

Zur Leistungsbemessung von Ersatzkesseln für Wohnbauten auf der Basis des langjährigen Brennstoffverbrauchs

Von René Weiersmüller, Schlieren

In «HeizungKlima» Nr. 11/1990 ist von Franco Kummer der KRW-Kesselwahlschieber als neues Bemessungsverfahren zur Bestimmung der Heizkesselleistung in Altbauten vorgestellt worden. Dieser Schieber führt zu einer rund 40% grösseren Heizleistung als die vor über 10 Jahren entwickelte Bemessungsscheibe [1, 2, 3,4].

Als Folge kleinerer Bereitschaftsverluste hat die exakte Leistungsbemessung zwar nicht mehr den gleichen Stellenwert wie vor 10 Jahren. Sie jedoch als unerheblich hinzustellen, wäre auch falsch, ist doch ausser dem Mehrpreis für den leistungsstärkeren Kessel sowie dem lufthygienischen Nachteil zu berücksichtigen, dass die Bereitschaftsverluste im Heizungskeller oft erheblich höher sind als bei der Typenprüfung. Dies, weil in der Praxis u. a. die Wärmedämmung des Kessels vielfach nicht mit gleicher Akribie angebracht wird wie für die Typenprüfung...

Nach übereinstimmender Meinung fachlich kompetenter und kritischer Anwender ergibt schon die Bemessungsscheibe gegenüber den SIA-Empfehlungen bzw. Normen eine zu grosse Heizleistung. Durch die Heraufsetzung der Auslegungstemperatur im Jahr 1982 sind diese Leistungsreserven noch grösser geworden. Der Versuch, den Leistungsüberschuss mit dem KRW-Schieber noch weiter auszubauen, geht in die falsche Richtung.

Herleitung der Ersatzkessel-Leistungformel

Bei einer idealisierten Gebäude-Elektroheizung ist

$$(1) \quad B = p \cdot \beta \cdot z$$

Der Energiekonsum B ist also proportional der installierten Leistung p, der Nennleistungsauslastung β und der Zeit z. Eine während 10 Stunden zu 50% ausgelastete 10-kW-Elektroheizung verbraucht somit 50 kWh.

Umgekehrt gilt:

$$(2) \quad p = \frac{B}{\beta \cdot z}$$

d.h. eine während 10 Stunden 50 kWh konsumierende und zu 50% ausgelastete

Elektroheizung hat eine installierte Leistung von 10 kW.

Im Idealfall (keine Wärmegewinne durch Sonne und innere Abwärmen, keine Speicherkapazität) ist der von der Heizanlage zu deckende Wärmeverlust direkt proportional der Differenz zwischen Raumluft- und Aussenlufttemperatur. Die Nennleistungsauslastung β kann somit auch als Verhältnis von Temperaturdifferenzen ausgedrückt werden: Ist die Elektroheizung bei 20 °C Raumlufttemperatur exakt auf die Aussentemperatur von -10°C ausgelegt, so ist die Nennleistungsauslastung β bei -10°C also 1 und bei +5°C noch 0,5.

Die Umkehrung: Eine Elektroheizung bezieht bei einer Aussentemperatur von +5°C während 10 Stunden 50 kWh Elektrizität. Die neue Heizung soll auf eine Aussentemperatur von genau -10 °C ausgelegt sein. Nach Formel (2) ergibt sich die gesuchte Leistung aus der Division von 50 kWh mit $(20-5)/(20-[-10])$ und die 10 Stunden, was zur gesuchten Leistung von 10 kW führt.

