

Ziel der Untersuchung ist die Bereitstellung fundierter Aussagen über die energetische und kostenmäßige Effizienz von Wohnungslüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung und/oder Wärmedämmmaßnahmen an Wohngebäuden für das Gebiet Nordrhein-Westfalens. Hierbei wird – unter Bewertung nach DIN EN 832 (Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden) und der Wärmeschutzverordnung 95 – für typi-

sche Gebäude im Wohnungsbestand sowie für ausgewählte Neubauten geprüft, inwieweit die Installation einer Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung anstelle von bauphysikalischen Maßnahmen oder in Ergänzung zu bauphysikalischen Maßnahmen eine günstigere Effizienz aufweist. Zielsetzung für die untersuchten Typgebäude des Gebäudebestands ist die Erfüllung der WärmeschutzV 95 (Bilanzverfahren), für den Neubau eine Verbesserung in Richtung Niedrigenergiehausstandard, der die Anforderungen der

WärmeschutzV 95 (Bilanzverfahren) um ca. 30% unterschreitet. Dies ist im Rahmen der Untersuchung der Typgebäude durch die AIVC 10844 Maßnahmen an der Gebäudehülle oder durch Verbesserung der Typgebäude auf die Zielvorgaben durch Wohnungslüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung bei reduzierten Wärmedämmmaßnahmen erreicht.

Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung

Teil 1: Ersatz oder Ergänzung zum passiven Wärmeschutz im Gebäudebestand?

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

Untersuchte Gebäude

Das untersuchte Gebäudespektrum ist in sieben Typgebäude untergliedert, die charakteristische Unterschiede in der Relation Hüllfläche zu Gebäudevolumen widerspiegeln. Diese Typologie ist im Rahmen des BMBF-Vorhabens IKARUS (Instrumente für Klimagasreduktionsstrategien) mittels einer umfangreichen Auswertung des Gebäudebestandes erarbeitet worden: in den Auswertungen des Statistischen Bundesamtes (STBA), Wiesbaden, sind sämtliche Wohngebäude des Gebäudebestandes der BRD in Größenklassen zusammengefaßt. Für jede Größenklasse ist ein Typgebäude ermittelt, welches die Klasse statistisch repräsentiert und sich dabei in signifikanter Weise hinsichtlich der raumwärmetechnisch relevanten Kenngrößen von den Typgebäuden der anderen Größenklassen unterscheidet. Den Typgebäuden können weitgehend alle Wohngebäude zugeordnet werden. Neben dem Verhältnis Hüllfläche zu Gebäudevolumen (A/V-Verhältnis) zählen zu den erfaßten geometrischen Kennwerten: Brutto- und Nettogrundfläche, Wohnfläche, Brutto- und (be- und entlüftetes) Nettoraumvolumen, Dach- bzw. oberste Geschoßdeckenfläche, Außenwandfläche, Fensterfläche nach Himmelsrichtungen sowie Kellerdeckenfläche.¹⁾

Es ergeben sich folgende repräsentative Typgebäude:

- Freistehendes Einfamilienhaus (EFH)
- Doppelhaushälfte (DHH)
- Reihenmittelhaus (RMH)

- Zweifamilienhaus (ZFH)
- Kleines Mehrfamilienhaus mit 3 bis 6 Wohneinheiten (KMH)
- Großes Mehrfamilienhaus mit 7 bis 12 Wohneinheiten (GMH)
- Hochhaus: Mehrfamilienhaus mit 13 und mehr Wohneinheiten (HOH)

Um den Gebäudebestand umfassend in die Untersuchung einbeziehen zu können, ist neben der *geometrischen* Definition der repräsentativen *bauphysikalische* Standard für jedes Typgebäude über bestimmte Zeiträume der Errichtung standardisiert festzulegen. Aus diesem Grund sind vier Baualtersklassen definiert, die eine eindeutige Klassifizierung jedes Typgebäudes hinsichtlich seines bauphysikalischen Standards zulassen und sich an den Zeitpunkten des Inkrafttretens entsprechender Verordnungen orientieren. Im einzelnen sind dies:

