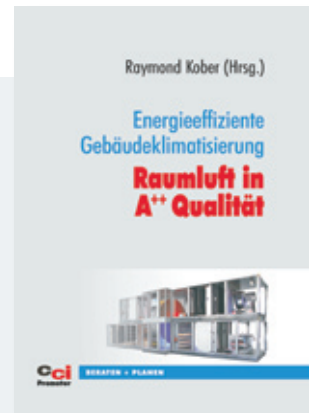

Die Umlage von Energieverbräuchen in RLT-Anlagen

Von Christoph Tiede

wurde in dem Buch **Energieeffiziente Gebäudeklimatisierung
Raumluft in A** Qualität**
Herausgeber:
Raymond Kober

veröffentlicht. Es ist im cci Promotor Verlag erschienen.

Das Buch ist erhältlich bei:
Regina Metz
Promotor Verlag
Tel. 07 21/5 65 14-14
E-Mail: regina.metz@cci-promotor.de



Inhaltsverzeichnis:

Kapitel 1	Warum eigentlich Klimatechnik? Autor: Michael Haibel	17
Kapitel 2.1	Der Aufbau eines zentralen RLT-Systems Autor: Michael Haibel	35
Kapitel 2.2	Vertiefende Betrachtungen zu einzelnen Komponenten einer RLT-Anlage Autor: Martin Törpe	61
Kapitel 2.3	Luftleitungssysteme – Auslegung und Planung für beste Energieeffizienz und Hygiene Autor: Jürgen Luft	119

Kapitel 2.4	Einflüsse von Volumenstromreglern, Brandschutzklappen und Luftdurchlässen auf die Energieeffizienz	131
	Autor: Bernd Boiting	
Kapitel 3	Raumluftströmungen: Varianten, Eigenschaften und Leistungen	139
	Autor: Bernd Boiting	
Kapitel 4.1	Regelwerke für die Planung und den Betrieb von RLT-Anlagen	157
	Autor: Achim Trogisch	
Kapitel 4.2	Anforderungen an Planung und Betrieb von RLT-Anlagen aus der EnEV 2007 und 2009	185
	Autor: Heiko Schiller	
Kapitel 4.3	Die VDI 6022: Anforderungen an den Hygienebetrieb von RLT-Anlagen	199
	Autor: Achim Keune	
Kapitel 4.4	Verfahren zur Energieeffizienz-Bewertung von RLT-Geräten	215
	Autor: Martin Törpe	
Kapitel 5.1	Fokus Lebenszyklus – Planung und Beschaffung auf neuen Wegen	229
	Autor: Henning Balck	
Kapitel 5.2	Methoden und Umsetzung der Wirtschaftlichkeitsberechnung	247
	Autor: Daniel Fischhaber	
Kapitel 5.3	Lebenszyklusorientierte Planung, Beschaffung und Auslegung von Lüftungsanlagen	277
	Autor: Tomas Hecker	
Zusatzkapitel 5.3	Die LCC-orientierte Planung am Beispiel eines Bürogebäudekomplexes	341
	Autor: Martin Törpe	
Kapitel 5.4	Energetische Sanierung von RLT-Anlagen im Bestand	355
	Autor: Heiko Schiller	
Kapitel 5.5	Hinweise für noch mehr Energieeffizienz in RLT-Geräten und -Anlagen	367
	Autor: Martin Törpe	

Zusatzkapitel 5.5	Hinweise für noch mehr Energieeffizienz in RLT-Anlagen Autor: Tomas Hecker	397
Kapitel 5.6	Die Umlage von Energieverbräuchen in RLT-Anlagen Autor: Christoph Tiede	405
Kapitel 6	Ergänzende Kühlsysteme in der Raumluft- und Klimatechnik Autor: Manfred Stahl	423
	Literaturverzeichnis	448
	Abbildungsverzeichnis	454

Die Umlage von Energieverbräuchen in RLT-Anlagen

Von Christoph Tiede

Der nachfolgende Beitrag verdeutlicht Hintergründe und Abhängigkeiten zu Energieverbräuchen in raumlufttechnischen Anlagen. In Theorie und Praxis wird dargestellt, wie und nach welchen Grundsätzen in RLT-Anlagen Luftvolumenströme, elektrische und thermische Leistungen erfasst und dann in Abhängigkeit vom tatsächlichen Verbrauch auf unterschiedliche Nutzerparteien verteilt werden.

Eine Energiekostenschätzung für alle in Deutschland in Gewerbeimmobilien, Einkaufszentren sowie in Büro- und Verwaltungsgebäuden installierten raumlufttechnischen Anlagen führt zu dem Ergebnis, dass in ca. 25.000 Immobilien mit etwa 350 Mio. m² Bruttogeschossfläche und rund 400.000 installierten raumlufttechnischen Anlagen ca. 6 Mrd. m³ Luft pro Stunde gefördert und thermisch behandelt werden. Bei einem durchschnittlichen Jahresenergiekostenansatz von 1 € pro m³/h geförderter Luft (Zuluft und Abluft) ergeben sich für diese raumlufttechnischen Anlagen Jahresenergiekosten von rund 6 Mrd. Euro. Führt man diese Betrachtung weiter und ermittelt den jährlichen CO₂-Ausstoß für die erforderliche thermische Behandlung der ge-

förderten Luft, kommt man zu einem Ergebnis von rund 18 Mio. Tonnen CO₂ pro Jahr.

Anmerkung des Verfassers:

Die obigen Werte stammen aus einer eigenen Hochrechnung. Sie sollen lediglich den Stellenwert des Energieverbrauchs raumlufttechnischer Anlagen in Deutschland verdeutlichen und erheben keinen Anspruch auf eine verifizierte Datenerhebung.

So viel Elektroenergie kostet eine Lüftungsanlage pro Jahr

Für eine vereinfachte energetische Bewertung der Energieverbräuche raumlufttechnischer Anlagen kann der Spezifische Kostenfaktor

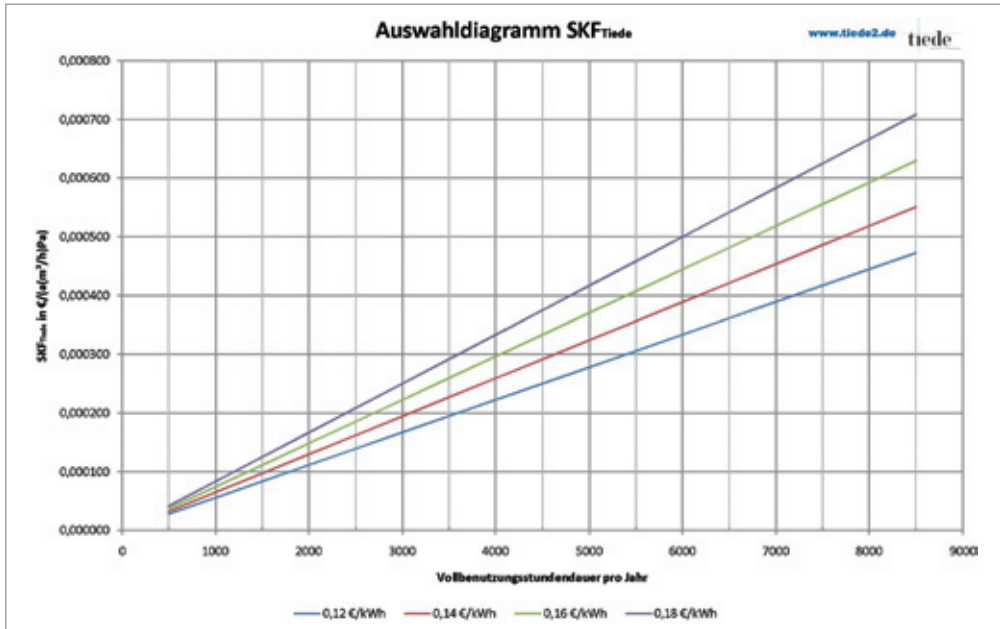


Abb. 1: Der SKF_{Tiede} -Wert in Abhängigkeit von den Vollbenutzungsstunden eines RLT-Geräts und den Elektroenergiekosten

