



*TwinXchange-System zur energieeffizienten Raumlüftung mit Hochleistungs-WRG mit neu entwickeltem Umschaltregenerator von Howatherm.*

*Das System erreicht einen Temperatúraustauschgrad von bis zu 90 % und ermöglicht zugleich eine Verringerung des Luftvolumenstroms durch eine erzwungene instationäre Raumströmung (diffuses Strömungsfeld).*

Zentrale RLT-Geräte

# Potenzial der Wärmerückgewinnung

**Eine Studie des Umweltcampus Birkenfeld in Zusammenarbeit mit dem Herstellerverband Raumluftechnische Geräte e. V. hat erstmals untersucht, welche primärenergetische sowie markt- und volkswirtschaftliche Bedeutung die jetzt von der EnEV 2009 vorgeschriebene Wärmerückgewinnung bei zentralen raumluftechnischen Geräten hat. Gleichzeitig sind die Erkenntnisse der Studie ein Plädoyer für eine Neubewertung der Wärmerückgewinnung und ihre Gleichstellung mit erneuerbaren Energien im EEWärmeG.**

Wärmerückgewinnungssysteme werden seit Jahren zur effizienten Reduktion des benötigten thermischen Primärenergiebedarfs in raumluftechnischen Geräten und Anlagen eingesetzt. Diese Effizienzmaßnahme gehört spätestens seit Inkrafttreten der Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) [1] am 1. Oktober 2009 explizit zum Stand der Technik: In § 15 werden nun für sämtliche raumluftechnischen Anlagen ab einem Volumenstrom von 4000 m<sup>3</sup>/h Wärmerückgewinnungseinrichtungen entsprechend der Klasse H3 nach DIN EN 13 053 [2] zwingend gefordert.

Und auch gemäß des EEWärmeG [3] wird die Wärmerückgewinnung (WRG) seit dem 1. Januar 2009 als Ersatzmaßnahme faktisch gleichwertig zu den regenerativen Energien bewertet, wenn die Gütekriterien einer Leistungsziffer<sup>1)</sup> von mindestens 10 und ein Übertragungsgrad von mindestens 70 % erreicht werden. Dies unterstreicht deutlich die Bedeutung der WRG.

<sup>1)</sup> Verhältnis der Wärmeleistung zur elektrischen Leistung nach DIN EN 308, Wärmeaustauscher – Prüfverfahren zur Bestimmung der Leistungskriterien von Luft/Luft- und Luft/Abgas-Wärmerückgewinnungsanlagen, Juni 1997

Bisher wurde normativ die Wärmerückgewinnung in verschiedenen Regelwerken durch eine „Sollvorschrift“ gefordert. „Sollen“ bedeutet normativ jedoch „müssen“, wenn man „kann“. Mit dem Inkrafttreten der EnEV 2009 gibt es nun keinen Spielraum mehr, Gründe für den Einsatz oder Nichteinsatz von WRG-Einrichtungen zu suchen.

Neben dem geforderten Temperaturänderungsgrad wird die Effizienz der Wärmerückgewinnung auch durch die maximalen Druckverluste auf den Medienseiten bestimmt. Sowohl die

DIN EN 13053 als auch die VDI-Richtlinie 3803 [4] definieren neben den Mindestrückwärmzahlen die maximalen Druckverluste auf der Luftseite der WRG bei einem ausgeglichenen Massenstromverhältnis. Hierauf nimmt die EnEV 2009 direkten Bezug.

Es stellt sich dabei unter markt- und volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten immer wieder die Frage, welchen Anteil die von der EnEV 2009 erfassten Anlagen am Gesamtprimärenergiebedarf in der Bundesrepublik Deutschland haben. Dies zu beantworten war das Ziel einer umfangreichen Studie, die der Umweltcampus Birkenfeld in Zusammenarbeit mit dem Herstellerverband Raumluftechnische Geräte e.V. erstellt hat [5].

### Nichtwohngebäude

Normativ wird der Bestand an Gebäuden in Wohn- und Nichtwohngebäude (WG und NWG) eingeteilt. Bei den Letztgenannten handelt es sich um Bauwerke, die keine Wohnungen beinhalten und die überwiegend für Nichtwohnzwecke bestimmt sind. Hierzu gehören Büro- und Verwaltungsgebäude, Läden und Kaufhäuser, Kliniken und Krankenhäuser, Schulen und Gewerbebauten und „sonstige Nichtwohngebäude“, wie Universitäts- und Hochschulgebäude, Gebäude von Sportanlagen, Theater, Kirchen und Versammlungsstätten.

Wird mindestens die Hälfte der Gesamtnutzfläche für Wohnzwecke genutzt, gilt das Gebäude als Wohngebäude. Bauten, die nicht von Wänden umschlossen sind, und freistehende selbstständige Konstruktionen gelten nicht als Gebäude und damit auch nicht als Nichtwohngebäude. Die Anzahl der Wohngebäude mit 17,3 Mio. Einheiten ist deutlich größer als der Bestand an Nichtwohngebäuden mit ca. 1,5 Mio. Einheiten (Bild 1). Dieser Sachverhalt ist jedoch nicht entscheidend. Denn es ergeben sich ganz andere Verhältnisse, wenn man die Flächenanteile der Gebäude betrachtet (Bild 2).

Im Rahmen einer Enquete-Studie wurde der Gebäudebestand Deutschlands bis Dezember 1991 beschrieben. Ein Kriterium der Erfassung war u. a. die Verteilung der Gesamtnutzfläche (NF) bezogen auf Nutzungsklassen und Baualtersklassen. Demnach stellen Wohngebäude mit Einfamilienhäusern (EFH), Reihenhäusern (RH) und Mehrfamilienhäusern (MFH) 50,5 % der gesamten bebauten Flächen. Nichtwohngebäude umfassen demnach 49,5 % des bebauten Bestands. Insbesondere Industrie (10 %), Lager (12 %) und sonstige NWG (11 %) stellen die höchsten Anteile dieses Gebäudetyps. Die Flächenverteilungen zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden ist also ausgeglichen. Rund 75 % dieses Bestands wurden vor 1975 errichtet.