- Gebäudebestand:
- Baualtersklasse 1: 1969–1977 Anwendungszeitraum der DIN 4108, Wärmeschutz im Hochbau, Ausgabe 1969
 - Baualtersklasse 2: 1978–1983 Anwendungszeitraum der ersten Wärmeschutzverordnung von 1978
 - Baualtersklasse 3: 1984–1994 Anwendungszeitraum der ersten Novellierung der Wärmeschutzverordnung von 1984

Neubau:

- Baualtersklasse 4: ab 1995 Anwendungszeitraum der zweiten Novellierung der Wärmeschutzverordnung von 1995

Gebäude vor 1969, die sich zunächst nicht in dieser Klassifizierung einordnen lassen, können im *nicht sanierten Zustand* der Baualtersklasse 1 zugewiesen werden. Dies ergibt sich aus zwei Gründen: zum einen sind Gebäude vor 1969 aus wärmetechnischer Sicht nicht oder nur geringfügig schlechter ausgeführt als Gebäude der Baualtersklasse 1, wie weitere Untersuchungen der Energiebedarfswerte von Gebäuden belegen.²⁾ Zum anderen war es in erster Linie nicht Intention der DIN 4108, Ausgabe 1969, den Energiebedarf von Wohngebäuden im Sinne einer Wärmeschutzverordnung zu reduzieren, sondern Bauschäden infolge von Tauwasser, Frostschäden u. ä. zu verhindern.

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. Reiners sind Mitarbeiter der VEW Energie AG Dortmund, Abteilung HVKS At.

¹⁾ Erhorn, H.; Reiß, J.: Stand und Tendenzen der Neubautätigkeit in Deutschland. Projektbericht 5-13 des IKARUS-Forschungsvorhabens, ISSN-Nr. 0946-0012, Jülich 1992

²⁾ Nikolić, V.: Bauliche Maßnahmen zur verstärkten Sonnenenergienutzung im Wohnungsbau. Forschungsvorhaben in Zusammenarbeit mit Prof. Dr.-Ing. habil. Rouvel und Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Schaefer im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF). Veröffentlichung im Rahmen der Reihe „Bau und Energie“ (ET 5244 A). Hrsg.: Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, Köln 1983

Schrade, H. J.; von Seidlein, P. C.: Freistehende Einfamilienhäuser im Landkreis Freising und ihre energierelevanten Merkmale. Veröffentlichung im Rahmen der Reihe „Bau und Energie“ (ET 5244 A). Hrsg.: Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF), Köln 1981

Füeg, F.: Typologie von Mehrfamilienhäusern nach energetischen Gesichtspunkten. Veröffentlichung im Rahmen der Reihe „Bau und Energie“ (ET 5244 A). Hrsg.: Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF), Köln 1981

Bereits sanierte Gebäude älteren Baualters sind dementsprechend, je nach Umfang der wärmetechnischen Sanierungsmaßnahmen, einer der angeführten Baualtersklassen 2, 3 oder 4 zuzuordnen.

Wärmedämmmaßnahmen

Als Wärmedämmmaßnahmen am Gebäude sind Verbesserungen an den Hüllelementen Außenwand (z. B. Wärmedämmverbundsystem mit Polystyrol), Fenster (z. B. verbesserter k-Wert 1,4 W/m² K), Dach (z. B. Zwischen- und Untersparrendämmung mit Mineralfaserdämmstoff) sowie Kellerdecke (Polystyrol-dämmschicht) berücksichtigt. Die Investitionen für die baulichen Maßnahmen sind aus dem BMBF-Vorhaben IKARUS entnommen, wobei auf das Preisniveau Ende 1995 umgerechnet wird.³⁾

Zur Kostenermittlung sind die Flächenwerte der einzelnen Hüllelemente aus den Durchschnittswerten der verschiedenen Typgebäude abgeleitet. Als Durchschnittswerte fließen z. B. bei der Fassade ein: geschlossene Fassadenfläche, Fensterfläche, Sockellänge, Dachrandabschluß etc. Dieses Verfahren gewährleistet, daß auch alle relevanten Baunebenleistungen (z. B. Sockelabschluss bei Außenwanddämmung) repräsentativ erfaßt und bewertet werden. Zusätzlich werden auch die Baunebenkosten (Beratung, Planung, Bauüberwachung) berücksichtigt. Die Gesamtkosten des modularen Elementes sind im Zuge dieser Arbeit auf Einheitspreise pro m² Wohnfläche umgerechnet.