Die gleiche Berechnung ist auch über den Jahresenergieverbrauch durchführbar: Dazu braucht es allerdings eine möglichst realistische Berechnung der mittleren Temperaturdifferenz während der Heizperiode sowie der Temperaturdifferenz bei Auslegungsverhältnissen. Für Öl- oder entsprechend für Gasheizungen wird zudem der sich auf den langjährigen Ölverbrauch beziehende Jahreswirkungsgrad der Anlage sowie der Umrechnungsfaktor von Liter Öl auf kWh H_u benötigt. Das ergibt folgende Ersatzleistungsformel:

$$(3) \quad p = \frac{B \cdot H_u \cdot \eta_a}{\beta \cdot z}$$

p: Kesselleistung des Ersatzkessels [kW]

B: Bisheriger mittlerer Brennstoffverbrauch pro Jahr [l/a] bzw. [m³/a]

H_u : Unterer Heizwert des Brennstoffes [kWh/l] bzw. [kWh/m³]

η_a : Bisheriger Jahreswirkungsgrad des Heizkessels [-]

z: Jahresbetriebszeit des Kessels [h/a]

β : Kesselnennleistungsauslastung [-].

Achtung, die Kesselnennleistungsauslastung β ist (wie die Brennerauslastung α) eine Verhältniszahl. Beide stimmen zahlenmässig nur bei 100% überein, d. h. bei einer Brennerauslastung α von 100% ist auch die Kessel-

nennleistungsauslastung $\beta = 100\%$. Bei einer Brennerauslastung entsprechend den Bereitschaftsverlusten (also $\alpha = q_B$) ist die Kesselnennleistungsauslastung β hingegen Null (siehe auch [5])!

Wird dabei die theoretische Nennleistungsauslastung β ausgedrückt als Quotient der mittleren Temperaturdifferenz während der Heizperiode (aus modifizierten, d. h. Wärmegewinne durch Sonne und innere Abwärmen berücksichtigten Heizgradtagen HGT_{mod} , dividiert durch die Anzahl modifizierter Heiztage HT_{mod}) und derjenigen bei Auslegungstemperatur, so ergibt sich für β bei einer Raumlufttemperatur von 20 °C

$$(4) \quad \beta = \frac{HGT_{mod}}{20 - t_{aa}}$$

HGT_{mod} : Modifizierte Heizgradtage je Jahr

HT_{mod} : Modifizierte Anzahl Heiztage je Jahr

t_{aa} : Auslegungstemperatur nach SIA 384/2

Gleichung (4) in Gl. (3) ergibt zusammen mit der möglichen Kürzung von $z = 24 \cdot HT_{mod}$ und vollständig ausformuliert

$$(5) \quad p = B \frac{H_u \cdot \eta_a (20 - t_{aa})}{HGT_{mod} \cdot 24}$$

Diese übersichtliche Formel erfordert keine zusätzlichen Berechnungen mehr; sämtliche Parameter - soweit sie nicht den Normenwerken entnommen werden können - sind direkt einsetzbar.

Ersatzleistungsformel von Kummer

Die der Gleichung (3) entsprechende, von Kummer in «HeizungKlima» Nr. 11/1990 als Gl. (7) bzw. (7a) vorgestellte Gleichung lautet ohne die dort von ihm verwendeten Exponenten:

$$(6) \quad p = B \cdot H_u \cdot \eta_a \frac{1 - q_B}{b - z \cdot q_B}$$

b: Neue Brennerlaufzeit pro Jahr [h/a]

q_B : Bereitschaftsverlust des Ersatzkessels [-]

Mit Blick auf die logische Gleichung (3) wird sich der Skeptiker fragen, warum nun plötzlich für die Leistungsbestimmung auch noch separat zu berechnende, neue jährliche Brennerlaufzeiten oder gar die Bereitschaftsverluste des zukünftigen (leistungs- und evtl. fabrikatmässig noch unbekannt) Kessels benötigt werden. Die Formel (6) ist umständlich. Nach [5] ist

$$(7) \quad b - b_q = \frac{b - z \cdot q_B}{1 - q_B}$$

b_q : Jährliche Brennerbetriebszeit zur Deckung der Bereitschaftsverluste [h/a]

und die Kesselnennleistungsauslastung ist definitionsgemäss

$$(8) \beta = \frac{b - b_q}{z}$$

was zusammen

$$(9) \beta \cdot z = \frac{b - z \cdot q_B}{1 - q_B}$$

ergibt. In die Gleichung (6) von Kummer eingesetzt, führt das wieder zur Gleichung (3), d. h. der über die Logik entwickelte Leistungsansatz ist auch auf algebraischem Weg über Kummers umständlichen Ansatz (6) verifizierbar.

