Der Jahreswirkungsgrad von öl- oder gasbefeuerten Heizanlagen: Einflussgrössen und Berechnung

Autor(en): **Weissmüller, René**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **100 (1982)**

Heft 42

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-74883

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

wendete Material für die Herstellung der linien- oder punktförmigen Verbindung einen wesentlich kleineren dynamischen Elastizitätsmodul aufweisen würde als das Material der Schalen und des Ständerwerks.

Der Luftschalldämmverlauf, der sich gemäss diesen zwei Schritten ergibt, soll nachstehend anhand eines weiteren Beispiels dargestellt werden. Als Trennwand wird wiederum der im vorigen Beispiel beschriebene Aufbau benützt. Der Pfostenabstand beträgt $b = 1{,}0$ m, die Achsabstände der Punktverbindungen betragen $s = 0{,}60$ m.

Die Übereinstimmung zwischen dem gerechneten und dem gemessenen Luftschalldämmverlauf ist sehr gut.

Zur weiteren Überprüfung des Modells wurde die selbe Trennwand nochmal gemessen, nachdem die Achsabstände zwischen je zwei benachbarten Punktverbindungen von $S_1 = 0{,}60$ m auf $S_2 = 0{,}22$ m reduziert wurden (siehe Kurve C in Bild 4). Es ergab sich eine deutliche Verschlechterung von $\Delta R = 4{,}2$ dB, was mit dem theoretischen Wert nach Formel (6) übereinstimmt.

Eine Reihe weiterer Messungen, die an ganz verschiedenartigen Aufbauten gewonnen wurden, zeigten immer eine gute Übereinstimmung *von Theorie und Praxis*.

Zusammenfassung

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es mit relativ kleinem Berechnungsaufwand möglich ist, Luftschalldämmkurven doppelschaliger Trennwände mit ausreichender Genauigkeit zu berechnen. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, verschiedene Trennwände rasch miteinander zu vergleichen oder eventuelle konstruktive Änderungen rechnerisch zu beurteilen.

Adresse der Verfasser: Bauakustik Kühn & Blickle, Institut für Lärmschutz, Gewerbestr. 9b, 6314 Unterägeri.

Der Jahreswirkungsgrad von öl- oder gasbefeuerten Heizanlagen

Einflussgrössen und Berechnung

Von René Weiersmüller, Schlieren

In zunehmendem Masse setzt sich die Erkenntnis durch, dass die Wirtschaftlichkeit einer Heizanlage durch Angabe des Feuerungstechnischen Wirkungsgrades bzw. des Kesselwirkungsgrades nicht einmal abgeschätzt werden kann. Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit wird der Jahreswirkungsgrad – oder bezogen auf eine beliebig lange Periode – der Teillastwirkungsgrad einer Heizanlage benötigt. Dies ist auch der Grund, weshalb im Handbuch «Wärmetechnische Gebäudesanierung» des Bundesamtes für Konjunkturfragen (Impulsprogramm) sowie im Entwurf der neuen SIA-Empfehlung 384/1 «Warmwasser-Zentralheizungen» vom 10. August 1981 aufgeführt wird, wie der Jahreswirkungsgrad berechnet werden kann. Die Herleitung der Formel und die Verknüpfungen zu anderen Funktionen sind aber wenig bekannt wie auch die Möglichkeit, durch Wahl entsprechender Randbedingungen wirklichkeitsnahe Werte zu erhalten. Der vorliegende Beitrag sollte auch deshalb auf Interesse stossen, weil bereits verschiedene Berechnungsmethoden zur Ermittlung des Jahreswirkungsgrades bekannt sind, die auf ungenauen Definitionen aufgebaut sind bzw. nicht richtig angewendet werden.

Wärmeverluste eines konventionellen Heizkessels beim Betrieb des Brenners

Strahlungsverluste bei laufendem Brenner

Als Strahlungsverlust wird die Wärmeübertragung von der äusseren Kesseloberfläche an den Heizraum bezeichnet. Die Verluste sind abhängig von der Grösse der Oberfläche (Nachteil für Wechsel-, Doppel- und Umstellbrandkessel!), der Güte der Isolation (nicht isolierte Türen usw.) sowie von der Temperaturdifferenz Heizkessel/Heizraum. Beim konventionellen Kessel kann aber die Kesselbetriebstemperatur wegen der Korrosionsgefahr nicht beliebig vermindert werden.

Die Strahlungsverluste – sie bestehen zwar zum grösseren Teil aus Konvektionsverluste – entsprachen beim alten Etageofen der Nutzwärmeübertragung an die zu beheizenden Zimmer. Bei Zentralheizungen ist die Wärmeabgabe der Kesselhülle natürlich unerwünscht, denn die abgegebene Wärme geht im gut belüfteten Heizungskeller grösstenteils verloren. Die Rückgewinnung dieser Wärme über die Verbrennungsluftvorwärmung ist im normalen Leistungsbereich insofern fraglich, weil der Brenner sowieso nicht dauernd läuft und die Verbrennungsluftvorwärmung ohne gleichzeitige Verminderung der Brennerleistung o.ä. lediglich eine (noch) höhere Abgastemperatur ergibt.

