

Energie sparen ohne Komforteinbuße

Durch den Abbau des Verschwendungspotenzials lässt sich in einem Gebäude Heizenergie einsparen

In der aktuellen Diskussion zur CO₂-Einsparung rückt die Beheizung von Bestandsgebäuden zunehmend in den Blickpunkt. Schon mit verbesserten Anlageneinstellungen lassen sich beachtliche Einsparungen erzielen. In diesem Zusammenhang wird vom Abbau des Verschwendungspotenzials gesprochen. Hier liegen neue Geschäftsfelder für Fachleute in der Heizungstechnik.

Einsparung durch vermiedene Verschwendung

Das Verschwendungspotenzial geht aus einem Vergleich zwischen Betriebs- und Bedarfswerten der Temperaturen und Durchflüssen hervor. Es bildet die maximale Verschwendung, die eine Anlage zulässt, und zeigt, wo sich Optimierungen besonders lohnen.

In [1] werden Berechnungsformeln für das Verschwendungspotenzial angegeben. Solche Rechnungen sind etwas anderes als die Bedarfsermittlungen und Wirtschaftlichkeitsrechnungen, die man schon kennt. Sie fallen in ein Gebiet der Heizungstechnik, das heute noch wenig erforscht ist.

Bild 1 zeigt die übliche Bedarfsermittlung anhand eines Energieflussbilds nach DIN V 4701-10 [2], einer Norm für Wohngebäude. Ausgehend von einer Temperatur t_i

und einem Luftwechsel β in der beheizten Zone wird ein Endenergiebedarf Q_H berechnet, der auch die Anlagenverluste Q_g , Q_s , Q_d und Q_{ce} enthält. Mit den Rechenformeln, Diagrammen und Tabellen aus DIN V 4701-10 kann man z. B. nachweisen, dass die Anlage mit einer Wärmepumpe einen niedrigeren Bedarf hätte als mit dem gezeigten Kessel. Aber das hat nichts mit der Einstellung der Anlage zu tun. Sie wird in DIN V 4701-10 als optimal vorausgesetzt.

Bild 2 zeigt ein aus Bild 1 abgeleitetes Schema, in dem diese Voraussetzung fallen gelassen wird. Auch der Nutzer erscheint hier nicht mehr nur als bedarfsgebend, sondern als wichtiger Akteur, der mit seinen Handlungen maßgeblich über den Energieverbrauch bzw. die Energieverschwendung entscheidet. Die Bedarfswerte aus Bild 1 tragen nun den Index 0 und die im Betrieb dazukommenden Werte das Präfix Δ . So ist beispielsweise $t_i = t_{i0} + \Delta t_i$ die Temperatur, die die Nutzer im zeitlichen und räumlichen Mittel herbeiführen. $\beta = \beta_0 + \Delta\beta$ ist der Luftwechsel, der sich im Mittel aus den Nutzerhandlungen ergibt.

Für die Erhöhungen Δt_i und $\Delta\beta$ übergibt die Anlage eine zusätzliche Heizwärme ΔQ_h an die beheizte Zone. Damit sie das kann, wird üblicherweise die Heizkurve überzogen. Das ist mit zusätzlichen Anlagenverlusten ΔQ_g , ΔQ_s , ΔQ_d und ΔQ_{ce} verbunden und verschlechtert so auch noch die Effizienz.

Aber den Löwenanteil der zusätzlichen Heizenergie macht bereits die verschwendete Heizwärme ΔQ_h aus. Man sieht das auch im Bild. Um prozentuale Werte zu bekommen, kann man ΔQ_h auf den Bedarf beziehen und erhält so die Verschwendung von Heizwärme (w für waste) in der Form

$$(1) w_Q = \frac{\Delta Q_h}{Q_{h0}}$$

Über einen interessierenden Zeitraum hinweg, das ist vor allem die Heizperiode, ergibt sich eine effektive Verschwen-

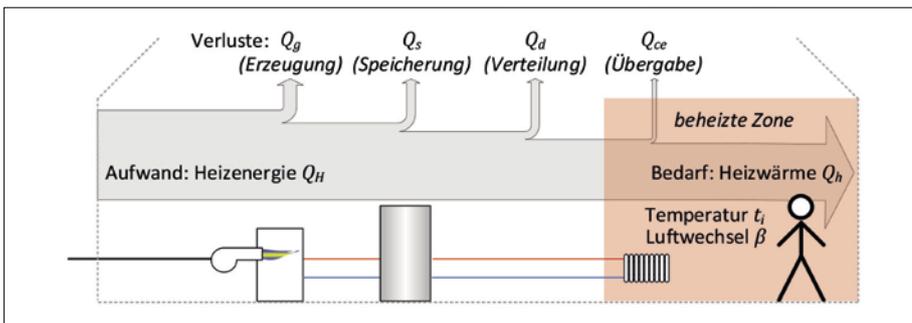


Bild 1: Energiebedarf einer Heizungsanlage gemäß DIN V 4701-10.

