

Überblick Heizkessel

Unter Heizkesseln sind hier Geräte zur Verbrennung fossiler Energieträger (Gas, Öl, Festbrennstoffe) zu verstehen. Sie bestehen aus einem Brenner (Feuerrost bei Festbrennstoffkesseln) und einem Kesselkörper. Elektrisch betriebene Geräte (auch Elektroheizkessel genannt) werden in Kapitel 5.2.9.4 besprochen. Den gasbefeuerten Direktheizern widmet sich Kapitel 5.2.9.2.

Übersicht Kessel

Eine Übersicht über mögliche Einteilungsarten von Kesseln zeigt Bild 5.2.9.1-1; Erläuterungen folgen.

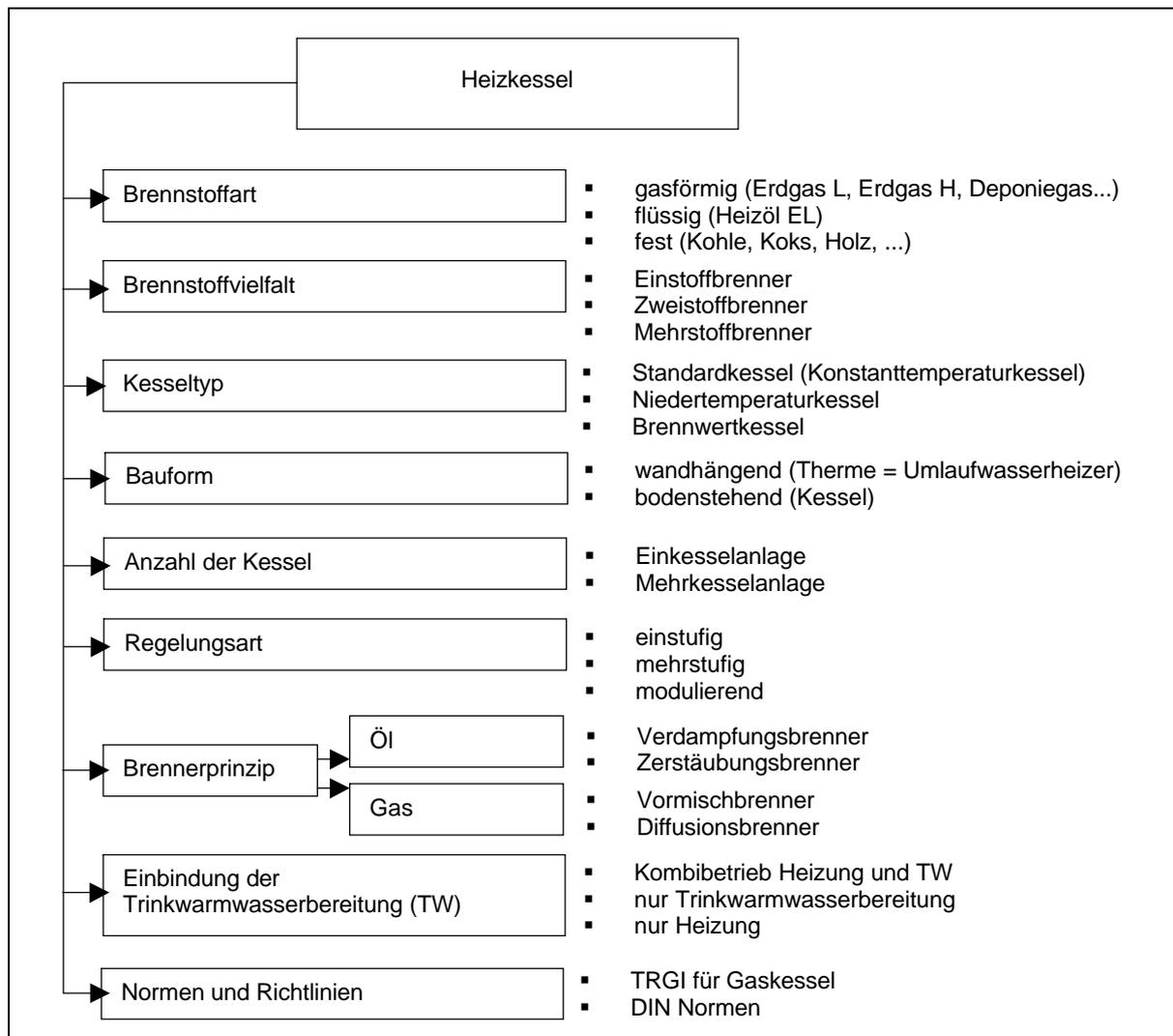


Bild 5.2.9.1-1 Einteilung der Heizkessel

Brennstoffe

Brenner können als Einstoff-, Zweistoff oder Mehrstoffbrenner ausgeführt sein. Entsprechend können sie entweder mit gasförmigen, flüssigen oder festen Brennstoffen betrieben werden, zwei oder mehr unterschiedliche Energieträger nutzen. In der Regel geht der Nutzung eines anderen Brennstoffes eine Umrüstung voraus. Bei Gas- und Ölbrennern werden beispielsweise Düsen ausgetauscht.

Kesseltyp

Grundsätzlich wird in drei Typen unterschieden, die anschließend näher erläutert werden:

- Konstanttemperaturkessel (Standardkessel)
- Niedertemperaturkessel und
- Brennwertkessel.

Ein Konstanttemperaturkessel oder Standardkessel ist "ein Kessel, bei dem die durchschnittliche Betriebstemperatur durch seine Auslegung beschränkt sein kann (nach Richtlinie 92/42/EWG)". Diese Definition sagt dem Anwender wenig. Der Satz meint: der Kessel kann konstruktionsbedingt nur mit hohen Temperaturen (i. d. R. über 70 °C) betrieben werden, damit es nicht zur Wasserdampfkondensation kommt.

Der Niedertemperaturkessel ist "ein Kessel, der kontinuierlich mit einer Eintrittstemperatur von 35... 40 °C funktionieren kann und in dem es unter bestimmten Umständen zur Kondensation kommen kann (nach Richtlinie 92/42/EWG)". In der Praxis werden diese Kessel mit etwa 70°C Vorlauftemperatur ausgelegt.

Der Brennwertkessel ist "ein Kessel, der für die permanente Kondensation eines Großteils der in den Abgasen enthaltenen Wasserdämpfe konstruiert ist (nach Richtlinie 92/42/EWG)". Brennwertkessel nutzen durch Kondensation eines Teils des Wasserdampfes die dabei frei werdende Kondensationswärme zur Heizung. Sie benötigen dafür entsprechend niedrige Rücklauftemperaturen unter ca. 50 °C (Erdgas) bzw. 45 °C (Heizöl). Die dazu benötigten Wärmetauscher können extern oder im Gerät (integriert oder in einem Gehäuse nachgeschaltet) angeordnet sein.

Standkessel und Thermen

Heizkessel können als bodenstehende Kessel (Standkessel) oder als Thermen (nur für die Brennstoffe Gas und Öl) ausgeführt werden. Grundsätzlich unterschieden sich beide Bauarten durch ihren Wasserinhalt und dadurch bedingt durch ihren Platzbedarf. Kessel weisen einen Wasserinhalt von etwa 1 ... 1,5 Liter /kW auf. Thermen weisen teilweise nur ein Zehntel dieses Wertes auf.

Verbunden mit dem geringen Wasserinhalt der Therme ist das Problem eines notwendigen Mindestvolumenstroms. Thermen weisen - auch wenn sie die Leistung durch Modulation in Grenzen anpassen können - eine hohe Wärmeleistung beim Brennerstart auf. Damit sich die Kesselheizflächen nicht überhitzen, muss die Wärme entweder an ein gespeichertes Volumen oder einen durchfließenden Volumenstrom abgegeben werden. Im Fall der Therme muss hier ein Mindestvolumenstrom – in der Regel mit einer dem Gerät zugeordneten integrierten Pumpe - realisiert werden. Dies erfolgt entweder durch ein parallel zum Kessel angeordnetes Überströmventil, ein internes Überströmventil, ein (immer offenes) Dreiwegeventil an beliebiger Stelle in der Anlage (z. B. Dreiwege-Thermostatventil) oder andere Arten der Aufrechterhaltung der Zirkulation (Pufferspeicher, hydraulische Weiche).