Bezogen auf die Raumluftechnik bestehen zwar keine gesicherten Studien zum Anteil der

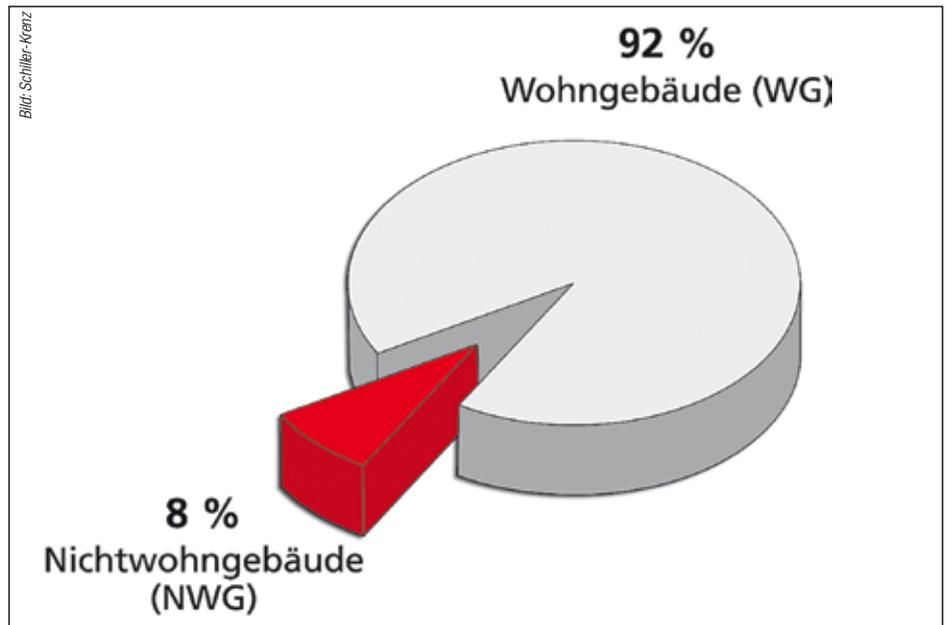


Bild 1 Bestand an Gebäuden in der Bundesrepublik (Quelle: Statistisches Bundesamt 2007).

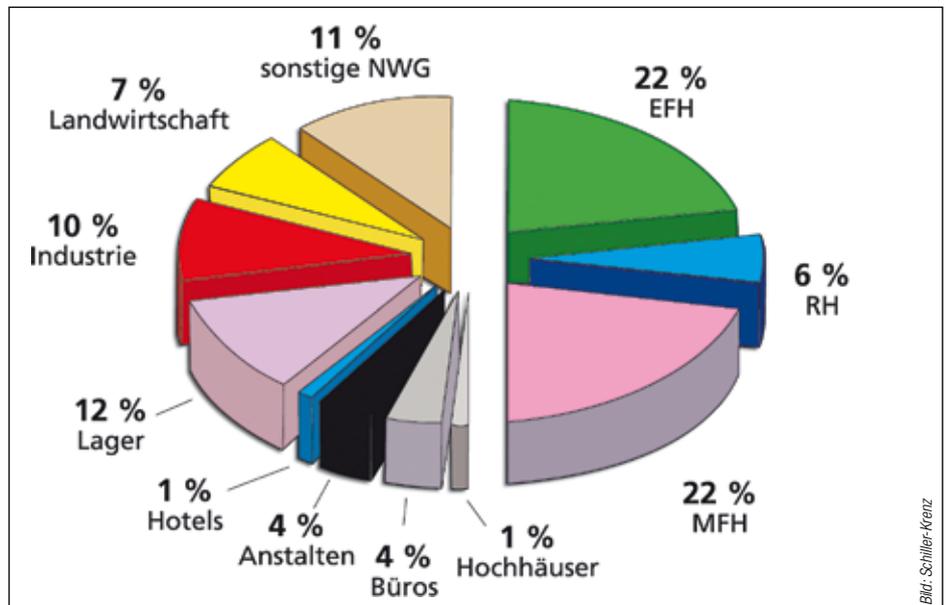


Bild 2 Flächenanteile von Gebäudetypen in Deutschland (Quelle: Enquete-Studie 1992).

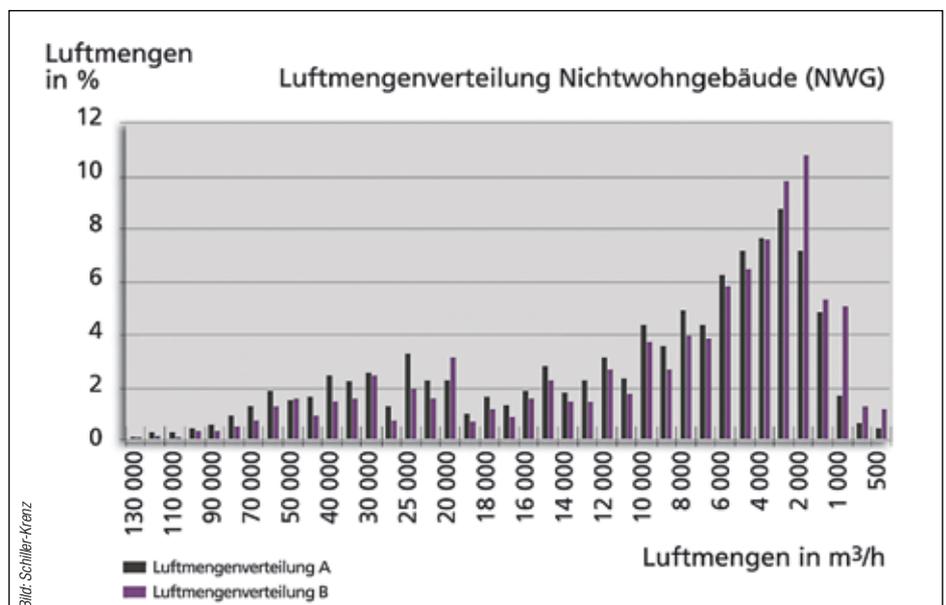


Bild 3 Statistische Luftmengenverteilung von zentralen RLT-Geräten.