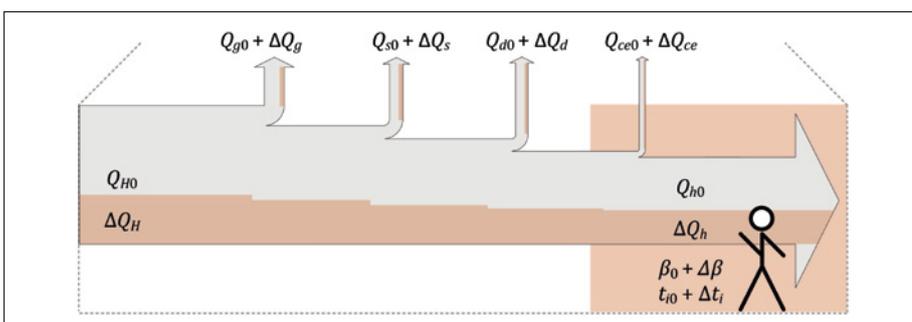


Bild 2: Energiefluss bei Verschwendung.

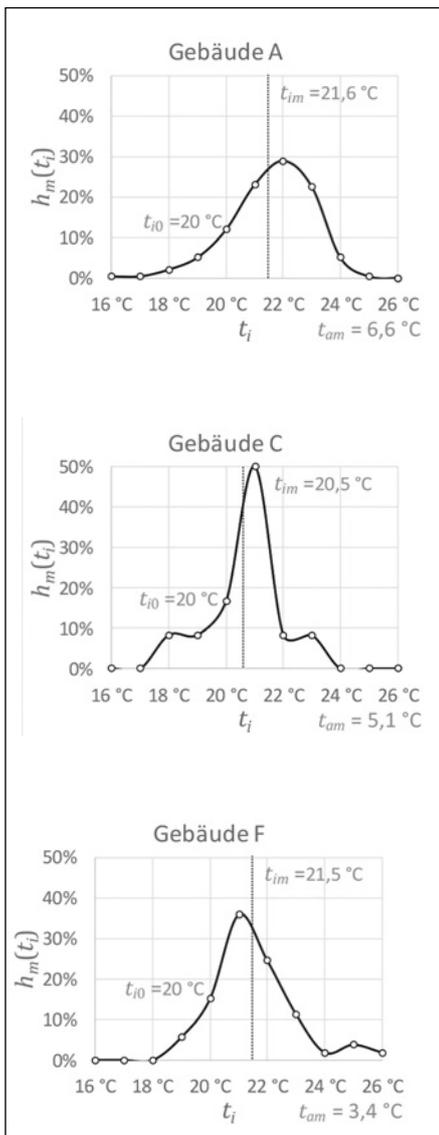


Bild 3: Raumtemperaturprofile Beuth Hochschule 2013/2014 und 2014/15.

dung w_{Qm} , die den Ausgangspunkt für Einsparmaßnahmen bildet. Wird sie auf einen Wert reduziert, ist die Einsparung

$$(2) s_Q = \frac{w_{Qm} - w_{Qm}^*}{1 + w_{Qm}}$$

Wurde die effektive Verschwendung z. B. von $w_{Qm} = 25\%$ auf $w_{Qm}^* = 0$ reduziert, ist $s_Q = 20\%$. In der Praxis können Verschwendungen schlecht bis auf null reduziert werden. Bild 3 zeigt dazu Temperaturverteilungen in drei Gebäuden der Berliner Beuth Hochschule, die nach Ablauf eines 10-jährigen Contractings aufgenommen wurden, in dem 30% Heizenergie eingespart werden konnten.

Aus den Temperaturverteilungen leitet sich ab, dass bezogen auf $t_{i0} = 20^\circ\text{C}$ noch eine Verschwendung von $w_{Qm}^* 12,5\%$ be-

stand. Angenommen, die Heizwärme wurde im gleichen Verhältnis $s_Q = 30\%$ reduziert wie die Heizenergie, lag w_{Qm} vor den Einsparmaßnahmen bei 65%.

Um viel einzusparen, muss vorher viel verschwendet worden sein. Neben deutlichen Einsparungen in Wohnhäusern wird auch von Fällen berichtet, in denen keine Einsparung erzielt werden konnte [3] [4]. In öffentlichen Gebäuden sind Einsparungen von 30% dagegen keine Ausnahme. Wie aber kommen Ausgangslagen mit so hohen Verschwendungen zustande, dass 30% Heizenergie eingespart werden können, und warum können mit verbesserten Anlageneinstellungen solch hohe Einsparungen erzielt werden?

