

# Energetische Bewertung haustechnischer Anlagen mittels des "normierten Energieaufwandes $w_{\text{auf}}$ "



L. Rouvel, P. Deutscher

## T Teil 2: Anwendung am Beispiel einer raumlufttechnischen Anlage

Mittels des Kennwerts "normierter Energieaufwand  $w_{\text{auf}}$ " kann der Zusammenhang von Aufwand und Nutzen bei der Energiebereitstellung in der Regel als eine Gerade (Polynom ersten Grades) beschrieben werden. Diese Darstellung ist konsistent zu der in den neuen Normen und Richtlinien verwendeten Aufwandszahl  $e$  sowie zu dem auch weiterhin benutzten Nutzungsgrad  $\bar{\eta}$ . Es ergibt sich hier der Vorteil, dass die Charakteristik einer Anlage mittels zwei gängigen Wertepaaren – Nennwirkungsgrad und Bereitschaftsverlust – beschrieben werden kann. Dadurch können mit relativ geringem Aufwand auch komplexe haustechnische Systeme wie RLT-Anlagen energetisch bewertet werden, was auch nach der EU-Richtlinie über die Energieeffizienz von Gebäuden [1] künftig erforderlich sein wird.

Im Teil 1 der Veröffentlichung ist der Kennwert "normierter Energieaufwand  $w_{\text{auf}}$ " eingeführt und der Zusammenhang zur Aufwandszahl  $e$  und zum Nutzungsgrad  $\bar{\eta}$  dargestellt worden. Der folgende Teil 2 zeigt die Anwendung dieser Methodik am Beispiel der Ermittlung des Energiebedarfs einer raumlufttechnischen Anlage.

Im ersten Teil der Veröffentlichung ist das energetische Bewertungsverfahren von Verbrauchern und energetischen Anlagen mittels des Kennwerts "normierter Energieaufwand  $w_{\text{auf}}$ " vorgestellt worden. **Bild 1** zeigt hierfür nochmals die Methodik zur Bestimmung des Energieaufwands einer Anlage:

- Die zu erbringende Energieabgabe  $W_{\text{ab}}$  der betrachteten Anlage wird auf die "Nenn-Energieabgabe" (Produkt aus der Nennleistung  $P_N$  und Gesamtlaufzeit  $t_B$ ) bezogen und somit zur **Auslastung  $\beta$**  normiert.

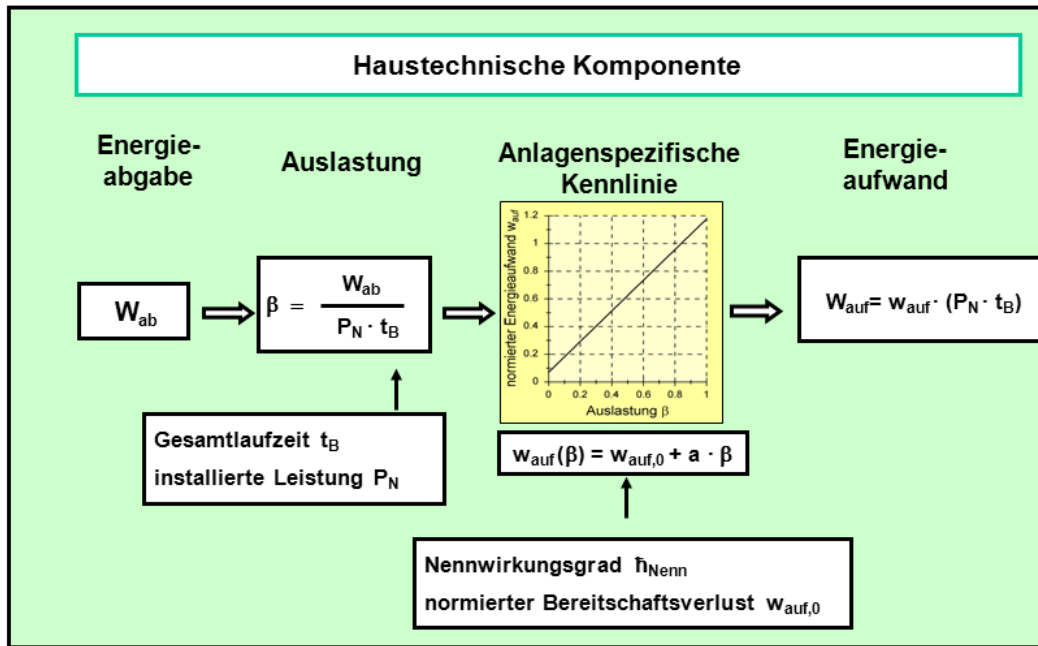
- Mittels des Zusammenhangs

$$w_{\text{auf}}(\beta) = w_{\text{auf},0} + a \cdot \beta \quad (1)$$

wird aus der anlagenspezifischen Kennlinie  $w_{\text{auf}} = f(\beta)$  der "normierte Energieaufwand  $w_{\text{auf}}$ " bestimmt. Die Koeffizienten der Kennlinie entsprechende Gl. (1) ergeben sich aus dem Nennwirkungsgrad  $\eta_{\text{Nenn}}$  und den normierten Bereitschaftsverlusten  $w_{\text{auf},0}$  der betrachteten Komponente.