(SKF) nach Tiede verwendet werden (Abb. 1). Auf Basis von Abbildung 1 kann in Abhängigkeit von der Vollbenutzungsstundendauer einer RLT-Anlage und des Elektroenergiepreises der jeweilige SKF_{Tiede} -Wert ermittelt werden. Die Vollbenutzungsstundendauer ergibt sich aus der täglichen Betriebszeit der Anlage in Stunden pro Tag und deren Multiplikation mit den Betriebstagen pro Jahr. Durch Multiplikation der spezifischen Totaldruckerhöhung des Ventilators in Pascal (Pa) mit dem geförderten Luftvolumenstrom in m^3/h und dem Spezifischen Kostenfaktor SKF_{Tiede} erhält man die jährlichen Elektroenergiekosten für die jeweilige Lüftungsanlage. Diese Berechnung ist für jede Lüftungsanlage einzeln durchzuführen,

also beispielsweise bei einer kombinierten Zu- und Abluftanlage getrennt für den Zuluft- und Abluftanlagenteil. Hierzu nachfolgend ein Beispiel.

Eine kombinierte Zu- und Abluftanlage fördert einen Luftvolumenstrom von je $10.000 m^3/h$ und wird von Montag bis Freitag von 6.00 Uhr bis 20.00 Uhr betrieben. Der Totaldruckverlust gemäß der technischen Anlagendokumentation beträgt für den Zuluftventilator $1.400 Pa$ und für den Abluftventilator $1.050 Pa$. Der Preis pro kWh Strom liegt bei $0,16 €$.

Als erstes ermitteln wir aus dem Auswahldiagramm SKF_{Tiede} den spezifischen Kostenfaktor: Anzahl der Stunden an den Betriebstagen von 6.00 Uhr bis 20.00 Uhr = $14 h$ pro Tag. Weitere

Multiplikationen ergeben: 14 h pro Tag x 5 Tage pro Woche x 51 Wochen = 3.570 h pro Jahr.

Aus dem Diagramm (Abb. 1) entnehmen wir dazu den Wert SKF_{Tiede} zu $0,00026 \text{ €/}(a(m^3/h)Pa)$.

Im zweiten Schritt errechnen wir die Elektroenergiekosten der Zuluftanlage (K) wie folgt:

$$K_{\text{Elt,Zuluft}} = SKF_{Tiede} \times (V_{\text{Zuluft}}) \text{ (in m}^3\text{/h)} \times (\Delta p_{\text{tot}}) \text{ (in Pa)} \times 0,8$$

Der in obiger Gleichung berücksichtigte Reduzierungsfaktor des Totaldruckverlustes des Ventilators mit 0,8 (80 %) kennzeichnet den tatsächlichen schwankenden Anlagenbetriebsdruckverlauf über der Betriebsdauer zwischen den Filterwechseln. Zur Präzisierung des Berechnungsergebnisses kann auch eine Anlagendruckmessung durchgeführt werden, allerdings sollten dann Messergebnisse vor und nach einem Filterwechsel berücksichtigt werden.

$$K_{\text{Elt,Zuluft}} = 0,00026 \times 10.000 \text{ m}^3\text{/h} \times 1.400 \text{ Pa} \times 0,8 = 2.912 \text{ € pro Jahr}$$

Für die Abluftanlage ergeben sich die Elektroenergiekosten analog zu

$$K_{\text{Elt,Abluft}} = 0,00026 \times 10.000 \text{ m}^3\text{/h} \times (1.050 \text{ Pa} \times 0,8) = 2.184 \text{ € pro Jahr}$$

Ergebnis: Die jährlichen Elektroenergiekosten für die Abluft- und Zuluftanlage ergeben sich

durch Addition zu insgesamt 5.096 €. Hierin nicht enthalten sind die Aufwendungen und die Kosten für die Luftkonditionierung!

Die so ermittelten Elektroenergiekosten stellen sicherlich nur einen Näherungswert dar, der auch nur für Konstantvolumenstromanlagen sinnvolle Werte liefert. Handelt es sich um eine Lüftungsanlage mit variablen Volumenströmen (VVS-Anlagen), sollten sinnvolle Annahmen oder Abschätzungen zur Vollbenutzungsstundendauer der RLT-Anlage gewählt werden, um ähnlich wie beim obigen Beispiel die Elektroenergiekosten berechnen zu können. Beispielsweise kann die Vollbenutzungsstundendauer entsprechend reduziert angenommen werden, um Teillastbetriebszustände einfließen zu lassen.

Günstig gekauft kann teuer werden

In Ergänzung zur Berechnung der jährlichen Elektroenergiekosten einer RLT-Anlage werden nachfolgend einige Zusammenhänge zu zwei ausgewählten Komponenten einer Lüftungsanlage erläutert, die typischerweise auch erheblichen Einfluss auf die Energieverbräuche haben und die Sie nun auf einfache Art und Weise selbst bewerten können.

Der „billige“ Schalldämpfer

Betrachten wir zunächst eine Schalldämpferdimensionierung in einer RLT-Anlage. Ausgehend von den Auslegungsparametern $V = 3.000 \text{ m}^3\text{/h}$

(konstant) und einer Einfügungsdämpfung von $\Delta L = 25$ dB (250 Hz) werden drei verschiedene Dimensionierungsmöglichkeiten des Schalldämpfers gegenübergestellt, wie sie in der Praxis durchaus üblich sind. Der Grund für diese Gegenüberstellung liegt in der Tatsache begründet, dass oft gravierende Abweichungen zwischen der Ausführungsplanung und der tatsächlichen Ausführung vorkommen. Je nach Vertragsgestaltung werden den Anlagenbauern nämlich oft „Dimensionsoptimierungen“ freigestellt. Auf diesem Weg versuchen diese Firmen, dem Kunden gegenüber zuvor zugestandene Preisnachlässe durch den Kauf güns-

tigerer Komponenten auszugleichen. Wie das Beispiel in Tabelle 1 deutlich zeigt, kann diese Sparmaßnahme des Anlagenbauers dann aber zu deutlich steigenden Energiekosten führen, die letztlich der Betreiber der Anlage für die gesamte Betriebsdauer zu tragen hat.

Stellen wir nun die beiden Schalldämpfer III ($\Delta p = 88$ Pa) und I ($\Delta p = 34$ Pa) aus Tabelle 1 gegenüber und vergleichen die Ergebnisse über einen Betrachtungszeitraum von 15 Jahren.