Kesselanzahl und Regelungsart

Eine Kesselanlage kann aus verschiedenen Gründen als Ein- oder Mehrkesselanlage ausgeführt sein. Dies kann zum einen der Leistungsanpassung der Kesselleistung an den Bedarf dienen, zum anderen auch der Betriebssicherheit oder der Gesamtkostenoptimierung. Jeder einzelne Kessel kann mit dem zugeordneten Brenner wiederum einstufig, mehrstufig oder modulierend (in Grenzen stufenlos) in seiner Leistung angepasst werden. Die stufenlose Leistungsanpassung kann bei heutigen Kesseln etwa zwischen 30% (bei Mittel- und Großkesseln in NT-Bauweise 60%) und 100 % der maximalen Leistung erfolgen - Ausnahmen mit einer Modulation bis unter 20 % sind selten.

Die Modulation – einfacher bei Gasbrennern - erfolgt durch Anpassung des Gas- und in der Regel auch des Verbrennungsluftvolumenstroms. Nach unten ist sie begrenzt, weil bei einer sehr geringen Gasströmung im Brenner die Flamme nicht mehr stabil abbrennen kann.

Die Leistungsanpassung der Gesamtanlage erfolgt über Zu- und Abschaltung einzelner Kessel oder Kesselstufen sowie durch Modulation. Hierfür gibt es diverse Regelalternativen. Ein Beispiel: Ein Gebäude wird von einer Zweikesselanlage versorgt. Der erste Kessel K1 hat eine Leistung von 100 kW und ist stufenlos regelbar zwischen 30 und 100 kW. Der zweite Kessel K2 ist zweistufig mit je 70 kW in der ersten und zweiten Stufe. Eine Anpassung an steigende Leistung kann wie folgt aussehen:

- 30 ... 100 kW: stufenlose Modulation von K1 (30 ... 100)
- 101 ... 170 kW: K2 in der ersten Stufe (70) + stufenlose Modulation von K1 (31 ... 100)
- 171 ... 240 kW: K2 mit erster und zweiter Stufe (70+70) + stufenlose Modulation von K1 (31 ... 100).

Öl- und Gasbrenner

Ölverdampfungsbrenner beruhen auf dem Prinzip der Ölverdampfung und anschließender Verbrennung des entstehenden Öldampf-Luft-Gemisches. Sie brennen sehr leise und werden heute überwiegend für Einzelöfen verwendet. In den für Kessel üblichen Zerstäubungsbrennern wird mit Hilfe von Düsen das Öl in feine Tröpfchen zerstäubt und anschließend verbrannt. Dieser Vorgang benötigt Hilfsenergie für Pumpen und Gebläse. Eine Leistungsanpassung kann hier durch Ölvorwärmung erfolgen. Bei höheren Temperaturen sinkt die Viskosität des Öls, durch dieselbe Düse wird ein geringerer Massenstrom transportiert. Die Wärmeleistung sinkt.

In Gasdiffusionsbrennern werden Gas und Luft erst bei der Verbrennung mechanisch gemischt. Dazu werden Hilfsenergien (Strom) benötigt. Diese Brennerart wird auch Gebläsebrenner genannt. Vormischbrenner oder atmosphärische Gasbrenner können ohne Gebläse betrieben werden. Hier werden Gas und Luft bereits vor der Verbrennung gemischt und anschließend als Gemisch gezündet. Eine Leistungsanpassung (Modulation) ist für atmosphärische Brenner nur schwer möglich.

Klassifizierung von Gaskesseln nach TRGI

Die TRGI (Technische Regeln für Gasinstallation) unterteilt Gaskessel in drei Typen: A, B und C. Unterscheidungsmerkmal ist der raumluftabhängige bzw. raumluftunabhängige Betrieb. Unter raumluftabhängigem Betrieb versteht man das Ansaugen der Verbrennungsluft direkt aus dem Aufstellraum. Bei raumluftunabhängigem Betrieb wird dem Kessel Außenluft über eine separate Zuleitung zugeführt. Dies wird in der Mehrzahl der Fälle über den Anschluss des Kessels an ein LAS (Luft-Abgas-System) gewährleistet. Über ein Rohr-in-Rohr System wird sowohl das Abgas aus dem Gebäude (inneres Rohr) als auch die Frischluft zum Kessel (äußeres Rohr) geleitet.

Einteilung der Kessel in den Normen

Diverse deutsche, europäische und internationale Normen klassifizieren Kessel und Brenner. Im Folgenden ein kurzer Überblick:

- DIN 4702 Heizkessel; Teil 3: Gas-Spezialheizkessel mit Brenner ohne Gebläse; Teil 4: Heizkessel für Holz, Stroh und ähnliche Brennstoffe; Teil 6: Brennwertkessel für gasförmige Brennstoffe; Teil 7: Brennwertkessel für flüssige Brennstoffe
- DIN 3368 Gasgeräte; Teil 2: Umlauf-Wasserheizer und Kombi-Wasserheizer (NT); Teil 4: Durchlauf-Wasserheizer (NT); Teil 7: Brennwert-Wasserheizer; Teil 8: Wasserheizer mit Vormischbrenner und geschlossener Verbrennungskammer
- DIN 4759 Wärmeerzeugungsanlagen für mehrere Energiearten
- DIN EN 303 Heizkessel; Teile 2 und 4: Heizkessel mit Ölzerstäubungsbrennern; Teil 3: Zentralheizkessel für gasförmige Brennstoffe; Teil 5: Heizkessel für feste Brennstoffe
- DIN EN 304 Heizkessel - Prüfregeln für Heizkessel mit Ölzerstäubungsbrennern
- DIN EN 483, DIN EN 656, DIN EN 677 Heizkessel für gasförmige Brennstoffe
- DIN 18894, 18894 und 18897: Feuerstätten für feste Brennstoffe (incl. Pelletöfen)

Wirkungsgradbestimmung

Der Kesselwirkungsgrad η_K ist ein Momentanwert. Er ist das Verhältnis der Kesselleistung (Nutzleistung) \dot{Q}_K zur zugeführten Feuerungsleistung (Brennstoffleistung) \dot{Q}_F . Die Kesselleistung \dot{Q}_K ist die Differenz aus der Feuerungsleistung \dot{Q}_F und der Abgasverlustleistung \dot{Q}_A sowie der Strahlungsverlustleistung \dot{Q}_S . Die Verlustanteile können auch als Teile von Eins (q_A und q_S) ausgedrückt werden (Gleichung 1).

$$\eta_K = \frac{\dot{Q}_K}{\dot{Q}_F} = \frac{\dot{Q}_F - \dot{Q}_A - \dot{Q}_S}{\dot{Q}_F} = \frac{\dot{Q}_F}{\dot{Q}_F} - \frac{\dot{Q}_A}{\dot{Q}_F} - \frac{\dot{Q}_S}{\dot{Q}_F} = 1 - q_A - q_S \quad \text{Gl. 1}$$

Der Abgasverlust q_A kann - außer bei Brennwertkesseln - durch die Messung des Kohlendioxidgehaltes (alternativ Sauerstoffgehaltes) und die Temperatur des Abgases bestimmt werden. Die Umrechnung der beiden Messwerte erfolgt mit der Abgasverlustformel. Für die beiden Brennstoffe Erdgas und Heizöl ist die graphische Lösung der Gleichung in den Bildern 5.2.9.1-2 (a) und (b) wiedergegeben.

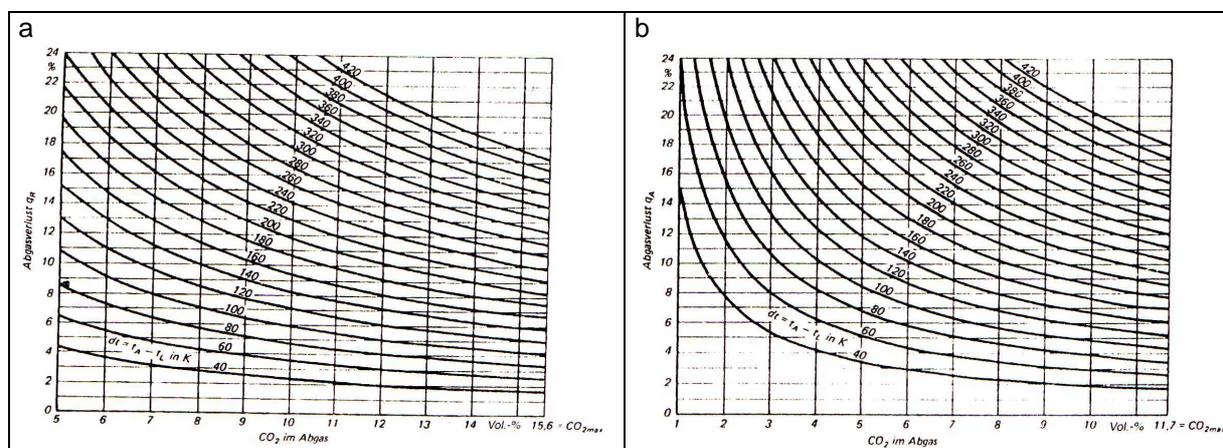


Bild 5.2.9.1-2 Abgasverluste für die Verbrennung von Erdgas (a) und Heizöl EL (b)

Die Abgasverlustgleichung versagt allerdings, sobald ein Teil des Wasserdampfes im Abgas kondensiert und Kondensationswärme freisetzt. In diesem Fall muss auch die in einer bestimmten Zeit anfallende Kondensatmenge erfasst werden (Mengenmessung) und deren Kondensationsenergie rechnerisch bestimmt werden.