Abgasverluste

Für die Verbrennung eines Kilogramms Heizöl werden rund 14 m³ Luft benötigt. Das Abgas hat am Kesselaustritt eine Temperatur von etwa 200 bis 300 °C. Je höher die Abgastemperatur, um so höher sind die Abgasverluste.

Eine minimale Abgastemperatur wird im Normalfall benötigt, damit sich das bei der Verbrennung gebildete Wasser nicht im Kamin niederschlägt, was zu einer Kaminversottung führen kann. Die Grösse der Abgasverluste sind aber auch vom Verbrennungsluftüberschuss abhängig: Die für die Verbrennung nicht benötigte Luft wird als Ballastluft aufgewärmt und vergrössert die Abgasverluste. Diese sind durch Temperaturmessungen und Bestimmen des Kohlensäuregehaltes im Abgas (als Mass für den Luftüberschuss) recht einfach nach der Siegertschen Formel berechenbar.

Der Feuerungstechnische Wirkungsgrad ist die Differenz zwischen den prozentualen Abgasverlusten und 100 Prozent. Mit modernen Brennern ist ein solcher von 90–95 Prozent ohne weiteres erreichbar; Verbrennungshilfen werden nicht benötigt. Höhere Wirkungsgrade sind im Normalfall, d.h. unter Berücksichtigung der Minimaltemperaturen zur Verhütung von Kaminschäden, kaum möglich.

Problematischer sind allerdings Brenner mit besonders kleinen Leistungen. Dort wird die minimale Temperatur für eine vollständige Verbrennung (etwa 800 °C) möglicherweise nicht innerhalb der gesamten Flamme erreicht. Bei un-

vollständiger Verbrennung gelangen meist unverbrannte Heizölanteile ins Kamin, die zwar in energetischer Hinsicht kaum ins Gewicht fallen, im Blick auf die Luftreinhaltung aber zu Recht beanstandet werden. Für die Erhöhung der Verbrennungstemperatur müssen deshalb im Kleinbrennerbereich oft gewisse verbrennungstechnische Vorkehrungen getroffen werden, die im allgemeinen den feuerungstechnischen Wirkungsgrad wenig beeinflussen: Ob nämlich das Heizöl theoretisch bei Null, bei 1000 oder mit Sauerstoff bei 5000 °C verbrannt wird, die maximal nutzbare Energiemenge ist in jedem Fall 11,8 kWh je kg Heizöl. Ohne Kondensation der im Abgas enthaltenen Feuchtigkeit ist ein höherer Wert unmöglich.

Wärmeverluste eines konventionellen Heizkessels während der Bereitschaft

Der mit einem Thermostat auf Betriebstemperatur gehaltene Heizkessel weist auch Wärmeverluste auf, wenn der Brenner nicht läuft. Sie können in Watt oder als Anteil Brennerlaufzeit, der zur Deckung der Bereitschaftsverluste notwendig ist, angegeben werden. So bedeuten z.B. 5 Prozent Bereitschaftsverluste, dass der Brenner eines Kessels pro 20 Stunden insgesamt eine Stunde nur zur Deckung der Bereitschaftsverluste in Betrieb ist. Die Umrechnung von absoluten Bereitschaftsverlusten in Anteil Brennerlaufzeit ist nicht ganz unproblematisch: Einerseits ist die Brennerlaufzeit von der Brennerleistung abhängig und anderseits ist zu berücksichtigen, dass - auf das obige Zahlenbeispiel bezogen - die Bereitschaftsverluste nur während 19 Stunden der betrachteten 20 Stunden auftreten!

Strahlungsverluste während des Brennerstillstands

Die Grösse der Verluste ist ähnlich wie bei Betrieb des Brenners; je nach Kesselkonstruktion (z.B. schlecht wärmegedämmte Türen oder andere ungekühlte Teile, der Wärmespeicherkapazität, der Anordnung des Betriebsthermostaten) der Kesselrücklauftemperatur sowie der Betriebsweise können gewisse Abweichungen auftreten.