Im Rahmen der Kostenermittlung für wärmetechnische Maßnahmen wird zwischen Gesamtinvestitionen und Zusatzinvestitionen unterschieden:

Als *Gesamtinvestitionen* sind in den Ergebnissen die gesamten Kosten definiert, die entstehen, wenn an einem Gebäude eine wärmetechnische Maßnahme durchgeführt wird. Darin sind sämtliche Kosten für Umbauarbeiten, die mit der wärmetechnischen Maßnahme verbunden sind, enthalten. Dies umfaßt beispielsweise die sog. Sowiesoinvestitionen für Baustelleneinrichtung, Gerüstvorhaltung und Außenputz bei einer Außenwanddämmung, die im Zuge einer gegebenenfalls notwendigen Außenputzerneuerung im Renovierungszyklus ohnehin (= sowieso) anfallen.

Als *Zusatzinvestitionen* für eine wärmetechnische Maßnahme sind die Differenzkosten zwischen Gesamtinvestitionen und Sowiesoinvestitionen definiert. Beispielhaft sind die *zusätzlich* anfallenden Kosten zu nennen, die für eine Außenwanddämmung aufzuwenden sind, falls die Maßnahme im Zuge einer ohnehin notwendigen Außenputzerneuerung erfolgt. Ist eine Maßnahme nicht in direktem Zusammenhang mit ohnehin notwendigen Renovierungsarbeiten ausführbar (z. B. Kellerdeckendämmung, Zwischen-/Untersparrendämmung im Dachbereich, sämtliche in dieser Arbeit untersuchten Wohnungslüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung), so sind Zusatz- und Gesamtinvestitionen identisch.

Die Ausweisung der *Zusatzinvestitionen* wird vorgenommen, da bei Gebäuden der *Baualtersklassen 1 und 2* z. T. bereits Renovierungsmaßnahmen durchzuführen sind. Die Kosten für Wärmedämmmaßnahmen, die im Zuge der Renovierung vorgenommen werden, sind hierbei entsprechend als zusätzliche Kosten (= Zusatzinvestitionen) anzurechnen.

Demgegenüber ist bei Gebäuden der *Baualtersklasse 3* derzeit üblicherweise noch keine Notwendigkeit für Renovierungsmaßnahmen gegeben. Entsprechend ist die Gesamtsumme der Kosten, die im Rahmen einer Maßnahme anfallen, i. a. der

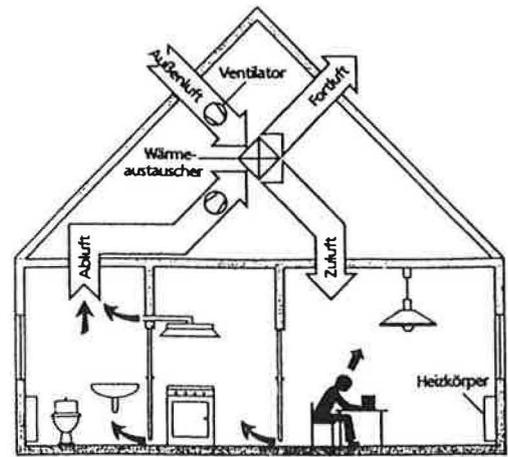


Bild 1 Funktionsprinzip des zentralen Zu-/Abluftsystems mit Plattenwärmeaustauscher.

durchgeführten wärmetechnischen Maßnahme zuzurechnen. Dies ist durch Ausweisung der Gesamtinvestitionen berücksichtigt.

Bei Gebäuden der *Baualtersklasse 4* (Neubau) sind für zusätzliche Wärmedämmmaßnahmen, die über die Anforderungen der WärmeschutzV 95 hinausgehen, die zusätzlich anfallenden Kosten (= Zusatzinvestitionen) ausgewiesen, die gegenüber einer Bauausführung anfallen, die der WärmeschutzV 95 entspricht.

Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung

Es werden drei prinzipielle Systeme der Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung betrachtet:

- *wohnungszentrales Zu- und Abluftsystem mit Plattenwärmeaustauscher (Bild 1)*

Während der Heizzeit wird über die Wohnungslüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung über einen Plattenwärmeaustauscher die aus der Abluft zurückgewonnene Energie über die Zuluft den Wohn- und Schlafräumen zugeführt. Erst bei geringeren Außenlufttemperaturen ist der Betrieb der konventionellen Zusatzheizung erforderlich.

Die Außenluft wird aus der Umgebung über ein Außenluftgitter oder eine Dachhaube angesaugt und über eine Luftleitung zum Lüftungsgerät geführt. Im Lüftungsgerät wird die Außenluft gefiltert und durch den Plattenwärmeaustauscher erwärmt. Die aufbereitete Zuluft gelangt über Luftleitungen zu den Wohn- und Schlafräumen. Die Luft

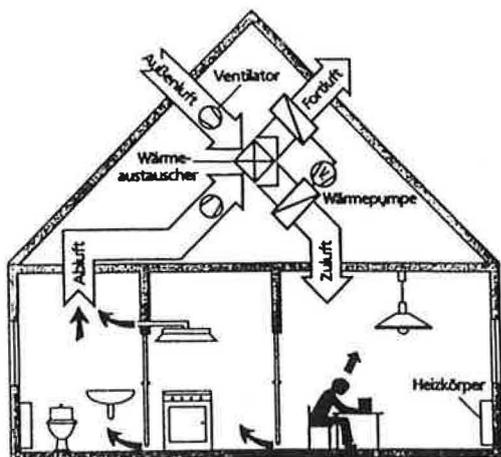
²⁾ Eicke-Hennig, W.: Empirische Überprüfung der Möglichkeiten und Kosten, im Gebäudebestand und bei Neubauten Energie einzusparen und die Energieeffizienz zu steigern. Endbericht für die „Deutsche Bundesstiftung Umwelt“ in Kooperation mit der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ des Deutschen Bundestages, Darmstadt 1994

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

Kolmetz, S.; Ostermeier, U.; Rouvel, L.: Endenergiebedarf der Privaten Haushalte für Raumheizung und Warmwasser in der Bundesrepublik Deutschland. Projektbericht 5-28 des IKARUS-Forschungsvorhabens, ISSN-Nr. 0946-0012, Jülich 1994

³⁾ Gruson, C.; Kerschberger, A.: Kostenermittlung für wärmetechnische Maßnahmen an der Gebäudehülle. Projektbericht 5-10 des IKARUS-Forschungsvorhabens, ISSN-Nr. 0946-0012, Jülich 1992

Bild 2 Funktionsprinzip
des wohnungszentralen
Zu- und Abluftsystems
mit Plattenwärmeaus-
taucher und Luft/Luft-
Wärmepumpe.



strömt aus diesen Räumen durch Überströmöffnungen (in der Regel unterhalb der Türen) über Flur oder Diele in den Abluftbereich, d. h. Küche, Bad und WC. Die Luft wird aus den vorgenannten Räumen abgesaugt und zum Lüftungsgerät geführt.

Die energiereiche Abluft aus den Feuchträumen wird im Lüftungsgerät über den Plattenwärmeaustauscher entwärmt und dann als Fortluft über ein Außenluftgitter oder eine Dachhaube abgeführt. Die aus der Abluft entzogene Wärme wird im Wärmeaustauscher an die Zuluft übertragen.

Der Wirkungsgrad des Wärmeaustauschs mit Plattenwärmeaustauscher ist nahezu unabhängig von der Außentemperatur, so daß die rückgewonnene Wärmeleistung mit steigender Außentemperatur etwa proportional zurückgeht. Die rückgewonnene Wärmeleistung beträgt bei einem Rückgewinnungsgrad von 60% während der Heizperiode im Mittel etwa 340 W je 100 m³/h Volu-

menstrom, wobei für die elektrische Leistungsaufnahme der Ventilatoren mit MC-Lüfter ca. 46 W je 100 m³/h Volumenstrom zu rechnen ist.