Die Strahlungsverlustleistung ist der Wärmestrom, der während des Feuerungsbetriebes über die Kesseloberfläche abgegeben wird. Sie hängt im Wesentlichen von der Dämmung des äußeren Kesselkörpers und der Kesselwassertemperatur ab und beträgt bei modernen Kesseln $q_S = 0,5 \dots 1,5 \%$. Wobei tendenziell kleinere Kessel wegen ihrer größeren Oberfläche die höheren Strahlungsverluste aufweisen.

Nutzungsgradbestimmung

Der Nutzungsgrad ist das Verhältnis von Energiemengen und damit kein Momentanwert sondern ein Mittelwert für einen längeren Zeitraum, meist ein Jahr. Er wird anhand der zugeführten Feuerungswärmemenge (Brennstoffenergie) Q_F , der über das Abgas an die Umwelt verlorenen Energiemenge Q_A , der Abstrahlungsenergie des Kessels während des Betriebes Q_S und der Bereitschaftsenergie während der Brennerstillstandszeiten Q_B bestimmt (Gleichung 2).

$$\eta_K = \frac{Q_K}{Q_F} = \frac{Q_F - Q_A - Q_S - Q_B}{Q_F} \quad \text{Gl. 2}$$

Die Betriebsbereitschaftsverluste Q_B bzw. Stillstandsverluste fassen die Wärmeabgabe des Kessels über seine Oberfläche sowie die Auskühlung durch den Schornsteinzug während der Feuerungspausen zusammen. Die Verlustleistung während des Stillstandes liegt bei neueren Kesseln in der Größenordnung der Strahlungsverluste ($q_B \approx q_S$).

Die Abgasverluste können mit Hilfe einer mittleren Abgasverlustleistung (mittlere Abgastemperatur, mittlerer CO_2 -Gehalt) und der produzierten Nutzwärmemenge Q_K bestimmt werden. Die Strahlungs- und Bereitschaftsverluste können annähernd anhand der jährlichen Betriebszeit (z. B. 8760 Stunden) und der mittleren Verlustleistung $\dot{Q}_S \approx \dot{Q}_B$ abgeschätzt werden.

Nutzungsgrad für verschiedene Kesseltypen

Für verschiedene Kesseltypen ergeben sich aufgrund ihres Konstruktions- und Funktionsprinzips andere erreichbare Wirkungs- und Nutzungsgrade. Eine übliche Darstellung - in Abhängigkeit vom Auslastungsgrad des Kessels - zeigt Bild 5.2.9.1-3.

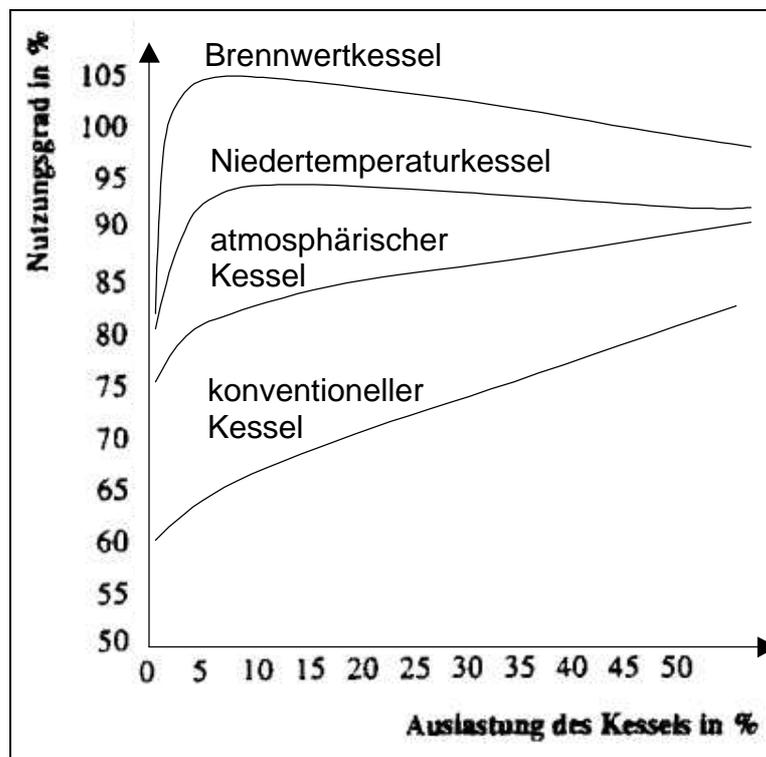


Bild 5.2.9.1-3 Nutzungsgrad nach Kesselprinzip (schematisch)

Für den konventionellen Kessel und den atmosphärischen Kessel sinkt der Nutzungsgrad mit der Auslastung. Der Anteil der nutzenunabhängigen Bereitschafts- und Strahlungsverluste bleibt konstant vorhanden, auch wenn der Nutzen kleiner wird.

Für den Niedertemperaturkessel sinken die Bereitschafts- und Strahlungsverluste, wenn er weniger ausgelastet ist, weil die mittlere Kesselwassertemperatur in diesem Fall abgesenkt wird. Damit bleibt der Nutzungsgrad bis zu einem Auslastungsgrad von etwa 10 % nahezu konstant.

Bei Brennwertkesseln (nicht in gleichem Maße bei Brenwertthermen!) führt die Temperaturabsenkung bei geringen Auslastungen nicht nur zu verminderten Bereitschafts- und Strahlungsverlusten sondern auch zu vermehrter Abgaskondensation. Die Abgasverluste sinken in diesem Fall überproportional und der Nutzungsgrad ist im Teillastfall höher als bei Volllast. Allerdings ist auch hier bei etwa 5 % Auslastung ein Maximum erreicht. Bei noch geringerer Nutzwärmeabgabe dominieren dann wieder die Bereitschaftsverluste.

Bei dieser Beschreibung wird auch deutlich: die Nutzungsgraddefinition hängt stark vom Nutzen selbst ab. Ist der Nutzen null, kann der Kessel noch so gut sein, der Nutzungsgrad ist dann auch null! Das Problem der Nutzungsgraddefinition ist in Bild 5.2.9.1-4 wiedergegeben.