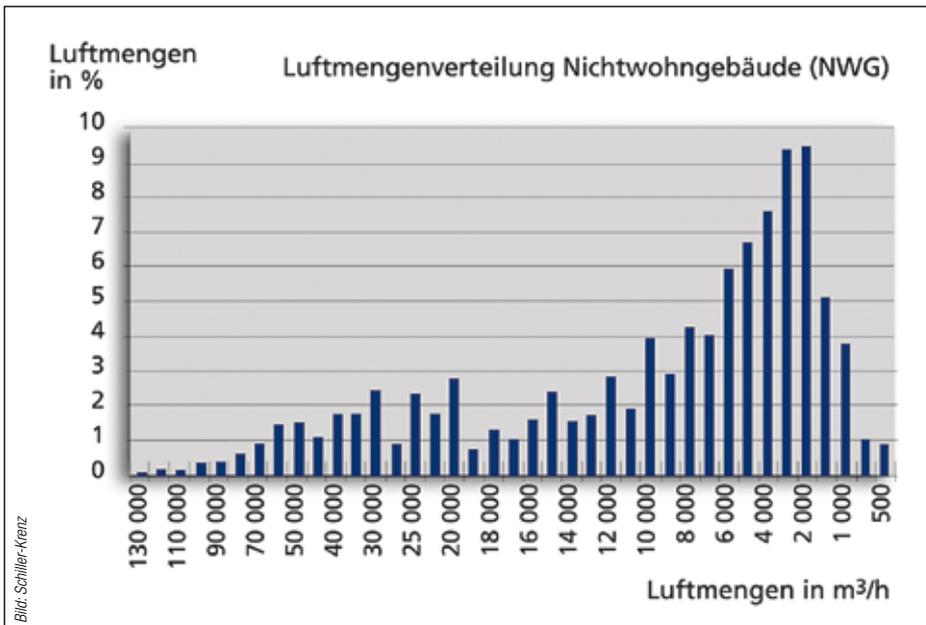


Bild 4 Luftmengenverteilung (Mittelwert) von zentralen RLT-Geräten in Deutschland.

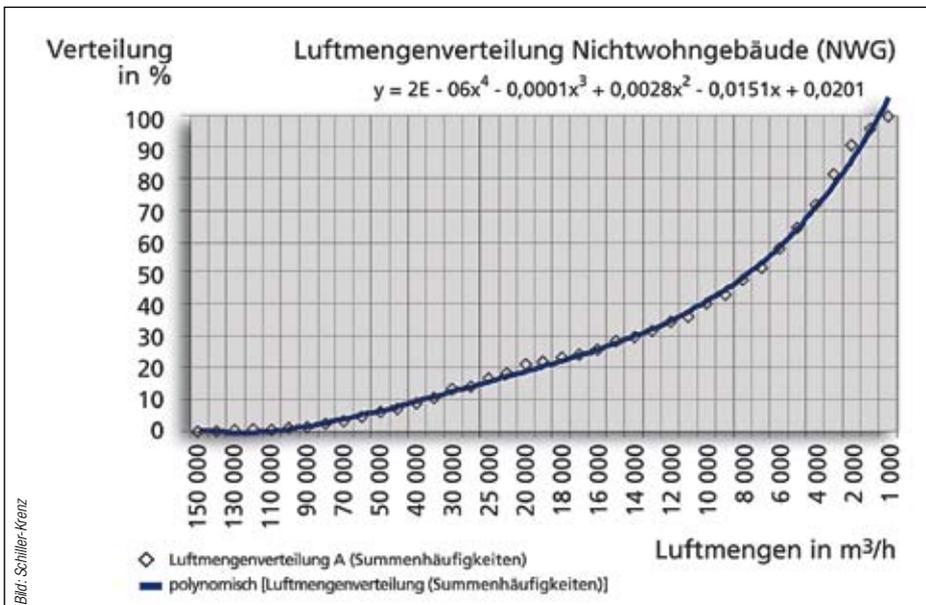


Bild 5 Summenhäufigkeiten der Luftmengen.

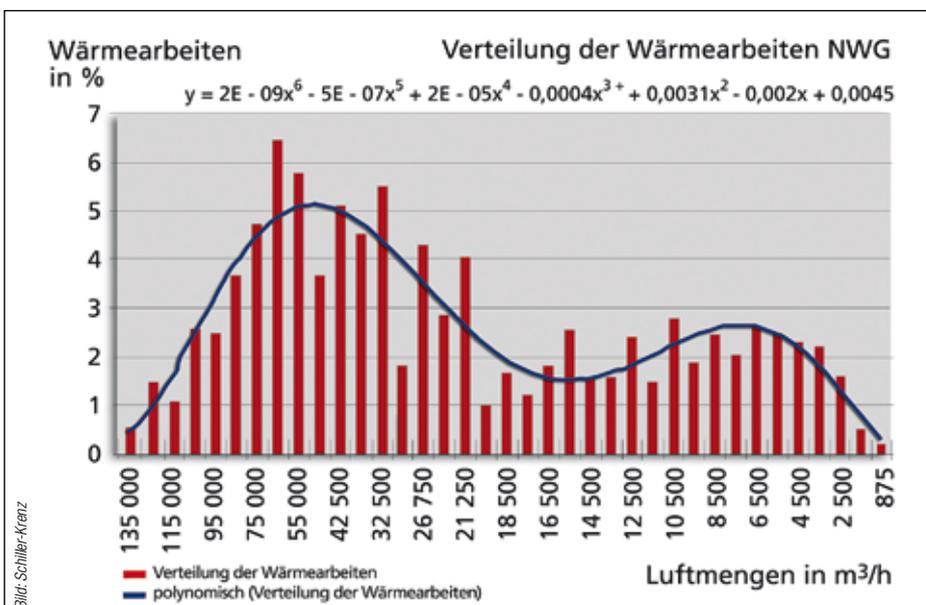


Bild 6 Verteilung der Wärmearbeiten bezogen auf Luftmengen.

