistehendes Einfamilienhaus, Ausgangsstandard 1984“ den Zusammenhang zwischen den Investitionen für die wärmetechnischen Verbesserungsmaßnahmen und dem wohnflächenspezifischen, bereinigten Energiebedarf. Dabei ist in Bild 4 der Einfluß der Luftwechselrate bei reiner Fensterlüftung dargestellt. Je höher die Luftwechselrate bei reiner Fensterlüftung ist, um so günstiger ist die Effizienz der Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung. Der Übersicht halber ist in diesem Bild nur das Wohnungslüftungssystem „wohnungszentrales Zu- und Abluftsystem mit Plattenwärmeaustauscher und Luft/Luft-

Wärmepumpe“ ausgewiesen. Bei den Vergleichsfällen „mittlerer Luftwechsel 0,6 1/h bzw. 0,9 1/h bei reiner Fensterlüftung“ wird das Wohnungslüftungssystem *nur während der Heizperiode* betrieben. Im Vergleichsfall „mittlerer Luftwechsel 1,2 1/h bei reiner Fensterlüftung“ werden bei reiner Fensterlüftung und bei Wohnungslüftungssystemen hygienisch vergleichbare Verhältnisse gewährleistet. Bei diesem Vergleichsfall wird das Wohnungslüftungssystem *ganzzjährig* betrieben, weshalb der bereinigte Energiebedarf gegenüber den Vergleichsfällen „mittlerer Luftwechsel 0,6 1/h bzw. 0,9 1/h bei reiner Fensterlüftung“ geringfügig erhöht ausgewiesen ist.

Bild 5 zeigt die Maßnahmeneffizienz von Wärmedämmmaßnahmen und allen untersuchten Wohnungslüftungssystemen mit Wärmerückgewinnung im Vergleich bezogen auf einen Luftwechsel von 0,9 1/h bei reiner Fensterlüftung. Für die Wohnungslüftungssysteme ergibt sich als Reihenfolge der Wirtschaftlichkeit:

1. System mit dezentraler Zuluft und zentralem Abluftsystem mit Luft/Wasser-Wärmepumpe incl. Gutschrift für Warmwasserbereitung
2. Wirtschaftlich etwa gleichwertig das System mit dezentraler Zuluft und zentralem Abluftsystem mit Luft/Wasser-Wärmepumpe ohne Gutschrift für Warmwasserbereitung und das wohnungszentrale Zu- und Abluftsystem mit Plattenwärmeaustauscher und Luft/Luft-Wärmepumpe. Durch das letztgenannte System ist jedoch insgesamt eine höhere Energieeinsparung erreichbar.
3. Zentrales Zu-/Abluftsystem mit Plattenwärmeaustauscher.

In Bild 6 ist der Unterschied zwischen Zusatz- und Gesamtinvestitionsbetrachtung ersichtlich. Die Effizienz der Wohnungslüftungssysteme ist unabhängig von der Zusatz- und Gesamtinvestitionsbetrachtung, da diese Maßnahmen keine „Sowiesoinvestitionen“ bei Durchführung im Renovierungszyklus aufweisen und somit stets die Gesamtinvestitionen anzusetzen sind. Somit ist bei der Gesamtinve-

stitionsbetrachtung das wohnungszentrale Zu- und Abluftsystem mit Plattenwärmeaustauscher und Luft/Luft-Wärmepumpe etwas günstiger als die Wärmedämmmaßnahmen, während bei Zusatzinvestitionsbetrachtung die Wärmedämmmaßnahme vorzuziehen wäre. Allerdings gilt für das dargestellte Beispiel in der Regel nur die Gesamtinvestitionsbetrachtung, da in dieser Baualterklasse noch keine Renovierungsarbeiten anfallen.

Erläuterungen der Kurven in Bild 4 bis 6:

Die durchgezogenen Linien zeigen den Verlauf der Investitionen für – nach Effizienz sortierte – Wärmedämmmaßnahmen vom Ausgangszustand des Gebäudes bis zur Erfüllung der WärmeschutzV 95.

