

In der Heiztechnik kommt Prozentgrößen außerordentliche Bedeutung zu. Sie erscheinen auf dem weiten Feld der Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und sie beschreiben die sich verschiebenden Relationen im Bereich hochwärmegeämmter Gebäude – um nur zwei besondere Schwerpunkte herauszugreifen. So bestimmen z. B. Wirkungs- und Nutzungsgrade was wirtschaftlich oder weniger wirtschaftlich ist. Zudem beeinflussen sich verschiebende Relationen massiv die gesamte heiztechnische Produktlandschaft. Bei all dem führen Prozentgrößen auch zu erheblichen Mißverständnissen, insbesondere wenn sie durch häufigen Gebrauch selbst zu absoluten Größen werden. Definitionsgemäß beschreiben sie aber lediglich das Verhältnis zweier absoluter Größen. Wie weitreichend diese Mißverständnisse sein können und welche Konsequenzen sie nach sich ziehen, sollen einige typische Beispiele verdeutlichen.

Fragwürdige Wirkungs-/Nutzungsgrade

Sicher drängen sich da sofort die die 100-Prozentmarke übersteigenden Nutzungsgrade moderner Brennwertkessel auf. Hier geht es aber um die grundsätzliche Fragwürdigkeit von Wirkungs-/Nutzungsgraden als Maßstäbe für Wirtschaftlichkeitsvergleiche in der Praxis. Zunächst zur Definition: Wirkungs- und Nutzungsgrade (η) beschreiben das energetische Verhältnis Nutzen zu Aufwand. Also:

$$\eta = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}}$$

Bei Wirkungsgraden handelt es sich dabei um Energieströme, bei Nutzungsgraden um Energiemengen. Bild 1 gibt meßtechnisch ermittelte Teillastwirkungsgrade eines Niedertemperatur-Heizkessels wieder. Die relative Brennerbelastung, bei $\varphi = 1$ (durchlaufender Brenner, das heißt volle Lastabnahme) gleich 6,3 kW, entspricht energetisch dem „Aufwand“. Im Teillastbetrieb, $\varphi < 1$, kommt es zu Brenner Ein-/Aus-Schaltungen. Die rechnerische Brennerbelastung, bzw. der energetische Aufwand, ist dann $\varphi \cdot 6,3$ kW.

Das Bild zeigt die Teillastwirkungsgrade als Kurve mit einem Maximum 92,4 % bei $\varphi = 0,38$. Bemerkenswert ist weiterhin, daß in den Betriebspunkten $\varphi = 0,63$ und $\varphi = 0,17$ mit 91 % gleiche Teillastwirkungsgrade vorliegen. Damit scheint die Schlußfolgerung klar:

Angabe von Prozentgrößen in der Heiztechnik

Mit Vorsicht zu genießen

Prozentgrößen haben in der Heiztechnik eine außerordentliche Bedeutung. So bestimmen z. B. Wirkungs- und Nutzungsgrade was wirtschaftlich oder weniger wirtschaftlich ist. Zudem beeinflussen sich verändernde Relationen massiv die gesamte heiztechnische Produktlandschaft. Außerdem können Prozentgrößen auch zu erheblichen Mißverständnissen führen, wie einige typische Beispiele nachfolgend verdeutlichen.

$\varphi = 0,38 \rightarrow$ mit $\eta = 92,4$ % energetisch beste Betriebssituation $\varphi = 0,63$ und $\varphi = 0,17 \rightarrow$ mit η jeweils 91 % energetisch gleiche Betriebssituationen.

Unterhalb der Wirkungsgradkurve ist der jeweils zugehörige Kesselverlust in seiner absoluten Größe (kW) angegeben. Der Verlust errechnet sich hier aus dem Ansatz der Teillastwirkungsgrade

$$\eta_{\varphi} = \frac{\text{Nutzen}_{\varphi}}{\text{Aufwand}_{\varphi}} = \frac{\text{Aufwand}_{\varphi} - \text{Kesselverlust}_{\varphi}}{\text{Aufwand}_{\varphi}}$$

mit Aufwand $_{\varphi} = \varphi \cdot 6,3$ kW ergibt sich schließlich

$$\text{Kesselverlust}_{\varphi} = \varphi \cdot 6,3 \text{ kW} \cdot (1 - \eta_{\varphi})$$

Vergleicht man beide Kurvenverläufe, läßt sich Übereinstimmung in der Aussage nur zwischen $\varphi = 1$ bis $\varphi = 0,38$ feststellen. Der ansteigende Teillastwirkungsgrad bedeutet auch abnehmende Kesselverluste. Danach läßt der abfallende Wirkungsgrad auf wieder ansteigende Kesselverluste schließen, was aber eindeutig nicht der Fall ist, im Gegenteil.