Nutzung der Technik in den einzelnen Gebäudetypen, aber es kann als begründet angenommen werden, dass raumluftechnische Anlagen in Nichtwohngebäuden heute wesentlich häufiger verwendet werden als in Wohngebäuden, womit die Wohnraumlüftung eine geringere energetische Bedeutung hat als die Raumluftechnik in Nichtwohngebäuden. Berücksichtigt man die unterschiedlichen Raumhöhen der NWG, kann bezogen auf die Raumvolumen ein energierelevantes Verhältnis von etwa 63,5 % (NWG) zu 36,5 % (WG) abgeschätzt werden.

### Größenverteilung zentraler RLT-Geräte

In Nichtwohngebäuden wird zwischen zentraler und dezentraler Raumluftechnik unterschieden. Da dezentrale Geräte bauartbedingt meistens Volumenströme unter 4000 m<sup>3</sup>/h fördern, werden sie nicht von der EnEV 2009 erfasst.

Im Mittelpunkt der weiteren Betrachtungen steht somit die Anwendung von zentralen raumluftechnischen Geräten. Hierzu wurden zwei Datenbanken bei zwei verschiedenen Herstellern von raumluftechnischen Geräten analysiert. Ziel war es, repräsentative Daten über die Verteilung der tatsächlich in der Praxis verwendeten Volumenströme zu erhalten. Die beiden Datenbanken stellten 30 022 bzw. 53 597 Datensätze zur Verfügung, die in den vergangenen ca. zehn Jahren erfasst worden sind. Eine der Datenbanken erfasst sämtliche in dem Unternehmen eingegangenen Anfragen zu konkreten Projekten. Sie erlaubt damit einen guten Überblick über die üblichen Marktanforderungen.

Die zweite Datenbank beinhaltet sämtliche angebotenen raumluftechnischen Geräte des betreffenden Herstellers der vergangenen Jahre mit einer Gesamtzahl von über 53 000 Geräten. Auch sie repräsentiert den typischen Bedarf an zentralen RLT-Geräten. Beide Verteilungen gibt Bild 3 wieder.

Es ist ersichtlich, dass die Analysen der beiden Datenbanken sehr gut korrelieren. Nur außerhalb des EnEV-Anwendungsbereichs bei Geräten mit weniger als 2000 m<sup>3</sup>/h Luftmenge existieren signifikante Unterschiede in der Verteilung. Über 130 000 m<sup>3</sup>/h sind nur noch geringe Ausprägungen (<0,3 %) zu finden. Praktisch bewegen sich damit die geförderten Volumenströme pro Anlage im Bereich von 500 bis 100 000 m<sup>3</sup>/h. In der weiteren Betrachtung wurde der gewichtete Mittelwert der beiden Analysen herangezogen.

Aus der Luftmengenverteilung (Bild 4) und aus den Summenhäufigkeiten (Bild 5) wird auch ersichtlich, dass die EnEV 2009 nur für 71 % aller RLT-Geräte zutrifft. 29 % aller RLT-Geräte sind kleiner als 4000 m<sup>3</sup>/h. Aus den Einzelwerten je Luftmengenverteilung wurden die Summenhäufigkeiten (Bild 5) bestimmt. Aus dieser Berechnung ergibt sich als Mittelwert der Luftmengen ein Wert

von 7500 m<sup>3</sup>/h bezogen auf die Luftmengenverteilung im Verhältnis zu den Stückzahlen an RLT-Geräten.

### Marktvolumen zentraler RLT-Geräte

Das Marktvolumen zentraler raumluftechnischer Geräte, das durch die Mitgliedsfirmen des Herstellerverbands Raumluftechnische Geräte abgedeckt wird, beläuft sich auf durchschnittlich ca. 370 Mio. Euro (Tabelle 1).

Der Anteil an RLT-Geräten mit WRG belief sich im Durchschnitt der letzten drei Jahre auf ca. 30 %. Jedoch nicht alle RLT-Geräte können mit einer WRG ausgestattet werden. Der Anteil der RLT-Geräte, bei denen diese Ausstattung möglich ist, liegt laut Dissertation Beck [6] bei 79 %. In einer weiteren Studie zur Elektroenergieeffizienz am Umweltcampus Birkenfeld wurde der Wert mit 80,9 % bestätigt [7]. Im Folgenden wird mit 79 % der ungünstigere Wert angesetzt. Dieser repräsentiert damit 34141 Geräte. Von diesen wiederum sind durchschnittlich 37,7 % der RLT-Geräte mit WRG ausgestattet. Erkennbar ist eine stark steigende Tendenz, in 2008 sind schon 46,7 % aller ausstattungs-fähigen Geräte mit WRG ausgerüstet worden. Es ist auch zu vermuten, dass insbesondere kleine Geräte nicht mit WRG-Einrichtungen ausgestattet werden. Da hierzu jedoch keine gesicherten Studien vorliegen, wird im Weiteren eine gleichmäßige Verteilung der WRG-Nutzung vorausgesetzt (worst case-Betrachtung).

