

Der Wärmetauscher, das Herz der Wohnungslüftungsgeräte

Systeme im direkten Vergleich

Die Energieeffizienz einer Wohnungslüftungsanlage hängt erheblich von der Beschaffenheit des Wärmetauschers ab. Welche Einflussgrößen hier wichtig sind und wie sie die Wirtschaftlichkeit von Anlagen beeinflussen, zeigt dieser Artikel auf.

Wohnungslüftungsgeräte werden seit über 25 Jahren am Markt angeboten. In den vergangenen Jahren wurde diese Gerätetechnik rasant weiterentwickelt. Heute werden solche Komfortlüftungsgeräte mehr und mehr in modernen Wohngebäuden eingebaut. Das Lüftungssystem besteht aus Luftkanälen, über die das Haus mit Frischluft versorgt wird. In Küche, WC und Bad wird verbrauchte Luft (20 °C) abgesaugt – Gerüche und Feuchtigkeit verschwinden. Die Wärme der Abluft wird im Wärmerückgewinner genutzt, um damit die Außenluft zu erwärmen – von 0 °C auf 18 °C. Im Erdwärme-Rohr wird selbst bei -15 °C Außentemperatur die Frischluft bis über 0 °C vorgewärmt. Im Sommerbetrieb bringt der Erdwärmetauscher kühle Luft ins Haus. Durch die konstante Versorgung mit Frischluft wird ein wesentlich besseres Raumklima (sauerstoffreiche Luft, Abfuhr verbrauchter Luft und Feuchte, keine Schimmelpilzgefahr usw.) erreicht als bei der Fensterlüftung. Durch die steigenden Energiepreise wird das Augenmerk vermehrt auf eine Energieeinsparung durch den Wärmerückgewinnungseffekt gelenkt.

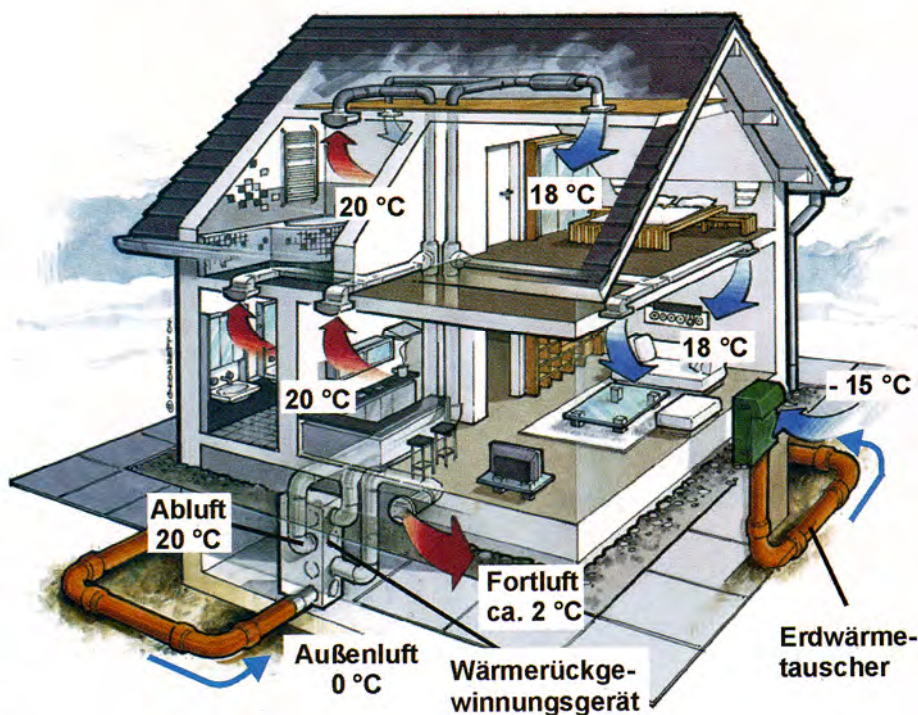


Bild 1 Immer häufiger kommen Wohnungslüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung zum Einsatz

die für die Wärmeübertragung von der Abluft an die Außenluft zur Verfügung steht. Eine Verbesserung der Wärmeübertragung erreicht man durch den **Kreuz-Gegenstrom-wärmetauscher** (Bild 3). Hierbei werden die beiden Luftströme in den Plattenräumen teilweise im Gegenstrom aneinander vorbeigeführt: die Strömung erfolgt über einen längeren Weg – die Kontaktzeit für den Wärmeübertragungsprozess vergrößert sich.

