



## Energieeinsparung in RLT-Anlagen

### Verbesserung der spezifischen Ventilatorleistung $P_{SFP}$ mit dichteren Luftleitungen

#### Bedeutung der Luftdichtigkeit

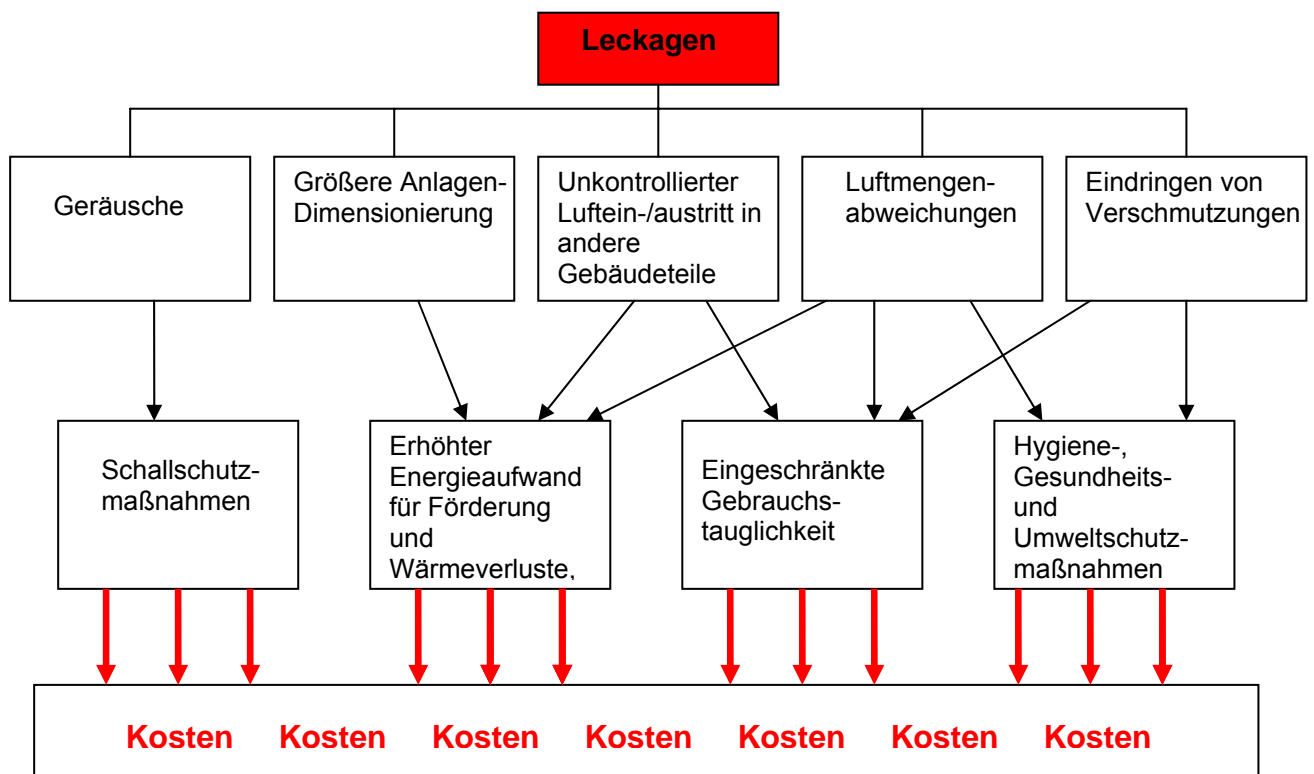
Luftleitungen in raumlufttechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) haben die Aufgabe unter hygienisch und energetisch optimierten Bedingungen Luft zu transportieren, mit der die gewünschte notwendige Raumlüfterneuerung ermöglicht wird.

Dies geschieht in der Regel durch Zufuhr von möglichst sauberer Außenluft unter gleichzeitiger Abfuhr von belasteter Raumluft.

Um die Außenluft zum Luftbehandlungsgerät zu transportieren und weiter dem Raum als Zuluft zuzuführen werden Luftleitungen ebenso benötigt wie für die Ablufführung aus dem Raum. Umluftleitungen kommt zurzeit ebenfalls noch eine hohe Bedeutung zu, die jedoch mit Einführung der DIN EN 13779 aufgrund der dann stark eingeschränkten Verwendungsmöglichkeiten der Raumabluft nicht mehr gegeben sein wird.