Auch dieses Beispiel basiert wie das vorherige auf einem SFF_{Tiede} zu 0,00026 €/a, also 3.570 h/a und einem Strompreis von 0,16 €/kWh.

Schall-dämpfer	Fabrikat/Typ	Auslegungs-kenngröße Einfügungs-dämpfung	Brutto Listenpreis	Druckverlust	$K_{\text{Luftförderung}}$ in €/a SKF 0,00026 3.000 m ³ /h
SD I	Fabrikat: Trox Typ: MSA 200-100 B/H/L/K 600/450/1250/2	$\Delta L \approx 27$ dB bei 250 Hz	385,60 €	$\Delta p = 34$ Pa	26,52 €/a
SD II	Fabrikat: Trox Typ: MSA 200-80 B/H/L/K 560/450/1000/2	$\Delta L \approx 25$ dB bei 250 Hz	340,80 €	$\Delta p = 60$ Pa	46,80 €/a
SD III	Fabrikat: Trox Typ: MSA 200-70 B/H/L/K 540/450/1000/2	$\Delta L \approx 26$ dB bei 250 Hz	340,80 €	$\Delta p = 88$ Pa	68,64 €/a

Tab. 1: Drei typische Schalldämpfer für eine Einfügungsdämpfung von 25 dB inkl. deren Anschaffungskosten, Druckverluste und „Betriebskosten“ pro Jahr.

Standard Schalldämpfer, Luftmenge 3.000 m³/h, Fabrikat Trox, Typ MSA. Herstellkostenannahme aus Bruttolistenpreis 2009 abzüglich 20 % Projektnachlass ergibt Herstellkosten zu liefern und montieren.

Einsparung bei der Anlagenerrichtung
(Kaufpreis): 44,80 €

Jährliche Mehrkosten durch erhöhten

Energieverbrauch: $68,64 - 26,52 = 42,12$ €/a

Mehrkosten Energieverbrauch in 15 Jahren:

$$42,12 \text{ €/a} \times 15 \text{ Jahre} = 631,80 \text{ €}$$

Energiekosten SD III in 15 Jahren:

$$1.029,60 \text{ €}$$

Energiekosten SD I in 15 Jahren:

$$397,80 \text{ €}$$

Ergebnis: Bei einer Verringerung der Investitionskosten von lediglich 44,80 € steigen aufgrund des höheren Druckverlustes bei Verwendung des Schalldämpfers III die Betriebskosten pro Jahr um 42,12 € und in 15 Jahren um 631,80 €. Somit „spart“ Schalldämpfer I im Vergleich zu Schalldämpfer III rund 60 % an Betriebskosten. Die erhöhten Herstellkosten (Kauf) von 44,80 € betragen in diesem Beispiel nur ca. 7 % der Energiekosteneinsparung in 15 Jahren und

liegen demnach in einem vernachlässigbaren Bereich (Amortisation in einem Jahr!).

So teuer wird die günstige Brandschutzklappe

Für ein weiteres Beispiel betrachten wir eine typische Brandschutzklappe (BSK). Ausgehend von den Auslegungsdaten $V = 3.000 \text{ m}^3/\text{h}$ (konstant), Abmessungen und Größe der BSK variabel, werden Brandschutzklappendimensionen in Abhängigkeit der Anströmgeschwindigkeit (= Luftgeschwindigkeit im Luftkanal unmittelbar vor der Brandschutzklappe) untersucht. Nachfolgende Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse, erneut betrachtet für einen Zeitraum von 15 Jahren.

Auch hier eine Betrachtung der Ergebnisse, bei der die Brandschutzklappen BSK 318 x 318 und BSK 503 x 503 gegenübergestellt werden.

BSK	Anströmgeschwindigkeit v in m/s	Druckverlust Δp in Pa	$K_{\text{Luftförderung}}$ in €/a	$K_{\text{Luftförderung}}$ in €/15a	Herstellkosten in €
BSK 503 x 503	3,4	6	4,68	70,20	344,00
BSK 449 x 449	4,2	10	7,80	117,00	324,80
BSK 400 x 400	5,2	20	15,60	234,00	306,40
BSK 357 x 357	6,6	30	23,40	351,00	290,40
BSK 318 x 318	8,2	75	58,50	877,50	278,40

Tab. 2: Typische Brandschutzklappen und deren Betriebskosten in Abhängigkeit von der Dimensionierung, der Luftanströmgeschwindigkeit und dem Druckverlust.

Standard Brandschutzklappe, Luftmenge $3.000 \text{ m}^3/\text{h}$, Fabrikat Schako, Typ BK 188 mit Endlagenschalter. Herstellkostenannahme aus Bruttolistenpreis 2009 abzüglich 20 % Projektnachlass ergibt Herstellkosten zu liefern und montieren.

Einsparung bei der Anlagenerrichtung
 (Kaufpreis): 65,60 €
 Jährliche Mehrkosten durch erhöhten
 Energieverbrauch: $58,50 - 4,68 = 53,82 \text{ €/a}$
 Mehrkosten Energieverbrauch in 15 Jahren:
 807,30 €/15a
 Energiekosten BSK 318 x 318 in 15 Jahren:
 877,50 €/15a
 Energiekosten BSK 503 x 503 in 15 Jahren:
 70,20 €/15a

Man erkennt, dass die größere Brandschutzklappe 503 x 503 mit einem Druckverlust von nur 6 Pa gegenüber einer „preisoptimierten“ kleineren Brandschutzklappe wie der BSK 318 x 318 mit einem Druckverlust von 75 Pa bei einer Anlagenbetriebsdauer von 15 Jahren die Energiekosten um ca. 90 % verringert und somit immer vorzuziehen ist. Die erhöhten Herstellkosten für die BSK 503 x 503 (Kaufpreis) betragen in diesem Beispiel gerade ca. 8 % der Energiekosteneinsparung in 15 Jahren und sind in einem vernachlässigbaren Bereich.

Rechtliche Aspekte zu Energieverbrauch und Energieeinsparung

Bereits mit dem Energieeinsparungsgesetz (EnEG) als „Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden“ vom 22. Juli 1976 wurde das individuelle Nutzerverhalten als wesentlicher Einflussfaktor zur Energieeinsparung erkannt. Gleichzeitig wurde der Nutzer motiviert, sich über seinen Energieverbrauch sachkundig zu machen und durch ein angepasstes Verhalten

den Energieverbrauch und somit auch die Energiekosten zu senken. Mit diesem Gesetz wurde erlassen, dass

- „der Energieverbrauch der Benutzer von Heizungs- oder raumlufttechnischen oder der Versorgung mit Brauchwasser dienenden gemeinschaftlichen Anlagen oder Einrichtungen erfasst wird,
- die Betriebskosten dieser Anlagen oder Einrichtungen so auf die Benutzer zu verteilen sind, dass dem Energieverbrauch der Benutzer Rechnung getragen wird.“

Auf Grundlage des EnEG wurde 1986 die Heizkostenverordnung (HeizkostenVO) erlassen. Mit dieser wurde jedoch ausschließlich der Energieverbrauch von Heizungsanlagen und Trinkwassererwärmungsanlagen ins Visier genommen, die Energieverbräuche von raumlufttechnischen Anlagen blieben bis heute vom Gesetzgeber weitestgehend unbeachtet. Mit der DIN 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden“ wurden 2005 wesentliche Erkenntnisse aus Anlagentechnik und Baustoffkunde zusammengetragen und als Vorgaben zur Errichtung von Gebäuden und Anlagen definiert. Dieses geschah jedoch ungeachtet der Einflussfaktoren aus dem individuellen Nutzerverhalten.