- *wohnungszentrales Zu- und Abluftsystem mit Plattenwärmeaustauscher und Luft/Luft-Wärmepumpe (Bild 2)*

Das Funktionsprinzip entspricht weitgehend dem des erläuterten, zentralen Zu-/Abluftsystems mit Plattenwärmeaustauscher. Zusätzlich wird hier die Abluft nach der Entwärmung über den Plattenwärmeaustauscher über den Verdampfer einer Wärmepumpe entwärmt und als Fortluft über ein Außenluftgitter oder eine Dachhaube abgeführt. Die gewonnene Wärme wird zur Nacherwärmung der Zuluft eingesetzt.

Die rückgewonnene Wärmeleistung ist nahezu unabhängig von der Außentemperatur, wobei die Leistung des Plattenwärmeaustauschers mit zunehmender Außentemperatur etwa proportional abnimmt, die Wärmepumpe dagegen bei etwa konstanter elektrischer Leistungsaufnahme eine größere Wärmeleistung abgibt. Die rückgewonnene Wärmeleistung des Gesamtsystems während der Heizperiode beträgt im Mittel etwa 1100 W je 100 m³/h Volumenstrom, wobei für die elektrische Leistungsaufnahme der Wärmepumpe allein mit ca. 210 W je 100 m³/h Volumenstrom sowie für Ventilatoren und Regelung mit ca. 60 W je 100 m³/h Volumenstrom zu rechnen ist.

- *dezentrale Zuluft und wohnungszentrales Abluftsystem mit Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Wärmeübergabe an das Heiz- und Warmwassersystem (Bild 3)*

Die Außenluft wird aus der Umgebung über spezielle Außenwandventile dezentral zugeführt. Die Luft strömt aus den Zuluftzonen durch Überströmöffnungen (in der Regel unterhalb der Türen) über Flur oder Diele in den Abluftbereich, d. h. Küche, Bad und WC. Die Luft wird aus den vorgenannten Räumen abgesaugt und zum Lüftungsgerät geführt. Die energiereiche Abluft aus den Feuchträumen wird im Lüftungsgerät über den Verdampfer der Wärmepumpe entwärmt und als Fortluft über ein Außenluftgitter oder eine Dachhaube abgeführt. Die aus der Abluft entzogene Wärme wird über den Verdichter der Wärmepumpe an einen Vorlaufwasserspeicher des Heizungsverteilsystems bei einem mittleren Temperaturniveau von ca. 35 °C übertragen. Zudem wird in der Regel das Warmwasser bis auf ca. 55 °C vorgewärmt.

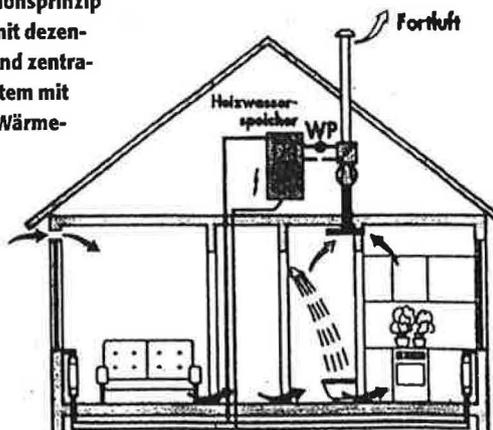
Die rückgewonnene Wärmeleistung ist über die Heizperiode hinweg nahezu konstant und beträgt für das Gesamtsystem im Mittel etwa 1000 W je 100 m³/h Abluftvolumenstrom, wobei für die elektrische Leistungsaufnahme der Wärmepumpe allein mit ca. 225 W je 100 m³/h Volumenstrom sowie für Ventilator, Regelung und Umwälzpumpe mit ca. 50 W je 100 m³/h Volumenstrom zu rechnen ist.

Die für diese Untersuchung zugrundegelegten energetischen Kennwerte für die drei Systeme sind realistische Zielwerte aufbauend auf Meßwerten an derzeit verfügbaren Anlagen. Für die Investitionen der Wohnungslüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung werden Erfahrungswerte mit ausgeführten Anlagen verwendet.