Das gesamte Marktvolumen von RLT-Geräten in Deutschland wird nicht von den Mitgliedsfirmen des Herstellerverbands allein abgedeckt. Analysiert man die Bilanzen weiterer deutscher Herstellerfirmen, ergibt sich für diese ein hinzuzurechnendes Umsatzvolumen von 156,4 Mio. Euro/a.

### Erneuerbare Energien im EEWärmeG

Das Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG) definiert in § 2 Begriffsbestimmungen: „(1) Erneuerbare Energien im Sinne dieses Gesetzes sind 1. die dem Erdboden entnommene Wärme (Geothermie), 2. die der Luft oder dem Wasser entnommene Wärme mit Ausnahme von Abwärme (Umweltwärme) [...] (2) Im Sinne dieses Gesetzes ist 1. Abwärme die Wärme, die aus technischen Prozessen und baulichen Anlagen stammenden Abluft- und Abwasserströmen entnommen wird [...]“ Das EEWärmeG findet sich als Download auf: [www.bundesrecht.juris.de/eww\\_rmeg](http://www.bundesrecht.juris.de/eww_rmeg)

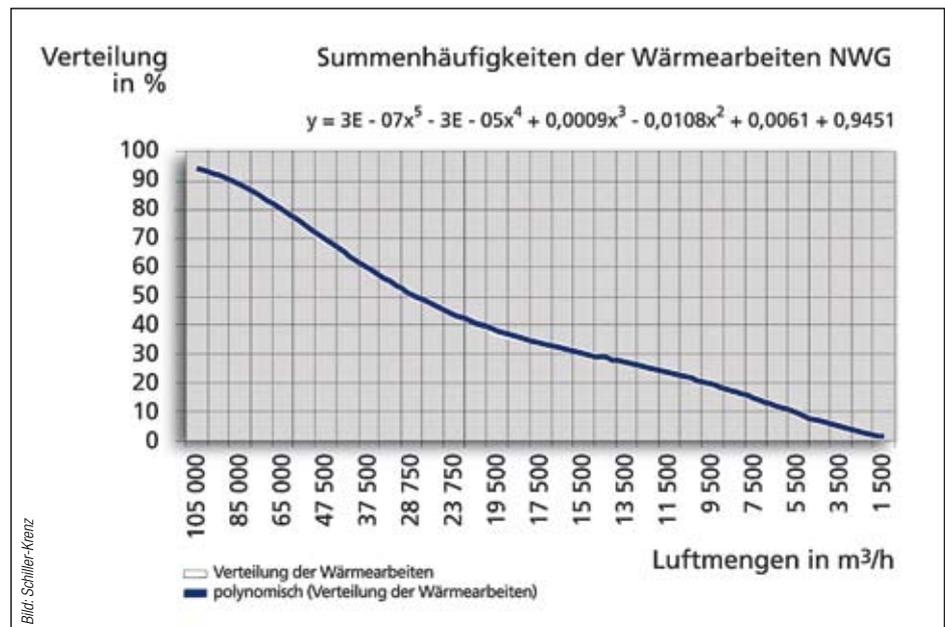


Bild 7 Summenhäufigkeiten der Wärmearbeiten in Nichtwohngebäuden (Bedarf).

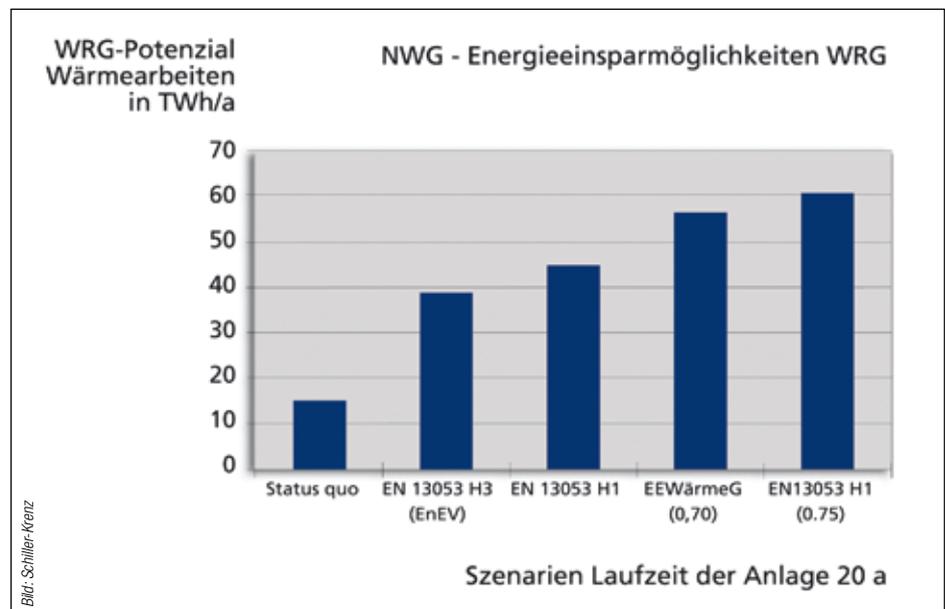


Bild 8 Potenzial der Wärmerückgewinnung in TWh/a [Mrd. kWh/a].