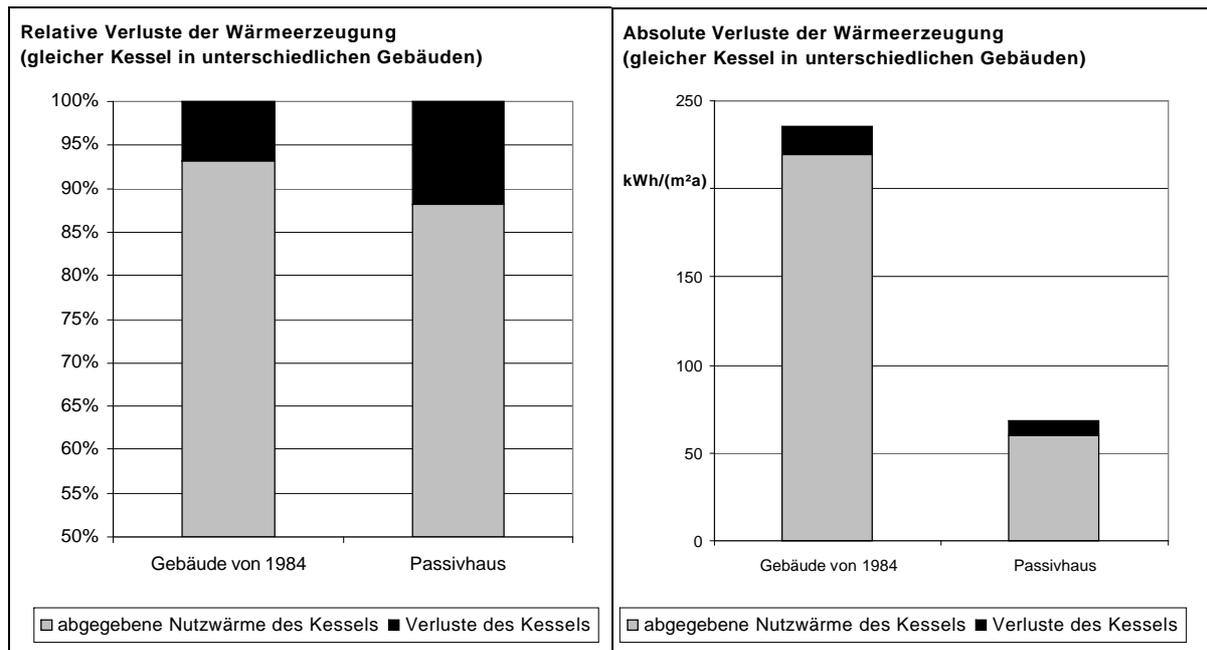


Bild 5.2.9.1-4 Nutzungsgrad und Erzeugerverluste für unterschiedliche Gebäude

Das Bild zeigt: der gleiche Kessel in einem guten Gebäude hat zwar einen schlechten Nutzungsgrad, aber insgesamt weniger Wärmeverluste! Die Definition des Nutzungsgrades (und auch des Kehrwertes, der Aufwandszahl) sollte siedbezüglich überdacht werden.

Effizienz über 100 %

Wie im Bild 5.2.9.1-3 schon gezeigt, können Nutzungsgrade (und auch Wirkungsgrade) über 100 % erreicht werden. Der Nutzungsgrad wird - nach Deutscher Tradition - bezogen auf den Heizwert des Brennstoffes angegeben. Dieser gibt den Energieinhalt des Brennstoffes ohne Nutzung der Kondensationswärme des Wasserdampfes an. Im Gegensatz dazu umfasst der Brennwert auch diese Kondensationswärme.

Der Brennwert eines Brennstoffes ist größer als der Heizwert (sofern bei der Verbrennung Wasserdampf entsteht). So hat ein Kubikmeter Erdgas einen Energieinhalt von 11,1 kWh (Brennwert) oder 10,0 kWh (Heizwert). Das Verhältnis beträgt in diesem Fall 1,11. Es nähert sich mit geringerem Wassergehalt im Abgas der Grenze 1,0. Für Heizöl liegt der Wert bei 1,06.

Da Brennwertkessel zusätzlich die im Wasserdampf enthaltene Kondensationswärme nutzen, der Nutzungsgrad aber auf den Heizwert bezogen wird, können sich Wirkungsgrade über 100 % ergeben. Die maximalen Wirkungsgrade liegen bei 111 % (bei Erdgas) oder 106 % (bei Heizöl). Es erscheint - angesichts dieser physikalischen Unsinnigkeit – als sinnvoll, die Nutzungsgrade besser auf den Brennwert bezogen anzugeben.

Nutzungsgrade in der Praxis

Verwendet man die Definitionen des Nutzungsgrades und der Wärmeerzeugerverluste können folgende Aussagen getroffen werden (Tabelle 5.2.9.1-1):

Betrieb	Nutzungsgrad und Verluste
Kessel nur für Heizung	<ul style="list-style-type: none"> Der Kessel ist im Sommer abgeschaltet, es fallen keine Verluste an. Der Nutzungsgrad ist nicht definiert. In der Heizzeit ergeben sich Bereitschafts- und Abstrahlungsverluste abhängig von der mittleren Kesseltemperatur (vom Kesseltyp u.a. Randbedingungen). Die Abgasverluste steigen mit höherer Nutzwärmeabforderung. Der Nutzungsgrad ebenfalls. Für Brennwertkessel ergeben sich Nutzungsgrade zwischen 90 und 105 % - wobei ein guter Mittelwert aus der Praxis bei 95 % zu sehen ist.
Kessel nur für Trinkwarmwasser	<ul style="list-style-type: none"> Die Verluste der Betriebsbereitschaft bzw. der Abstrahlung fallen ganzjährig - nahezu unabhängig vom Nutzen - in gleicher Höhe an, da die Kesseltemperatur etwa gleich bleibt. Die zusätzlichen Abgasverluste sind proportional zur benötigten Nutzwärmemenge. Wird der Kessel nur wenig genutzt, ergeben sich geringe Abgasverluste, aber auch geringe Nutzungsgrade. Der Nutzungsgrad ist in der Regel geringer als bei einem Heizkessel, da die Nutzwärmemenge geringer ist.
Kessel für Heizung und Trinkwarmwasser	<ul style="list-style-type: none"> Die Verluste des Kessels lassen sich wie vor beschrieben, einteilen: in Bereitschafts- und Abgasverluste. In der Regel wird für einen Kombikessel ein Winter- und ein Sommernutzungsgrad angegeben. Der Sommernutzungsgrad liegt sehr viel geringer als der Winternutzungsgrad und kann im Wohnbau 50 ... 70 % betragen.

Tabelle 5.2.9.1-1 Kesselverluste und Nutzungsgrade

Das folgende Beispiel zeigt einen kleinen Ausschnitt von Messergebnissen für Brennwertkessel in der Praxis.

In "unbegleiteten" Niedrigenergiehäusern (keine speziell geplante und mit einer Qualitätssicherung ausgeführten Technik, sondern durchschnittliche Baupraxis) werden im Durchschnitt bei Brennwertkesseln nur Jahresnutzungsgrade von 95 % bezogen auf den unteren Heizwert gemessen. Dies steht im starken Gegensatz zu den Versprechungen der Herstellerunterlagen und führt bei den Hausbewohnern teilweise zu Unmut.

Untersucht wurden 62 Brennwertgeräte in Einfamilienhäusern, darunter 60 wandhängende Thermen. Etwa zwei Drittel der Anlagen war mit einem Überströmventil ausgestattet. Diese wiesen im Schnitt um 5%-Punkte geringere Nutzungsgrade auf. Eine Übersicht über die Jahresmesswerte gibt 5.2.9.1-5.

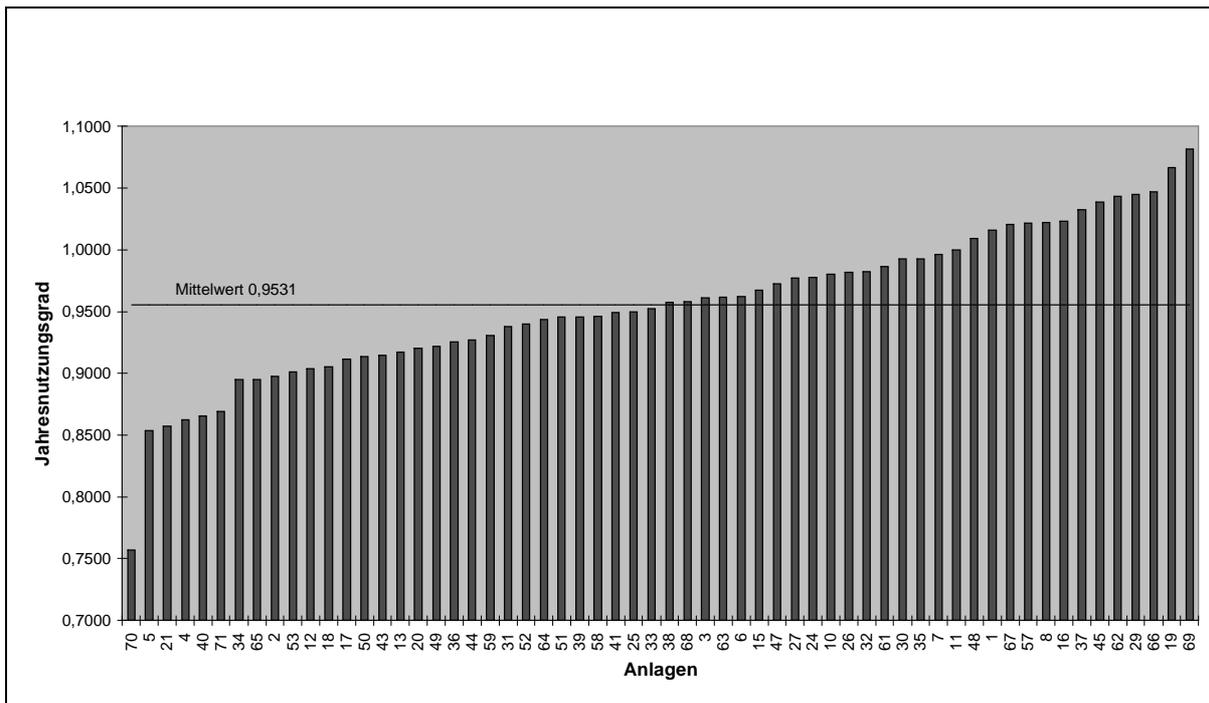


Bild 5.2.9.1-5 Messwerte für Nutzungsgrad von Brennwertkesseln

Trägt man die vorhandenen monatlichen Messwerte für den Nutzungsgrad über der abgegebenen Nutzwärmemenge auf, ergibt sich die Darstellung nach Bild 5.2.9.1-6.