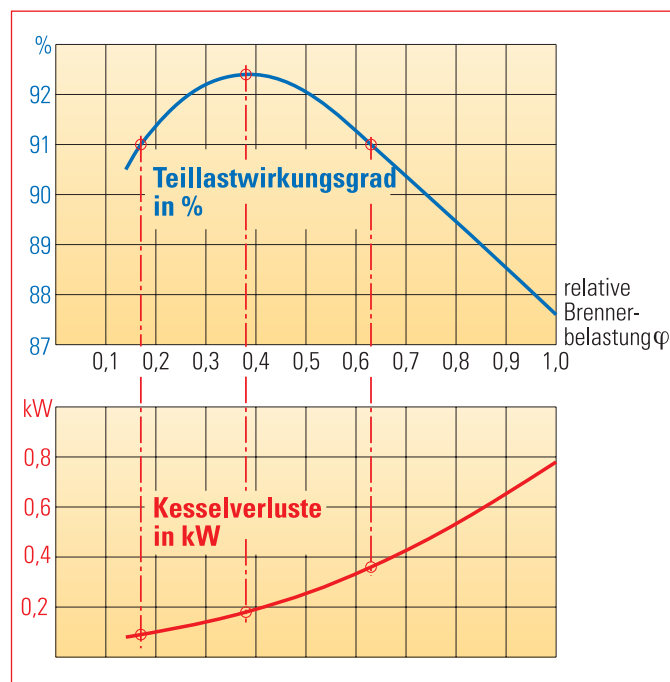


Bild 1 Teillastwirkungsgrad und absolute Verluste eines Niedertemperatur-Heizkessels. Die relative Brennerbelastung bei $\varphi = 1$ beträgt 6,3 kW

Heizung

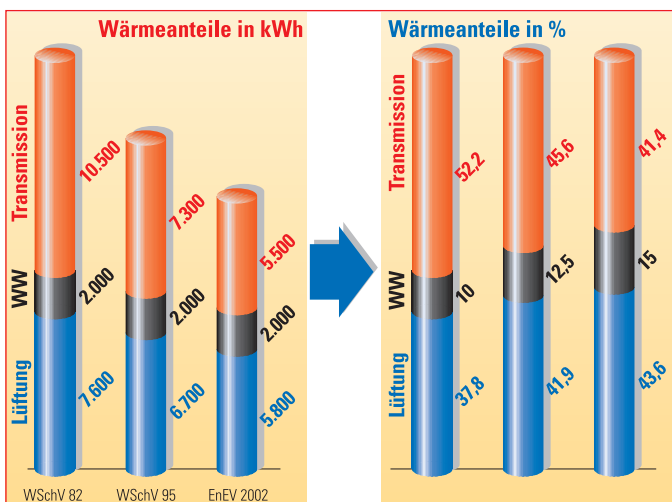


Bild 2 Wärmeanteile eines Einfamilienhauses bei verschiedenen Dämmstandards

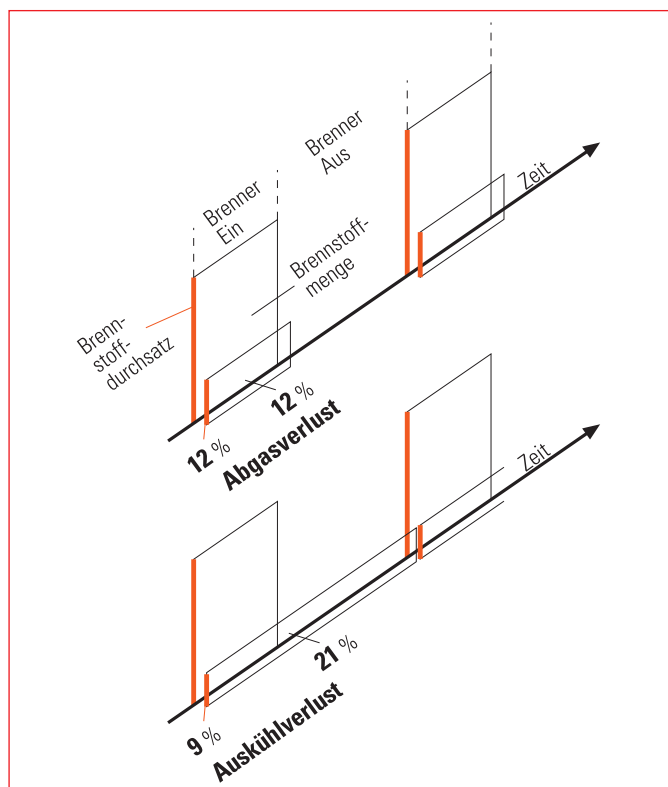


Bild 3 Abgas- und Auskühlverlust eines Heizkessels, jeweils als Anteil der Brennerleistung (entspricht Brennstoffdurchsatz) und der Brennstoffmenge