Innere Auskühlverluste

Der ständige Luftzug durch Brenner und Kessel kühlt diesen bei stillstehendem Brenner von innen her aus. Beeinflusst werden die Verluste u.a. von der Kesselbetriebstemperatur und dem Kaminzug. Wegen der unerwünschten Wärmespeicherkapazität verlieren aber auch mit Schamottesteinen ausgemauerte Kessel mehr Wärme an den Luftzug. Ebenso sind gemauerte Kamine mit grossen Durchmessern (und somit grossen Oberflächen) ungünstig, setzt doch dann der Zug wegen der entsprechenden Wärmespeicherkapazität im Kamin während den Bereitschaftsperioden praktisch überhaupt nicht mehr aus. Günstiger sind daher Kamine, die mit einem rostfreien Kaminrohr und einer entsprechenden Isolierung saniert wurden. Nach Betrieb des Brenners kühlt dieser Kamin schnell aus, und der Zug fällt zusammen. Dieser Kamin ist auch bei startendem Brenner wieder schnell auf Temperatur, was die Kondensatbildung im Kamin selbst erschwert.

Die Grösse der Luftöffnung am Brenner beeinflusst ebenfalls die inneren Auskühlverluste. Neuere Brennerkonstruktionen haben daher eher kleinere Luftöffnungen und dafür stärkere Gebläse. Gewisse Brennerfabrikate sind zudem noch mit einer Verbrennungsluftklappe ausgerüstet, die bei stillstehendem Brenner den Luftzug durch den Kessel verhindert. In diesen Fällen nützt auch eine Abgasklappe zwischen Kamin und Kessel nicht mehr viel! Eine solche Klappe vermindert übrigens die inneren Auskühlverluste nur wirksam, wenn diese absolut dicht schliesst - nicht nur im Neuzustand, sondern auch unter den im praktischen Betrieb auftretenden thermischen Beanspruchungen. Mit einer dichten Klappe können aber Probleme am Brenner (Überhitzungen an Photozelle und Ölzuleitung, besonders bei schamottierten Kesseln) und im Kamin (Versottungsgefahr, wenn nicht gleichzeitig «Falschluft» aus dem Heizraum in den Kamin geleitet wird) auftreten. Da selbst eine dichte Abgasklappe lediglich den kleineren Teil der Bereitschaftsverluste vermindern kann (die im Hauskesselbereich normalerweise viel grösseren Strahlungsverluste bleiben ja unverändert), ist eine realistische Beurteilung des Nutzens solcher Klappen angebracht. Die Zugregelklappe (Bypass-, Pendel-, Falschluft- oder Frischluftklappe) ist nicht nur billiger, sie ist - besonders im Kleinkesselbereich - oft auch unproblematischer.

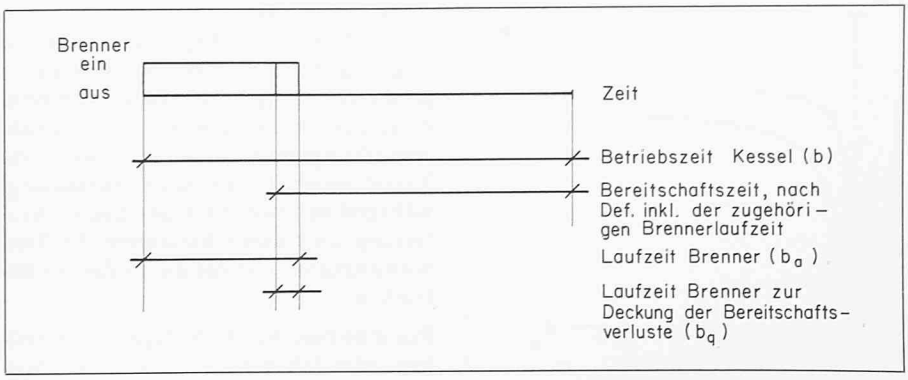
Zu den inneren Auskühlverlusten sind auch die Wärmeverluste durch Luftvorspülung vor jedem Brennerstart zu zählen. Diese sind somit von der Anzahl Brennerschaltungen, d.h. von der Schaltdifferenz des Betriebsthermostaten, der Wärmespeicherkapazität des Kessels, der Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf sowie dem Leistungsverhältnis zwischen Wärmeerzeuger und Wärmeabgabe abhängig.

Jahreswirkungsgrad aus Bereitschaftsverlusten und Kesselwirkungsgrad

Durch Verwendung der *recht einfach bestimmbaren Bereitschaftsverluste* sowie des Kesselwirkungsgrades (entspricht dem ohne grossen Aufwand ermittelbaren Feuerungstechnischen Wirkungsgrad, vermindert um die auf den Brennstoffinput bezogenen Strahlungsverluste nach Firmenangaben oder um einen geschätzten Anteil der gemessenen Bereitschaftsverluste) können praxisnahe Ergebnisse erwartet werden. Da es letztlich um die anteilige Gewichtung zweier recht genau bekannter, extremer Zustände geht, ist eine grössere Ungenauigkeit unmöglich! Dies betrifft vor allem mögliche Differenzen in den Strahlungsverlusten während des Dauerbetriebs und der Bereitschaftszeit, aber auch unterschiedliche Verluste durch lastabhängigen Kaminzug oder dem Kessel zuordnungsbaren, teilweise lastabhängige Wärmeverluste von Umwälzpumpen und Armaturen.