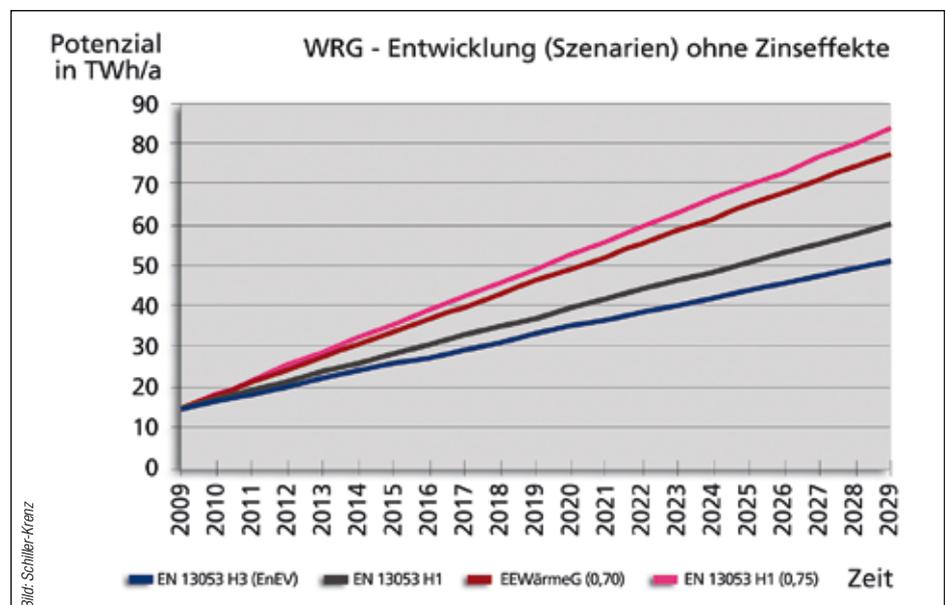


Bild 9 Potenzialentwicklung der Wärmerückgewinnung in TWh/a [Mrd. kWh/a] bei einer Laufzeit von 20 Jahren.

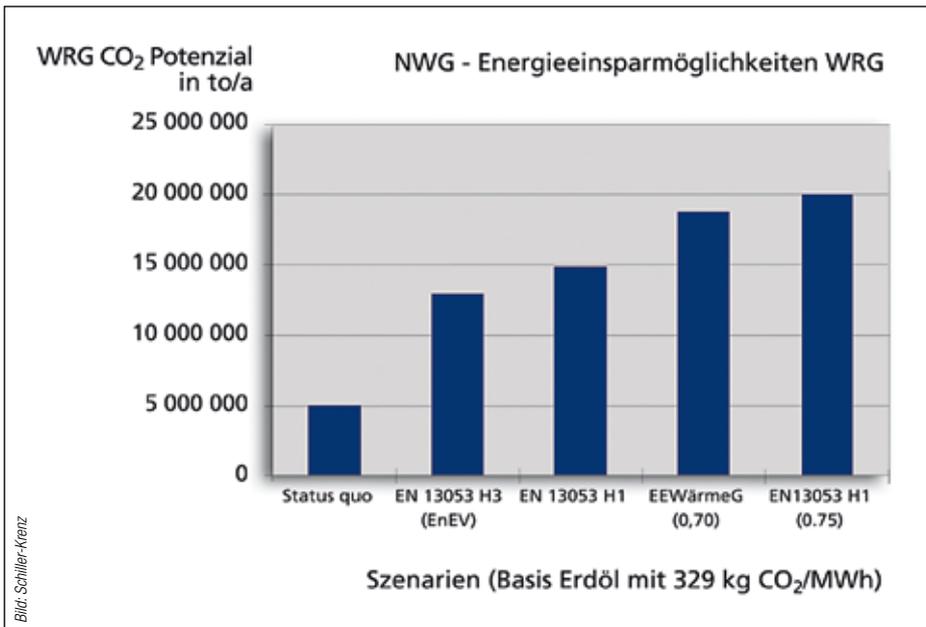


Bild 10 Potenzial der Wärmerückgewinnung, vermiedene CO<sub>2</sub>-Emissionen in t/a.

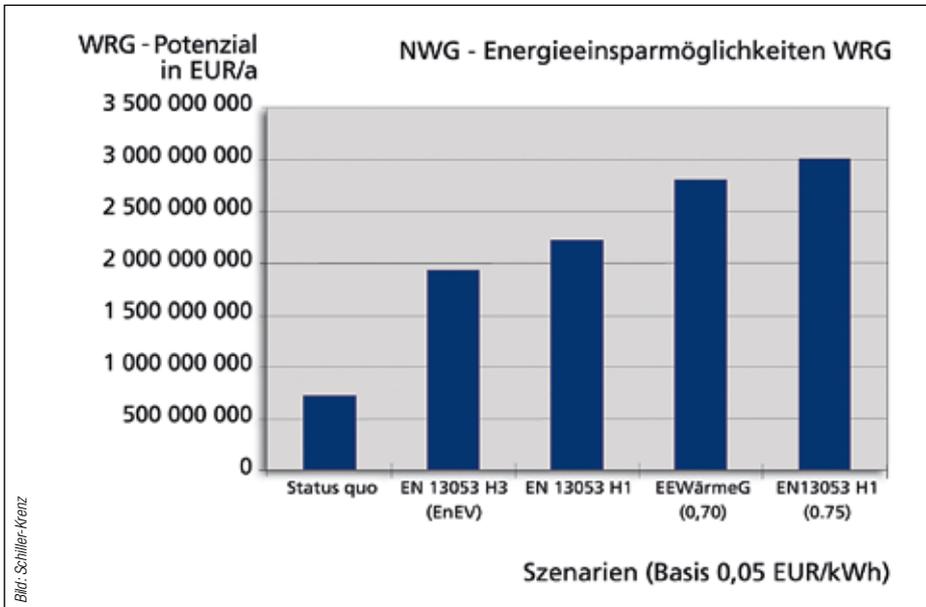


Bild 11 Potenzial der Wärmerückgewinnung in Euro/a.

mengen liegt, sondern der Luftmengenbereich von rund 20 000 bis etwa 100 000 m<sup>3</sup>/h signifikant herausragt (Bild 6).

Bildet man jetzt die Summenhäufigkeiten der Wärmearbeiten (Bild 7), ergibt sich ein Mittelwert aller Anlagen, der nicht mehr bei 7500 m<sup>3</sup>/h liegt, sondern bei 28 750 m<sup>3</sup>/h. Und man erkennt, dass die RLT-Geräte unter 4000 m<sup>3</sup>/h einen wesentlich geringeren Anteil von nur noch 4 % am Gesamtwärmebedarf aller RLT-Geräte haben.