Sowohl aufgrund der hygienischen Gesichtspunkte wie insbesondere auch wegen der Energieeinsparung im Hinblick auf die Energieeinsparverordnung muss der Luftdichtigkeit dieser Luftleitungssysteme künftig mehr Beachtung geschenkt werden.

Mangelnde Luftdichtigkeit bewirkt Leckagen, die verschiedene Auswirkungen haben können - aber alle in einem Punkt enden > Mehrkosten:



Die Auswirkungen von Leckagen aufgrund ungenügend luftdichter Luftleitungen sind also vielfältig und sehr umfangreich in ihrer Darstellung.

Näher betrachten wollen wir an dieser Stelle lediglich die normativen Vorgaben für Luftleitungen und die Auswirkungen von Leckagen auf den Energieverbrauch und die Kostensituation.



## Notwendigkeit zur Energieeinsparung

Die in der europäischen Richtlinie Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) 2002/91 festgelegten Energieeinsparungsziele werden über die Energieeinsparverordnung und weiter über Normen und Richtlinien umgesetzt.

Für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen wird dafür in erster Linie die DIN EN 13779 gelten: „Lüftung von Nichtwohngebäuden – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Klima- und Lüftungsanlagen“.

Mit der DIN EN 13779 werden sogenannte SFP-Klassen (Specific Fan Power) definiert; eine europaweit gültige Kenngröße für die Leistungsaufnahme eines Ventilators pro m<sup>3</sup> gefördertes Luftvolumen (Einheit: W·m<sup>-3</sup>·s).

Der SFP-Wert ist also eine (Energie-) Kennzahl für die Qualität einer optimierten kompletten Lüftungs- und Klimaanlage!

Über die Schwierigkeiten die nach DIN EN 13779 vorgesehenen SFP-Standardwerte künftig umzusetzen wurde bereits unter Hinweis auf rechtliche Konsequenzen in der CCI PRINT 01/2004 berichtet und auch im FGK-Status-Report 4 angedeutet.

Durch die Reduzierung von Druckverlusten sowie durch den Einsatz effizienter Ventilator-technik und mit Reduzierung der Leckluftmenge kann der Ventilatorleistungsbedarf reduziert und der SFP-Wert optimiert werden.

Für die Druckverluste werden in der DIN EN 13779 Richtwerte angegeben, die bei der Dimensionierung z.B. mit Unterstützung entsprechender Auslegungssoftware zu realisieren sind.

Die Luftdichtheit einer Anlage wird in der DIN EN 13779 zwar erwähnt und es werden Empfehlungen gegeben; die Dichtigkeit wird aber nicht als direkter Faktor in die Berechnung eingebracht!

Damit wird Planern und ausführenden Firmen leider nur eine ungenügende Hilfestellung zur Anlagenoptimierung und letztendlich Vertragserfüllung gegeben, denn die DIN EN 13779 fordert unter A.8.1:

*„Die vereinbarten Luftvolumenströme (z.B. der Außenluftvolumenstrom je Person) müssen im Aufenthaltsbereich immer eingehalten werden. Undichtigkeiten im Luftleitungssystem und in der Luftbehandlungseinheit müssen bei der Auslegung des Luftvolumenstromes der Ventilatoren berücksichtigt werden.“*

Im Folgenden soll gezeigt werden welches Energieeinsparpotenzial eine Reduzierung des Leckluftvolumens haben kann und welche Auswirkung dies auf die Energiekennzahl SFP hat.

Man beachte, dass mit jedem m<sup>3</sup>-Leckluft aufbereitete Luft vergeudet wird, der Ventilator entsprechend mehr Luft fördern muss, die RLT-Anlage größer dimensioniert sein muss und somit neben den Gestehungskosten vor allem die Betriebskosten höher sind!

## Theoretische Zusammenhänge

Eine Volumenstromänderung wirkt sich auf den Ventilatorleistungsbedarf wie folgt aus:

$$P_2 = P_1 \times \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^3 \quad \text{Beispiel: 10\% mehr Volumen = 33\% höhere Leistungsaufnahme!}$$

$V_1$  theor. ohne Leckagen notwendiger Luftvolumenstrom

$V_2$  Luftstrom mit Leckluft

$P_1$  Ventilatorleistung für theor. benötigten Luftvolumenstrom

$P_2$  Ventilatorleistung mit Leckluft

Die spezifische Ventilatorleistung  $P_{SFP}$  [W·m<sup>-3</sup>·s] errechnet sich nach DIN EN 13779 aus der elektrischen Leistungsaufnahme des Ventilator-motors in W, dividiert durch den Nenn-Luftvolumenstrom durch den Ventilator in m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>.