Der Kessel mit einstufigem Brenner regelt die Nutzleistungsabgabe durch die Betriebszeit des Brenners. In der übrigen Zeit ist der Kessel in Bereitschaft. Die Bereitschaftsverluste werden durch kurze Brennereinschaltungen gedeckt (Bild 1).

Bild 1. Betriebszeiten von Brenner und Kessel



Symbol- und Einheitentabelle

Q:	Heizkesselleistung	[W]
H_u:	Heizwert (unterer)	[kWh/kg]
η_k:	Kesselwirkungsgrad	[-]
η_a:	Jahreswirkungsgrad	[-]
q_B:	Bereitschaftsverluste	[-]
b:	Betriebszeit Kessel	[h]
b_a:	Totale Brennerlaufzeit	[h]
b_q:	Brennerlaufzeit zur Deckung der Bereitschaftsverluste	[h]

Verschiedene Veröffentlichungen zum Wirkungsgrad von Heizkesseln verwenden andere Bezeichnungen und Formelzeichen. In der Bundesrepublik Deutschland wird z.B. der Jahreswirkungsgrad als Jahresnutzungsgrad, die Brennerlaufzeit b_a nach der neu geplanten VDI 3808 als Feuerungsbetriebszeit b_F und die Bereitschaftsverluste q_B nach VDI 2067 als Betriebsbereitschaftsverluste bezeichnet.

Jahreswirkungsgrad als Funktion der Brennerauslastung

Der Jahreswirkungsgrad ist

$$\eta_a = \frac{\text{mittlere Nutzleistung pro Jahr}}{\text{mittlere Brennerleistung pro Jahr}}$$

also nach Bild 1

$$(1) \quad \eta_a = \frac{\frac{b_a - b_q}{b} \cdot Q \cdot \eta_K \cdot H_u}{\frac{b_a}{b} \cdot Q \cdot H_u}$$

oder gekürzt

$$(2) \quad \eta_a = \eta_K \frac{b_a - b_q}{b_a}$$

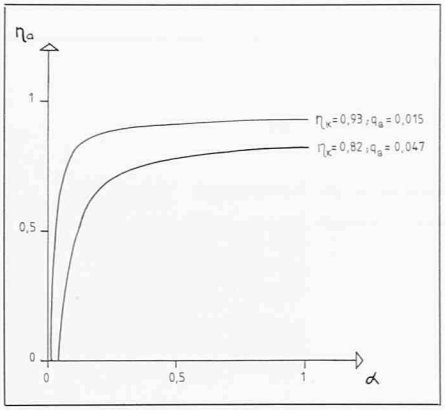
Die Bereitschaftsverluste als Brennerlaufzeit zur entsprechenden Kesselbetriebszeit ist definitionsgemäss

$$(3) \quad q_B = \frac{b_q}{b - b_a + b_q}$$

d.h. die Laufzeit zur Deckung der Bereitschaftsverluste beträgt

$$(4) \quad b_q = (b - b_a + b_q)\, q_B$$

Bild 2. Jahreswirkungsgrad als Funktion der Brennerauslastung



Die totale Brennerlaufzeit b_a setzt sich aus der Laufzeit zur Nutzwärmeerzeugung $(b_a - b_q)$ und der zur Deckung der Bereitschaftsverluste nach Gleichung (4) zusammen:

$$(5) \quad b_a = [b_a - b_q] + [b - (b_a - b_q)]\, q_B$$

oder umgeformt

$$(6) \quad b_a - b_q = \frac{b_a - b \cdot q_B}{1 - q_B}$$

Gleichung (6) in Gleichung (2)

$$(7) \quad \eta_a = \eta_k \frac{b_a - b \cdot q_B}{(1 - q_B)\, b_a}$$

Entsprechend der gewünschten Funktion ist

$$(8) \quad \alpha = \frac{b_a}{b}$$

Gleichung (8) in Gleichung (7)

$$(9) \quad \eta_a = \eta_k \frac{\alpha - q_B}{\alpha\,(1 - q_B)}$$

oder wenn α nicht im Zähler und Nenner vorkommen soll

$$(10) \quad \eta_a = \eta_k \frac{1 - \frac{q_B}{\alpha}}{1 - q_B}$$

Die Abhängigkeit des Jahres- oder Teillastwirkungsgrades von der Brennerauslastung im Falle von zwei Heizkesseln mit verschiedenen Verlusten zeigt Bild 2. Mit minimaler Brennerauslastung ($\alpha_{min} = q_B$) wird η_a gleich Null, mit Brennerauslastung 1 (Vollast) wird $\eta_a = \eta_k$. (Dies ist übrigens ein einfacher und äusserst wirkungsvoller Test auf die Tauglichkeit anderer Ansätze, werden doch dann je nach Herkunft der Formeln Teillastwirkungsgrade zwischen minus und plus unendlich gefunden!) Bei geringer werdender Brennerauslastung wird der Teillastwirkungsgrad immer kleiner; unter etwa 0,2 fällt er besonders rasch ab. Dieser Bereich muss somit möglichst gemieden werden. Dieser Abfall bei kleineren Auslastungen ist auch mit verlustärmeren Anlagen - siehe Beispiel - gegeben, er setzt dort bloss später ein.