Insofern ist die Luftmengengrenze der EnEV 2009 mit 4000 m<sup>3</sup>/h tolerierbar, wenn es nicht durch Umgehungshandlungen zu einer Verschiebung der bestehenden Luftmengenverteilung kommt. Es wird zugleich ersichtlich, dass insbesondere in Nichtwohngebäuden ein wesentliches Augenmerk auf Anlagen mit großen Luftmengen gelegt werden muss. Denn hier sind die größten Einsparpotenziale zu erreichen. Außerdem sind in großen Anlagen auch komplexe und hocheffiziente WRG-Systeme sehr wirtschaftlich einsetzbar, da bei großen Luftmengen der spezifische Investitionsbedarf geringer ist.

Die Nutzungszeit der RLT-Anlagen wird in der Literatur meist mit 15 Jahren angegeben. Eine Befragung im Herstellerverband ergab eine tatsächliche Laufzeit der Anlagen von mindestens 20 Jahren.

Wenn man nun davon ausgeht, dass der heutige Bestand mit einer Wachstumsrate bezogen auf Stückzahlen von 1 % (38 000 Anlagen in 1997 zu 43 200 Anlagen in 2008) aufgebaut wurde und zusätzlich eine Ausfallquote (Verschrottung etc.) von ebenfalls 1 % angenommen wird, ergibt sich ein abgezinster Multiplikator der Anlagen (Basis 2 %) von  $20 \cdot (1 - 0,02)^{20} = 13,4$  Jahre.

Berechnet man mit diesem Multiplikator statt der linearen Laufzeit den Wärmebedarf der RLT-

An dem Gesamtvolumen des deutschen Markts von rund 530 Mio. Euro/a haben die Mitgliedsfirmen des Herstellerverbands demnach einen Anteil von 70,5 %.

**Wärmebedarf der Raumluftechnik**

Der Wärmebedarf im 24-h-Dauerbetrieb (8760 h/a) der Anlagen liegt bei 31,33 kWh/(m<sup>3</sup>/h)/a [6]. Da RLT-Anlagen jedoch nicht im Dauerbetrieb, sondern meist im Einschichtbetrieb genutzt werden, wurde die durchschnittliche Laufzeit der Anlagen mit 2350 h/a festgelegt. Dafür ergibt sich ein Wärmebedarf von 8,4 kWh/(m<sup>3</sup>/h)/a. Bewertet man die Anzahl der RLT-Geräte nach der vorliegenden Luftmengenverteilung mit dem spezifischen Wärmebedarf, wird deutlich, dass der Schwerpunkt nun nicht mehr bei kleinen Luft-

**Tabelle 1**  
Marktvolumen\* zentraler RLT-Geräte

Jahr	Umsatz Mio. Euro	Anzahl Geräte	mit WRG	Anteil %
2006	323,8	43 759	11 108	25,4
2007	365,5	43 656	11 941	27,4
2008	431,4	42 236	15 569	36,9
Durchschnitt	373,6	43 217	12 873	29,8

\*) der Mitgliedsfirmen des Herstellerverbands Raumluftechnische Geräte

Geräte, ergibt sich ein differenziertes Bild, das in Abhängigkeit von den einzelnen Szenarien bewertet werden muss (Bild 8).

Der Status quo wurde mit den Mindestwerten (Wärmerückgewinnungsgrad) nach DIN EN 13053 H3 berechnet. Gleichzeitig wurde die aktuelle WRG-Nutzungsquote laut Marktabfrage berücksichtigt. Die Säule „(EnEV)“ ergibt sich, wenn zukünftig sämtliche Anlagen mit WRG gemäß Klasse H3 nach DIN EN 13053 ausgestattet werden. Allerdings haben alte Anlagen auch nach EnEV 2009 einen Bestandsschutz, sodass sich erst über die Nutzungszeit von bis zu 20 Jahren das gesamte Potenzial der WRG-Nutzung entfalten kann (Bild 9). Des Weiteren zeigt Bild 9 die Möglichkeiten, die eine verstärkte Nutzung der heutigen Klasse H1 nach DIN EN 13053, der flächendeckende Einsatz der WRG nach EEWärmeG oder die geplante Änderung (Amendment) der Klasse H1 der DIN EN 13053 bieten können.

Würde künftig ein stärkerer Wert auf besonders effiziente WRG-Systeme gelegt, was auch politisch durchsetzbar und wirtschaftlich vertretbar ist, dann könnte das Potenzial von heute ca. 15 auf 60 TWh/a (Amendment EN 13053 H1 mit 0,75) gesteigert werden. Bezogen auf CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale ergibt sich ein ähnliches Ergebnis (Bild 10). Auch monetär lässt sich der Einspar-effekt bewerten (Bild 11).

Aus den Betrachtungen wird deutlich, dass die Wärmerückgewinnung in zentralen raumluftechnischen Anlagen ein erhebliches Potenzial aufweist. Bis zu 20 Mio. t/a CO<sub>2</sub> und bis zu 3 Mrd. Euro/a ließen sich durch die konsequente und hocheffiziente Nutzung der WRG in raumluftechnischen Geräten einsparen. Eine Entwicklung zu immer effizienteren WRG-Systemen ist auch normativ und auch auf europäischer Ebene zu konstatieren und muss politisch im Rahmen der Klimaschutzziele der Bundesregierung aufgegriffen werden.