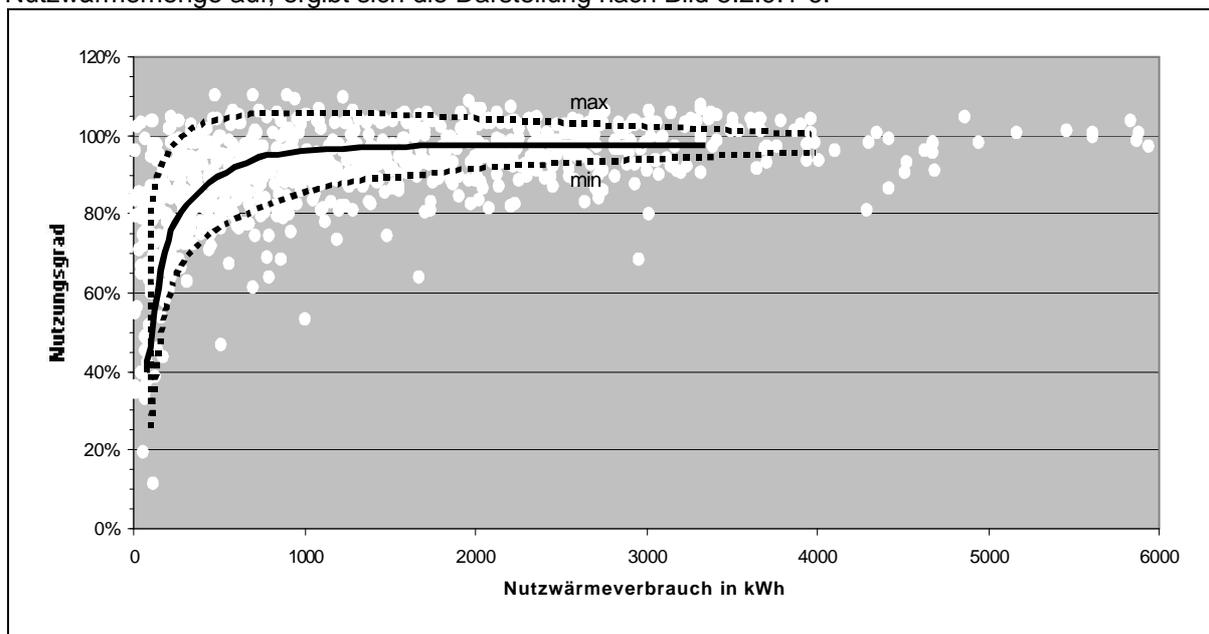


Bild 5.2.9.1-6 Messwerte für Nutzungsgrad je nach Kesselauslastung

Die Messwertkurve "Nutzungsgrad über Kesselbelastung" nach Bild 5.2.9.1-6 spiegelt nur bedingt die theoretische Ableitung nach Bild 5.2.9.1-3 wider. Für die meisten untersuchten Anlagen steigt der Nutzungsgrad des Kessels nicht im Teillastfall an. Der Brennwertkessel im Feld ähnelt in seinem Verhalten einem Niedertemperaturkessel, wenn auch mit etwas höheren Nutzungsgraden.

Optimale Betriebsbedingungen

Eine Grundvoraussetzung für den wirtschaftlichen Betrieb von Heizkesseln ist deren richtige regelungstechnische und hydraulische Einbindung in das Gesamtkonzept. Nur so können geforderte Volumenströme und Temperaturen eingehalten werden.

Konstanttemperatur-Heizkessel fordern beispielsweise eine Kesselmindestwassertemperatur von etwa 50 - 65°C, damit es innerhalb des Kessels nicht zur Kondensation von Wasserdampf kommt. Die Rücklauftemperaturen müssen daher etwa um 40 ... 55 °C liegen. Brennwertkessel fordern dagegen gerade die niedrigen Rücklauftemperaturen unterhalb des Wasserdampftaupunktes, damit es zur Kondensation kommt.

Eine Mindestdurchströmung des Kessels kann durch Kesselkreispumpen, Überströmventile, den Anschluss des Kessels an eine hydraulische Weiche oder Dreiwege-Thermostatventile sichergestellt werden. Diese Maßnahmen bewirken eine Anhebung der Rücklauftemperatur, die für Brennwertechnik negativ zu bewerten ist.

Festbrennstoffkessel müssen in der Regel mit Pufferspeichern ausgeführt werden.

Heizkessel zur Trinkwasserbereitung

Bei der Mehrzahl der heute eingesetzten Heizkessel werden Heizung und Trinkwarmwassererzeugung kombiniert. Nur in großen Anlagen mit ganzjährig hohem Trinkwasserbedarf werden separate zentrale Heizkessel zur alleinigen Trinkwarmwassererzeugung verwendet. Die Heizkessel geben die erzeugte Wärme über das Heizkreiswasser an einen Speicher oder in einem Wärmeübertrager im Durchfluss an das Trinkwasser ab. Der Speicher kann nebenstehend angeordnet sein oder im Kessel integriert. Nähere Ausführungen zu Trinkwarmwasserspeichern finden sich in Kapitel 5.2.8.

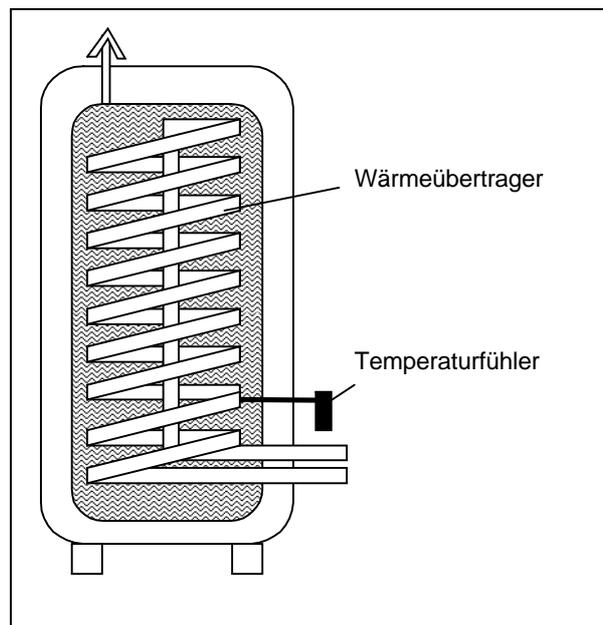


Bild 5.2.9.1-7 Indirekt beheizter Trinkwarmwasserbereiter

Wirtschaftlichkeit, Umweltgesichtspunkte und Hinweise zur Auswahl

Die Umweltverträglichkeit eines Kessels wird beispielsweise durch das RAL-Umweltzeichen "Blauer Engel" bescheinigt. Dieses gibt für verschiedene Schadstoffe (Stickstoffoxide NO_x , Kohlenmonoxid CO, Kohlenwasserstoffe), für die Höhe der Anfahrmissionen, die Rußzahl und für Normnutzungsgrade zulässige Höchstwerte an.

Die Wirtschaftlichkeit einer Erneuerung ist bei mittleren und großen Kesseln (> 70 – 100 kW) in der Regel am höchsten. Die Investitionskosten je kW nehmen bei großen Leistungen ab. Nutzungsgrade von großen Kesseln sind ebenso entsprechend höher als bei kleinen Geräten. Entgegen der noch vor einigen Jahren üblichen Empfehlung können auch größere Anlagen als Einkesselanlage ausgeführt

werden, wenn dem nicht Sicherheitsgründe (z.B. in Krankenhäusern) entgegen stehen. Die bei einer Mehrkesselanlage eingesparten Betriebsbereitschaftsverluste in der Übergangszeit (Abschalten einzelner Kessel oberhalb bestimmter Außentemperaturen) werden in der Regel durch erhöhte Verluste in der Kernheizzeit (zwei kleinere Kesseleinheiten) kompensiert. Zudem ist bei einer Mehrkesselanlage ganz besonders auf die richtige hydraulische und regelungstechnische Verschaltung zu achten.