Je nach Raumtemperatur und Art der Brauchwassererwärmung wird mit einer richtig bemessenen Heizkesselleistung eine Brennerauslastung von 0,25-0,4 erreicht. Wegen der teilweise ungenügenden Auslastung werden in grösseren Anlagen oft mehrere Kessel eingesetzt, was sich positiv auf den Jahreswirkungsgrad auswirkt: Der erste Kessel erreicht eine hohe Auslastung, während der zweite mit geringerer Auslastung und somit kleinerem Teillastwirkungsgrad nur für kurze Zeit in Betrieb ist.

Für eine bestehende Anlage ist der Teillast- oder Jahreswirkungsgrad mit Formel (10) recht einfach bestimmbar. Die notwendigen Grössen werden wie folgt ermittelt:

- die Brennerauslastung mit einem Betriebsstundenzähler oder aus dem Ölverbrauch pro Zeiteinheit, dividiert durch den stündlichen Öldurchsatz des Brenners bei Vollast,
- die Bereitschaftsverluste mit einem Betriebsstundenzähler im Sommer,
- der Kesselwirkungsgrad aus dem Feuerungstechnischen Wirkungsgrad, reduziert um die Strahlungsverluste (⅔ bis ½ von q_B).

Anmerkung: In der Literatur werden die Strahlungsverluste bei Kesselnennleistung oft grösser als die absoluten Bereitschaftsverluste angenommen, was in der Praxis auch meist zutreffen dürfte. Die hier angegebenen Bereitschaftsverluste mit Basis Brennerlaufzeit sind aber zahlenmässig grösser, weil darin auch die Abgasverluste während der Brennerlaufzeit zur Deckung der Bereitschaftsverluste miteingerechnet sind. Immerhin ist der Anteil von ⅔ bis ½ als Richtgrösse zu betrachten, der im Extremfall wesentlich grösser oder kleiner sein kann, das letzte besonders dann, wenn - was eigentlich richtig ist - die oft recht grossen Verluste von den Heizkesselarmaturen (Primärpumpen, Mischventile) zu den Bereitschaftsverlusten des Kessels gerechnet werden.

Der Einfluss der bei Bereitschaft gemessenen und auf Vollast extrapolierten Strahlungsverluste auf die Genauigkeit des Teillastwirkungsgrades ist übrigens bei der sich in der Praxis ergebenden durchschnittlichen Brennerauslastung <0,4 zu gering, als dass sich ein besonderer Messaufwand lohnen würde. Das gleiche gilt für die inneren Auskühlverluste, die sicher auch nicht über den gesamten Brennerauslastungsbereich anteilig gleich gross bleiben.

Jahreswirkungsgrad als Funktion der Kesselnennleistungsauslastung

Aus den gegebenen Parametern Bereitschaftsverluste und Kesselwirkungsgrad ist der Jahres- (oder Teillast-)wirkungsgrad ebenfalls aus der Auslastung der Kesselnennleistung berechenbar. Bei Kesselnennleistungsauslastung β = O ist der Brenner lediglich in Betrieb, um die Bereitschaftsverluste zu decken ($\alpha = q_B$). Bei Vollast hingegen ($\beta = 1$) ist der Brenner dauernd in Betrieb; Bereitschaftsverluste - die durch Brennereinschaltungen gedeckt werden müssen - treten keine auf. Die entsprechende Formel ist wie folgt herleitbar:

Die *Kesselnennleistungsauslastung* wird definiert als

$$(11) \quad \beta = \frac{b_a - b_q}{b}$$

Zudem wird Gleichung (2), erweitert um die Betriebszeit b des Kessels, benötigt

$$(12)\quad \eta_a = \eta_k \frac{\frac{b_a - b_q}{b}}{\frac{b_a}{b}}$$

Gleichung (5) muss nach b_a/b aufgelöst werden

$$(13)\quad \frac{b_a}{b} = \frac{b_a - b_q}{b}(1 - q_B) + q_B$$

Der Nenner von Gleichung (12) wird durch Gleichung (13) substituiert; sowohl im Zähler als auch im Nenner wird β nach Gleichung (11) eingesetzt

$$(14)\quad \eta_a = \eta_k \frac{\beta}{\beta(1 - q_B) + q_B}$$

oder

$$(15)\quad \eta_a = \eta_k \frac{1}{\left(\frac{1}{\beta} - 1\right) q_B + 1}$$

Die Formel ist mit der seit Jahren bekannten *Formel nach Dittrich* identisch. Dort entspricht die Kesselnennleistungsauslastung dem Quotienten aus Betriebsbereitschaftszeit b_a und der Vollbenutzungsstundenzahl b_{VHa}.