Zur gleichen Fehlinterpretation führt das Absolutsetzen der beiden Teillastwirkungsgrade 91 %. Der scheinbare energetische Gleichstand unterscheidet sich in den jeweiligen absoluten Verlustgrößen mit 0,096 kW bzw. 0,36 kW immerhin fast um den Faktor 4. Die im Wirkungsgrad-Maximum erreichten 92,4 % beschreiben mit 0,18 kW eine Verlustgröße die in Wirklichkeit fast um den Faktor 2 höher ist als die mit 91 % bei $\phi = 0,17$.

Der geschilderte Sachverhalt hat außerordentliche praktische Bedeutung, da der bei extremer Teillast abfallende Wirkungs- oder Nutzungsgrad häufig zum Anlaß genommen wird, die Eignung herkömmlicher Niedertemperatur- und Brennwertkesseln für hochwärmegeämmte Gebäude in Frage zu stellen. Wie die Kurve der Absolutverluste zeigt, ist die hervorragende Eignung aber kaum zu bestreiten, wenn auch der Kurvenverlauf weniger direkt mit der Brennerbelastung zu tun hat als vielmehr mit der temperaturgleitenden Betriebsweise des Heizkessels, die „zufällig“ parallel mit ϕ verläuft.

Fazit daraus: Wirkungs-/Nutzungsgrade sind nur unter genau definierten Bedingungen vergleichbar (zum Beispiel „Normnutzungsgrade“). Für praktische Energie- und Kostenbetrachtungen sind die absoluten Verlustgrößen maßgeblich. So entsprechen die 0,1 kW Verlustwärmestrom bei

$\phi = 0,17$ und 16 Stunden täglicher Betriebsdauer ca. 0,16 m³ Erdgas. Ob das viel oder wenig ist, bleibt der individuellen Einschätzung überlassen.

Folgen veränderter Relationen

Mit hochwärmegeämmten Gebäuden verschieben sich viele als Prozentzahl ausdrückbare Relationen, denn der Wärmebedarf ist eine gern benutzte Bezugsbasis. Demgegenüber treten nun die unverändert gebliebene Energiebedarfe gewichtiger in Erscheinung. Bild 2 stellt die Wärmebedarfe für Lüftung, Transmission (Wärmeverlust über die Gebäudehüllfläche) und Warmwasserbedarf eines Einfamilienhauses bei verschiedenen Dämmstandards gegenüber. Links sind die absoluten Bilanzen aufgeführt (ohne Anlagenverluste), rechts wiederholt sich gleiches als Prozent-Bilanz. Absolut nimmt der Transmissions- und Lüftungsbedarf ab, der Warmwasserbedarf bleibt unverändert. In der Prozentbilanz nimmt nur der Transmissionsbedarf ab, die Lüftungsverluste und der Warmwasserbedarf scheinen zuzunehmen. Diese beiden Größen finden folglich verstärktes Interesse, insbesondere wenn es darum geht, den Wärmebedarf noch über die Anforderungen der EnEV 2002 hinaus zu reduzieren. Hier zeigt sich zum einen die Sinnhaftigkeit der Prozentbilanz. Denn sie macht z.B. deutlich,

daß eine weitere Minderung der Transmissionsverluste vernünftigerweise mit einer Minderung auch der Lüftungsverluste zu koppeln ist. Andererseits zeigt sich genau damit eine Eigendynamik. Das Wechselspiel von Minderung einerseits und „Anwachsen“ bislang weniger gewichtiger Verlustgrößen andererseits kann mit einem sich aufblähenden Anforderungskatalog theoretisch ins Uferlose laufen. Den Blick, um was es eigentlich geht, vermitteln jedenfalls die absoluten Größen. Jeder sollte deshalb für sich entscheiden dürfen, wie weit er das Spiel mitmacht.