Die Veränderung des SFP-Wertes bei einem veränderten Luftstrom errechnet sich somit wie folgt aus:



$$\Delta P_{SFP} = \frac{P_2}{V_2} - \frac{P_1}{V_1} \quad \text{Daraus ergibt sich für den SFP eine Funktion } f \left[ \frac{V_2}{V_1} \right]^2 !$$

Die Auswirkung dieses Zusammenhanges wird später mit einem entsprechenden Diagramm verdeutlicht!

### Normen und Stand der Technik bezüglich Luftdichtigkeit

Den Energieeinsparungsbestrebungen wird über die internationale Normung im Bereich der Luftleitungen mit Erweiterung der EUROVENT-Dichtheitsklassen um die „Dichtheitsklasse D“ in der DIN EN 13779, auf Basis DIN EN 12237, schon Rechnung getragen.

Klassifizierung nach DIN EN 12237 für runde und eckige Luftleitungen:

Luftdichtheits- klasse	Grenzwert des statischen Druckes (p <sub>s</sub> ) Pa		Grenzwert der Leckluftrate (f <sub>max</sub> ) m <sup>3</sup> x s <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup>
	Positiv	Negativ	
<b>A</b>	500	500	0,027 x p <sub>t</sub> <sup>0,65</sup> x 10 <sup>-3</sup>
<b>B</b>	1000	750	0,009 x p <sub>t</sub> <sup>0,65</sup> x 10 <sup>-3</sup>
<b>C</b>	2000	750	0,003 x p <sub>t</sub> <sup>0,65</sup> x 10 <sup>-3</sup>
<b>D</b>	2000	750	0,001 x p <sub>t</sub> <sup>0,65</sup> x 10 <sup>-3</sup>

Mit heute noch üblichen Standard-Luftkanälen wird in der Praxis vielfach noch nicht einmal die Dichtheitsklasse A (entsprechend Dichtheitsklasse II nach DIN 24194) erreicht!

Stand der Technik ist jedoch bei qualitätsgesicherten Luftleitungen mind. Dichtheitsklasse C.



Formstück mit Doppellippendichtung, geeignet für die Errichtung von Luftleitungssystemen mit Dichtheitsklasse D.

### Verdeutlichung des Energie-Einsparpotenziales

Statt einer heute problemlos zu realisierenden Leckluftrate von ≤ 2% findet man häufig noch Leckluftvolumenströme größer 6%. Die nur für dieses (bis zum Luftauslaß verlorene) Mehrvolumen notwendige zusätzliche Leistung des Ventilators beträgt ca. 12%! Dabei ist die meist mit einhergehende Druckerhöhung energetisch noch nicht einmal berücksichtigt!