Anmerkung: In Fachkreisen ist es teilweise üblich, den Jahreswirkungsgrad (Jahresnutzungsgrad) eines Heizkessels durch Einsetzen einer Brennerauslastung anstelle der Kesselnennleistungsauslastung in Gleichung (15) zu berechnen. Dies aufgrund der Verwechslung von Brennerbetriebsstunden (Vollbetriebsstunden) mit Vollbenutzungsstunden - ein Versehen, das dem Verfasser dieser Zeilen auch schon unterlaufen ist. Im «Schweizer Ingenieur und Architekt» *27/28,* 1980, ist bei der Vorstellung der Bemessungsscheibe dazu aufgeführt, die Gleichung mit $1/\alpha$ anstelle $1/\beta$ im Nenner sei falsch. Dies ist zwar richtig, für den Autor dieser Gleichung, *A. Dittrich,* zu Recht ein Grund für eine nachträgliche Beanstandung des entsprechenden Textes. Korrekter wäre damals eine Formulierung gewesen, die nicht den Eindruck erweckt, die Original-Dittrich-Formel sei falsch, sondern die darauf aufmerksam macht, dass durch direktes Einsetzen der Brennerauslastung in die Dittrich-Gleichung falsche Resultate erhalten werden - ausgenommen bei Vollast.

Bild 3 zeigt die Abhängigkeit des Jahreswirkungsgrades von der Kesselnennleistungsauslastung für zwei Heizkessel. Die Verluste wurden dabei gleich gewählt wie die Beispiele nach Bild 2.

Da die Kesselnennleistungsauslastung mit der Aussentemperatur korreliert ist, kann sie bei dieser Darstellungsart anstelle der Kesselnennleistungsauslastung auf die Abszisse übernommen werden. Die Kesselnennleistungsauslastung Null entspricht dabei im Spezialfall «Übergangszeit» der Heizgrenze, die von Eins mit einem richtig bemessenen Kessel etwa der Auslegungstemperatur.

Zusammenhänge zwischen Brennerauslastung und Kesselnennleistungsauslastung

Über den Jahres- und Kesselwirkungsgrad

Dazu muss Gleichung (9) nach α aufgelöst werden, also ausmultiplizieren

$$(16)\quad \eta_a \cdot \alpha - \eta_a \cdot \alpha \cdot q_B = \eta_k \cdot \alpha - \eta_k \cdot q_B$$

und nach α aufgelöst

$$(17)\quad \alpha = \frac{\eta_k \cdot q_B}{\eta_k + \eta_a \cdot q_B - \eta_a}$$

Ebenso muss Gleichung (15) ausmultipliziert werden

$$(18)\quad \frac{\eta_a \cdot q_B}{\beta} - \eta_a \cdot q_B + \eta_a = \eta_k$$

und nach β aufgelöst

$$(19)\quad \beta = \frac{\eta_a \cdot q_B}{\eta_k + \eta_a \cdot q_B - \eta_a}$$

Die Division von Gleichung (17) durch Gleichung (19) liefert - gekürzt - den gewünschten Zusammenhang:

$$(20)\quad \alpha = \beta \frac{\eta_k}{\eta_a}$$

Über die Bereitschaftsverluste

Möglich ist auch die Fragestellung, welche Brennerauslastung einer gegebenen Kesselnennleistungsauslastung entspricht. Dazu müssen die Gleichungen (10) und (15) einander gleichgesetzt werden:

$$(21)\quad \eta_k \frac{1 - \frac{q_B}{\alpha}}{1 - q_B} = \eta_k \frac{1}{\left(\frac{1}{\beta} - 1\right) q_B + 1}$$

Ausmultipliziert und gekürzt

$$(22)\quad \frac{1}{\beta} - \frac{q_B}{\alpha \cdot \beta} + \frac{q_B}{\alpha} - \frac{1}{\alpha} = 0$$

und nach α aufgelöst

$$(23)\quad \alpha = \beta(1 - q_B) + q_B$$

Bei gegebener Kesselnennleistungsauslastung ist die Brennerauslastung also nur von den Bereitschaftsverlusten abhängig; der Kesselwirkungsgrad ist für diesen Ansatz belanglos! Bei $\beta = 0$ wird $\alpha = q_B$, was entsprechend der Definition der Bereitschaftsverluste auch richtig ist.