Die punktierten und strichlierten Linien geben die Verläufe für die Wohnungslüftungssysteme mit Wär-

rückgewinnung an. Sie sind zum besseren Verständnis als Geraden eingezeichnet. In Realität ist selbstverständlich nur der Endpunkt gültig. Dagegen können bei Wärmedämmmaßnahmen auch Zwischenpunkte auf der Linie erreicht werden. Je flacher der Verlauf einer Kurve ist, um so effizienter (bezogen auf Investitionen) ist die entsprechende wärmetechnische Verbesserungsmaßnahme. Im Beispiel zeigen die Wohnungslüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung bei Gesamtinvestitionsbetrachtung einen gegenüber Wärmedämmmaßnahmen konkurrenzfähigen Verlauf.

Bei vergleichbarer Luftqualität (d. h. mittlerer Luftwechsel 1,2 1/h bei reiner Fensterlüftung) und Gesamtinvestitionsbetrachtung weisen die Kennlinien für Wohnungslüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung i. a. einen deutlich günstige-

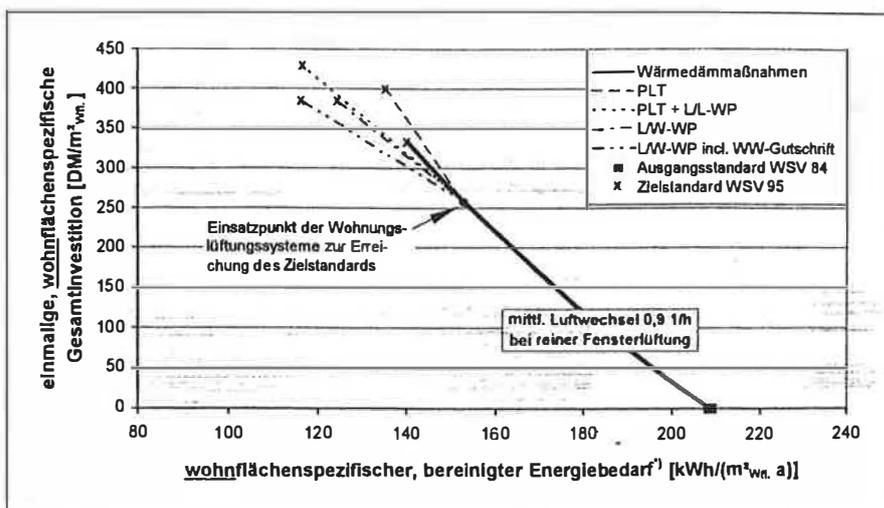


Bild 5 Maßnahmeneffizienz bei Gesamtinvestitionsbetrachtung. Beispiel Einfamilienhaus, Ausgangsstandard 1984.

*) bereinigter Energiebedarf = Brennstoffbedarf + Strombedarf mit durchschnittlichem Kraftwerks- und Verteilungsnutzungsgrad von 33% primärenergetisch bewertet.

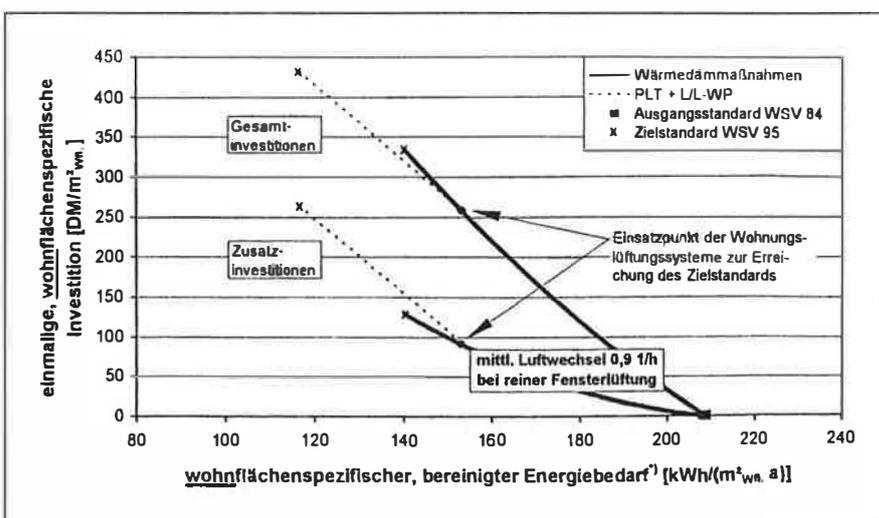


Bild 6 Einfluß der Zusatz- und Gesamtinvestitionsbetrachtung auf die Maßnahmeneffizienz. Beispiel Einfamilienhaus, Ausgangsstandard 1984.