Eine weitere deutliche Verbesserung bezüglich der übertragenen Wärme wurde durch eine Veränderung des Strömungsprofils erreicht: statt in Plattenräumen (Plattenwärmetauscher) werden die beiden Luftströme in quadratischen Kanälen geführt – daher der Name **Kanal-Wärmetauscher** (Bild 4). Die Struktur ist so ausgebildet, dass beide Luftströme hermetisch voneinander getrennt sind. Damit verdoppelt sich die Wärme-

Prinzipien der Wärmetauscher

Das Herzstück solcher Geräte ist der Wärmetauscher – mit seiner Bauform steht und fällt die Effizienz bei der Abwärmenutzung. Hier wird die Wärme der warmen Abluft an die kalte Außenluft übertragen. Zunächst baute man einfache Geräte mit einem Kreuzstrom-Wärmetauscher, bei dem die beiden Luftströme (Abluft und Außenluft) in den Platten-Zwischenräumen geführt werden – ihre Richtungen kreuzen sich – daher: **Kreuzstrom-Wärmetauscher** (Bild 2). Die Strömungslänge ist recht kurz und damit auch die Kontaktzeit,

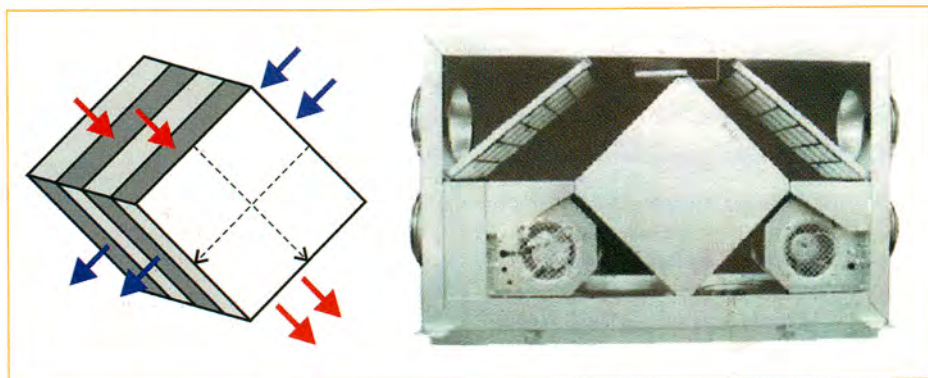


Bild 2 Prinzip des Kreuzstrom-Plattenwärmetauschers – und im Gerät integriert

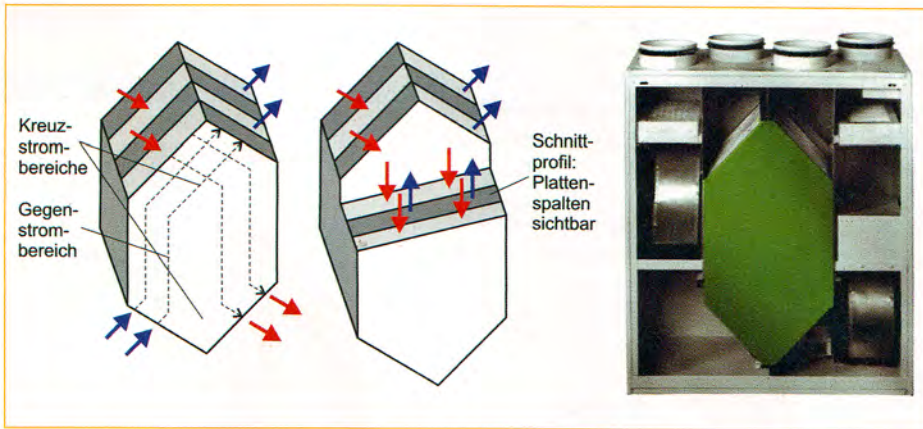


Bild 3 Prinzip des Kreuzgegenstrom-Plattenwärmetauschers – und im Gerät integriert