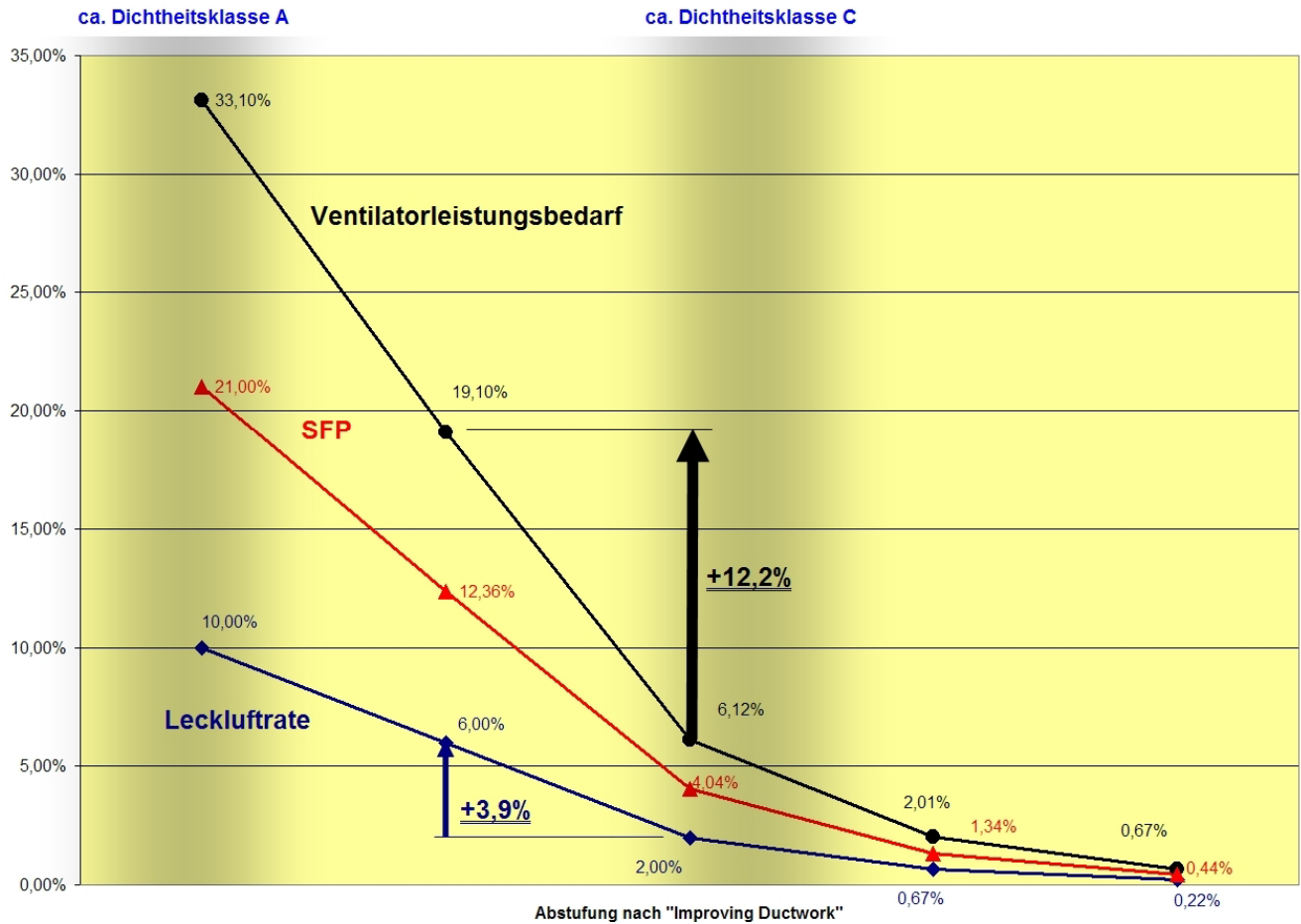
Dazu kommen im Zweifelsfall noch Kälte- bzw. Wärmeenergieverluste durch das Leckagevolumen, die die Energiebilanz zu Gunsten des dichteren Systems zusätzlich noch verbessern.

Dieses Beispiel ist nachfolgend in einem Diagramm dargestellt, welches die theoretischen Zusammenhänge verdeutlicht:

- Die Antriebsleistung ändert sich wie vorstehend erläutert mit der 3. Potenz der Fördervolumenänderung!
- Der für die Einhaltung der Forderungen nach DIN EN 13779 bedeutende SFP-Wert ändert sich mit der 2. Potenz der Fördervolumenänderung!



## Änderungen der Leckluftrate, des SFP und des Ventilatorleistungsbedarfes



Ein praktisch ohne erhebliche Mehrkosten einsetzbares, dichteres Luftleitungssystem kann somit zu einer Senkung der Betriebskosten entscheidend beitragen.

Es zeigt sich in Beispielrechnungen, dass die höhere Luftdichtigkeit der Luftleitungen den SFP-Wert in einer Größenordnung verbessern kann, um in die nächst bessere SFP-Kategorie eingestuft zu werden.

Die bereits vorstehend aufgezeigte Klassifizierung der Luftdichtigkeit mit den Klassen A bis D nach DIN EN 12237 wird in einem Leckluftvolumenstrom ausgedrückt, der sich auf die gesamte Luftleitungsoberfläche bezieht und von dem im System jeweils herrschenden Druck abhängt. Die Abstufung zwischen den Dichtheitsklassen beträgt jeweils Faktor 3.