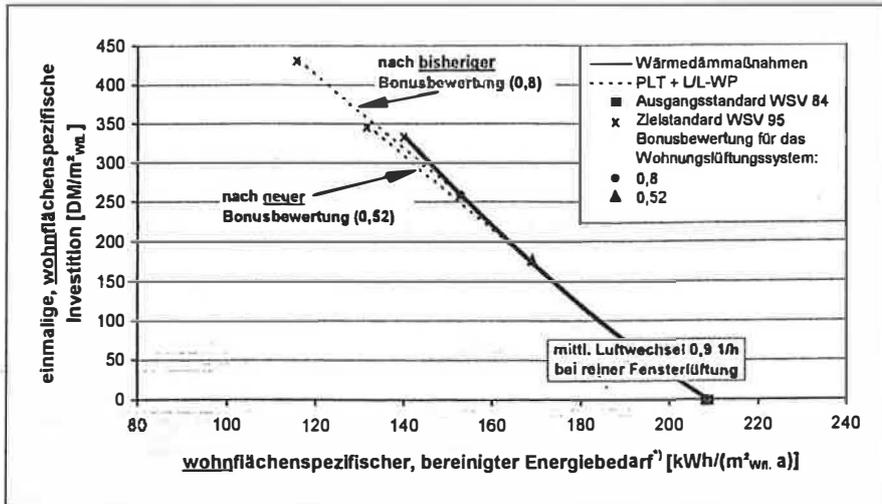


Bild 7 | Auswirkung der Bewertungsmethode für Wohnungslüftungsanlagen. Beispiel Einamilienhaus, Ausgangsstandard 1984.

ren Verlauf auf als die Kennlinie für Wärmedämmmaßnahmen.

Im Nachweisverfahren der Wärmeschutzverordnung 95 werden für Wohnungslüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung Bonusfaktoren bei der Lüftungswärmebedarfsberechnung angesetzt, falls die Anlagen zwei energetische Kennwerte erfüllen. Der Wärmerückgewinnungsgrad η_{WRG} der Anlage muß mindestens 60% betragen und das elektrische Wirkungsverhältnis einen Wert von mindestens 5 (Wohnungslüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung) bzw. 4 (Wohnungslüftungsanlage mit Wärmepumpe) aufweisen. Gemäß der bisherigen Bewertungsmethode (vgl. VDI-Richtlinie 2071, Entwurf Juli 1996) können derzeit nur Bestgeräte beide Kennwerte knapp erfüllen. Nach Messungen der Universität Dortmund sind zumeist die mittleren jährlichen Wärmerückgewinnungsgrade von Wohnungslüftungsanlagen mit Wärmeaustauschern bei zugleich sehr guten elektrischen Wirkungsverhältnissen ($\epsilon_{\text{elektrisch}} > 5$) wesentlich geringer als die vorgeschriebenen 60%. Wohnungslüftungsanlagen mit Wärmepumpe hingegen haben keine Mühe, den geforderten Wärmerückgewinnungsgrad zu erreichen, sie können statt dessen häufig das vorgeschriebene elektrische Wirkungsverhältnis nicht einhalten. Hierdurch ist für diese Anlagen eine Bonusgewährung gemäß WärmeschutzV 95 trotz energetischer Einspareffekte nicht zulässig.