- Durch Multiplikation des "normierten Energieaufwands  $w_{\text{auf}}$ " mit der die "Nenn-Energieabgabe" (Produkt aus der Nennleistung  $P_N$  und Gesamtlaufzeit  $t_B$ ) wird der von der energetischen Anlage benötigte Energieaufwand  $W_{\text{auf}}$  ermittelt:

$$W_{\text{auf}} = w_{\text{auf}} \cdot (P_N \cdot t_B) \quad (2)$$



**Bild 1: Energetische Bewertung von energetischen Anlagen**

## Energieaufwand für einen Niedertemperaturkessel

Als erstes Beispiel für die Anwendung dieser Methodik wird nachfolgend die Ermittlung des Energieaufwands einer Niedertemperaturkessels dargestellt<sup>1</sup>:

Der Nennwirkungsgrad des Kessels  $\eta_{Nenn}$  betrage 94 %, die normierten Bereitschaftsverluste  $w_{auf,0}$  0,01. Somit ergibt sich in diesem Fall die anlagenspezifische Kennlinie  $w_{auf} = f(\beta)$  zu:

$$w_{auf}(\beta) = 0,01 + 1,05 \cdot \beta \quad (3)$$

Die von dem Heizkessel zu erbringende Energieabgabe  $W_{ab}$  betrage 224 kWh/(m<sup>2</sup> a) (bezogen auf die Nutzfläche).

Die auf die Nutzfläche bezogene Nennleistung  $P_N$  des Kessels betrage 160 W/m<sup>2</sup>, die Betriebsdauer  $t_B$  7.200 h/a.

Somit ergibt sich hier die Auslastung  $\beta$  zu:

$$\beta = \frac{W_{ab}}{P_N \cdot t_B} = \frac{224 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})}{160 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot 7.200 \text{ h/a}} = 0,194 \quad (4)$$

Somit ergibt sich nach Gl. (3) der "normierte Energieaufwand  $w_{auf}$ " zu

$$w_{auf}(\beta = 0,194) = 0,01 + 1,05 \cdot \beta = 0,214 \quad (5)$$

Als Ergebnis der Betrachtung ist festzuhalten, dass für diesen Beispiel der Energieaufwand des Heizkessels bzw. der Endenergiebedarf zur Deckung der Heizlast sich zu

$$\begin{aligned} W_{auf} &= w_{auf} \cdot (P_N \cdot t_B) \\ &= 0,214 \cdot (160 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot 7.200 \text{ h/a}) = 247 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a}) \end{aligned} \quad (6)$$

errechnet.

<sup>1</sup> Hinsichtlich der Kennwerte und Angaben zur Energieabgabe wird für das Beispiel des Niedertemperaturkessels auf das später folgende Berechnungsbeispiel vorgegriffen.

Es zeigt sich, dass mittels der Methodik des "normierten Energieaufwandes" – falls die benötigten Kennwerte vorliegen – der Energieaufwand einer energetischen Anlage relativ einfach ermittelt werden kann.

## **Energieaufwand für eine raumluftechnische Anlage**

Als zweites Beispiel wird die Ermittlung des Energieaufwands für ein komplexes haustechnisches System, nämlich einer raumluftechnischen Anlage mit einem Luft- und Wassersystem, dargestellt:

Ein Gebäude soll mittels einer 4-Leiter-Induktions-Anlage konditioniert werden.

Der Nutzenergiebedarf des hier betrachteten Gebäudes - Bürogebäude vom Scheibentyp in Nord-Süd-Ausrichtung – ist im Vorfeld mittels eines dynamischen instationären Gebäudesimulationsprogramms<sup>2</sup> ermittelt worden. Der bauphysikalische Aufbau des Gebäudes ist an den Raumtyp L "leicht" der VDI 2078 [6] angelehnt.

Ausgehend von diesen Werten des Nutzenergiebedarfs im Gebäude – welcher der zu erbringenden Energieabgabe der raumluftechnischen Anlage entsprechen – soll der Energieaufwand für die RLT-Anlage bestimmt werden.

### **Vereinfachte Methodik erforderlich**

In diesem Kontext ist anzumerken, dass im Vorfeld der Bewertung eines haustechnischen Systems selbstredend die Ermittlung des Nutzwärmebedarfs im Gebäude durchzuführen ist.