Diese Ausdrucksweise ist natürlich technisch richtig, vermittelt aber durch den Bezug auf die Luftleitungsoberfläche kaum eine Vorstellung für die Größenordnung von Leckagen bei den verschiedenen Luftdichtheitsklassen. Eine direkte Zuordnung der Leckrate zu den Dichtheitsklassen ist daher nicht möglich. Die Leckrate kann nur projektspezifisch ermittelt werden.

Im Folgenden sollen die den Dichtheitsklassen zugeordneten Leckluftvolumina besser veranschaulicht werden.



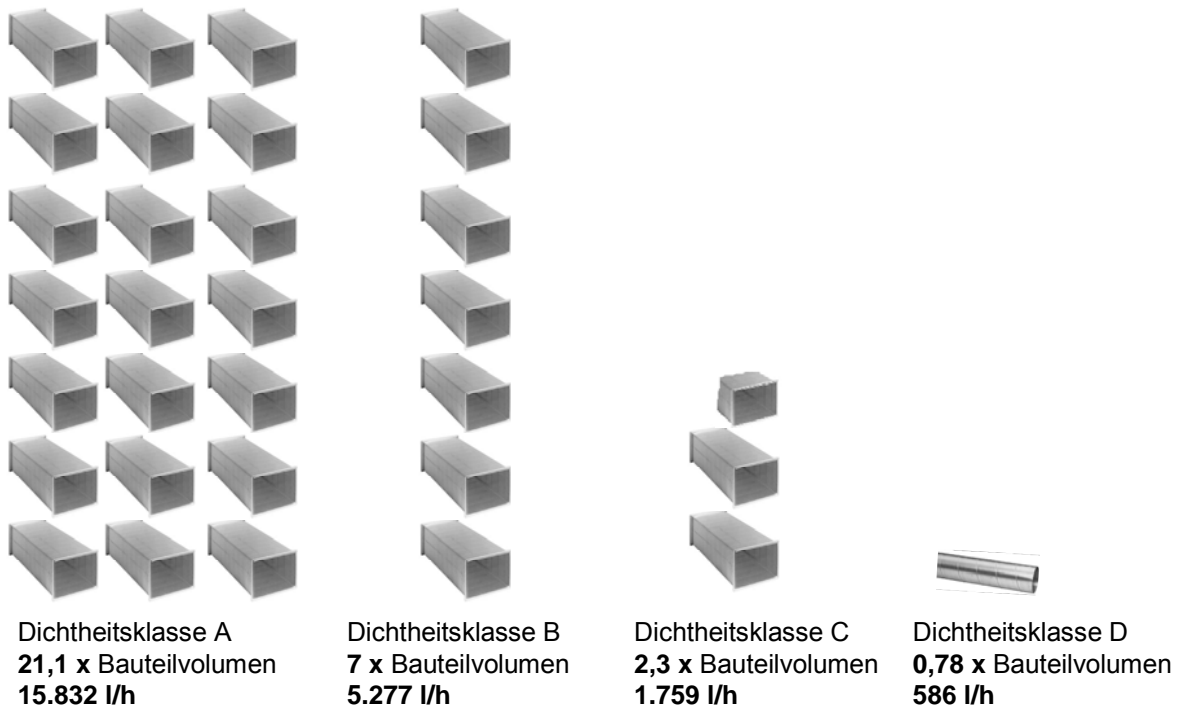
## Leckageverluste

Stellt man sich vor, man würde die Luft in einem Eimer transportieren wie Wasser, kann man sich Leckagen besser verdeutlichen, wenn man überlegt wie oft ein undichter Eimer leer läuft bei dem Transport einer gewissen Menge bzw. innerhalb einer gewissen Zeit.

Wenn man dieses Vorstellungsmodell auf eine gängige Luftkanalgröße (1000 x 500 x 1500mm = 750 l Volumen) mit 4,5 m<sup>2</sup> Oberfläche bei 250 Pa Systemdruck überträgt stellt sich dies bildlich wie folgt dar:

### Stündliches Leckluftvolumen bei Dichtheitsklassen nach DIN EN 12237

Beispiel: Bauteilvolumen 750 l, Bauteiloberfläche 4,5 m<sup>2</sup>, 250 Pa



Bei dieser Darstellungsweise wird sehr eindrucksvoll das Verbesserungspotenzial mit dichten Luftleitungskomponenten dargestellt!