Umweg über den Bemessungsfaktor BF

Kummer fasst in «HeizungKlima» einen Teil seines hier als Gl. (6) aufgeführten Ansatzes mit Gl. (31) & (32) zu dem sogenannten Bemessungsfaktor BF zusammen, d.h.:

$$(10) BF = \frac{b - z \cdot q_B}{H_U \cdot \eta_B (1 - q_B)}$$

Die notwendige Heizleistung des Ersatzkessels muss somit über die Division des jährlichen Brennstoffverbrauchs B mit dem Bemessungsfaktor BF bestimmt werden. Dieser Bemessungsfaktor kann berechnet oder aus einem Anhang für 52 SMA-Stationen herausgelesen werden, zusammen mit der zur Station gehörenden Brennerlaufzeit. Pro Station sind dabei die Bemessungsfaktoren für jeweils

fünf vorgegebene Jahreswirkungsgrade und drei verschiedene Bereitschaftsverluste aufgeführt.

Wie bereits erwähnt und aus Gl. (3) bzw. (5) ersichtlich, ist der Einbezug von Bereitschaftsverlusten eigentlich überflüssig. Benötigt wird jedoch der sich direkt proportional auf die resultierende Leistung auswirkende Jahreswirkungsgrad. Ihn hingegen auf 2 1/2% genau zu bestimmen, dürfte selbst im Labor einen erheblichen Aufwand bedingen, vom Heizungskeller ganz zu schweigen. Zudem: Eine um ein halbes Grad andere Raumlufttemperatur hat mehr Einfluss auf den Brennstoffverbrauch und damit auf die Kesselleistungsberechnung als ein um 2 1/2% anderer Jahreswirkungsgrad! Auf die Problematik der Bereitschaftsverluste aus Herstellerangaben und der Praxis wurde bereits eingangs hingewiesen.

Berechnung der Ersatzbrennerbetriebsstunden

Wie aus Gleichung (10) von Kummer ersichtlich, werden die Brennerbetriebsstunden zur Bestimmung des Bemessungsfaktors benötigt. Ausgangspunkt für die wie bewiesen unnötige Berechnung dieser Betriebsstunden ist aus seiner Sicht die Energiekennlinie (siehe dazu auch [6,9]). Doch statt von den beiden am genauesten bekannten Punkten der Energiekennlinie auszugehen - das ist die Brennerauslastung an einer realistischen Heizgrenze sowie nahezu Vollast bei Auslegungstemperatur, um daraus unter Berücksichtigung der zusätzlichen Wärmen auf die Brennerauslastung bei mittlerer Aussenlufttempe-

ratur zu schliessen - geht er andere Wege (Bild 1).

Seine Energiekennlinie schneidet die Abszisse bereits bei der Aussentemperatur von 18 °C. Das würde einem Wärmege- winn aus Sonneneinstrahlung und inneren Abwärmen von lediglich 2 K entsprechen; nicht nur in der Nähe der nach ihm eigentlich 8 K «besteuernden» Heizgrenze, sondern nach der folgenden Gl. (11) durchgehend während der ganzen Heizperiode und - im Widerspruch zu den Normen - sogar bei Auslegungstemperatur! Unakzeptabel ist dazu auch Kummers einleitende Erläuterung, bei fehlender Fremdwärme usw. müsste die Energiekennlinie die Abszisse bei einer Aussentemperatur entsprechend der Raumlufttemperatur schneiden. Richtig wäre, dass dann eine Brennerauslastung entsprechend des Bereitschaftsverlustes resultieren würde, also $\alpha = q_B$.