Nicht vergleichbare Prozentgrößen

Als Prozentgrößen ausgewiesene Verluste sind dimensionslos, das heißt sie lassen nicht erkennen, welche physikalischen Einheiten dahinter stehen, ob es sich zum Beispiel um Energieströme (kW) oder Energiemengen (kWh) handelt. Mitunter sorgen Bezeichnungen für Klarheit, wie „Wirkungsgrad“ oder „Nutzungsgrad“. Völlig mißverständlich sind aber z.B. die beiden Kesselverlustgrößen *Abgasverlust* und *Auskühlverlust* (hier als Sammelbegriff für den Strahlungs- und Bereitschaftsverlust gesetzt). Sie scheinen als auf die Brennerleistung bezogene Prozentgrößen vergleichbar, sind es aber nicht (Bild 3).

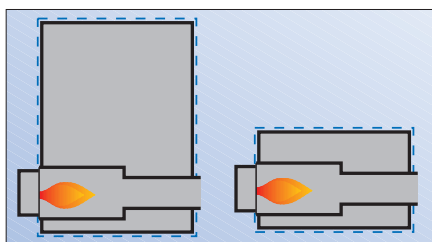


Bild 4 Kessel-Auskühlverluste sind nicht mit der Feuerungsleistung verknüpft, sondern mit der wärmeabgebenden Oberfläche, der Dämmqualität und Betriebstemperatur

Abgasverlust

Der Abgasverlust fällt naturgemäß zeitgleich mit dem Brennstoffdurchsatz an. Er ist deshalb gleichermaßen als Verlustwärmestrom wie auch als Verlustwärmemenge zu verstehen. 12 % Abgasverlust eines Kessels mit 35 kW Brennerleistung (bei 4000 Liter Heizölverbrauch) stehen somit für $0,12 \cdot 35 \text{ kW} = 4,2 \text{ kW}$ Verlustwärmestrom und $0,12 \cdot 4.000 \text{ L} = 480 \text{ L}$ äquivalentem Heizölverlust

	Sommer	Heizperiode	Gesamtjahr Sommer 90 Tage Heizperiode 275 Tage
System 1	$\frac{8}{8 + 1,3 + 3} = 65 \%$	$\frac{8}{8 + 1,3} = 86 \%$	$\frac{65 \% \cdot 90 + 86 \% \cdot 275}{365} = 80,8 \%$
System 2	$\frac{8}{8 + 2,5} = 76,2 \%$	$\frac{8}{8 + 2,5} = 76,2 \%$	$\frac{8}{8 + 2,5} = 76,2 \%$

Bild 5 Warmwasser-Systemnutzungsgrade bei unterschiedlich gewählten Betriebszeiträumen

Auskühlverlust

Für den Auskühlverlust gilt dies nicht in gleicher Weise, denn er ist nicht nur während der Brennerlaufzeiten, sondern während der gesamten Betriebsdauer wirksam. Hat der 35-kW-Kessel 3 % Auskühlverluste, so sind diese als Verlustwärmestrom zu verstehen $0,03 \cdot 35 \text{ kW} = 1,05 \text{ kW}$

Für die äquivalente Brennstoffmenge ist die Betriebsdauer, zum Beispiel 8000 Stunden/Jahr, anzusetzen

$1,05 \text{ kW} \cdot 8000 \text{ h} = 8400 \text{ kWh}$
bzw.

$\frac{8400 \text{ kWh}}{10 \text{ kWh/L}} = 840 \text{ L Heizölverlust}$

auf 4000 L bezogen entspricht dies 21 %. Abgas- und Auskühlverlust sind somit als Prozentzahlen für die energetische Bewertung nicht direkt vergleichbar.