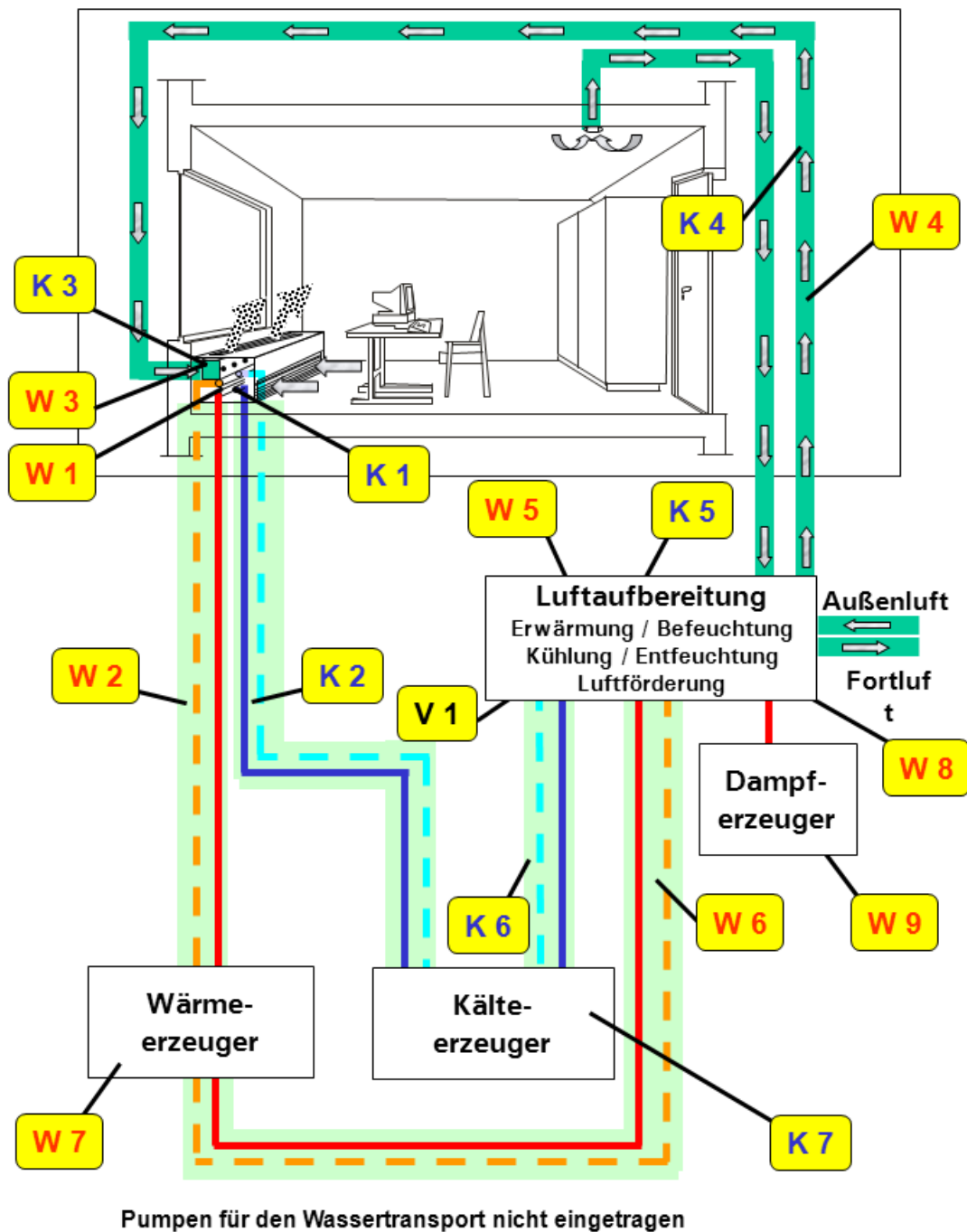
Für die Umsetzung der EU-Richtlinie über die Energieeffizienz von Gebäuden [1] ist neben einer vereinfachten Methodik zur energetischen Bewertung der Haustechnik – wie hier vorgestellt – auch eine vereinfachte Methodik zur Ermittlung des Nutzenergiebedarfs von klimatisierten Gebäude erforderlich. Für die Bestimmung des Heizwärmebedarfs von nur-beheizten Gebäuden liegt die Methodik entsprechend der DIN EN 832 [7] bzw. der DIN EN ISO 13790 [8] vor. Das Heizperiodenverfahren und auch das Monatsbilanzverfahren der DIN EN 832 [7] bzw. der DIN EN ISO 13790 [8] finden seit langem Anwendung in der Praxis.

Zur Ermittlung des Nutzenergiebedarfs von klimatisierten Gebäuden hingegen werden derzeit noch immer verhältnismäßig aufwändige und dementsprechend arbeitsintensive Berechnungsprogramme herangezogen, da bisher noch keine vereinfachten normativen Verfahren vorlagen. In [9] und [11] wird eine Methodik aufgezeigt, welche aufbauend auf dem Monatsbilanzverfahren zur Heizwärmebedarfsbestimmung der DIN EN 832 [7] bzw. der DIN EN ISO 13790 eine relativ einfache Bestimmung des Nutzenergiebedarfs für dezentrales und zentrales Heizen und Kühlen und den Energieaufwand für Be- und Entfeuchtung mittels eines Monatsbilanzverfahrens erlaubt. Es ist im Rahmen der EU-Richtlinie über die Energieeffizienz von Gebäuden [1] vorgesehen, dieses Verfahren als Vorschlag für die Normung einzuführen.