Den zweiten Punkt der Energiekennlinie legt Kummer auf die mittlere Aussenlufttemperatur während der Heizperiode. Die Brennerauslastung soll dort den Wert $\alpha = 0,3$ annehmen, wie das SIA 384/1 (1982) damals für richtig dimensionierte Heizungen ohne Trinkwassererwärmung im Mittelland empfahl und nun von Kummer explizit als bewährter Richtwert bezeichnet wird.

Der «bewährte» Richtwert von 0,3 ist in SIA 384/1 allerdings als Bereich von 0,25 bis 0,35 aufgeführt; der grössere Wert gilt für den reinen Heizbetrieb, der kleinere für die kombinierte Trinkwassererwärmung. Die Angaben kommen aus dem Sanierungshandbuch «Planung und Projektierung» (1980) der Weiterbildungskurse «Wärmetechnische Gebäudesanierung»

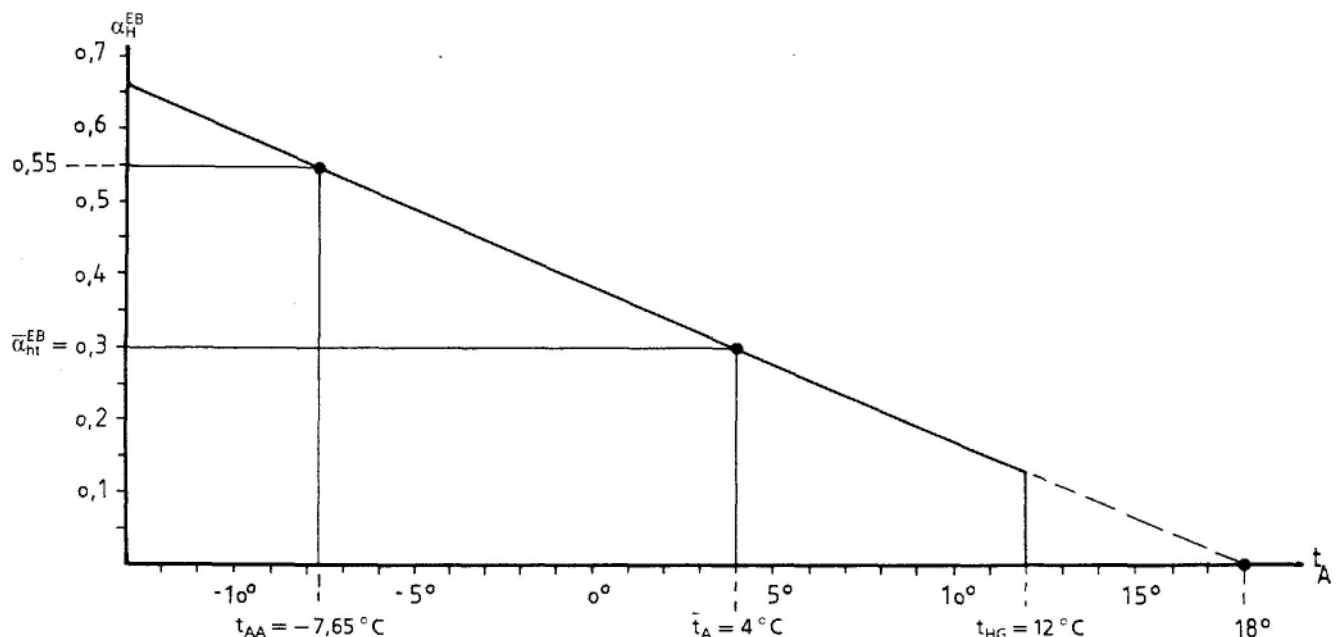


Bild 1 Mittlere Energiekennlinie im schweizerischen Mittelland (aus «HeizungKlima» Nr. 11/1990)

des Bundesamtes für Konjunkturfagen. Sie wiederum sind abgerundet aus den verschiedenen Veröffentlichungen [6, 7, 8, 9] zur jährlichen Brennerauslastung mit teils unterschiedlichen Heizanlagenverlusten sowie den alten, tieferen Auslegungstemperaturen nach SIA 380 (1975) entnommen.