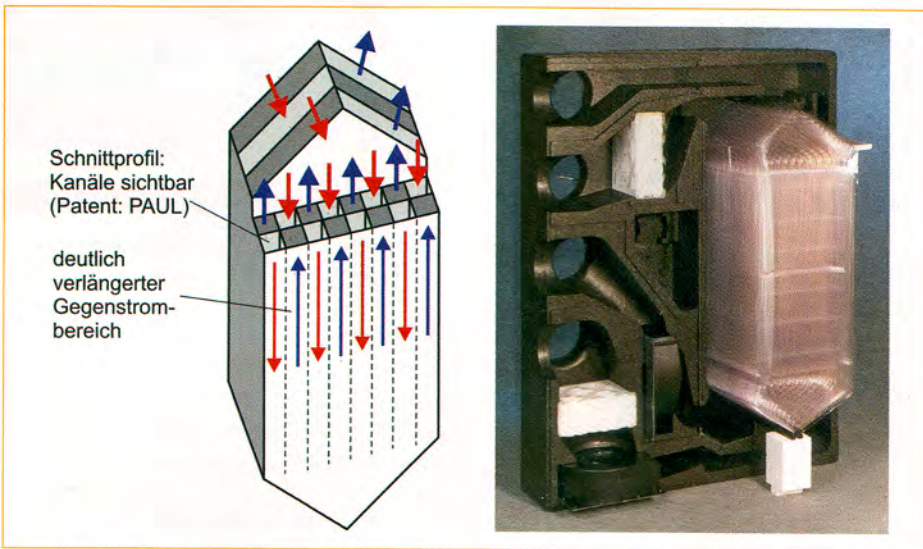


Bild 4 Prinzip des Gegenstrom-Kanalwärmetauschers – und im Gerät integriert

tauschfläche gegenüber den Plattentauschern. Üblicherweise wird dieser Wärmetauscher in einer mehr längs gestreckten Form gebaut. Bei diesem Typ vergrößert sich die Strömungslänge, wodurch auch die Wärmeübertragungszeit erhöht wird – der Gegenstrombereich überwiegt, woraus sich die Bezeichnung **Gegenstromwärmetauscher** ableitet. Dieser Wärmetauschertyp wird seit 13 Jahren gebaut.

Bauform und Effizienz

Die Bauform des Wärmetauschers ist entscheidend für die Effizienz bei der Wärmerückgewinnung: je mehr Wärme aus der Abluft an die Außenluft übertragen wird, umso höher ist der Wärmerückgewinnungsgrad. Dieser Wirkungsgrad wird außerdem noch von der Fläche, die die beiden Luftströme im Wärmetauscher trennen, beeinflusst. Die äußeren Bauformen unterscheiden sich hinsichtlich der Länge des Gegenstrom-Bereiches (Bild 5). Beim Kreuz-Gegenstrom-Wärmetauscher sind

– wie es die Bezeichnung schon ausdrückt – beide Durchströmformen geometrisch nahezu gleichberechtigt vertreten: Der Kreuzstrom an den Spitzen und der Gegenstrom im Mittelteil. Beim reinen Gegenströmer hingegen dominiert der Gegenstromanteil, wenn $\frac{l}{b} \geq 2$ ist. Mit einer solchen Bauform in Verbindung mit einem Kanalwärmetauscher werden die höchsten Wirkungsgrade erreicht.

Strömungsprofil

Üblicherweise werden Plattenwärmetauscher verwendet. Hierbei erfolgt der Wärmeffluss in zwei Richtungen. Bei dem neuartigen Kanalwärmetauscher der Firma Paul strömt die Luft in quadratischen Kanälen durch den Wärmetauscher, dessen Querschnitt einem Schachtelbrett ähnelt. Dieses Kanalstrom-Prinzip ermöglicht einen Wärmetausch nach vier, statt bisher zwei Seiten, was das Gerät effektiver arbeiten lässt als herkömmliche Plattenwärmetauscher (Bild 6). Damit wird die Wärme-tauschfläche pro Raum verdoppelt.

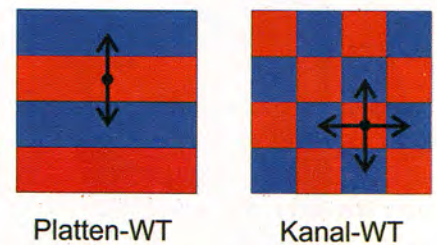


Bild 6 Beim Platten-WT erfolgt der Wärmeffluss nur in zwei Richtungen. Der Kanal-WT ermöglicht die Übertragung in vier Richtungen

Prinzipiskizze				<div> <div></div> Kreuzstrom <div></div> Gegenstrom </div>
	Kreuzstrom-WT	Kreuz-Gegenstrom-WT	Gegenstrom-WT	
Wärmetauscher-Fläche [m²]	4 – 10	6 – 14	17 – 60	<div> l = Länge des Gegenstrom-bereiches im Wärme-tauscher b = Breite des Wärme-auschers </div>
Strömungsprofil				
Wärmerückge-winnung effektiv [%]	50 – 70	70 – 80	85 – 99 (92)	