Bei der Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Kesseln ist der elektrische Zusatzaufwand für Brenner, integrierte Pumpen und sonstige Hilfsaggregate zu beachten. Vor allem Brennwertkessel weisen - wegen der höheren Strömungswiderstände in den Rauchgaszügen - Abgasgebläse auf. Modulierende Brenner weisen höhere spezifische auf die Kessel- oder Feuerungsleistung bezogene elektrische Leistungsaufnahmen auf als ein- oder mehrstufige Brenner.

Forschungsprojekt Brennwertkessel

In einem von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projekt wurde über fast 4 Jahre die Betriebsmerkmale von Brennwertkesseln im Feld untersucht. Untersuchungsschwerpunkt waren Anlagen, in denen keine besondere Überwachung der Planung und Ausführung stattgefunden hatte (typische Anlagen, keine begleiteten Anlagen). Aus den Ergebnissen des Feldprojektes lassen sich Anforderungen für einen effizienten Betrieb von Brennwertkesseln ableiten

Auf Basis des Verfahrens des normierten Energieaufwands (vgl. Abschnitt 5.2.2.5.6) ergeben sich durch Korrelation von gemessenen Nutzenergieabgaben und Endenergiemengen der Wärmeerzeuger bei verschiedenen Belastungen wichtige Erkenntnisse zur Bewertung von Kesseln im Wechselspiel unterschiedlicher Randbedingungen des Gebäudes und des Heizsystems.

Wichtige Ergebnisse aus den Feldmessungen

Im Rahmen des Projektes "Felduntersuchungen: Betriebsverhalten von Heizungsanlagen mit Gasbrennwertkessel" wurden 60 Heizungsanlagen mit Gas-Brennwertkesseln und 7 mit Gas-Niedertemperaturkesseln mit zusätzlichen Wärmemengenzählern ausgestattet, so dass die zugeführte Energie (Aufwand) über die Gasmenge und die abgeführte Energie (Nutzen) über die Wärmemengenzähler erfasst werden konnte.

Die Auswertung des Messprogramms sollte primär die Frage beantworten, ob für die Bewertung von Wärmeerzeugern häufig herangezogene Normnutzungsgrade von bis zu 109 % (H_u bezogen) im Praxisbetrieb erreicht werden und ob der Jahresnutzungsgrad des Kessels als alleiniges Beurteilungskriterium einer Heizungsanlage für die energetische Effizienz ausreicht. Die Analyse der Feldmessungen zeigt eine mehr oder weniger ausgeprägte Abhängigkeit des realen Nutzungsgrades von Merkmalen des von den Wärmeerzeugern versorgten Heizsystems, v. a.:

- von der hydraulischen Einbindung mit oder ohne ein Überströmventil zur Gewährleistung vom Aufstellort des Wärmeerzeugers im beheizten oder unbeheizten Bereich
- eines Mindestkesselwasservolumenstromes und
- von den am Kesselregler eingestellten Vorlauftemperaturen,

Weiterhin wurde versucht, Ursachen für erhöhte Energieverluste bei den untersuchten Anlagen zu lokalisieren und daraus Auslegungsempfehlungen für zukünftig einzusetzende Geräte- und Anlagentechnik abzuleiten.

Die gemessenen Wärmeverbrauchswerte zeigen, dass der Großteil der Gebäude sehr geringe Energiebedarfswerte aufweist, so dass auch die Einsparpotentiale begrenzt sind. Hervorzuheben sind jedoch die um etwa 9 kWh/(m² a) erhöhten Verluste von Systemen mit Zirkulationsleitungen zur Trinkwarmwasserverteilung gegenüber Systemen ohne Zirkulation.

Als eines der wichtigsten Ergebnisse konnte eine unmittelbare Abhängigkeit des Jahresnutzungsgrades vom Wärmeverbrauch und von der mittleren Kesselauslastung festgestellt werden. Hier ergeben sich die größten Abweichungen zwischen dem real und dem auf Prüfständen gemessenen Normnutzungsgrad.

Qualifikation zum/r Energieberater/in TGA

Während der Normnutzungsgrad von einer mittleren Belastung von 38,8 % ausgeht, liegt die mittlere Belastung aller im Projekt eingesetzten Brennwertkessel bei ca. 9 %. Hauptgründe für diese hohe Abweichung liegen:

- in der Ableitung des Normnutzungsgrades aus Belastungen nach dem Verlauf der mittleren Tagesaußentemperaturen mit geringfügiger Berücksichtigung von Heizpausen und Fremdwärmege winnen,
- in der Gleichsetzung von Kesselnennleistung und Gebäudeheizlast nach DIN 4702-8, obwohl im Einfamilienhausbereich die Kesselnennleistung von den Leistungsanforderungen der Trinkwarmwasserbereitung bestimmt wird.

Die Kessel sind daher gegenüber der Gebäudeheizlast um etwa das zwei- bis vierfache überdimensioniert. Der Nutzungsgrad der Anlagen nimmt mit sinkendem Wärmeverbrauch ab, wobei jedoch die absoluten Kesselverluste geringer werden. Der Nutzungsgrad sollte deshalb nicht das einzige Kriterium zur Beurteilung eines Wärmeerzeugers sein. Eine weiterführende Analyse der Ergebnisse nutzt die Bewertung der Effizienz von Wärmeerzeugungsanlagen mit der Größe: "Normierter Aufwand in Abhängigkeit von der mittleren Kesselbelastung". Sie wird unten näher erläutert.

Weiterhin zeigt die Untersuchung, dass gleiche Wärmeerzeuger in verschiedenen Anlagen bei annähernd gleicher Wärmeabnahme unterschiedliche Jahresnutzungsgrade aufweisen. Für die Effizienz der Heizungsanlage ist die Qualität des Wärmeerzeugers nur zum Teil verantwortlich; einen mindestens gleich großen Einfluss haben das Nutzerverhalten, die Reglereinstellung und die hydraulische Einbindung des Wärmeerzeugers in der Anlage.

In Tabelle 5.2.14.3-1 sind die wichtigsten Messergebnisse dargestellt. Die Jahresnutzungsgrade wurden aus Jahresmesswerten gebildet. Nähere Erläuterungen zu den Tabellenwerten sind in den entsprechenden Kapiteln des im Internet veröffentlichten Berichtes (www.delta-q.de / DBU Brennwertprojekt) zu finden.

	Einheit	BW-Kessel	NT-Kessel
Zahl der Anlagen		60	7
Jahresnutzungsgrad (heizwertbezogen)	%	96,4	83,4
Jahresnutzungsgrad (brennwertbezogen)	%	86,6	75,3
Spez. Kesselverluste (brennwertbezogen)	kWh/(m ² a)	16	38
Stromverbrauch	kWh/(m ² a)	2,9	1,6

Tabelle 5.2.14.3-1 Durchschnittliche gemessene Jahresnutzungsgrade, Kesselverluste und Hilfsenergien

Wie den Angaben aus Tabelle 5.2.14.3-1 entnommen werden konnte, sind die Ergebnisse der Feldmessungen im Projekt "Brennwertanlagen" großteils brennwertbezogen angegeben.

Der normierte Energieaufwand: Brennwertkessel im Feldtest

Für die Brennwertkessel wurden die mit der Gasmenge zugeführten Energien (Aufwand) sowie die abgeführten Energie (Nutzen, über die Wärmemengenzähler erfasst) ausgewertet. Zur Datenauswertung wurde u. a. das Verfahren des "normierten Energieaufwandes" verwendet, vgl. Kapitel 5.2.2.5.6.

Werden alle Brennwertkesselanlagenlagen unabhängig von ihren speziellen Merkmalen gemeinsam ausgewertet, ergibt sich das Diagramm des "normierten Energieaufwands" nach Bild 5.2.14.3-1.