Verschwendung durch Überhitzung und Überlüftung

Bei den Effekten, die zu zusätzlichen Energieverbräuchen führen, fällt der Blick zunächst auf die Überhitzung. Man kennt solche Rechnungen in der Art, dass 1 K Raumtemperaturerhöhung den Energieverbrauch um 6,7% erhöht. Dabei wird davon ausgegangen, dass $t_{i0} = 20^\circ\text{C}$ ist und t_a in der Heizperiode im Schnitt 5°C beträgt. Bezogen auf die Differenz $t_{i0} - t_a$ macht $\Delta t_i = 1\text{ K}$ dann 6,7% aus. Aber das ist nicht die Verschwendung, sondern nur die Überhitzung, gebildet als

$$(3) w_t = \frac{t_i - t_{i0}}{t_{i0} - t_a} = \frac{\Delta t_i}{t_{i0} - t_a}$$

Die Verschwendung aufgrund der Überhitzung ist

$$(4) w_{Qt} = \frac{w_t}{1 - \eta \gamma}$$

Darin sind γ das Gewinn-/Verlustverhältnis und η der Ausnutzungsgrad des Wärmegewinns. In Neubauten kann $\eta \gamma$ über die Heizperiode hinweg bei 50% liegen. Dann ist w_{Qt} im genannten Beispiel nicht 6,7%, sondern 13,3%.

In Bestandsbauten liegt $\eta \gamma$ wegen der höheren Verluste eher bei 20%. Damit müsste w_t nach Gleichung (4) bei $w_{Qt} = 65\%$ über 80% betragen. Aber das ist nicht möglich. Angenommen, t_a ist im Mittel der Heizperiode 5°C , wäre die Raumtemperatur dann nämlich über 32°C .

Wenn man dagegen bei einer Begehung dauerhaft geöffnete Fenster sieht, weiß man, dass die Verschwendung hohe Werte erreicht. Zur Überhitzung w_t gesellt sich dann eine Überlüftung

$$(5) w_v = \frac{\Delta \beta}{\beta_0}$$

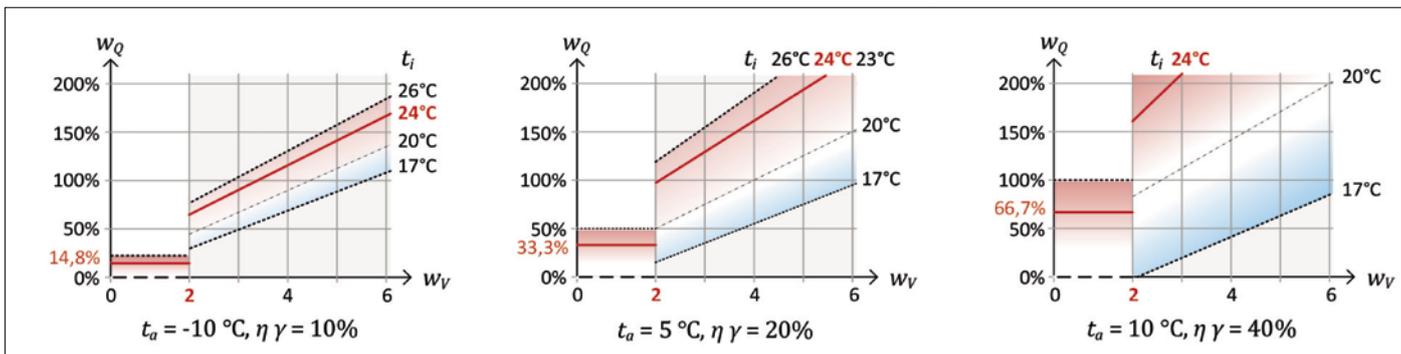


Bild 4: Verschwendungen bei $b_v = 20\%$.

Beträgt der Bedarfswert β_0 des Luftwechsels z.B. 0,5/h, kann schon das erste gekippte Fenster dazu führen, dass sich der der Luftwechsel auf 1,5/h erhöht. $\Delta\beta$ ist dann 1/h und w_V springt von 0 auf 2. In [1] wird gezeigt, welche Verschwendung sich aus Überhitzung und Überlüftung ergibt. Die Rechenformel ist

$$(6) w_Q = \frac{(1 + w_V)(1 + b_v w_V) - 1}{1 - \eta \gamma}$$

b_v ist der Lüftungsanteil des Wärmeverlusts. Im Bestand liegt er bei 20%. Bild 4 zeigt für diesen Wert von b_v und verschiedene Witterungen, wie eine Verschwendung nach Gleichung (4) mit Temperaturen bis 24 °C bei $w_V = 2$ in eine Verschwendung nach Gleichung (6) übergeht.