Bild 5 Die Bauform ist für die Effizienz der Wärmetauscher entscheidend

Wärmetausch-Dichte und Material

Die Wärmetauschdichte f gibt an, wie viel Wärmetauschfläche F in einem bestimmten Wärmetauscher-Rauminhalt V untergebracht ist. Je dichter die Wärmetauscher-Struktur ist (Bild 6), umso mehr Fläche lässt sich unterbringen. Hieraus resultiert wiederum ein höherer Wärmerückgewinnungsgrad. In Standardgeräten sind häufig Metall-Wärmetauscher aus Aluminium oder Stahl eingesetzt. Dies hat den Hintergrund, dass die Wärmeleitfähigkeit λ bei Metallen deutlich höher liegt als bei Kunststoffen.

Wärmeleitzahlen λ verschiedener Wärmetauscher-Materialien:

$\lambda = 221 \text{ W/mK}$	Aluminium (Al)
$\lambda = 0,17 \text{ W/mK}$	Polystyrol (PS)
$\lambda = 0,17 \text{ W/mK}$	PVC
$\lambda = 0,22 \text{ W/mK}$	Polypropylen (PP)

Entscheidend für den Luft-Luft-Wärmetransport ist aber die Wärmeübergangszahl λ auf der warmen und kalten Luftseite. Diese α -Zahl ist auf beiden Seiten sehr klein und daher dominant für den gesamten Wärmedurchgang (k -Zahl), wodurch sich das Phänomen erklärt, dass bei Luft-Luft-Wärmeübertragern die Materialart nur eine untergeordnete Rolle spielt. Bei zwei bauartgleichen Plattenwärmetauschern aus Kunststoff (PP) und Aluminium (Al) ergeben sich nur geringfügige Unterschiede hinsichtlich der Wärmedurchgangszahl k bzw. $15,1 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Will man bei Luft-Luft-Wärmeübertragern die Leistung steigern, muss nicht die Materialart optimiert, sondern die Wärmetauschfläche vergrößert werden (Bild 8). Dies kann durch den Kanalwärmetauscher erreicht werden: Verdopplung der Wärmetauschfläche gegenüber Plattenwärmetauschern bei sonst gleich-

$\Delta\dot{Q}$ = Wärmeeaufnahme	klein	groß
t = Aufenthaltsdauer	kurz	lang
l = Strömungslänge	klein	groß

Effizienz im Bezug zur Korpus-Größe

$A/2$ = freier Querschnitt	klein	groß
$w = \frac{\dot{V}}{A}$ Strömungsgeschwindigkeit	groß	klein
$\Delta p = \zeta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot w^2$ Druckverlust	groß	klein
P_{el} = elektrische Leistungsaufnahme	groß	klein
t = Aufenthaltsdauer	kurz	lang
$\Delta\dot{Q}$ = Wärmeeaufnahme	klein	groß

Wärmetauscher aus ...	<div>Metall</div>	oder	<div>Kunststoff</div>
		?	
Wärmerückgewinnung	gut		gut (bei hoher Fläche)
Gewicht	hoch		gering
Reinigungsmöglichkeit	ja		leicht
Korrosion	möglich		unmöglich
kann Schmutz anhaften	ja		kaum möglich
Primärenergie-Aufwand für die Herstellung	hoch (Aluminium-Elektrolyse)		gering

Bild 7 Die Eigenschaften von Metall und Kunststoff im Vergleich

	Plattenwärmetauscher Kreuzgegenstrom	Kanalwärmetauscher Gegenstrom
	baugleicher Typ von vielerlei Anbietern	Patent: Fa. PAUL Typ „thermos 200 DC“
Korpusgröße V des WT marktüblicher Geräte	15,1 l	107 l
realistische Wärmetauschfläche F marktüblicher Geräte	7 m²	60 m²
Wärmedurchgangszahl k	10,1 W/m²K	14 W/m²K
theoretisch berechneter Wärmetausch	$\Delta\dot{Q} = k \cdot F \cdot \Delta t_m^{(1)}$ $\Delta\dot{Q} = 10,1 \cdot 7 \cdot 8,7 \approx 615 \text{ W}$ $\Delta\dot{Q}$ = zurückgewonnene Wärme Δt_m = mittlere Temperaturdifferenz ¹⁾	$\Delta\dot{Q} = k \cdot F \cdot \Delta t_m^{(1)}$ $\Delta\dot{Q} = 14 \cdot 60 \cdot 1,18 \approx 991 \text{ W}$
Wärmebereitstellungsgrad (Temperaturwirkungsgrad)	$\eta = 59 \%$	$\eta = 94 \%$