---

<sup>2</sup> Für die Ermittlung des Nutzenergiebedarfs des Gebäudes, aufgeteilt in dezentralen Energieaufwand (in den Räumen) und zentralen Aufwand (im Klimagerät), inklusive Berücksichtigung des Be- und Entfeuchtungsaufwands ist das Programmsystem "Thermische Gebäudesimulation GEBSIMU" herangezogen worden. [13], [14] und [15] beschreiben detailliert dessen Berechnungsalgorithmen. Dieses Programm, das auch die Anlagensimulation von RLT-Anlagen einschließt, ist u.a. nach VDI 6020 [16] validiert (siehe [17]).

Der prinzipielle Aufbau der hier betrachteten 4-Leite-Induktions-Anlage ist in **Bild 2** dargestellt.



**Bild 2: Komponenten der Induktionsanlage**

Wie allgemein bekannt und auch aus Bild 2 ersichtlich, besteht eine Induktionsanlage aus vielen Einzelkomponenten. Zur Ermittlung des gesamten Energieaufwands der raumlufttechnischen Anlage ist für **jede** Komponente die in Bild 1 beschriebenen Methodik mittels der anlagenspezifischen Kennlinie anzuwenden. Selbstverständlich sind auch die energetischen Verknüpfungen der Komponenten zu beachten.

Hierzu wird die Induktionsanlage ausgehend von der Darstellung in Bild 2 in Funktionsblöcke zusammengefasst, siehe auch **Tabelle 1**:

- Komponenten, welche die Wärmeseite betreffen  
In der Tabelle 1 und Bild 2 mit der Referenz "W" bezeichnet
- Komponenten, welche die Kälteseite betreffen  
In der Tabelle 1 und Bild 2 mit der Referenz "K" bezeichnet
- Komponenten zur Förderung der Medien  
In der Tabelle 1 mit der Referenz "P" für Pumpen bzw. "V" für Ventilatoren bezeichnet

**Tabelle 1: Komponenten der RLT-Anlage und zugehörige Kennwerte**

Pos.	2	3	4	5	6	7
	RLT-Anlagen-Komponente	Nennwirkungsgrad $\eta_N$	normierte Bereitschaftsverluste $w_{auf,0}$	$a = 1/\eta_N - w_{auf,0}$	Gesamtlaufzeit $t_B$ in h/a	Auslastung $\beta$
W 1	Nutzenübergabe Wärme Induktionsgerät	0,99	0,07	0,94	7.200	0,193
W 2	Verteilung Wärme dezentral Wasser (vom Wärmeerzeuger zu Ind. Geräten)	0,90	0,05	1,06	7.200	0,242
W 3	Nutzenübergabe Wärme Luftauslass	0,99	0,01	1,00	2.400	0,271
W 4	Verteilung Wärme dezentral Luft (vom Klimagerät zum Luftauslass)	1,03	-0,02	0,99	2.400	0,283
W 5	Übergabe Wärme zentral Luft-Wasser (im Klimagerät)	0,99	0,01	1,00	2.400	0,256
W 6	Verteilung Wärme zentral Wasser (vom Wärmeerzeuger zum Klimagerät)	0,98	0,02	1,00	2.400	0,263
W 7	Wärmeerzeuger	0,94	0,01	1,05	7.200	0,194
W 8	Dampfbefeuchtung mit Bereitschaft	0,87	0,08	1,07	1.630	0,434
W 9	Dampferzeugung (elektrisch)	0,94	0,01	1,05	1.630	0,507
K 1	Nutzenübergabe Kälte Induktionsgerät	0,99	0,07	0,94	1.800	0,088
K 2	Übertragung Kälte dezentral Wasser (vom Wärmeerzeuger zu Ind. Geräten)	0,90	0,05	1,06	1.800	0,148
K 3	Nutzenübergabe Kälte dezentral (Luftauslass)	0,99	0,01	1,00	730	0,282
K 4	Verteilung Kälte dezentral, Luft (vom Klimagerät zum Luftauslass)	0,95	0,02	1,03	730	0,291
K 5	Übergabe Kälte zentral Luft (im Klimagerät)	0,96	0,01	1,03	730	0,317
K 6	Verteilung Kälte zentral Wasser (von Kältemaschine zum Klimagerät)	0,98	0,02	1,00	730	0,333
K 7a	Kälteerzeuger	2,76	0,02	0,34	400	0,364
K 7b	Kälteerzeuger	2,76	0,02	0,34	1.800	0,229
P/V 1	Pumpe Wärmeverteilung Induktionsgeräte - Wärmeerzeuger	0,42	0,01	2,37	7.200	0,185
P/V 2	Pumpe Wärmeverteilung Klimagerät - Wärmeerzeuger	0,42	0,01	2,37	1.800	0,278
P/V 3	Pumpe Kälteverteilung Induktionsgeräte - Kälteerzeuger	0,42	0,01	2,37	2.400	0,208
P/V 4	Pumpe Kälteverteilung Klimagerät - Kälteerzeuger	0,42	0,01	2,37	730	0,411
P/V 5	Ventilator Wärme/Kälte zentral (mit Motor)	0,65	0,01	1,53	3.055	1,002