Im Jahr 2006 erließ das Europäische Parlament mit der Richtlinie über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen (Richtlinie 2006/32/EG) einen Maßnahmenkatalog zur Umsetzung in den Mitgliedstaaten, der wie bereits das Energieeinsparungsgesetz der Bundesrepublik

Deutschland von 1976 das individuelle Nutzerverhalten als wesentlichen Einflussfaktor zur Energieeinsparung erkennt und in den Mittelpunkt rückt.

Auf Basis dieser Regelwerke ist es – wie für Heizungsanlagen – auch für raumluftechnische Anlagen erforderlich, eine transparente Erfassung und informative Abrechnung der Energieverbräuche vorzunehmen. Dabei sind den Endkunden von gemeinschaftlich genutzten raumluftechnischen Anlagen in der Abrechnung die tatsächlichen Energieverbräuche und die tatsächlichen Nutzungszeiten aufzuzeigen. Dadurch ist es jedem Nutzer möglich, sein Verhalten zu prüfen und gegebenenfalls durch einfache Maßnahmen, zum Beispiel durch eine Reduzierung der Luftförderleistungen in Zeiten geringer Anforderungen, seinen Energieverbrauch zu senken.

Energieverbrauchserfassung und Umlageverfahren bei raumluftechnischen Anlagen

Nachdem wir uns zuvor mit der energetischen Bewertung raumluftechnischer Anlagen befasst haben und einiges zum rechtlichen Hintergrund zur Energieverbrauchsabrechnung und dem wesentlichen Einflussfaktor Nutzerverhalten erfahren haben, werden wir nun auf die Energieverbrauchserfassung und die verschiedenen Umlageverfahren bei raumluftechnischen Anlagen eingehen. Dazu unterscheiden wir raumluftechnische Anlagen unter dem Gesichtspunkt der Energieverbrauchserfassung und Energieverbrauchsumlage auf einen oder mehrere Nutzer in unterschiedliche Nutzungsarten (Tab. 3).

Raumluftechnische Anlagen				
individuell genutzte	gemein genutzte		gemeinschaftlich genutzte	
Verbrauchskostenverteilung ist <u>nicht</u> erforderlich	Verbrauchskostenverteilung ist erforderlich		Verbrauchskostenverteilung ist erforderlich	
<u>keine</u> Verteilung erforderlich	statische Verteilung	dynamische Verteilung	statische Verteilung	dynamische Verteilung
////	Merkmale: konstante Nutzungszeiten	Merkmale: unterschiedliche Nutzungszeiten	Merkmale: konstante Volumenströme gleiche Nutzungszeiten	Merkmale: variable Volumenströme unterschiedliche Nutzungszeiten

Tab. 3: Arten von raumluftechnischen Anlagen im Hinblick auf deren Nutzung zur anschließenden Umlage der Betriebskosten

Individuell genutzte RLT-Anlagen

Zur Gruppe der individuell genutzten raumlufttechnischen Anlagen zählen alle Anlagen, die ausschließlich einen abrechnungstechnisch isolierten Bereich belüfteten. Ein Beispiel dafür ist eine Lüftungsanlage, die nur einen einzigen Shop in einem Shoppingcenter versorgt, oder einen Bürobereich, der nur von einem einzigen Mieter genutzt wird. Die von dieser Lüftungsanlage verbrauchten Elektroenergiemengen für die Zu- und Abluftventilatoren sowie Wärmeenergiemengen für die Konditionierung (Wärme, Kälte, ggf. Befeuchtung) der Zuluft kommen also ausschließlich diesem einen Bereich zugute und sind daher auch nur diesem Nutzer des Bereiches (Mieter) direkt zuzuordnen. Eine Verteilung dieser Energieverbräuche auf andere Mieter oder die Allgemeinheit ist also nicht notwendig.

Gemein genutzte RLT-Anlagen

Zur Gruppe der (all)gemein genutzten raumlufttechnischen Anlagen zählen solche Systeme, die ausschließlich so genannte Allgemeinbereiche in Gebäuden belüften. Ein Beispiel ist eine Lüftungsanlage, die einen zentralen Flur (Mall) in einem Shoppingcenter oder den zentralen Eingangsbereich in einem Bürogebäude mit mehreren Mietern be- und entlüftet. Da diese allgemeinen Bereiche von allen Gebäudenutzern zwar gleichartig, aber vielleicht unterschiedlich stark genutzt werden, ist eine statische Umlage der von diesem Lüftungsgerät verbrauchten Energiemengen sinnvoll. Eine statische Umlage soll aber nicht bedeuten, dass die von dieser Lüftungsanlage verbrauchten Energiemengen nun auf alle Gebäudem Mieter gleichmäßig verteilt werden. Vielmehr ist darauf zu achten, sinnvolle



Abb. 2:
Beispielhafte
Kostenumlagen
in einem großen
Einkaufszentrum
auf Basis der
Shop-Flächen

statische Umlageschlüssel zu ermitteln. So könnten beispielsweise die Energieverbräuche im Verhältnis auf die von den jeweiligen Gebäudemietern angemieteten Büro- oder Shopflächen verteilt werden (Abb. 2).

Anspruchsvoller wird die Abrechnung, wenn die verschiedenen Büro- oder Shopmieter ihre Mietflächen zu unterschiedlichen Zeiten nutzen. Zur Verdeutlichung wollen wir ein Büro- und Geschäftshaus betrachten, in dem sowohl Büroeinheiten als auch Shops und ein Restaurant untergebracht sind, die jeweils zu unterschiedlichen Zeiten genutzt werden.

Umlage der Klima-Kosten in gemischten Immobilien

Nehmen wir an, die Büros werden von Montag bis Freitag von 7.00 bis 17.00 Uhr genutzt, die Shoppingflächen von Montag bis Samstag von 9.00 bis 21.00 Uhr und das Restaurant von Montag bis Sonntag von 11.00 bis 01.00 Uhr. Daraus ergeben sich zunächst folgende wöchentliche Gesamtnutzungszeiten:

Büronutzungsdauer

50 Stunden pro Woche

Shopnutzungsdauer

72 Stunden pro Woche

Restaurantnutzungsdauer

98 Stunden pro Woche

Nun könnte man auf Basis der Dreisatzrechnung sowohl die prozentualen Flächenverteilungen als auch die unterschiedlichen

Nutzungszeiten der jeweiligen Mieter proportional in Ansatz bringen. Aus energetischer Sicht ist dieses Umlageverfahren jedoch nicht statthaft, denn aufgrund der unterschiedlichen Tagesnutzungszeiten ergeben sich auch unterschiedliche Energieverbräuche der Lüftungsanlage für die thermische Luftbehandlung. Warum das so ist, zeigt als Beispiel ein typischer Frühlingstag.