Diese publizierten Brennerlaufzeiten bzw. -auslastungen sind aber die Grundlage der Bemessungsscheibe, d. h. sie lehnen sich einer Brennerauslastung von gegen 100% bei Auslegungstemperatur an. Sie beziehen sich zudem stets auf eine (durch intensive, langfristige Untersuchungen an verschiedensten Gebäudetypen erarbeitete) praxisgerechtere Heizgrenze von 6 K unterhalb der Raumlufttemperatur. Man vergleiche dazu auch mit der BRD (VDI 2067), wo die Heizgrenze sogar nur als 5 K unter der Raumlufttemperatur liegend angenommen wird, oder mit den üblichen Einstellungen an den seit einiger Zeit mit Heizgrenzen-Schaltern (ECO-Schaltern) ausgerüsteten Vorlauftemperatur-Regelgeräten. *Die Zahlen haben somit an den Heizgrenzen einen (durch die Heizkurvensteilheit der witterungsabhängigen Vorlauftemperaturregelung approximativ berücksichtigten) Wärmegewinn von entsprechend 6 K durch Sonne und innere Abwärme eingerechnet, welcher im Mittel der Heizperiode noch als 4 K angenommen wird und bei Auslegungsverhältnissen definitionsgemäss Null ist.*

Solchermassen berechnete Brennerauslastungen für andere, im Normalfall wirklichkeitsfremde Heizperioden zu verwenden, wie sie sich z. B. aus der rechnerischen Heizperiode mit einer Heizgrenze von 8 K unter der Raumlufttemperatur ergeben, ist nicht statthaft. Im übrigen ist der Bereich der bewährten Brennerauslastung α von 0,25 bis 0,35 in der Neuauflage des Handbuches «Planung und Projektierung wärmetechnischer Gebäudesanierungen» im Jahre 1983 ohne mein Dazutun sowie als Folge neuer Auslegungstemperaturen ab 1982 auf die «noch bewährteren» 0,25 bis 0,4 verändert worden; letzteres allerdings für den reinen Heizbetrieb und für eine Raumlufttemperatur von gut 22 °C. Dies wohl als Resultat eingehender Untersuchungen und vor allem Messungen, die meine Ansichten zu Brennerlaufzeiten und -auslastungen offensichtlich bestätigt haben.

Mit dem Einsetzen der Brennerauslastung 0,3 in die Energiekennlinie nach Bild 1 beschreitet Kummer somit unzulässige Wege, geht doch aus dem Gesagten zusammenfassend hervor, dass

- die durchschnittliche Brennerauslastung für reinen Heizbetrieb im Mittel land eigentlich 0,35 sein müsste,
- dieser Wert sich noch den alten Auslegungstemperaturen anlehnt,
- er sich auf eine Brennerauslastung von gegen 100% bei Auslegungstemperatur bezieht,
- er nicht direkt der mittleren Aussentemperatur gegenübergestellt werden darf, da bei dieser mittleren Brennerauslastung schon ein durchschnittlicher Wärmegewinn von entsprechend 4 K eingearbeitet ist und
- in dieser Brennerauslastung bereits definitionsgemäss (heute möglicherweise zu «üppige») Bereitschaftsverluste berücksichtigt sind.

Übrigens: Die von Kummer für Gl. (10) anvisierten Brennerbetriebsstunden wären auch direkt über die Multiplikation der «bewährten», mittleren Brennerauslastung mit einer wirklichkeitstreuigen Heizperiodenlänge berechenbar (ohne Umweg über die Energiekennlinie).