Anzumerken ist, dass in der Darstellung entsprechend Tabelle 1 und Bild 2 bereits viele Einzelkomponenten möglichst sinnvoll zusammengefasst sind. Beispielsweise setzt sich die Komponente "V1" sowohl aus Zu- und Abluftventilatoren als auch aus den zugehörigen elektrischen Antrieben zusammen.

Tabelle 1 enthält weiterhin die zugehörigen Kennwerte des "Nennwirkungsgrads" und der "normierten Bereitschaftsverluste", welche zur Beschreibung des energetischen Betriebsverhaltens jeder der hier betrachteten Komponenten entsprechend Gl. (1) erforderlich sind:

$$w_{\text{auf}}(\beta) = w_{\text{auf},0} + a \cdot \beta$$

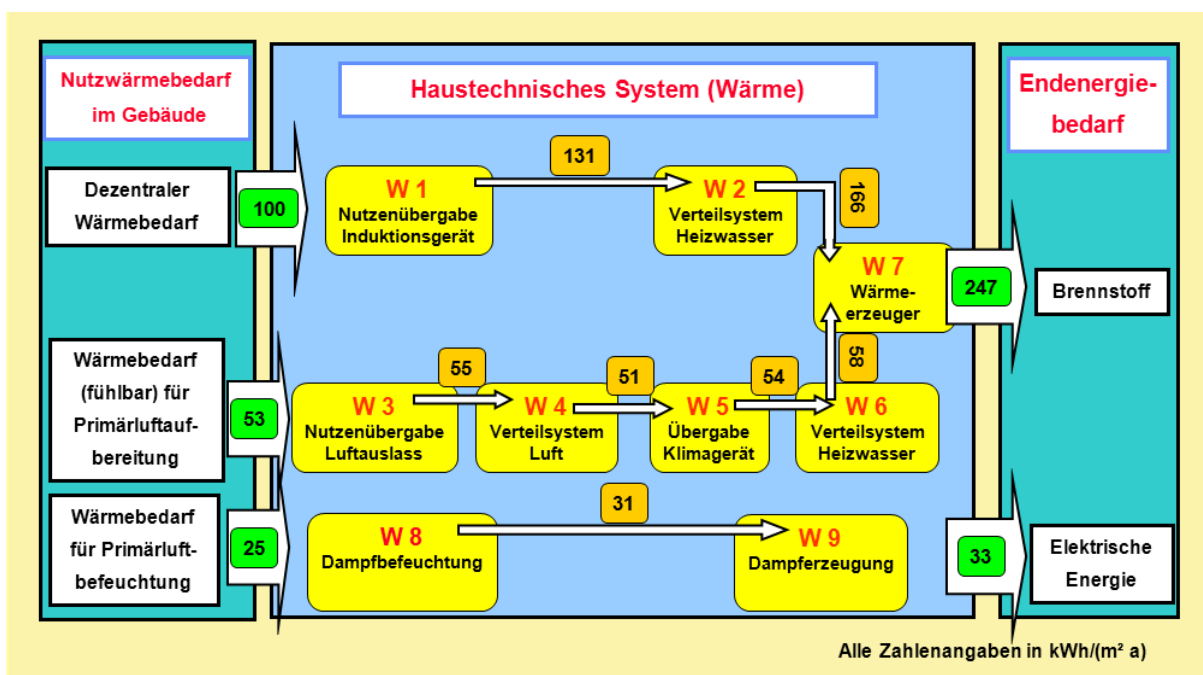
beschrieben werden kann.

Die Kennwerte Nennwirkungsgrad und normierte Bereitschaftsverluste der Tabelle 1 sind für dieses Beispiel aus [6] und [11] entnommen bzw. daraus abgeleitet worden. Es handelt sich hierbei um Beispielswerte, die nicht den Anspruch auf charakteristische Kennwerte erheben.

Zu den Angaben des Nennwirkungsgrades und der normierten Bereitschaftsverluste der RLT-Komponenten in der Tabelle 1 ist zu sagen, dass hier bereits "energetische Querverbindungen" eingearbeitet sind: Beispielsweise führt dies im Fall der Komponente "W 4" (Verteilung Wärme dezentral, Luft) dazu, dass der Nennwirkungsgrad größer eins ist und auch der Wert der normierten Bereitschaftsverluste negativ ist. Hier ist berücksichtigt, dass die Zulufttemperatur für Induktionsanlagen relativ niedrig sein soll (i.d.R. bei etwa 15-16°C). Das Temperaturniveau im Kanal ist also geringer als im Gebäude und die Zuluft im Kanal wird folglich durch die Umgebung erwärmt. Zusätzlich ist hier auch die Temperaturerhöhung der Zuluft durch den Ventilator zu berücksichtigen.