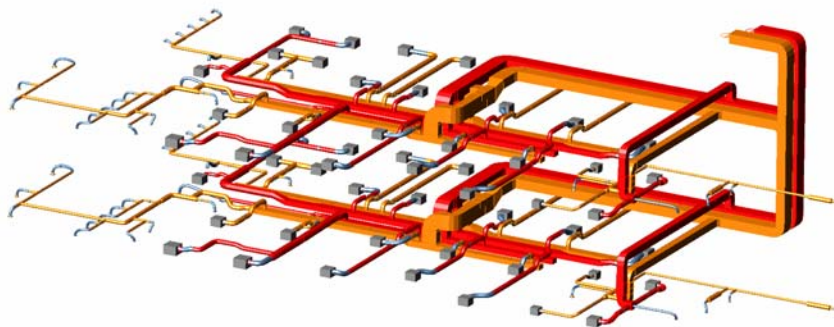
Denkt man an die bereits angesprochenen Auswirkungen dieser immensen „vagabundierenden“ Leckluftvolumina wird klar, dass daher nicht umsonst die Luftdichtigkeit auch in der VDI 6022 und immer mehr Normen und Richtlinien einen sehr hohen Stellenwert hat.

## Planung

Es wird deutlich, dass schon im Planungsstadium die Weichen für energetisch optimale RLTA-Anlagen zu stellen sind und die Entscheidung über die einzusetzenden Luftleitungen fallen muss.

Mit modernen CAD-Programmen wird dies erleichtert und bereits eine einfache und planungsparallele Ermittlung der Betriebskosten möglich.

Nachfolgendes Beispiel verdeutlicht, welche Energiekostensparnis mit einer höheren Dichtheitsklasse möglich ist, wobei nur die Ventilatorleistungsaufnahme berücksichtigt wird – keine Kosten für die Luftaufbereitung!



Geschäftshaus	mit Lippendichtung/Kanal DK IV		Dichtheitsklasse A DIN EN 12237	
	Zuluft	Abluft	Zuluft	Abluft
Luftleitungsoberfläche	340 m <sup>2</sup>	405 m <sup>2</sup>	340 m <sup>2</sup>	405 m <sup>2</sup>
Nennluftvolumenstrom	11460 m <sup>3</sup> /h	12628 m <sup>3</sup> /h	11460 m <sup>3</sup> /h	12628 m <sup>3</sup> /h
mittlerer Betriebsdruck	250 Pa	250 Pa	250 Pa	250 Pa
Leckluft	133 m <sup>3</sup> /h	158 m <sup>3</sup> /h	1196 m <sup>3</sup> /h	1425 m <sup>3</sup> /h
Lecklufttrate	1,15 %	1,24 %	9,45 %	10,14 %
Ventilator-Energiekosten/Jahr	2.152 €	3.795 €	2.465 €	4.510 €
Summe Energiekosten	5.946 €		6.975 €	
Differenz Energiekosten			1.029 €	
Materialkosten	17.564 €		15.939 €	
Differenz Materialkosten			1.625 €	
<b>Amortisation bei derzeitigen Energiekosten, ohne Verzinsung innerhalb:</b>			<b>1,6 Jahre</b>	
<small>Anlage im Dauerbetrieb, Energiekosten 0,12 €/kWh</small>				

Setzt man eine anbieterspezifische Planungssoftware ein, wird neben den lufttechnischen und akustischen Daten auch bereits eine Bauteil-Kostenermittlung über entsprechende Stücklisten ermöglicht.

Selbst an diesem Anlagebeispiel mit relativ geringen Leckluftmengen wird deutlich aufgezeigt, dass sich die Mehrkosten für ein dichteres Luftleitungssystem innerhalb weniger Jahre amortisieren.

Davon abgesehen bestehen schon bei der Montage von Rundrohrsystemen mit Lippendichtung erhebliche Kostenvorteile, die dessen Mehrkosten bereits schon kompensieren können.

### Energiebedarfsermittlung und Energieverbrauchsdocumentation

Bis 2006 erzwingt die EU-Richtlinie 2002/91 einen einheitlichen „Energiepass“ für alle Neu- und Altbauten.

In Deutschland wird mit der DIN 18599 die Vorgehensweise für die Berechnung des Energiebedarfes von Gebäuden definiert. Die Nutzenergie für die Luftförderung wird jedoch nur über den theoretisch notwendigen Luftvolumenstrom ermittelt.