Unzulässige Extrapolation

Auf der Basis dieser fragwürdigen Energiekennlinien-Konstruktion ergibt sich bei Auslegungstemperatur eine Brennerauslastung von 0,55. Somit gilt nach Kummer

$$(11) \alpha = 0,55 \frac{18^\circ - t_a}{18^\circ - t_{aa}}$$

t_a : Mittlere Aussentemperatur während der Heizperiode

was unter Berücksichtigung der Heizperiodenlänge HT, der Berechnung der Heizperioden-Mitteltemperatur aus den Heizgradtagen HGT sowie der nötigen Umrechnung auf Brennerlaufzeit in Stunden und in Gleichung (10) zur Berechnung des Bemessungsfaktors in den Kummerschen Tabellen benötigt wird:

$$(12) b = 0,55 \cdot 24 \frac{HGT - 2 \cdot HT}{18 - t_{aa}}$$

Man beachte besonders: Sowohl bei der Bestimmung der Brennerauslastung α (Gl.

[11]) wie auch der Brennerlaufzeit b (Gl. [12]) werden von Kummer keine Bereitschaftsverluste berücksichtigt. In Wirklichkeit verändert sich die Brennerauslastung bzw. -laufzeit durch variierende Bereitschaftsverluste. Unberücksichtigt in den Formeln ebenfalls, dass der zur Deckung der Bereitschaftsverluste nötige Anteil der Brennerlaufzeit von 100% (bei minimaler Auslastung) bis 0% (bei Vollast) variiert. Doch nicht genug, wie weiter oben in Gleichung (10) ersichtlich, werden bei der Berechnung des Bemessungsfaktors von diesen schon zu kleinen Zahlen sogar noch zukünftige Laufzeiten zur Deckung der Bereitschaftsverluste subtrahiert...

Zudem: Mit der (rechnerischen) Dimensionierung auf 55% Brennerauslastung bei Auslegungstemperatur - das würde einer rechnerischen Überdimensionierung von über 80% bei Auslegungstemperatur entsprechen - wird klar gegen Empfehlungen, Richtlinien, Normen und z.B. Vorschriften des Kantons Zürich verstossen. Nachdenklich stimmen muss auch, wenn von Fachverbänden SIA-Auslegungstemperaturen erarbeitet werden, die im nachhinein mit dem KRW-Schieber unterlaufen werden.

Literaturverzeichnis

- [1] Weiersmüller, R.: «Abbau der Energieverschwendung: Anpassen der Kesselleistung mit der Bemessungsscheibe». Schweizer Ingenieur und Architekt, 27-28, 1980.
- [2] Weiersmüller, R.: «Bemessungsscheiben für Gasheizungen und Ölbrenner». Schweizer Ingenieur und Architekt, 27-28, 1981.
- [3] Weiersmüller, R.: «Bemessungsscheibe für die Bestimmung der Heizkesselleistung». HLH, 1, 1982.
- [4] Weiersmüller, R.: «Die Heizkesseldimensionierung mit der Bemessungsscheibe». Heizung und Lüftung, 1, 1982.
- [5] Weiersmüller, R.: «Der Jahreswirkungsgrad von öl- oder gasbefeuelten Heizanlagen». Schweizer Ingenieur und Architekt, 42, 1982.
- [6] Weiersmüller, R.: «Dimensionierungsprobleme in der Stadt Zürich». Schweizerische Bauzeitung, 26, 1978.
- [7] Weiersmüller, R.: «Heizung richtig dimensioniert = minus 1,5 AKW Typ Gösigen». Aktuelles Bauen, 6, 1979.
- [8] Weiersmüller, R.: «Vergeudung in überdimensionierten Heizanlagen». Neue Zürcher Zeitung, 2. Okt. 1979.
- [9] Dimensionierung des Wärmeezeugers beim Ersatz. Merkblätter Haustechnik des Bundesamtes für Konjunkturfagen, 1980.