Tabelle 1 enthält auch Angaben zur jeweiligen Betriebsdauer  $t_B$  und Auslastung  $\beta$ , die zur Ermittlung des Energieaufwands entsprechend Bild 1 erforderlich sind.

Um den Energieaufwand der gesamten RLT-Anlage zu ermitteln, ist neben der energetischen Betrachtung der Einzelkomponenten selbstverständlich auch die Beachtung des Gesamtsystems bzw. der energetischen Verschaltung der Komponenten zur einem Gesamtsystem – hier zu einer Induktionsanlage - erforderlich.



**Bild 3: Ermittlung des Endenergiebedarfs zur Deckung des Nutzwärmebedarfs**

In Bild 3 ist die "energetische Verschaltung" der Komponenten, welche die Wärmeseite betreffen, dargestellt:

Der Nutzwärmebedarf im Gebäude setzt sich aus

- dem dezentralen Heizwärmebedarf, welcher vom Induktionsgerät gedeckt wird,
- dem Wärmebedarf im Klimagerät für die Erwärmung der Außenluft auf die Soll-Zulufttemperatur und
- dem Wärmebedarf für die Zuluftbefeuchtung

zusammen.

Bei der Bewertung des Wärmebedarfs für Außenlufterwärmung sind beispielsweise fünf Anlagenkomponenten zu betrachten:

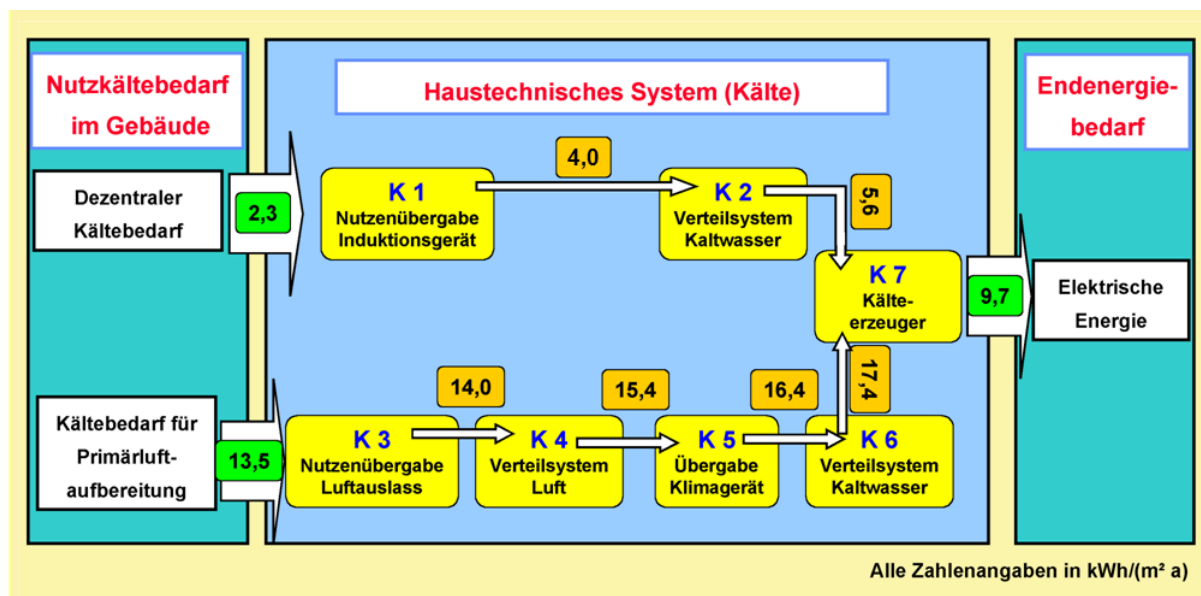
- Nutzenübergabe Wärme Luftauslass – W3
- Verteilung Wärme dezentral, Luft (vom Klimagerät zum Luftauslass) – W4
- Übergabe Wärme zentral Luft-Wasser (im Klimagerät) – W5
- Verteilung Wärme zentral Wasser (vom Wärmeerzeuger zum Klimagerät) – W6
- Wärmeerzeuger - W7

Die Komponente W7 - Wärmeerzeuger –übernimmt auch die Energieabgabe für die Kette des dezentralen Heizwärmebedarfs, so dass sich hier für die Bewertung eine "energetische Parallelschaltung" zweier Bewertungsketten ergibt.