In der Büronutzungszeit haben wir in den Morgenstunden noch recht kühle Außentemperaturen: das heißt, die Außenluft muss im Luftherhitzer der RLT-Anlage erwärmt werden. Ab den Mittagsstunden bis in den Nachmittag hinein sind die Außenlufttemperaturen dann recht mild, so dass eine Luftherwärmung nun nur noch in geringem Umfang erforderlich ist. Im Gegensatz hierzu muss zu Zeiten der Shopnutzung und vor allem der Restaurantnutzung ab den frühen Abendstunden bis in die späte Nacht hinein die dann wieder kühlere Außenluft über eine lange Betriebszeit ständig erwärmt werden. Würde man nun versuchen, den Jahreswärmeenergieverbrauch dieser Lüftungsanlage nach einem statischen Umlageschlüssel gerecht umzulegen, würde man an energetisch bedingte Grenzen der Umlagetransparenz und der Gerechtigkeit energetischer Energieverbrauchsverteilungen stoßen. Für diesen und viele andere nutzungsspezifisch anspruchsvollen Fälle ist eine dynamische Verteilung erforderlich, die die jeweiligen Nutzungszeiten und Energieverbräuche entsprechend berücksichtigt. Ein solches

tiefer gehendes Verfahren wird im nächsten Abschnitt beschrieben.

Gemeinschaftlich genutzte RLT-Anlagen

Zur Gruppe der gemeinschaftlich genutzten raumluftechnischen Anlagen zählen diejenigen Anlagensysteme, bei denen eine zentrale Lüftungsanlage mehrere wirtschaftlich unabhängige Bereiche (Mietbereiche) lüftungstechnisch versorgt. Ein Beispiel zeigt Abb. 3, in dem eine zentrale Lüftungsanlage in einem Gebäude vier Mietbereiche belüftet.

Eine statische Verteilung der im zentralen Lüftungsgerät verbrauchten Energiemengen kann nur dann vorgenommen werden, wenn alle Mieter diese Anlage zu gleichen Nutzungs-

zeiten und mit konstanten, also unveränderlichen Luftmengen nutzen. Dazu ein Beispiel: Aus den jeweiligen Zuluftvolumenströmen

Nutzungszeit: Montag bis Freitag von 6.00 Uhr bis 20.00 Uhr

Luftmengen	
Mieter 1:	1.000 m ³ /h
Mieter 2:	2.500 m ³ /h
Mieter 3:	1.800 m ³ /h
Mieter 4:	4.700 m ³ /h
Gesamtluftmenge:	10.000 m ³ /h

bzw. den Zuluftvolumenströmen im Verhältnis zum Gesamtluftvolumenstrom ergeben sich die statischen Umlagefaktoren (Umlageschlüssel) zur Abrechnung der Energieverbräuche auf die einzelnen Mieter wie folgt:

Mieter 1: 10 % des Gesamtenergieverbrauchs

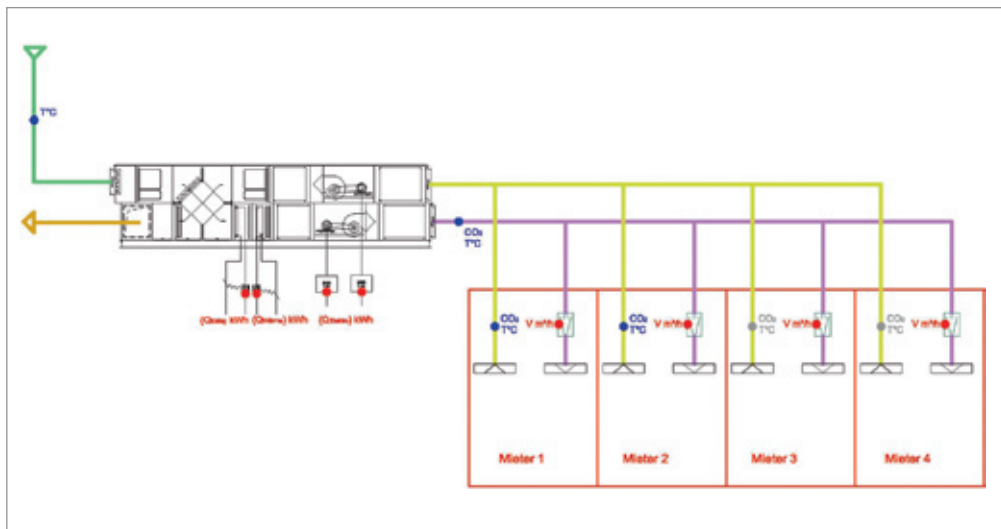


Abb. 3: Eine zentrale RLT-Anlage versorgt in einem Gebäude vier verschiedene Mietbereiche mit konditionierter Zuluft

Mieter 2: 25 % des Gesamtenergieverbrauchs
Mieter 3: 18 % des Gesamtenergieverbrauchs
Mieter 4: 47 % des Gesamtenergieverbrauchs

Diese Umlageschlüssel können nun zur Verteilung der in einem Energieverbrauchs-Erfassungszeitraum (zum Beispiel einem Jahr) gemessenen Elektro-, Wärme- und Kälteenergiegesamtverbräuche der Anlage herangezogen werden.

Doch die vorherige Annahme, dass alle Mieter stets eine konstante Zuluftmenge beziehen und alle zu gleichen Zeiten arbeiten, ist natürlich pure Illusion. In der Realität werden die Mieter die gemeinschaftlich genutzte Anlage zu unterschiedlichen Zeiten nutzen und darüber hinaus auch variable, also unterschiedliche Luftmengen während ihrer jeweiligen Nutzungszeiten in Anspruch nehmen, denn nur so ist eine Betriebskostenreduzierung durch Energieverbrauchseinsparung möglich! Für eine gerechte Abrechnung der nun im RLT-Gerät verbrauchten Energiemengen ist zwingend eine dynamische Verteilung erforderlich. Die gerechte, rechtssichere und transparente Abrechnung ist typischerweise allgemeines Ziel und Voraussetzung für effektive Energiekosteneinsparung.

Das Modell zur dynamischen Kostenabrechnung

Für diese Betriebsweisen sind nun spezielle Energieverbrauchserfassungs- und Umlagever-

fahren nötig, um nicht zuletzt auch das individuelle Nutzerverhalten zum Energieeinsparen entsprechend honorieren zu können. Dieses setzt eine transparente und rechtssichere Energieverbrauchserfassungs- und Umlagesystematik voraus, die im Folgenden erläutert wird. Für diese dynamische Erfassung eignet sich zum Beispiel das patentierte **Energie- und MedienErfassungs- und UmlageSystem emeus®**.

Anmerkung des Verfassers:

Die nachfolgend beschriebenen Verfahren zur dynamischen Erfassung und Verteilung der Energieverbräuche sowie zur dynamischen Kälteverrechnungspreisermittlung sind patentrechtlich geschützt durch DE 10 2005 007 914 A1 und 06 723 005.2-1238 und WO 2006/084656 A1 sowie DE 10 2006 022 956 A1 und EP 1 855 095 A1. emeus® ist ein eingetragenes Markenzeichen, Deutsche Marke 306 12 449.1.