Eindeutig ist nach Gleichung (23), dass mit kleiner werdender Kesselnennleistungsauslastung - z.B. durch Senkung der Raumlufttemperatur oder durch andere Energiesparmassnahmen - immer auch die Brennerauslastung und *somit der Brennstoffbedarf* kleiner wird. Allerdings wirkt sich die verbrauchsmindernde Massnahme wegen dem unwesentlich geringer werdenden Teillastwirkungsgrad nicht voll auf Brennstoffbedarf aus. Ein gleichgebliebener oder gar erhöhter Verbrauch auf Grund von Sparmassnahmen, was vereinzelte Autoren beobachtet haben wollen, ist aber nicht gut möglich!

Über die Einzelverluste

Die Abhängigkeit zwischen der Brennerauslastung und der Kesselnennleistungsauslastung ist aus Bild 4 ersichtlich. Zusammen mit den eingezeichneten Hilfskurven sind für jede beliebige Kesselnennleistungsauslastung bzw. Brennerauslastung die Anteile des Ölverbrauchs (= Anteile der Brennerauslastung zur Deckung der Abgasverluste, der Strahlungsverluste sowie der inneren Auskühlverluste) bestimmbar (siehe eingezeichnetes Beispiel). Bezieht sich die Darstellung auf eine Heizanlage, kann auch hier zusätz-

Bild 3. Jahreswirkungsgrad als Funktion der Kesselnennleistungsauslastung

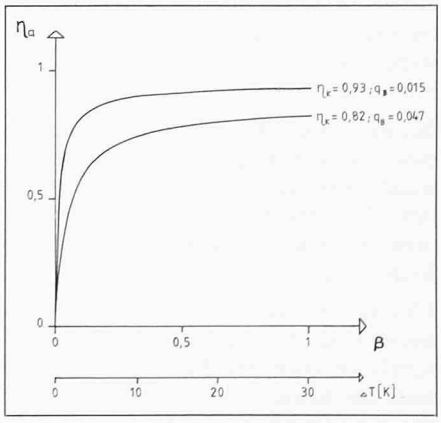
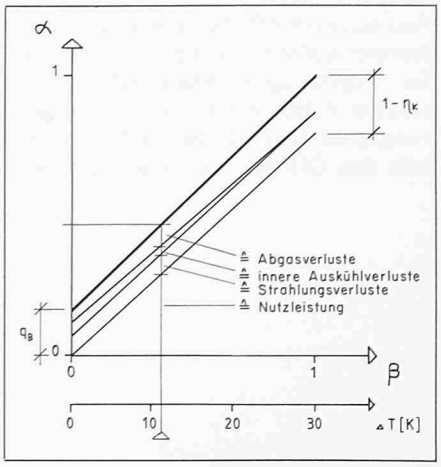


Bild 4. Brennerauslastung als Funktion der Kesselnennleistungsauslastung (verzerrte Darstellung)



lich auf einer Hilfsabszisse die Temperaturdifferenz Raumluft/Aussentemperatur aufgetragen werden.

Die direkten Auswirkungen der auf die Brennerauslastung bezogenen Extremverluste ($1-\eta_k$ bei Vollast bzw. q_B bei Bereitschaft) sind so deutlich ersichtlich. Je nach Ansetzen des Kesselwirkungsgrades η_k bzw. der Verluste $1-\eta_k$ sowie der am besten gemessenen Bereitschaftsverluste können mit den aufgeführten Formeln die verschiedensten Einflussgrössen einbezogen werden, z. B.

- lastabhängige Strahlungs- oder lastabhängige Abgasverluste,
- aussentemperaturabhängige Strahlungsverluste (herrührend von einem gut belüfteten Heizraum),
- konstante oder temperaturabhängige Verteilverluste,
- innere Auskühlverluste durch Vorspülen (Kessel mit geringerer Wärmespeicherkapazität und/oder kleinerer Thermostatschaltdifferenz haben wegen den vermehrten Brennereinschaltungen und Vorspülungen grössere Bereitschaftsverluste),
- variable Verluste durch gleitende Kesselbetriebstemperatur,
- variable Verluste durch modulierende Brenner.

Werden zu den Strahlungsverlusten des Wärmeerzeugers die meist ungleich grösseren Wärmeverluste des ganzen Heiznetzes dazugerechnet, sind die Ansätze auch für Fernheizungen zu gebrauchen.

Beispiel: Der Kesselwirkungsgrad η_k einer Fernheizung sei 0,95, die Bereitschaftsverluste ohne Heiznetz 0,002 bzw. 0,05 mit Heiznetz. Welcher Jahreswirkungsgrad ergibt sich bei einer Brennerauslastung von 0,3?