Um den realen, primärenergetisch bewerteten Einspareffekten der Woh-

nungslüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung Rechnung zu tragen, ist von Hausladen, Meyer, Schramek und Banck ein Vorschlag zur Berechnung eines äquivalenten Wärmerückgewinnungsgrades $\eta_{WRG, \text{äqu}}$ erarbeitet worden⁷⁾, der vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) als verbindlich für die Bewertung von Wohnungslüftungsanlagen übernommen wurde. Das DIBt möchte mit dem äquivalenten Wärmerückgewinnungsgrad eine Kenngröße bereitstellen, die den aktuellen Stand der Technik im Bereich von Wohnungslüftungssystemen korrekt bewertet. Dieser äquivalente Wärmerückgewinnungsgrad soll nach Vorgabe des DIBt künftig zur Berechnung des Bonusfaktors bei der Lüftungswärmebedarfsberechnung im Nachweisverfahren zur WärmeschutzV 95 herangezogen werden. Da für $\eta_{WRG, \text{äqu}}$ rechnerisch eine Überschreitung des Wertes von 100% möglich ist, wird per definitionem ein Maximalwert von 100% festgelegt. Am Beispiel der in dieser Untersuchung angesetzten Wohnungslüftungsanlage mit Plattenwärmeaustauscher und Luft/Luft-Wärmepumpe werden die Unterschiede der Bewertungsmethoden deutlich:

bisherige Bewertungsmethode:
 $\eta_{WRG} \approx 60\%$
 \Rightarrow Bonusfaktor = 0,8
 neue Bewertungsmethode nach DIBt⁷⁾:

$$\eta_{WRG, \text{äqu}} = \left(3,14 - \frac{8,56}{\epsilon_{\text{elektrisch}}} \right)$$

$$\frac{H_{\text{Abluft}} - H_{\text{Fortluft}}}{H^* - H_{\text{Außen}}} \geq 100\%$$

$$\Rightarrow \text{Bonusfaktor} = 0,8 \cdot (0,65/1,00) = 0,52$$

mit: $\epsilon_{\text{elektrisch}}$: elektrisches Wirkungsverhältnis des Wohnungslüftungssystems $H^* = H(T_{\text{Abluft}}; X_{\text{Außen}})$

Mit der Berechnungsmethode nach DIBt könnte im Nachweisverfahren zur WärmeschutzV 95 für die im Beispiel gerechnete Wohnungslüftungsanlage mit Plattenwärmeaustauscher und Luft/Luft-Wärmepumpe folglich anstelle des bisherigen Bonusfaktors von 0,8 für die Lüftungswärmebedarfsberechnung ein Bonusfaktor von $0,8 \cdot (0,65/1,00) = 0,52$ angesetzt werden.

Bild 7 verdeutlicht die Auswirkungen der modifizierten Bewertungsmethode. Die dargestellten Energiebedarfswerte sind nach DIN EN 832 errechnet, weshalb unabhängig von der modifizierten Wärmerückgewinnungsgradbewertung nach WärmeschutzV 95 die Effizienz der Wohnungslüftungsanlage (Investition je eingesparter Energie) unverändert bleibt, d. h. die Steigung der strichlierten Linie der Wohnungslüftungsanlage bleibt identisch. Aufgrund der neuen Bewertungsmethode kann jedoch ein erhöhter Bonusfaktor für die Lüftungswärmebedarfsberechnung im Nachweisverfahren zur WärmeschutzV 95 angesetzt werden. Zur Erfüllung der WärmeschutzV 95 sind daher die zusätzlich erforderlichen Wärmedämmmaßnahmen geringer. Entsprechend reduziert sich der Investitionsaufwand für das Gesamtmaßnahmenbündel gegenüber der bisherigen Wärmerückgewinnungsgradberechnung und der „Einsatzpunkt“ ist in Bild 7 gegenüber der bisherigen Wärmerückgewinnungsgradbewertung verschoben. Durch die erhöhte Bonusbewertung werden die lüftungstechnischen Maßnahmen mit den reinen wärmetechnischen Maßnahmen sowohl bezüglich der notwendigen Investitionen als auch bezüglich der Energieeinsparung vergleichbar. Demgegenüber stellen lüftungstechnische Maßnahmen nach der bisherigen Bonusbewertung eine additive Maßnahme zur Wärmedämmung dar, die gegenüber reinen Wärmedämmmaßnahmen zu einer zusätzlichen Energieeinsparung bei deutlich erhöhtem Investitionsaufwand führt.