So funktioniert emeus®

Das System emeus® besteht aus einer mikroprozessorgesteuerten Zentraleinheit, an die sämtliche Energie- und Medienefassungsgeräte angeschlossen werden – also beispielsweise Wärmemengenzähler, Wassermengenzähler, Elektroarbeitszähler sowie Temperaturfühler und Luftmengenerfassungsgeräte. Sämtliche Verbrauchswerte der Zählleinrichtungen werden, wie in Abbildung 4 dargestellt, kontinuier-

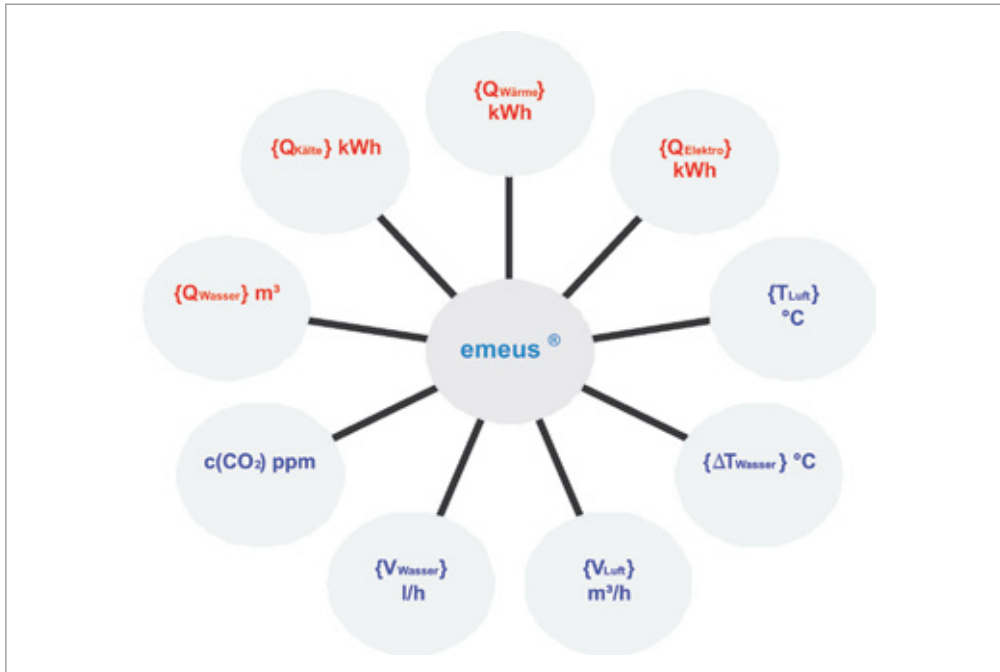


Abb. 4: Übersicht der mit dem System emeus® erfassten Kenngrößen als Grundlage für eine rechtssichere und transparente nutzerbezogene Verbrauchsabrechnung

lich durch das System emeus® registriert und weiter verarbeitet.

Beispielsweise wird eine registrierte „verbrauchte“ Kilowattstunde sofort mit den nutzerspezifischen Umlagefaktoren, die sich aus den Verhältnissen der nutzerspezifischen Einzelluftmengen zur Gesamtluftmenge der raumluftechnischen Anlage ergeben, verrechnet und den Nutzerkonten entsprechend zugewiesen (dazu folgt später ein ausführliches Beispiel). Auf diese Weise werden in verhältnismäßig kurzen Zeitabständen, die sich typischerweise aus der Zeit für den Verbrauch einer jeweiligen Kilowattstunde ergeben und somit unterschiedlich kurz sein können, Ener-

gieverbräuche erfasst, verteilt und kumuliert den Nutzerkonten zugeordnet. Mit emeus® werden die Energieverbräuche also nicht erst nach Ablauf eines Jahres, also nach 8.750 Betriebsstunden ausgewertet, sondern quasi permanent im Minutentakt.

Das System emeus® erfasst aber nicht nur die für eine Abrechnung und Umlage der Energiekosten einer raumluftechnischen Anlage erforderlichen Energieverbräuche des Zentralgerätes und die nutzerspezifischen Luftmengen, sondern es kann auch zur Erfassung sämtlicher übriger Energieverbräuche in einem Gebäude verwendet werden.

Eine weitere Neuerung auf dem Gebiet der

Energieverbrauchskostenermittlung stellt das Kälte-Modul des emeus®-Systems dar. Dieses erfasst nicht nur permanent sämtliche an eine zentrale Kälteanlage angeschlossenen Kälteenergieverbräuche, sondern auch die dazugehörigen Energieverbräuche der Kälteerzeugungsanlage selbst, um aus diesen Verbrauchsverhältnissen Kältepreisfaktoren zu ermitteln und diese entsprechend mit den Einzelkälteenergieverbräuchen den jeweiligen Nutzerkonten kontinuierlich zuzuordnen. Auch dazu folgt in diesem Kapitel noch ein ausführliches Beispiel.

Das System emeus® in der praktischen Anwendung

Kommen wir zurück auf unser begonnenes Beispiel, bei dem eine zentrale Lüftungsanlage mit einer Luftleistung von 10.000 m³/h vier Mietbereiche mit Zuluft versorgt. Zum einen sind die Energieverbräuche in Abhängigkeit von



Abb. 5: Eine typische Luftmengen-Messeinrichtung in einem RLT-System

der jeweils geförderten Luftmenge zu erfassen und zu verteilen. Dazu werden die den Mietbereiche 1 bis 4 zugeführten Luftmengen stetig durch Luftmengenmesseinrichtungen erfasst. Wie das funktioniert, zeigt Abbildung 5.

Die Luftmengenmessungen können auf verschiedene Art und Weise erfolgen. Am einfachsten ist es, ohnehin vorhandene Anlagenkomponenten zu verwenden, so wie in diesem Beispiel Variabel-Volumenstromregler. Diese haben bereits eine Luftmengenmesseinrichtung integriert, nämlich ein Staukreuz. Für den Abgriff der Luftdrücke über diesem Staukreuz wird eine weitere Druckmesseinrichtung (Druckdose) zusätzlich eingebunden und elektrisch mit dem emeus®-Controller verbunden. Die Auswertung des Luftvolumenstromsignals erfolgt im emeus®-Controller unter Berücksichtigung der entsprechenden volumenstromreglerspezifischen Koeffizienten. Sind keine Variabelvolumenstromregler vorhanden oder gibt es triftige Gründe, diese unberührt zu lassen, werden zusätzliche Luftmengenmesseinrichtungen, beispielsweise Staukreuze, eingebaut und entsprechend in das System emeus® eingebunden.

Kommen wir nun zur Art und Weise, wie emeus® arbeitet und abrechnet.

■ Schritt 1:

Im System emeus® wird, wie in Abbildung 4 dargestellt, der Verbrauch einer kWh Energie (Strom, Wärme, Kälte) registriert.

Anmerkung des Verfassers:

Die vom System emeus® erfassten Energieverbrauchseinheiten betragen in der Regel 1 kWh, können aber auch 10 kWh-Schritte oder mehr betragen. Dies ist schlussendlich abhängig von der Anlagengröße und dem Energiedurchsatz, so dass sinnvolle Energiebeträge in relativ kurzen Zeitabständen erfasst werden können. Es macht sicherlich keinen Sinn, bei einem Ventilatorantriebsmotor mit einer Leistung von 15 kW die Einheit Wh als kleinste zu erfassende Energieeinheit zu wählen. emeus® würde dann unablässig Verbrauchswerte registrieren und umlegen, bis zu mehrmals in einer Sekunde. Der systemtypischen Trägheit einer Lüftungsanlage mit all ihren Regelkomponenten wird somit nicht entsprochen, vielmehr wäre das vertane Liebesmühe.