Wenn keine Kennwerte für die Komponenten vorliegen, ist es sogar möglich Standardwerte einzusetzen.

Das nicht separate Ausweisen der Leckluft stellt eine Unzulänglichkeit dar, die den Anlagenbauer nach Anlagenerrichtung in Schwierigkeiten bringen kann, wenn die nach DIN EN 13779 geforderten Funktionsprüfungen nach DIN EN 12599 nicht die Erfüllung der Anforderungen bestätigt bzw. der SFP zu hoch ist.

Dem Planer wird in der DIN EN 13779 im Zusammenhang mit den vertraglichen Festlegungen zwischen Auftraggeber und Planer an verschiedenen Stellen besondere Aufklärungspflicht und Verantwortung zugeschrieben. Er ist zur klaren Dokumentation aller Festlegungen verpflichtet, was sich sicherlich schon aus Haftungsgründen empfiehlt!



Es wäre richtig, die Dichtigkeit von Luftleitungen bei einer Überarbeitung der Normen als separaten Punkt zu berücksichtigen, um Planern und ausführenden Firmen für diese Möglichkeit der Energieeinsparung Kennwerte bzw. Entscheidungshilfen zur Verfügung zu stellen.

Man kann bei der Luftdichtigkeit durchaus Analogien zur Heizungstechnik, sprich zur Isolierung von Heizungsrohren sehen. Bei mangelnder Isolierung bleibt die Wärme vielleicht ja noch im Gebäude, aber an dem Heizkörper am Strangende steht die notwendige Vorlauftemperatur nicht mehr zur Verfügung. Was bei der Heizung als Notwendigkeit erkannt wurde, sollte im übertragenen Sinne auch für die Dichtigkeit von Luftleitungen angewandt werden.

Es soll schließlich auch nicht unerwähnt bleiben, dass mit Einführung der DIN EN 13779 eine Überwachung des Energieverbrauches durch Buchführung dem Betreiber auferlegt wird! Die dafür notwendigen Maßnahmen sind im Projektstadium zu planen!

### Zusammenfassung

Nutzt man das Energieeinsparpotenzial mit dichteren Luftleitungen nicht aus, sind alle Komponenten der RLT-Anlage wegen der Leckagen größer zu dimensionieren und werden die Betriebskosten höher sein.

Mit dem notwendigen leistungsstärkeren Ventilator wird die Einhaltung des geforderten SFP-Wertes schwieriger.

Maßnahmen zur Verbesserung des SFP-Wertes sind mit dichteren Luftleitungen kostengünstig möglich, aber nach erfolgter Montage nur sehr eingeschränkt nachzuholen – wenn überhaupt. Die Entscheidung für ein luftdichteres Verteilnetz muss also in der Planungsphase erfolgen!

Eine zukunftsichere, dem heutigen Stand der Technik entsprechende RLT-Anlagen-Planung und -Ausführung ist notwendig, um den Energiesparanforderungen dauerhaft Rechnung zu tragen und womöglich Regressansprüchen aufgrund nicht erfüllter Anlageanforderungen entgegen zu wirken.

Schließlich stellt die Nichtbeachtung von DIN-Normen eine Sorgfaltspflichtverletzung dar - mit allen rechtlichen Konsequenzen! (siehe CCI 6/2005)

Für den ökologisch Interessierten noch eine Information:

Auf die in Deutschland von Ventilatoren verbrauchte Energiemenge bezogen ergäbe sich nur durch ein dichteres Luftleitungssystem mit den im Diagramm aufgezeigten Werten eine Einsparung von ca. 4.700 Mio.kWh/a – eine Energiemenge die etwa der Jahresproduktion des Kernkraftwerkes Brunsbüttel entspricht.

Wie dargestellt rechnet es sich schon heute - und erst recht bei der erwarteten Energiepreisentwicklung in Zukunft - ein qualitätsgesichertes Luftleitungssystem mit Dichtheitsklasse C und besser einzusetzen.

Literatur:

IMPROVING DUCTWORK, A status report on ductwork airtightness...,  
by F R Carrié, J Andersson, P Wouters, Funded in part by the European Union non-technological programme SAVE, ISBN 1 902 177 104

Taschenbuch für Heizung+Klima Technik,  
Recknagel, Sprenger, Schramek, Oldenbourg Industrieverlag, ISBN 3-486-26534-2