Lösung: Die Wärmeverluste des Heiznetzes sind 24mal grösser als die Bereitschaftsverluste des Kessels. Jene sind auch bei Kesselvollast vorhanden, d. h. der Kesselwirkungsgrad muss für die Berechnung des Systemwirkungsgrades (Erzeuger und Heiznetz) entsprechend reduziert werden. Die Verluste des Heiznetzes (0,048) beziehen sich auf die Brennerlaufzeit (Ölinput), d. h. inkl. die zugehörigen Abgasverluste. Sie können daher direkt vom Kesselwirkungsgrad (der als Bezugsbasis ebenfalls den Ölinput hat) abgezogen werden. Es ist somit $\eta_k = 0{,}902$; $q_B = 0{,}05$ und $\alpha = 0{,}3$. Daraus ergibt sich $\eta_a = 0{,}77$.

Alle aufgeführten Ansätze sind übrigens exakte Lösungen und keine Näherungen. Für den Einzelfall liegt es somit beim Anwender, durch das Einsetzen möglichst genauer (meist gemessener) Ausgangszahlen zu wirklichkeitsnahen Resultaten zu kommen.

Adresse des Verfassers: *R. Weiersmüller*, Industriestr. 11, 8952 Schlieren.

Jahreswirkungsgrad als Funktion der Brennerauslastung bei zweistufigen Brennern

Nicht brauchbar sind die aufgeführten Formeln für Kessel mit zweistufigen Brennern. Dazu ist folgender, exakter Ansatz insbesondere für den Einsatz von programmierbaren Taschenrechnern geeignet (ohne Herleitung):

Der Kessel mit Zweistufenbrenner ist übrigens ein Beispiel, dass der Strahlungsverlust mit grösser werdender Brennerauslastung nicht zwingend ansteigen muss: Der schlechtere Kesselwirkungsgrad der zweiten Stufe ist zwar praktisch

$$\eta_a = \eta_k^{I} \frac{\frac{\alpha^{I}+\alpha^{II}-q_B}{1-q_B} + \alpha^{II}\left(\frac{\eta_k^{II}}{\eta_k^{I}} Q - 1\right)}{\alpha^{I} + \alpha^{II} \cdot Q} \qquad (24)$$

η_k^{I} : Kesselwirkungsgrad 1. Stufe [-]
η_k^{II} : Kesselwirkungsgrad 2. Stufe [-]
α^{I} : Brennerauslastung 1. Stufe (b_a^{I}/b) [-]
α^{II} : Brennerauslastung 2. Stufe (b_a^{II}/b) [-]
q_B : Bereitschaftsverluste [-]
Q : Heizölinput der 2. Stufe, bezogen auf die 1. Stufe [-]

Beispiel:

$\eta_k^{I} = 0{,}85$ $\eta_k^{II} = 0{,}80$
$\alpha^{I} = 1500/8000 = 0{,}1875$ $\alpha^{II} = 500/8000 = 0{,}0625$
$q_B = 0{,}03$

Die zweite Stufe verbrennt pro h die 1,5fache Menge Heizöl der ersten Stufe, d. h. $Q = 1{,}5$.

Mit Formel (24) bestimmt sich der Teillastwirkungsgrad zu 0,763. Könnte die *gleiche* Wärmemenge nur mit der ersten, *leistungsschwächeren* Stufe bereitgestellt werden, würde sich ein Teillastwirkungsgrad von 0,781 ergeben.

ausschliesslich auf den verminderten Feuerungstechnischen Wirkungsgrad zurückzuführen. Da aber die zweite Stufe meist durch *Unterschreiten* einer Grenztemperatur zugeschaltet wird, ist die Kesselbetriebstemperatur bei laufender zweiter Stufe tiefer und somit bei gewissen Kesselkonstruktionen die Strahlungsverluste geringer.

Literatur

«Planung und Projektierung; Handbuch für die wärmetechnische Gebäudesanierung», herausgegeben vom Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern, Jan. 1980

Empfehlung SIA 384/1: «Warmwasser-Zentralheizungen». Entwurf vom 10. August 1981

Richtlinie VDI 2067: «Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen». Entwurf vom Dezember 1979

Hintermann, K.: «Die Bereitschaftsverluste von Zentralheizungskesseln». Internes Manuskript, HTL Windisch, 19. Nov. 1981

Herzog, W.: «Innere und äussere Wärmeverluste bei mittleren und grossen Heizkesselanlagen». Installation, 4, 1981

Dittrich, A.: «Zum Jahreswirkungsgrad von Ein- und Mehrkesselanlagen». HLH, 12, 1972

Dittrich, A.: «Zum Jahresnutzungsgrad von Einkesselanlagen». HLH, 1, 1982

Uyttenbroeck, J.: «Seasonable Efficiency of a Boiler». CCTC Brüssel, Mai 1980, vorgetragen an der IEA-Tagung 6.–10.4.1981, Berlin

Wischerhoff, E. und *Düwel, G.:* «Energieeinsparung, Wärmeschutz und Heizung – Kommentar und Arbeitshilfen». Verlag für Wirtschaft und Verwaltung, Hubert Wingen, Essen (1980)