■ Schritt 2:

emeus® wertet auf Basis der Luftmengen-Messeinrichtungen, die sich jeweils in den Zuluftsträngen zu den einzelnen Mietparteien befinden, die derzeitige Luftmengenverteilung im Gesamtsystem wie folgt aus:

Mieter 1:	830 m ³ /h
Mieter 2:	1.250 m ³ /h
Mieter 3:	1.230 m ³ /h
Mieter 4:	3.150 m ³ /h
Gesamtluftmenge:	6.460 m ³ /h

■ Schritt 3:

emeus® ermittelt auf Basis der mieterbezogenen Luftvolumenströme im Verhältnis zum

Gesamtluftvolumenstrom den Verteilungsschlüssel für die soeben erfasste kWh Elektroenergie wie folgt:

Mieter 1:	12,85 % des Gesamtenergieverbrauchs
Mieter 2:	19,35 % des Gesamtenergieverbrauchs
Mieter 3:	19,04 % des Gesamtenergieverbrauchs
Mieter 4:	48,76 % des Gesamtenergieverbrauchs

■ Schritt 4:

emeus® verteilt die soeben erfasste kWh Elektroenergie auf die jeweiligen Mieterkonten wie folgt:

Mieter 1:	0,1285 kWh _{Elektro}
Mieter 2:	0,1935 kWh _{Elektro}
Mieter 3:	0,1904 kWh _{Elektro}
Mieter 4:	0,4876 kWh _{Elektro}

Zur Verteilung der Energieverbräuche ergibt sich darüber hinaus aber auch die Notwendigkeit, die jeweiligen thermischen Energieverbräuche im zentralen Lüftungsgerät permanent zu erfassen und unmittelbar eine individuelle Verteilung dieser thermischen Arbeit durchzuführen. Nur so ist es dann möglich, die jeweils erfassten Energieverbräuche den jeweiligen mieterbereichsspezifischen Luftmengen entsprechend zuzuordnen.

Das System emeus® kumuliert nun diese individuell ermittelten Einzelverbräuche auf

die jeweiligen Mieterkonten und führt das so auch für Wärmeenergie- oder Befeuchtungswasserverbräuche durch, die im zentralen Lüftungsgerät anfallen.

Der Spezialfall „Verteilung der Kältekosten“

Für die nutzerspezifisch zu erfassende und umzulegende Energieform Kälte gibt es jedoch darüber hinaus weitere Abhängigkeiten zu berücksichtigen. Im Allgemeinen wird Lüftungsanlagen Kälteenergie in Form von Kaltwasser mit einer Vorlauftemperatur von ca. 6 °C zugeführt (Rücklauftemperatur ca. 12 °C). Diese Kälteenergie wird oft in zentralen Kälteanlagen erzeugt, die neben der Lüftungsanlage aber auch weitere mieterspezifische Kälteverbraucher wie dezentrale Umluftkühlgeräte, Kühlzellen zur Nahrungsmittelaufbewahrung, Kühltheken und dergleichen mehr versorgen kann. Nun können zwar die jeweiligen Kälteverbraucher, wie z. B. die Lüftungsanlagen einen Kälteenergieverbraucher unter vielen anderen im Verbindungssystem darstellen, mit Kältemengenerfassungsgeräten (ähnlich wie Wärmemengenzähler) ausgestattet werden. Jedoch stellt sich hier sofort die Frage nach dem anzusetzenden spezifischen Kälteverrechnungspreis in €/kWh_{Kälte}. Für diese zentralen Kälteerzeugungsanlagen sind nun weitere Schritte zur transparenten und rechtssicheren Abrechnung für die Kälteenergie erforderlich. Über den Jahresgang der Außentemperaturen

gibt es unterschiedliche Betriebszustände zur Kälteerzeugung. Insbesondere stellen wir fest, dass eine Kälteanlage in der kalten Jahreszeit deutlich weniger Elektroenergie zur Kälteerzeugung benötigt, als sie für die Erzeugung derselben Kälteenergie in den Sommermonaten benötigen wird.

Anmerkung dazu:

Dies liegt unter anderem daran, dass die Leistungsziffer einer gegen die Außenluft rückgekühlten Kältemaschine (Regenfall) bei niedrigen Außentemperaturen sehr viel höher ist als bei hohen Außentemperaturen. Entscheidend dafür ist die Temperaturdifferenz zwischen dem Kältemittel im Verflüssiger der Kälteanlage und der Außenluft – und diese wird bei niedrigeren Außentemperaturen immer vorteilhafter. Gleiches gilt übrigens auch für eine Kälteanlage, die ihre Abwärme über einen Kühlturm an die Außenluft abgibt.

Dieses zuvor beschriebene Phänomen ergibt sich auch für die Betrachtung eines Betriebstages. Das heißt: Die Kälteerzeugung in kühlen Abend-, Nacht- oder Morgenstunden ist viel effizienter und damit günstiger als die Kälteerzeugung an wärmeren Tagesstunden. Ein Beispiel für den Tagesgang der Außentemperatur zur Verdeutlichung der Abhängigkeit zur Kaltwassererzeugung zeigt Abbildung 6.

Dieser dargestellte Tagesgang der Außentemperatur für einen Tag in der Übergangszeit (Frühjahr, Herbst) zeigt deutlich, dass die Kaltwassererzeugung mit 6 °C Vorlauftemperatur

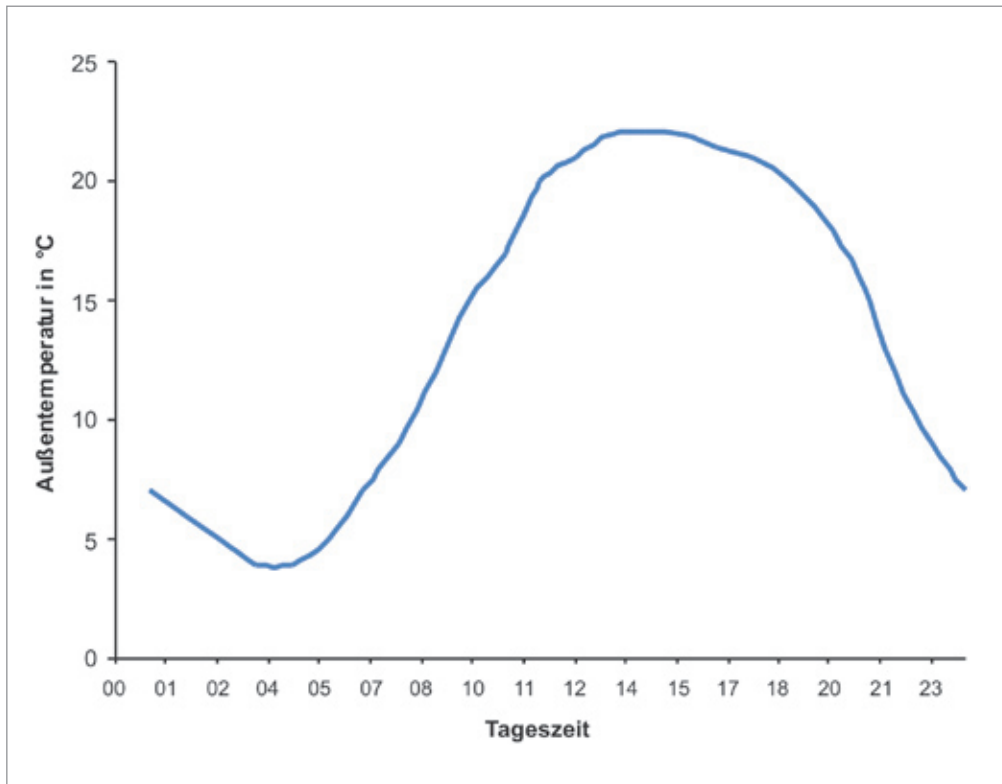


Abb. 6: Beispiel für den Tagesgang der Außentemperatur an einem warmen Frühlingstag

in den Nachtstunden bei einer Außenlufttemperatur von 5 bis 8 °C offensichtlich günstiger sein wird als in den Tagstunden mit einer Außentemperatur von ca. 20 °C.