¹⁾ Δt_m = Mittelwert aus Δt_1 und Δt_2

Bild 8 Die vergleichende Gegenüberstellung macht die Vorteile für den Kanalwärmetauscher deutlich

Bild 9 Die Effizienz des Wärmetauschers im Bezug zur Korpusgröße

chen Geometrien (Bild 6). Bei Veränderung der Strömungsform ändern sich gleichzeitig der gleichwertige Durchmesser, die α -Zahl und damit die k -Zahl. Hieraus kann man ableiten, dass bei einem intelligenten Strömungsprofil (z.B. der quadratische Kanal beim Paul-Wärmetauscher) die Wärmedurchgangszahl k und die WT-Übertragungsfläche F vergrößert werden. Folglich wird die Effizienz (Wärmerückgewinnungsgrad) merklich erhöht.

Korpusgröße von Wärmetauschern und Lüftungsgeräten

Wenn die Wärmetauschfläche in Luft-Luft-Wärmetauschern so enorme Bedeutung hat (Bild 8), liegt der Gedanke nahe, neben der Wärmetausch-Dichte f auch den Wärmetauscher als Korpus geometrisch zu vergrößern. Damit steigt die Wärmetauschfläche F , aber auch (meist) die gesamte freie Strömungsquerschnittsfläche $A/2$ (Bild 9). Hierbei sinkt die Strömungsgeschwindigkeit w , der Druckverlust Δp wird geringer und die elektrische Leistungsaufnahme P_{el} am Ventilator sinkt. Bei einer Recherche von marktgängigen Wärmerückgewinnungsgeräten für jeweils vergleichbare Einsatzbereiche (Volumenstrombereiche) bestätigt sich dieser Zusammenhang nicht nur hinsichtlich der Korpusgröße des Wärmetauschers, sondern auch des gesamten Geräte-Volumens (Bild 10 und 11).

Gerätetypen verschiedener Hersteller	Volumen- strom- Einsatzbe- reich	WT-Volumen	WT-Fläche	gesamtes Geräte- volumen	effektiver Wärmerück- gewinnungs- grad $\eta_{\text{eff}}^{1)}$	Leistungs- aufnahme P_{el}	Geräuscheschall- druckpegel in 1 m Entfernung
	[m³/h]	[l]	[m²]	[l]	[%]	[W]	[dB(A)]
1	50 – 300	107	60	390	92	44	25,7
2	50 – 260	37	44	252	78	59	34,8
3	90 – 230	15,1	7	166	57,7	58	40,4
4	80 – 285			268	73	50	39
5	50 – 295		12	134	~74	86	44
6	63 – 280	33,4	11	134	74	~82	43
7	90 – 300		10	181	76	58,2	43

1) $\eta_{\text{eff}} = \frac{t_{\text{Ab}} - t_{\text{Fo}} + \frac{P_{\text{el}}}{\dot{m} \cdot c_p}}{t_{\text{Ab}} - t_{\text{Au}}}$ (ablufseitig! gemessen)

Bild 10 Auswirkungen von Wärmetauscherfläche und Gerätevolumen auf Wärmerückgewinnungsgrad, Leistungsaufnahme und Gerätegeräusche

Aus der Gleichung zur Errechnung der übertragenden Wärmeleistung: $\Delta \dot{Q} = k \cdot F \cdot \Delta t_m$ lässt sich ableiten, dass die vergrößerte Fläche F eine höhere Wärmeübertragungsleistung $\Delta \dot{Q}$ nach sich zieht, selbst wenn sich Δt_m (mittlere Temperaturdifferenz zwischen kaltem und warmem Luftstrom) etwas verkleinert. Daraus resultiert dann auch der erhöhte effektive Wärmebereitstellungsgrad η_{eff} bei größerer Wärmetauscherfläche F . Bild 10 zeigt, wie bei sieben marktgängigen Wärmerückgewinnungsgeräten bei größer werdender Wärmetauscherfläche der effektive Wärmebereitstellungsgrad η_{eff} steigt.