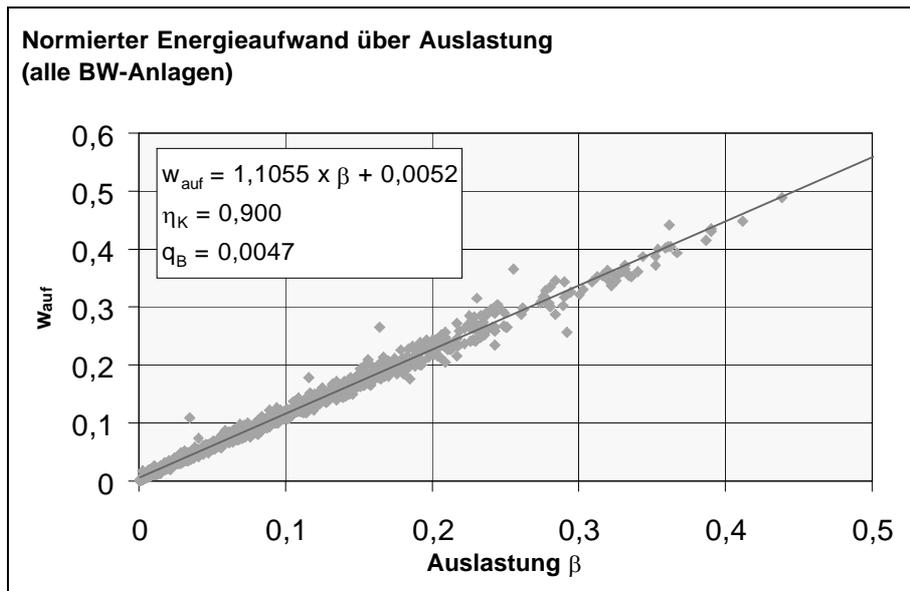


Bild 5.2.14.3-1 Normierter Energieaufwand über normierter Energieabgabe

Aus der Ausgleichgeraden der Monatsmesswerte ergibt sich auf ein Jahr bezogen ein durchschnittlicher Betriebsbereitschaftsverlust von $q_B = 0,47$ % für alle Brennwertanlagen. Der mittlere Kesselwirkungsgrad im Betrieb beträgt $\eta_K = 90$ % (Brennwertbezug).

Für die festgestellte mittlere Belastung der Anlagen von 9 % ergibt sich ein normierter Energieaufwand von $w_{auf} = 0,105$. Das bedeutet:

1. Die mittlere Kesselnutzleistung im Betrieb beträgt 9 % der installierten Kesselleistung ($\beta = 0,09$). Für einen typischen 20-kW-Kessel ergibt sich eine mittlere Leistung von 1,8 kW.
2. Die benötigte, zugeführte Leistung beträgt 10,5 % der installierten Kesselleistung ($w_{auf} = 0,105$). Für den 20-kW-Kessel beträgt sie also im Mittel 2,1 kW.
3. Der mittlere Nutzungsgrad aller untersuchten Brennwertkessel liegt damit bei rund 86 % (1,8 kW / 2,1 kW) bezogen auf den Brennwert. Bezogen auf den Heizwert liegt der Nutzungsgrad damit bei etwa 96 %.

Die Auswertung nach dem Verfahren des normierten Energieaufwandes wurde auch verwendet, um den Einfluss verschiedener Anlagenmerkmale auf die Kesseleffizienz sichtbar zu machen. Dazu wurden jeweils Gruppen von Anlagen mit unterschiedlichen Merkmalen gebildet, z.B. die Gruppe aller Anlagen mit Überströmventil gegenüber der Gruppe ohne Überströmventil. Die verschiedenen untersuchten Merkmale zeigt Bild 5.2.14.3-2, ebenso jeweils in Klammern angegeben die Anzahl der Anlagen je Gruppe.

Aus den sich ergebenden Auftragungen des normierten Energieaufwandes wurden jeweils alle Effizienzmerkmale abgeleitet. Bild 5.2.14.3-2 zeigt die Ergebnisse des Kesselwirkungsgrades (bei Belastung $\beta = 100$ %) und des mittleren normierten Kesselnutzungsgrades (bei mittlerer Kesselbelastung β) für verschiedene Anlagenmerkmale.

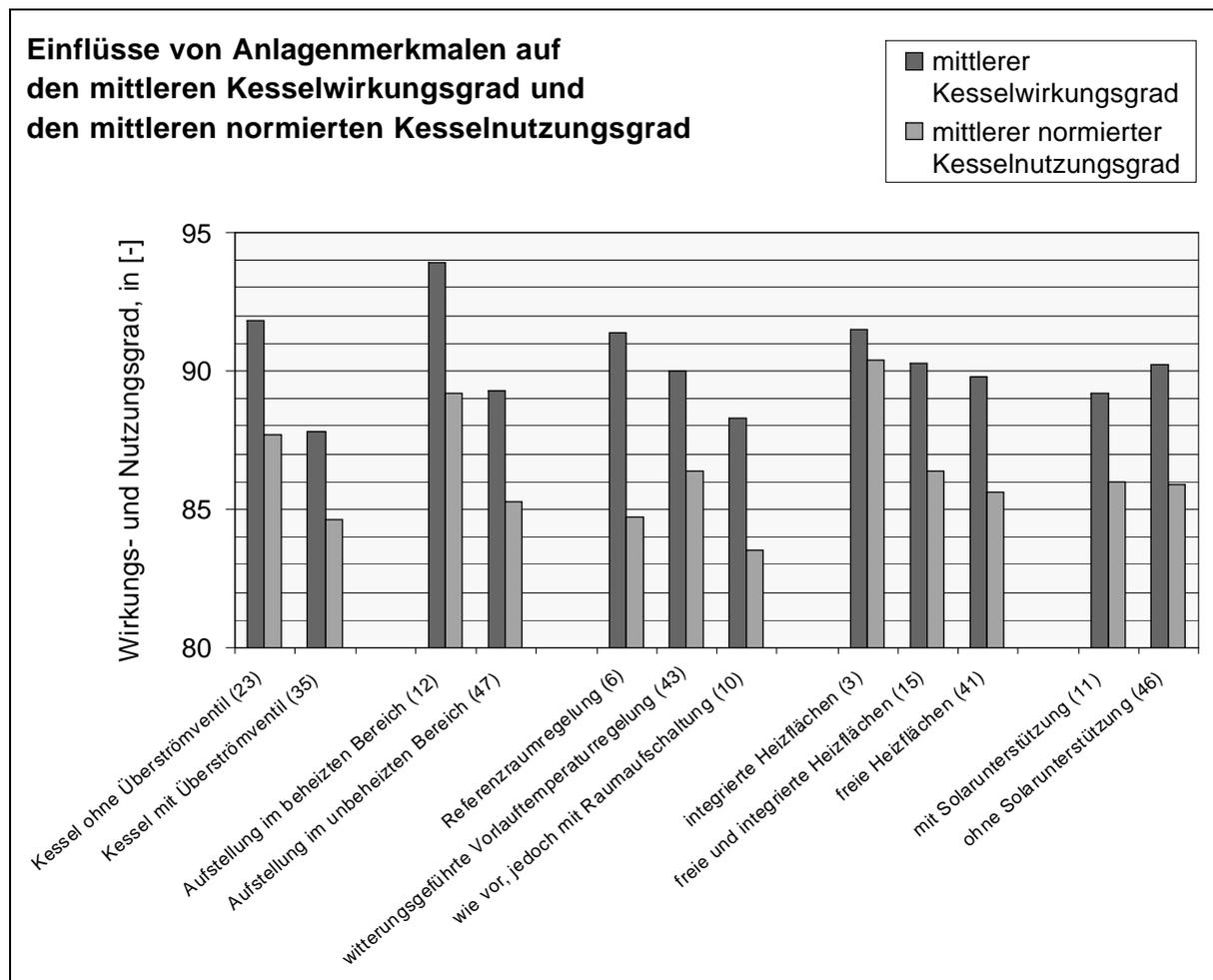


Bild 5.2.14.3-2 Einflüsse von Anlagenmerkmalen auf die Effizienz

Die Analyse der Feldmessungen zeigt Abhängigkeit des mittleren Nutzungsgrades sowie des Kesselwirkungsgrades:

- von der hydraulischen Einbindung mit oder ohne ein Überströmventil,
- vom Aufstellort des Wärmeerzeugers im beheizten oder unbeheizten Bereich und
- von den am Kesselregler eingestellten Vorlauftemperaturen.

Abgleich mit bekannten Bewertungskriterien

Die Jahresnutzungsgradtheorie und die Beschreibung mit dem normierten Aufwand sind kompatibel. Für die untersuchten Brennwertkessel ergibt sich der im Bild 5.2.14.3-3 dargestellte Nutzungsgradverlauf in Abhängigkeit von der Kesselbelastung.