⁷⁾ Hausladen, G.; Meyer, Ch.; Schramek, E.-R.; Banck, U.: Beurteilungsgrundlagen für Lüftungsgeräte gemäß WSchV '95. Gesundheits-Ingenieur - gi, 118. Jg. (1997), Heft 1, S. 28-31.

Die Effizienz der Wohnungslüftungsanlagen wird maßgeblich durch den Ventilatorstromverbrauch bestimmt. Neben den heute üblichen Wechselstromlüftern führten jüngste Entwicklungen zur Konstruktion verbrauchsgünstigerer Gleichstromlüfter, die sich für den Einsatz in Wohnungslüftungsanlagen eignen⁸⁾. Werden für die untersuchten Wohnungslüftungsanlagen Gleichstromlüfter mit ihren energetischen Kennwerten angesetzt, ergeben sich für alle Systeme etwas verringerte bereinigte Energiebedarfswerte (ca. - 8,0 kWh/(m²_{wfl.}a)) bei geringfügig höherem Investitionsaufwand (ca. + 2,40 DM/m²_{wfl.}), d. h. die punktierten und strichlierten Linien der Wertebereiche der Wohnungslüftungsanlagen würden mit Gleichstromlüftern einen etwas flacheren und damit effizienteren Verlauf aufweisen. Beispielhaft ist in Bild 8 die Wohnungslüftungsanlage mit Plattenwärmeaustauscher und Luft/Luft-Wärmepumpe sowohl mit konventionellem Wechselstromlüfter als auch mit dem effizienteren Gleichstromlüfter dargestellt.

- Baualterklasse 4 (Ausgangsstandard 1995, Erfüllung der WärmeschutzV 95. Verbesserung in Richtung Niedrigenergiehausstandard)

Bei neu errichteten Gebäuden sind lediglich die Zusatzinvestitionen ausgewiesen, die anfallen, falls ein Gebäude einen über die Anforderungen der WärmeschutzV 95 hinausgehenden wärmetechnischen Standard aufweist. Werden Wohnungslüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung betrachtet, so schneidet wiederum die Variante mit Luft/Wasser-Wärmepumpe incl. Gutschrift für die Warmwasserbereitung am günstigsten ab, wengleich auf hohem Investitionsniveau (ca. 8 bis 13 DPf Investition je kWh eingesparter Energie).

Bei zusätzlicher Wärmedämmung zur Erreichung des Niedrigenergiehausstandards kann für die untersuchten Gebäudetypen gefolgt werden:

⁸⁾ Ungemach, M.: Gleichstromlüfter in Wohnungslüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung. „Elektrowärme International“. 55. Jg., Heft A 1/1997, S. 24-26.

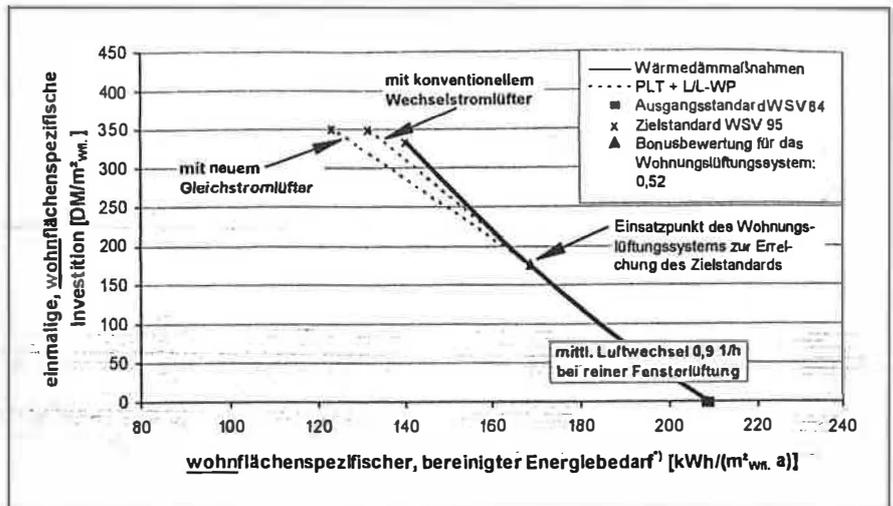


Bild 8 | Vergleich der Effizienz von Wechselstrom- und Gleichstromlüftern. Beispiel Einfamilienhaus, Ausgangsstandard 1984.