Um nun neben einer dynamischen Erfassung und Verteilung der Kälteenergiemengen eine transparente und rechtssichere Abrechnung dieser Energieform sicherzustellen, ist auch eine dynamische Kältepreisermittlung, konzipiert und eingerichtet für den jeweiligen Anwendungsfall, erforderlich. Hierzu ermittelt das System emeus® in kurzen Zeitfenstern, die

abhängig vom vorhandenen Kälteerzeugungs- und Verteilungssystem ermittelt werden (z. B. zyklisch im 15 Minuten-Takt), die jeweiligen Kälteenergieverrechnungspreise in €/kWh-Kälte, um mit diesen Verrechnungssätzen aus den individuell ermittelten und auf die jeweiligen Nutzerkonten verteilten Kälteenergieverbräuche die nutzerspezifischen Kälteverbrauchsgesamtkosten zu berechnen und zu kumulieren. Nun zurück zur Fortsetzung unseres Beispiels:

■ Schritt 5:

emeus® ermittelt für die soeben verbrauchte Kälteenergiemenge ($\text{kWh}_{\text{Kälte}}$), kumuliert für die vergangenen 15 Minuten, den entsprechenden Kälteenergieverrechnungspreis. Dieser beträgt beispielsweise im Winter $0,01 \text{ €/kWh}_{\text{Kälte}}$ oder im Sommer $0,10 \text{ €/kWh}_{\text{Kälte}}$.

■ Schritt 6:

emeus® ermittelt für den soeben erfassten Kälteenergieverbrauch ($\text{kWh}_{\text{Kälte}}$) die nutzerspezifischen Kältekosten und kumuliert diese – gemäß dem Verteilungsschlüssel aus Schritt 3 – wie folgt auf die Mieterkonten:

Beispiel Winter:

Mieter 1:	$0,1285 \text{ kWh}_{\text{Kälte}} \times 0,01 \text{ €/kWh}_{\text{Kälte}} = 0,001285 \text{ €}$
Mieter 2:	$0,1935 \text{ kWh}_{\text{Kälte}} \times 0,01 \text{ €/kWh}_{\text{Kälte}} = 0,001935 \text{ €}$
Mieter 3:	$0,1904 \text{ kWh}_{\text{Kälte}} \times 0,01 \text{ €/kWh}_{\text{Kälte}} = 0,001904 \text{ €}$
Mieter 4:	$0,4876 \text{ kWh}_{\text{Kälte}} \times 0,01 \text{ €/kWh}_{\text{Kälte}} = 0,004876 \text{ €}$

Beispiel Sommer:

Mieter 1:	$0,1285 \text{ kWh}_{\text{Kälte}} \times 0,10 \text{ €/kWh}_{\text{Kälte}} = 0,01285 \text{ €}$
Mieter 2:	$0,1935 \text{ kWh}_{\text{Kälte}} \times 0,10 \text{ €/kWh}_{\text{Kälte}} = 0,01935 \text{ €}$
Mieter 3:	$0,1904 \text{ kWh}_{\text{Kälte}} \times 0,10 \text{ €/kWh}_{\text{Kälte}} = 0,01904 \text{ €}$
Mieter 4:	$0,4876 \text{ kWh}_{\text{Kälte}} \times 0,10 \text{ €/kWh}_{\text{Kälte}} = 0,04876 \text{ €}$

Nun wird sich vielleicht jemand fragen, warum wir uns hierbei mit bis zu fünf Nachkommastellen befassen, schließlich erscheint der Unterschied doch marginal. Aber dem ist nun einmal nicht so, und die Differenzen dieser detaillierten transparenten und rechtssicheren Energieverbrauchserfassungs- und Umlagesystematik gegenüber einer pauschalen Annahme eines Kälteenergieverrechnungspreises zeigt sich deutlich in einem Abrechnungszeitraum von beispielsweise einem Jahr. Nutzen einige Mieter die Lüftung weniger in den wärmeren Tagesstunden und mehr in den kühleren Nachtstunden, oder wird gar ein Mietverhältnis vor den warmen Sommermonaten beendet, ist es doch nur gerecht, wenn der Mieter nur die tatsächlichen Kälteenergiekosten zu tragen hat und nicht durch eine „Mischpreiskalkulation“ über den Betrachtungszeitraum von einem Jahr im Nachhinein übervorteilt wird – oder?

Auch bringen nun einfache organisatorische Maßnahmen bei dem Betrieb von Kühlzellen beispielsweise erhebliche Einsparungen mit sich. Einstellen könnte man, dass die Kühlzelle nur in den Nachtstunden, also zu Zeiten geringer Außentemperatur und günstigeren Stromtarifen, gekühlt wird. Die Kältespeicherungsfähigkeit moderner Kühlzellen sollte ausreichen, den gesamten Tag über ausreichende Innentemperaturen zu gewährleisten. Auch eine Renaissance von Eisspeicheranlagen ist zu erwarten. Des Weiteren könnten zur Energieeinsparung zu unterschiedlichen Jahreszeiten unterschiedliche Temperaturniveaus

mit der Kälteanlage gefahren werden und nun erstmals die Einsparungen transparent und rechtssicher den Endkunden weitervermittelt und weitergegeben werden.

Die Möglichkeiten zur Energieeinsparung mit

dem System emeus® sind vielfältig und ergeben sich in jedem Projekt immer wieder neu.

In Zusammenarbeit mit dem emeus®-Team wird man ganz bestimmt ihre optimale Lösung finden.

Im Kapitel 5.6 verwendete Normen, Literaturstellen und Quellen:

/1/ EnEG (1976)

Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (Energieeinsparungsgesetz – EnEG) vom 22. Juli 1976 (BGB1 I S. 1873) in der Fassung des Ersten Gesetzes zur Änderung des Energieeinsparungsgesetzes vom 20. Juni 1980 (BGB1 I S. 701)

/2/ Heizkostenverordnung

Verordnung über die verbrauchsabhängige Abrechnung der Heiz- und Warmwasserkosten (Verordnung über Heizkostenabrechnung – Heizkosten V) Vom 23. Februar 1981 (BGB1 I S. 261, ber. S. 296) in der Fassung vom 20. Januar 1989 (BGB1 I S. 115)

/3/ DIN V 18599

Energetische Bewertung von Gebäuden. Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung (2/2007)

/4/ Europäische Richtlinie zur Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen 2006/32/EG Richtlinie 2006/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. April 2006 über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen und zur Aufhebung der Richtlinie 93/76/EWG des Rates