### Flächenanteil zentraler RLT-Geräte

Das durch RLT-Geräte versorgte Gebäudevolumen, das dem Herstellerverband Raumluftechnische Geräte pro Jahr zugeordnet werden kann, beträgt bei einer angenommenen zweifachen Luftwechselrate 319,2 Mio. m<sup>3</sup>. Berücksichtigt man den Marktanteil des Herstellerverbands von 70,5 %, ergibt sich ein versorgtes Gesamtgebäudevolumen von insgesamt 452,8 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr. Bei einer mittleren Raumhöhe von 2,5 m errechnet sich damit eine Fläche von 181,1 Mio. m<sup>2</sup>. Berücksichtigt man die abgezinste Laufzeit von 13,35 Jahren, errechnet sich eine belüftete Gesamtfläche von 2,418 Mrd. m<sup>2</sup>. Dies entspricht 9,3 % der gesamten Flächen in Nichtwohngebäuden in Deutschland mit insgesamt 26,2 Mrd. m<sup>2</sup>. Dies unterstreicht die große Bedeutung der

zentralen Raumluftechnik, die aufgrund ihres enormen Energieeinsparpotenzials künftig eine immer größere Rolle spielen wird.

### Fazit

Die Studie zeigt, dass die Wärmerückgewinnung aus RLT-Anlagen ein erhebliches Energieeinspar-Potenzial birgt. Auch wird deutlich, dass insbesondere der Nichtwohngebäudebestand einen wesentlichen Beitrag dazu leisten kann. Aufgezeigt wird auch, dass der Markt für große Anlagen ein enormes Einsparpotenzial darstellt und als „schlafender Riese“ bezeichnet werden kann. Denn bei großen Volumenströmen lassen sich hocheffiziente WRG-Systeme mit hoher Wirtschaftlichkeit integrieren, weil dann die spezifische Investition am geringsten ist. Darum müssen gerade hier die politischen Rahmenbedingungen attraktiv gestaltet werden.

Mit der Gültigkeit der EnEV 2009 sind die ersten Ansätze geschaffen worden, die auch im EEWärmeG fortgeführt worden sind. Ein weiteres Ziel muss die Anpassung der Gesetze an die gewonnenen Erkenntnisse sein. Denn die Rückgewinnung von Wärme aus dem Fortluftstrom von Gebäuden ist eine wichtige Maßnahme zur Senkung des Endenergiebedarfs für die Raumwärmebereitstellung. Sie wird allerdings nicht als regenerative Energieform im eigentlichen Sinne anerkannt.

Es ist aber unplausibel, dass Abwärme auf einem höheren Temperatur- und damit Energieniveau als Ersatzmaßnahme und nicht als erneuerbare Energie gemäß EEWärmeG betrachtet wird, während dieselbe Wärme, „nach außen gelüftet“ und durch den Mischprozess mit kühlerer Außenluft abgekühlt, als „Umweltwärme“ und damit als erneuerbare Energie gilt, obwohl letztere unter Aufwand von Energie (z.B. mithilfe einer elektrischen Wärmepumpe) auf das Temperaturniveau der Gebäude gehoben werden muss. Abwärme ist nicht nur darum der Umweltwärme vorzuziehen, sondern auch aus Gründen der effizienten, einfachen und bedarfsgerechten Nutzung.

Es muss deswegen gefordert werden, dass Abwärme als regenerative Energieform im eigentlichen Sinne zu werten ist. Denn durch die Lüftung mit WRG ergeben sich erhebliche Einsparungen des Gesamtenergiebedarfs. Dies stellt diese Studie eindrucksvoll unter Beweis.

Kommen erneuerbare Energien als Primärenergie zum Einsatz, die gefördert werden, so dient die WRG einer wesentlich effizienteren Nutzung der erneuerbaren Wärme, denn in Kombination mit erneuerbarer Energie wirkt die WRG wie eine Effizienzmaßnahme der Heizung und Kühlung. Dies steigert die Rechtfertigung, WRG als regenerative Energie zu betrachten und

zu fördern, weil so der eingesetzte erneuerbare Brennstoff (oder die Solarenergie) einen größeren Nutzen erzielt.

Förderte man WRG in Kombination mit erneuerbaren Energien, wäre es aber widersinnig, diese nicht auch in Verbindung mit fossilen Energien zu fördern, da in diesen Einsatzfällen fossile Brennstoffe und CO<sub>2</sub>-Emissionen in erheblichem Umfang eingespart werden. Der Einbau einer WRG senkt den Heizwärmebedarf und damit den Brennstoffbedarf erheblich. Eine solche Maßnahme ist ein wichtiger Schritt zu einer zukunftsfähigen technischen Gebäudeausrüstung. ■

### Literatur

- [1] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV), Oktober 2009
- [2] DIN EN 13053 Lüftung von Gebäuden – Zentrale raumluftechnische Geräte – Leistungskenndaten für Geräte, Komponenten und Baueinheiten, November 2007
- [3] Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG)
- [4] VDI 3803 Raumluftechnik – Bauliche und technische Anforderungen an zentrale Raumluftechnische Anlagen (VDI-Lüftungsregeln), Juni 2008
- [5] Kaup Christoph: WRG-Studie. Umweltcampus Birkenfeld, FH Trier, in Zusammenarbeit mit dem Herstellerverband Raumluftechnische Geräte e.V., 2009
- [6] Beck, E.: Dissertation: Energieverbrauch, -einsparpotential und -grenzwerte von Lüftungsanlagen, Universität und Gesamthochschule Kassel, 2000
- [7] Studie zur Elektroenergieeffizienz in RLT-Geräten, Umweltcampus Birkenfeld, 2009



**Christoph Kaup**

Dr.-Ing., ist Lehrbeauftragter für Energieeffizienz und Wärmerückgewinnung am Umweltcampus Birkenfeld der FH Trier, Vorstandsmitglied und Obmann für Technik des Herstellerverbands Raumluftechnische Geräte e.V., Geschäftsführender Gesellschafter der Howatherm Klimatechnik GmbH ([www.howatherm.de](http://www.howatherm.de)) in Brücken und Mitglied in verschiedenen Normungsgremien, z. B. DIN EN 13 779, DIN EN 13053, DIN EN 1886 und in Richtlinienausschüssen, z. B. VDI 6022, VDI 3803 und VDI 2071.