Bei Gebäuden mit großem A/V-Verhältnis (z. B. freistehendes Einfamilienhaus, A/V = 0,92 m⁻¹) sind Wärmedämmmaßnahmen verhältnismäßig kostenintensiv, Wohnungslüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung auf hierzu vergleichbarem und somit konkurrenzfähigem Investitionsniveau (wiederum bezogen auf kWh eingesparter Energie) ausführbar.

Bei Gebäuden mit kleinerem A/V-Verhältnis (z. B. großes Mehrfamilienhaus, A/V = 0,51 m⁻¹) sind Wärmedämmmaßnahmen hingegen günstiger durchzuführen als Wohnungslüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung.

Der Einfluß des wärmetechnischen Ausgangsstandards eines Gebäudes auf die Maßnahmeneffizienz ist in Bild 9 (Typgebäude „freistehendes Einfamilienhaus, Ausgangsstandard 1984 und Ausgangsstandard 1995“) ersichtlich. Je höher

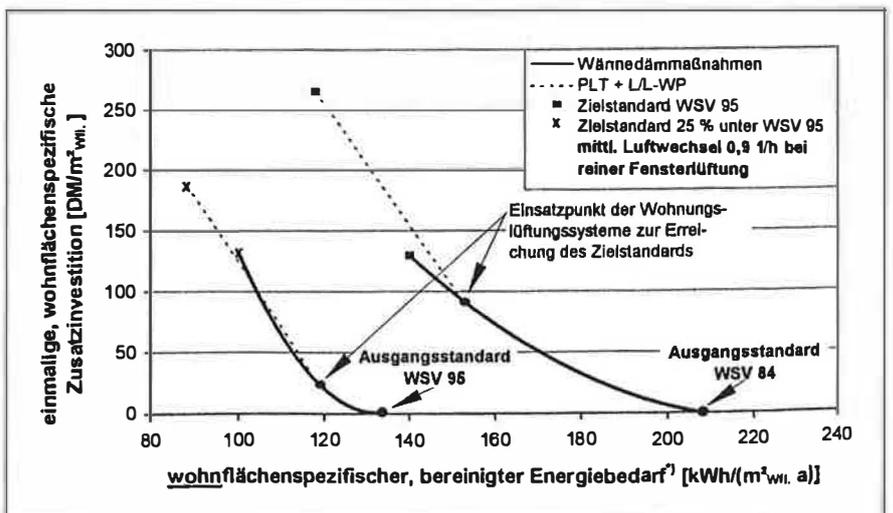
Standard der Wärmedämmung im Ausgangspunkt ist, um so günstiger sind Wohnungslüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung im Vergleich zu Wärmedämmmaßnahmen.

Zusammenfassend ist zu vermerken:

- je schlechter der bauphysikalische Ausgangszustand eines Gebäudes ist, um so günstiger schneidet die Ausführung von Wärmedämmmaßnahmen (bezogen auf kWh eingesparter Energie) gegenüber Wohnungslüftungssystemen mit Wärmerückgewinnung ab
- je besser der bauphysikalische Ausgangszustand eines Gebäudes ist, um so günstiger schneiden die Ausführungen der Wohnungslüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung (bezogen auf kWh eingesparter Energie) gegenüber reinen Wärmedämmmaßnahmen ab

Bild 9 | Maßnahmen-effizienz bei Zusatzinvestitionsbetrachtung. Beispiel Einfamilienhaus, Ausgangsstandard 1984 und Ausgangsstandard 1995.