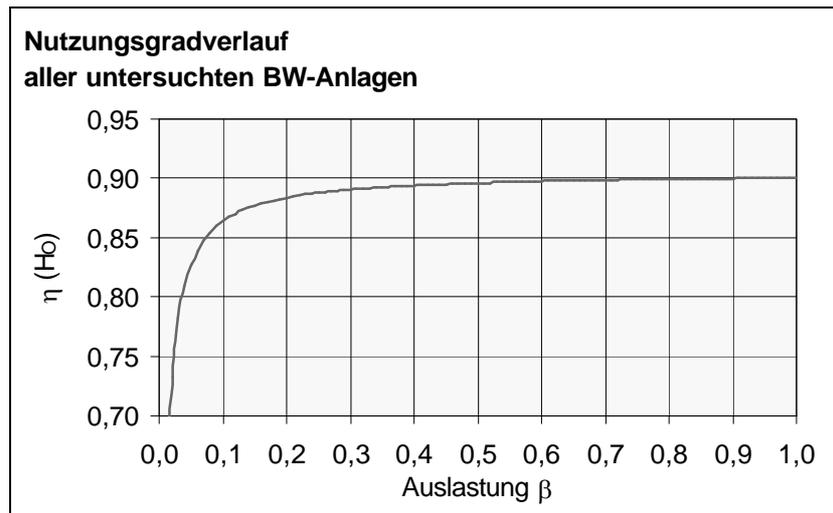


Bild 5.2.14.3-3 Nutzungsgradverlauf (brennwertbezogen) aller Brennwertanlagen

Wie aus dem Verlauf zu erkennen ist, fällt der Nutzungsgrad bei Belastungen unter etwa 30 bis 40 % ab. Besonders stark wird der Nutzungsgradabfall bei Belastungen unter 5 bis 10 %. Dieser Bereich ist vor allem in den Sommermonaten relevant, in denen der Kessel ausschließlich zur Trinkwarmwasserbereitung genutzt wird. Trotz des geringen Sommernutzungsgrades sind aber die absoluten Verluste in kWh in den Sommermonaten sehr viel kleiner als bei großen Kesselbelastungen im Winter! Hieraus wird ersichtlich, dass bei kleiner werdenden Nutzwärmeverbräuchen der Nutzungsgrad nicht das geeignete Kriterium zur Kesselbewertung darstellt.

Abweichungen vom Normnutzungsgrad nach DIN 4702-8

In einem Standard-Handbuch für Heizungs- und Klimatechnik eines bekannten Kessel- und Heizsystemherstellers finden sich noch in einer älteren Ausgabe von 1995 die folgenden Aussagen:

"Um Heizkessel-Anlagen der verschiedenen Bauarten energiewirtschaftlich auf rein messtechnischer Grundlage miteinander vergleichen zu können, kann der Jahresnutzungsgrad aus Gründen des Versuchszeitraumes praktisch nicht herangezogen werden. Damit aber eine vernünftige Beurteilung erreicht werden kann, wird - sozusagen als Kurzverfahren - eine neue Vergleichszahl angewandt, die auch in DIN 4702-8 als sog. Norm-Nutzungsgrad η_N definiert ist.

Das Bestreben dazu ist, das Messverfahren zur Ermittlung dieser Kennzahl mit einem geringst möglichen Aufwand durchzuführen. Das verlangt, von vereinfachten Annahmen auszugehen. Deshalb bleibt auch die Anwendbarkeit dieses Verfahrens auf Einkesselanlagen beschränkt.

Der Norm-Nutzungsgrad soll funktionsbedingt allein auf den Wärmeerzeuger selbst bezogen sein. Er kann daher besondere Einflussgrößen, wie Gebäudeart, Heizgewohnheiten, Kesseldimensionierungsqualitäten und -genauigkeiten o. ä. m., die bekanntlich im normalen Jahresnutzungsgrad zusätzlich noch Berücksichtigung finden, nicht enthalten. Aus diesem Grunde lässt sich auch der Norm-Nutzungsgrad nicht mit dem Jahresnutzungsgrad ohne weiteres vergleichen, denn für ein und denselben Wärmeerzeuger liegt der Norm-Nutzungsgrad in der Regel um bis zu 1 % über dem Jahresnutzungsgrad".

Mit dieser Aussage wurde und wird teilweise auch heute noch allen am Bau Beteiligten - Planern, Handwerkern, Endkunden - suggeriert, dass der reale Jahresnutzungsgrad eines Wärmeerzeugers nur geringfügig (maximal 1 %) vom Normnutzungsgrad abweicht. Die Ergebnisse des Projektes "Brennwertanlagen" liefern jedoch Unterschiede zwischen real gemessenem Nutzungsgrad und Normnutzungsgrad nach DIN 4702-8 von 10 ... 13 Prozentpunkten.

Hinweise zur Optimierung und Qualitätssicherung

Aus dem Vergleich der Theorie- und Praxiswerte wurden im Projekt "Brennwertkessel" Regeln für die künftige Konstruktion, die Planung und den Betrieb von Brennwertkesselanlagen formuliert.

1. An die Hersteller
 - a. Es werden Brennwertkessel mit höherem Wasserinhalt, ohne Anforderungen an einen Mindestvolumenstrom (Überströmventil) benötigt.
 - b. In Geräte integrierte Pumpen sollten insgesamt geringere Leistungen aufweisen (geringere hydraulische Widerstände der Geräte), auf jeden Fall aber sollte die Förderhöhe einstellbar und an das Netz anzupassen sein.
 - c. Die Modulationsbereiche der Geräte sollten möglichst hoch sein, um eine Anpassung an verschiedene Auslegungslasten und Teillastbereiche zu ermöglichen.
 - d. Die Kesselwassertemperatur sollte im Auslieferungszustand 50 bis 55 °C betragen mit einer Parallelverschiebung der Heizkurve von etwa 2 bis 4 K bezogen auf die Raumtemperatur. Der Brennwertkessel arbeitet dann mit seiner mittleren Kesselwassertemperatur praktisch in der gesamten Heizperiode im Brennwertbereich, während dies heute (ca. 75 °C Werkseinstellung) nicht der Fall ist.

2. An die Planer
 - a. Einfache Anlagenkonzepte planen. Gesamtsysteme eines Herstellers, speziell auch für Solarunterstützte Systeme, und ein einfaches Gesamtregelkonzept sind zu bevorzugen.
 - b. Im Neubau innerhalb eines Raumes entweder nur Heizkörper oder nur Fußbodenheizflächen einsetzen.
 - c. Kessel mit großem Wasserinhalt und möglichst hohem Modulationsbereich (Grundlaststufe unter 4 ... 5 kW) bevorzugen.
 - d. Kessel soweit möglich im beheizten Bereich des Gebäudes anordnen.
 - e. Bei der Wahl von Kesseln im kleinen Gebäude besonders auf geringe Bereitschaftsverluste und Pumpenstromaufwendungen achten, da die Pumpen praktisch die gesamte Heizperiode hindurch in Betrieb bzw. die Kessel großteils in Betriebsbereitschaft sind.
 - f. Im Bestand sind das vorhandene Rohrnetz sowie die Heizflächen in einer Ist-Analyse aufzunehmen. Wichtig ist die Anpassung der notwendigen Heizwassertemperaturen auf einem für das Gesamtsystem, v. a. für die Brennwertnutzung sinnvollen, möglichst niedrigen Temperaturniveau. Hierzu wurden von den Verfassern Hilfen (auch mit Softwareunterstützung) im Rahmen der Projekte: OPTIMUS [Optimus] in Zusammenarbeit mit ProKlima Hannover entwickelt und bereits erfolgreich erprobt.
 - g. Grundsätzlich wird der Einbau eines Wärmemengenzählers nach dem Wärmeerzeuger als Kontrollinstrument für den späteren Betrieb empfohlen.

3. An die Ausführenden
 - a. Plandaten einzustellen und in einer Fachunternehmererklärung bestätigen.
 - b. Auf die korrekte Einstellung der Heizkurve am Regler (diese wird heute in ca. 90 % aller Fälle aus „Sicherheitsgründen“ nicht eingestellt) sowie die Anpassung der Pumpe und auf die Durchführung des hydraulischen Abgleichs ist zu achten.
 - c. Information der Nutzer über alle wesentlichen Geräte- und Bedienfunktionen sowie die Bedienung der Thermostatventilregler.

Die an die Hersteller gerichteten Vorschläge wurden in mehreren Gesprächen diskutiert mit dem ersten Konsens, dass sofern der Markt es fordert, seitens der Hersteller Kesselkonstruktionen mit ausreichendem Wasserinhalt bzw. mit geringem hydraulischem Widerstand angeboten werden können. Hier stellt sich die Frage, ob der Markt primär von den Abnehmern oder vom Angebot der Hersteller bestimmt wird.

Quelle: K. Jagnow und D. Wolff
Manuskript für "Der Energieberater"
Verlag Deutscher Wirtschaftsdienst, Köln, 2003-2009