Einheitlicher Bilanzzeitraum für wärmetechnische Verbesserungen

Um Wohnungslüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung und Wärmedämmmaßnahmen vergleichen zu können, ist ein identischer Bilanzzeitraum von 40 Jahren festgelegt. Dieser Zeitraum entspricht der durchschnittlichen technischen Lebensdauer der im Rahmen dieser

Bild 3 Funktionsprinzip
des Systems mit dezentraler
Zuluft und zentralem
Abluftsystem mit
Luft/Wasser-Wärmepumpe.



Arbeit untersuchten Wärmedämmmaßnahmen. Da Teile einer Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung eine deutlich kürzere technische Lebensdauer aufweisen, ist dies mit Hilfe eines *Bewertungsfaktors B* berücksichtigt.

Bei den wärmetechnischen Dämmmaßnahmen ist von einer technischen Lebensdauer von 40 Jahren auszugehen. Bei Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung wird vereinfachend von einem technisch notwendigen Austausch von 2/3 (kostenmäßig) der Anlage nach 20 Jahren ausgegangen. In den kostenseitigen Bewertungen geht dieser Sachverhalt mittels des *Bewertungsfaktors B* für die Investitionen in die Ergebnisse ein.

Für Wärmedämmmaßnahmen gilt:
Bewertungsfaktor B = 1

Für Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung gilt:

Angesetzter kalkulatorischer Zinssatz: 8,00%

- Annuität bei 20 Jahren 10,20%
- Annuität bei 40 Jahren 8,30%
- *Bewertungsfaktor B* = $(2/3 \cdot 10,20 + 1/3 \cdot 8,30) / 8,30 = 1,15$

Abhängig vom angesetzten kalkulatorischen Zinssatz bewegt sich der Bewertungsfaktor zwischen 1,1 und 1,2.

Die *Investitionen für die Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung (Erfahrungswerte mit ausgeführten Anlagen)* sind in den *Ergebnissen* dieser Arbeit für die Kosten gegenüberstellung mit diesem *Be-*

wertungsfaktor B = 1,15 multipliziert. Damit können die so vergleichbar gemachten Investitionen für alle Maßnahmen zusammengesetzt und bei einer Betriebskostenrechnung mit einer Nutzungsdauer von 40 Jahren kalkuliert werden. Durch diese Umrechnung der Investitionen auf eine einheitliche *Nutzungsdauer von 40 Jahren* ist ein direkter Vergleich der Maßnahmen und Maßnahmenbündel möglich. Die sich aus dieser Vorgehensweise ergebenden Investitionen für Wohnungslüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung sind (analog zu den wärmetechnischen Dämmmaßnahmen) pro m² Wohnfläche in den Ergebnissen ausgewiesen.

(wird fortgesetzt)
[H 641]

Der neue Dampf-Luftbefeuchter Condair CP.

Bezahlen Sie immer noch 45 kg/h Dampf, wenn Sie nur 40 kg/h brauchen?



Beim neuen Condair CP entspricht die Dampfennleistung auf das kg/h genau der von Ihnen gewünschten Dampfproduktion. Diese Dampfmenge wird nämlich individuell auf einer Chipkarte, der CP Card, für Sie programmiert. Und damit sind die Zeiten vorbei, in denen Sie für Leistungen bezahlt haben,

die nie in Anspruch genommen wurden. Und dank der innovativen, intelligenten Steuerung ist eine zusätzliche Stetig-Regelung vielfach gar nicht mehr nötig.

Warum also von der Stange kaufen, wenn maßgeschneidert oft günstiger sein kann?

Fordern Sie unsere Unterlagen an.



Axair

Barth + Stöcklein

Axair GmbH Systeme für die Luftkonditionierung
Ein Unternehmen der WMH Walter Meier Holding

Stammhaus München: Tel. 0 89 / 3 26 70-0, Fax 0 89 / 3 26 70-140, eMail axairgmbh@t-online.de

IKK '97: Halle 6,
Stand 112