PLT: wohnungszentrales Zu- und Abluftsystem mit Plattenwärmeaustauscher
 PLT + L/L-WP: wohnungszentrales Zu- und Abluftsystem mit Plattenwärmeaustauscher und Luft/Luft-Wärmepumpe
 L/W-WP: dezentrale Zuluft und wohnungszentrales Abluftsystem mit Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Wärmeübergabe an das Heizungs- (und Warmwasser-)System



Wohnungslüftung mit
Wärmerückgewinnung

- wird bei reiner Fensterlüftung von hygienisch vergleichbarer Luftqualität wie bei Wohnungslüftungssystemen mit Wärmerückgewinnung ausgegangen, schneiden Wohnungslüftungssysteme deutlich günstiger ab als im Betrachtungsfall zahlenmäßig identischer Luftwechselraten.
- wird bei reiner Fensterlüftung extrem am Luftwechsel gespart, können Wohnungslüftungssysteme aus wirtschaftlicher Sicht keine konkurrenzfähige Alternative zu Wärmedämmmaßnahmen darstellen.

Die zusammenfassende Bewertung betrachtet Kostenkennwerte als Bewertungsmaßstab. Im Einzel-

fall hängt eine Entscheidung, ob reine Wärmedämmmaßnahmen oder eine Kombination aus Wärmedämmmaßnahmen und Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung an einem Gebäude durchgeführt werden sollen, von einer Reihe weiterer Kriterien ab. Beispielhaft sind hier zu nennen:

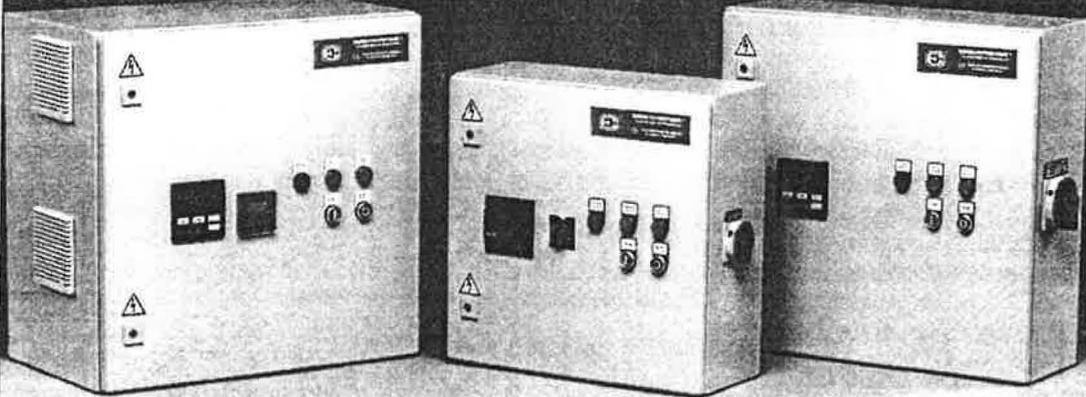
- nicht in allen Fällen ist eine Realisierung aller untersuchten Wärmedämmmaßnahmen am Gebäude möglich. Eine Kellerdeckendämmung kann beispielsweise durch verlegte Rohrleitungen oder eine Gebäudeausführung mit Tiefgarage erschwert oder verhindert sein. Ebenso kann die Ausführung einer Außenwanddämmung

u. U. zu baurechtlichen Problemen führen (Fassadenversatz, Denkmalschutz).

- ästhetische Gesichtspunkte relativieren die wärmetechnischen Vorteile einer Außenwanddämmung (übermäßig tiefe Fenster- und Türleibungen, Fassadenversatz)
- trotz erhöhter Kosten können Umweltaspekte für die Ausführung einer Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung sprechen: ein gegenüber reinen Wärmedämmmaßnahmen nochmals reduzierter Energiebedarf mindert zugleich die mit der Gebäudebeheizung verbundenen Emissionen. [H 641]

ENGELTHYROTEMP®

Temperaturregel- und Steuerschränke



Für Heizungs- und Lüftungsanlagen mit Elektro-Lufterwärmern
Lieferung kurzfristig! Geprüft nach EMV-Richtlinien (89 / 336 / EWG)

Neuer Katalog EL 2020 - Bitte kostenlos anfordern.



KUNO ENGELS Vertriebs-GmbH
Postfach 100 - D-42799 Leichlingen

Telefon 02174 / 7 90 00
Telefax 02174 / 790 010