Repräsentativ für die Heizperiode ist das mittlere Diagramm. Bei reiner Überhitzung auf 24 °C ist $w_{Qt} = 33,3\%$. Wird dann das erste Fenster gekippt, springt die Verschwendung auf Werte zwischen 50% und 100%, je nachdem, wie weit dabei t_i zurückgeht, und steigt mit höherer Überlüftung drastisch an.

Die Gründe für den Griff zum Fenster sind vielfältig. Neben einer Lüfterneue-

rung, die in eine dauerhafte Fensteröffnung übergeht, kann es sich auch um eine kurzzeitige Überhitzung des Raums handeln, die die Überlüftung auslöst. Dafür gibt es typische Szenarien:

- Wenn in einem Büroraum die Temperatur als zu niedrig empfunden wird, etwa nach einer Absenkung, werden Hand- oder Thermostatventile häufig stark geöffnet. Anders als die Raumbeleuchtung lässt sich die Raumbeheizung dann aber nicht mehr zurückdrehen, wenn die Temperatur zu hoch ist.
- Wird ein Seminarraum betreten, kann die Personenwärmeabgabe auch dann zu einer Überhitzung, führen, wenn die Raumtemperaturregelung die Ventile schließt. Erst nach einiger Zeit würde sich der Raum wieder abkühlen, doch da sind die Fenster schon geöffnet. Aber warum können sie offenbleiben?

Verschwendungspotenzial und effektive Verschwendung

Bild 5 zeigt für die Heizperiode eine gedachte Häufigkeitsverteilung der Verschwendung, die in verschiedenen Räumen zu verschiedenen Zeiten zustande kommt. Im linken Teil ist sie durch Über-

hitzung, im rechten Teil durch Überlüftungen geprägt. Die Delle dazwischen ist der Sprung.

Anders als in Bild 4 ist hier eine maximale Heizwärme ΔQ_{hs} berücksichtigt, die die Anlage in einer interessierenden Zeitspanne, vorzugsweise der Heizperiode, abgeben kann. Bezogen auf den Heizwärmebedarf Q_{ho} ergibt sich daraus das Verschwendungspotenzial der Anlage als

$$(7) w_{Qs} = \frac{\Delta Q_{hs}}{Q_{ho}}$$

Das Verschwendungspotenzial ist hier 100%. Es streut aber noch räumlich und zeitlich. An dem steilen Abfall der Häufigkeitsverteilung im Bereich des Verschwendungspotenzials lässt sich seine begrenzende Wirkung erkennen. Die Verschwendung ist links in Bild 5 (das Diagramm) bei w_{Qs} gekappt.

Doch das verhindert nicht, dass Räume weiter bis auf $w_V = 4$ überlüftet werden können. Räume mit hohen Wärmegegewinnen können sogar noch stärker überlüftet werden. Sie treiben w_{Qm} kräftig nach oben und machen dann auch Werte von 65% möglich. Wie aber geht die Einsparung vor sich?

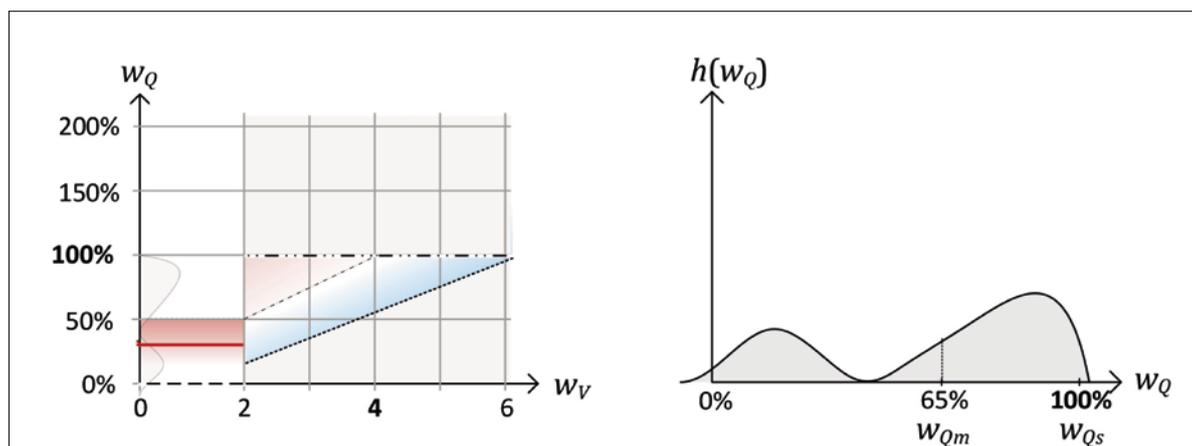


Bild 5: Begrenzung der Verschwendung durch $w_{Qs} = 100\%$.