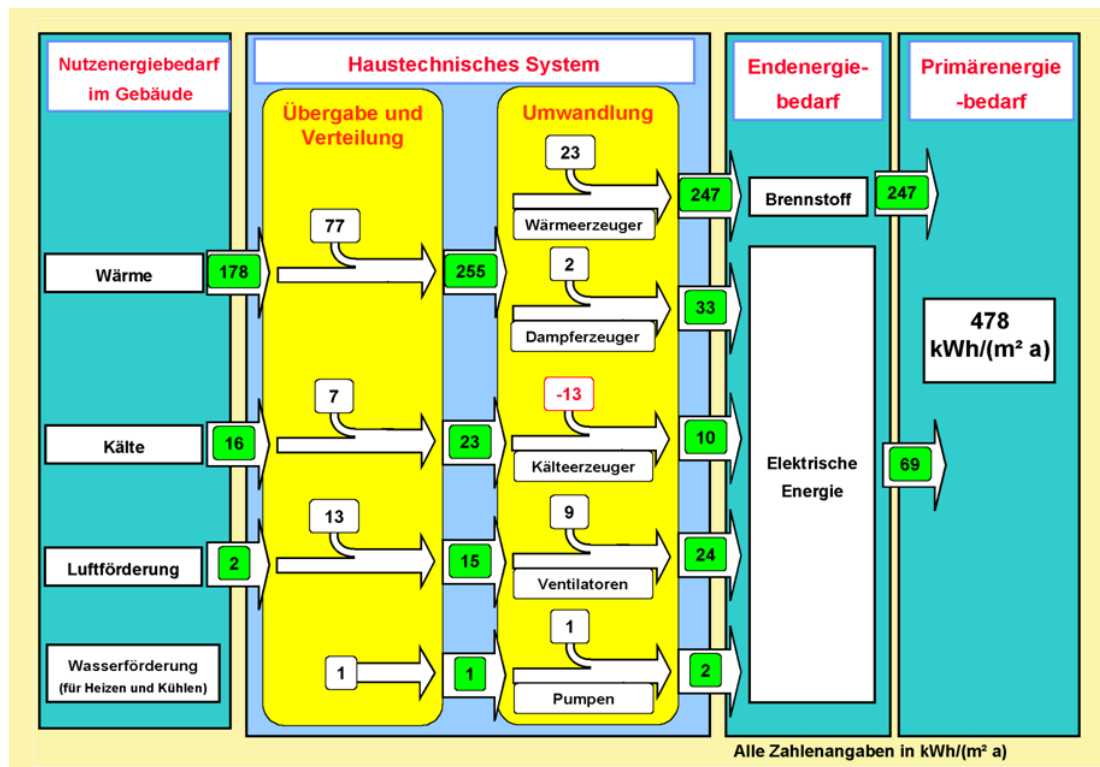
Die Deckung des Wärmebedarfs für Zuluftbefeuchtung erfolgt in diesem Beispiel mit einem elektrischen Dampfzubeuger und ist – zumindest bei dieser Betrachtungsweise – unabhängig von dem Energieaufwand zur Deckung der dezentralen und zentralen Wärmeabgabe.

Als Ergebnis der Betrachtung entsprechend Bild 3 ist festzuhalten, dass zur Deckung von 178 kWh/(m<sup>2</sup> a) an "Nutzwärme" 247 kWh/(m<sup>2</sup> a) der Endenergie "Brennstoff" und 33 kWh/(m<sup>2</sup> a) an "elektrischer Energie erforderlich sind.

Analog erfolgt die Bestimmung des Energieaufwandes zur Deckung des Nutzkältebedarfs, siehe auch **Bild 4**.



**Bild 4: Ermittlung des Endenergiebedarfs zur Deckung des Nutzkältebedarfs**



**Bild 5: Ermittlung des Primärenergiebedarfs der RLT-Anlage**

**Bild 5** fasst die Ergebnisse zusammen: Bei dem hier betrachteten Gebäude ergibt sich ein spezifischer auf die Nutzfläche bezogener Nutzenergiebedarf von

- 178 kWh/(m² a) an Wärme
- 16 kWh/(m² a) an Kälte
- 2 kWh/(m² a) für Luftförderung<sup>3</sup>

Zur Deckung dieses Nutzenergiebedarfs ist für die hier betrachtete Induktionsanlage ein spezifischer Endenergiebedarf von

- 247 kWh/(m² a) an "Brennstoff" und
- 69 kWh/(m² a) an elektrischer Energie erforderlich.

Entsprechend der primärenergetischen Bewertung der Endenergieträger nach DIN 4701-10 [2] ergibt sich somit in der Summe ein spezifischer Primärenergiebedarf von rd. 478 kWh/(m² a).

<sup>3</sup> Der "Nutzenergieaufwand" für Luftförderung ergibt sich hier aus Primärluftvolumen und dem für die Induktionsgeräte erforderlichen Vordruck.



## Fazit

Mittels der Methodik des "normierter Energieaufwands  $w_{\text{auf}}$ " können komplexe energetische Anlagen mit einem relativ geringen Aufwand energetisch bewertet werden.