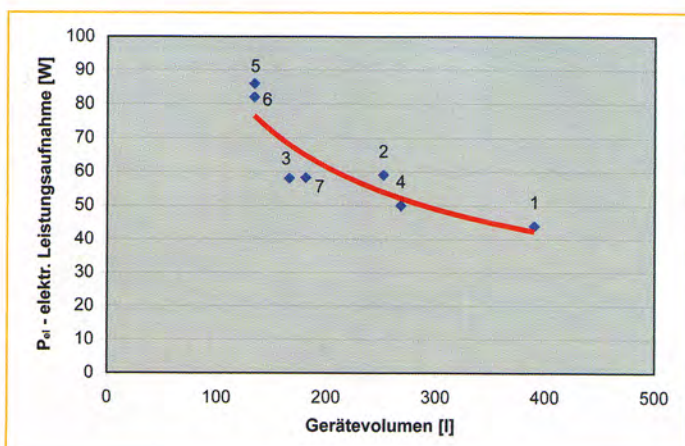
Stromverbrauch und Gerätevolumen

Die sieben verglichenen Gerätetypen sind für den gleichen Einsatzbereich (Volumenstrom 50 bis 300 m³/h) bestimmt. Wenn sich der gleiche Volumenstrom durch einen kleineren Wärmetauscher (WT-Volumen niedrig) bzw. durch ein kleines Gerätevolumen hindurchzwingt, entsteht eine höhere Luftgeschwindigkeit w , was wiederum zu einem anstei-

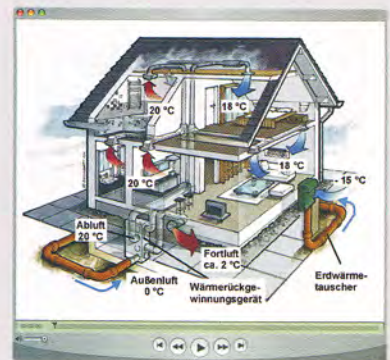
genden Druckverlust und Stromverbrauch führt (elektrische Leistungsaufnahme P_{el} (Bild 11)). Das kleinere Geräte- bzw. Wärmetauscher (WT)-Volumen führt zu einer größeren Luftgeschwindigkeit und damit auch zu erhöhter Turbulenzbildung, welche eine höhere Geräuscentwicklung nach sich zieht (Bild 10).

Wärmerückgewinnungsgeräte für Wohnungslüftung weisen deutliche Unterschiede hinsichtlich ihres Wärmerückgewinnungsgrades auf. Dies hängt nicht von der Materialart und der Wärmeleitfähigkeit λ des Wärmetauschermaterials (Aluminium oder Kunststoff) ab. Viel mehr hat der luftseitige Wärmeübergang α den gewichtigen Einfluss auf den Wärmedurchgang k . Da aber der luftseitige Wärmeübergang über die Stellenschraube Luftgeschwindigkeit kaum erhöht werden kann (mit der Strömungsgeschwindigkeit steigt der Ventilator-Stromverbrauch und die Geräte-Geräusche), ist die wesentliche Größe die Wärmetauscherfläche, die die Wärmerückgewinnungseffizienz deutlich beeinflusst. Die Untersuchung an sieben marktgängigen Gerätetypen zeigt, dass eine vergrößerte Wärmetauscher-Fläche deutlich den Wirkungsgrad η_{eff} verbessert. Aber auch das größere WT-Volumen (Korpusgröße) und das

Bild 11 Die Leistungsaufnahme der untersuchten Geräte war vom Gerätevolumen abhängig



Der Film zum Thema



Die vollständige Studie, die die Basis dieses Artikels bildet, kann inklusive der Berechnungen unter www.sbz-online.de unter Downloads bezogen werden. Zudem finden Sie dort auch einen unterhaltsamen Film der zeigt, wie Eberhard Paul die neue Wärmetauschergeneration mit der großen Oberfläche erfunden hat.

www.sbz-online.de → downloads

größere (gesamte) Gerätevolumen wirken sich positiv auf den Stromverbrauch und das Gerätegeräusch aus. Beide Werte sinken bei größeren Wärmetauschern bzw. größeren Geräten.



Dipl.-Ing. **Eberhard Paul** ist Chef der Paul Wärmerückgewinnung GmbH in 08132 Mülsen, Telefon (03 76 01) 39 00, E-Mail: info@paul-lueftung.de, Internet: www.paul-lueftung.net.