„Falsche Physik“ durch Prozentgrößen

Der oben als „nicht vergleichbare Prozentgröße“ vorgestellte Auskühlverlust kann auch als Musterbeispiel für eine falsch gewählte Bezugsgröße dienen. Falsch deshalb, weil zwischen absolutem Auskühlverlust und Brennerleistung kein direkter physikalischer Bezug herstellbar ist (Bild 4). Wäre das der Fall, müßte in der Betriebsphase Brenner-Aus, also bei Brennerleistung gleich Null, auch der Auskühlverlust gleich Null sein, was bei einem temperierten Kessel aber noch nie beobachtet wurde. Zudem ist niemand in der Lage, aus dem absoluten Auskühlverlust bei Brenner-Aus auf die Brennerleistung bei Brenner-Ein zu schließen. So banal das ist, eine derart vermittelte „falsche Physik“ – je größer die Brennerleistung umso größer der Auskühlverlust – hat gravierende Auswirkungen auf die Praxis. So sind Hersteller gezwungen, dem geringen Wärmebedarf moderner Gebäude angepaßte, aber für die praktischen Betreiberfordernisse unsinnig kleine Kesselleistungen bereitzustellen. Oder es wird ernsthaft vorgeschlagen, wegen des erhöhten Leistungsbedarfs der Warmwasserbereitung diese nicht mit dem Kessel, sondern elektrisch vorzunehmen. Selbst juristische Auseinandersetzungen wegen der angeblichen Unwirtschaftlichkeit eines um ein paar Kilowatt „überdimensionierten“ Heizkessels sind keine Seltenheit. Andererseits gibt es inzwischen auch juristische Auseinandersetzungen wegen offensichtlich unzureichend angebotener Heizleistungen. Fazit hierzu: Die Brennerleistung ist als Bezugsgröße für den Auskühlverlust ungeeignet und irreführend. Objektiv einschätzbar und vergleichbar ist der Auskühlverlust nur als absolute Größe. Diese kann dann auch in Bezug zur Brennerleistung bewertet werden. Klassisches Beispiel einer falsch gewählten Bezugsgröße ist der „Heizwert“ in Verbindung mit Brennwertkesseln (und eigentlich nicht nur bei diesen). Diesem Umstand sind Nutzungsgrade größer 100 % zu verdanken und damit womöglich der Erfolg der Brennwerttechnik.

Einfluß von Randbedingungen

Durch geschickt gewählte Randbedingungen sind bestimmte Prozentgrößen in jede beliebige Richtung zu lenken. Zu dieser Kategorie gehören zum Beispiel „Sommernutzungsgrade“, die gerne beim Vergleich von Warmwassersystemen angeführt werden. Den Mechanismus zeigt Bild 5, wobei – wie schon zuvor – der Nutzungsgrad als

Nutzen/Aufwand-Verhältnis gebildet wird. Der jeweilige Aufwand ist gleich der Summe Nutzen + Verluste:

- System 1 besteht aus einem indirekt beheizten Speicher mit 1,3 kWh und einem Heizkessel mit 3 kWh täglichem Wärmeverlust. Während der 275 Heiztage ist der Kesselverlust der Heizung und nicht dem Warmwasser zuzuordnen. Er entfällt somit während dieser Zeit. Als täglicher Warmwasserbedarf werden 8 kWh angenommen.
- System 2 besteht aus einem direkt beheizten Warmwasser-Speicher mit 2,5 kWh täglichem Wärmeverlust. Der Verlust ist ganzjährig anzusetzen, da das System unabhängig von der Heizungsanlage arbeitet. Der Warmwasserbedarf beträgt ebenfalls 8 kWh pro Tag.

Da beide Systeme ganzjährig genutzt werden, kann ein korrekter Wirtschaftlichkeitsvergleich auch nur über das Gesamtjahr erfolgen. System 1 ist in diesem Fall um 4,6 % günstiger als System 2. Die Eingrenzung auf den „Sommernutzungsgrad“ verdreht den Sachverhalt und präsentiert System 2 mit 11,2 % Abstand als das energetisch bessere. Eine ebenfalls unkorrekte Eingrenzung auf den „Winternutzungsgrad“ würde System 1 überlegener als beim korrekten Vergleich erscheinen lassen.

Wie die wenigen Beispiele zeigen, muß mit Prozentgrößen in der Heiztechnik prinzipiell kritisch umgegangen werden. Nur Normnutzungsgrade sind z. B. vergleichbar. Aber auch sie sagen nichts darüber aus, ob die dahinterstehenden Verluste akzeptabel sind oder nicht. 10 % Brennstoffverluste sind bei 500 m³ Gasverbrauch sicher eher zu verschmerzen als 5 % bei 10 000 m³. Allerdings zeigt die Praxis häufig das genaue Gegenteil. Die 10 % der 500 m³ entfalten sofort ihre Faszination und ziehen mehr Interesse auf sich als die 5 % der 10 000 m³. Das ist das Bemerkenswerte an Prozentgrößen.



Dipl.-Ing. Gerd Böhm

ist seit 1991 bei der Buderus Heiztechnik GmbH, Wetzlar. Zunächst war er dort Leiter des Produktmanagements Wärmeerzeuger und Speicher. Seit 1993 leitet er die Abteilung Technische Öffentlichkeitsarbeit (Telefon (0 64 41) 4 18-16 35, Telefax (0 64 41) 4 18-16 33)