Die EU-Richtlinie über die Energieeffizienz von Gebäuden [1] erfordert zukünftig ein Bewertungsverfahren, welches auch für mit raumluftechnischen Anlagen konditionierte Gebäude anwendbar ist. Die Methodik des "normierten Energieaufwands" bietet sich hierfür an, da für energetische Bewertung nur zwei Kennwerte erforderlich sind:

- Nennwirkungsgrad
- normierte Bereitschaftsverluste

## Literatur

- [1] RICHTLINIE 2002/ /EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden 8094/2/02 REV 2.
- [2] DIN 4701 Teil 10: Energetische Bewertung von heiz- und raumluftechnischer Anlagen, Heizen, Warmwasser, Lüften, Vornorm, April 2000
- [3] VDI 2067 Blatt 20: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen – Energieaufwand der Nutzenübergabe bei Warmwasserheizungen. August 2000
- [4] DIN 4702 Teil 8: Heizkessel – Ermittlung des Norm-Nutzungsgrades und des Norm-Emissionsfaktors. März 1990
- [5] Recknagel H.; Sprenger, Schramek, E. R.: Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, Oldenburg 1998
- [6] NORM DIN EN 832. Ausgabe:1998-12: *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung des Heizenergiebedarfs; Wohngebäude*
- [7] NORM DIN EN ISO 13790. Ausgabe:1999-08: *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung des Heizenergiebedarfs*
- [8] VDI 2078: *Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume (VDI-Kühllastregeln)* Ausgabe:1996-07
- [9] Rouvel, L.; Elsberger, M.: *Energieeinsparverordnung; Untersuchung differenzierter Ansätze zur energetischen Bewertung von Gebäuden mit Anlagen zur Raumlufkonditionierung. Band 3: Nutzenergiebedarfsbestimmung für raumluftechnisch versorgte Gebäude. TU München August 2000*
- [10] Elsberger, M.: *Nutzenergiebedarfsbestimmung für raumluftechnisch versorgte Gebäude auf Basis eines Monatsbilanzverfahrens.* Dissertation der TU München. August 2000
- [11] Hausladen, G.; Mengedoth, G.: *Energieeinsparverordnung; Untersuchung differenzierter Ansätze zur energetischen Bewertung von Gebäuden mit Anlagen zur Raumlufkonditionierung. Band 4: Anlagentechnische Kenngrößen für den Lufttransport in RLT-Anlagen sowie Herleitung eines Bewertungsverfahrens zur Begrenzung des Energiebedarfs von RLT-Anlagen unter Anwendung von Aufwandzahlen.* August 2000
- [12] IKARUS-Technikdatenbank. Fachinformationszentrum Karlsruhe. Eggenstein-Leopoldshafen 2000
- [13] Rouvel L.: Berechnung des wärmetechnischen Verhaltens von Räumen bei dynamischen Wärmelasten. FfE-Berichte Nr. 2 in BWK 24 (1972); S. 245/256
- [14] Rouvel L.: *Raumkonditionierung - Wege zum energetisch optimierten Gebäude.* Springer Verlag Berlin Heidelberg New York 1978. ISBN 3-540-09048-8

- [15] Rouvel L.: *Thermische und energetische Optimierung von Gebäuden mittels Computersimulation*. VDI-Bericht 1022, S. 35/49. VDI Verlag, Düsseldorf 1992
- [16] RICHTLINIE VDI 6020 BLATT 1, Ausgabe:2001-05: *Anforderungen an Rechenverfahren zur Gebäude- und Anlagensimulation - Gebäudesimulation*
- [17] ROUVEL, L, ZIMMERMANN F.: *Ein regelungstechnisches Modell zur Beschreibung des thermisch dynamischen Raumverhaltens*, Sonderdruck aus HLH 48 (1997) Nr. 10, 12 und HLH 49 (1998) Nr. 1

veröffentlicht in der HLHH:

Deutscher P., Der "normierte Energieaufwand  $w_{auf}$ "  
 Rouvel L.: Energetische Bewertung haustechnischer Anlagen

Teil 1: Herleitung der Methodik und Vergleich mit den Kennwerten  
 "Aufwandszahl  $e$ " und "Nutzungsgrad  $\eta$ "  
 HLH Bd. 54 (2003) Nr. 7 - Juli S. 27/33

Teil 2: Anwendung am Beispiel einer raumluftechnischen Anlage  
 HLH Bd. 54 (2003) Nr. 8 - August S. 44/48

**PROF. DR.-ING. HABIL. LOTHAR ROUVEL**  
 FACHGEBIET ENERGIETECHNIK UND -VERSORGUNG · THERMISCHE GEBÄUDESIMULATION

SÄULINGSTRASSE 4  
 80686 MÜNCHEN

TEL.: 089-576804 FAX: 089-5706641  
 ROUVEL@GEBSIMU.DE WWW.GEBSIMU.DE



