

Ergebnisse des Projektes

**Felduntersuchung:
Betriebsverhalten von Heizungsanlagen mit Brennwertkesseln**



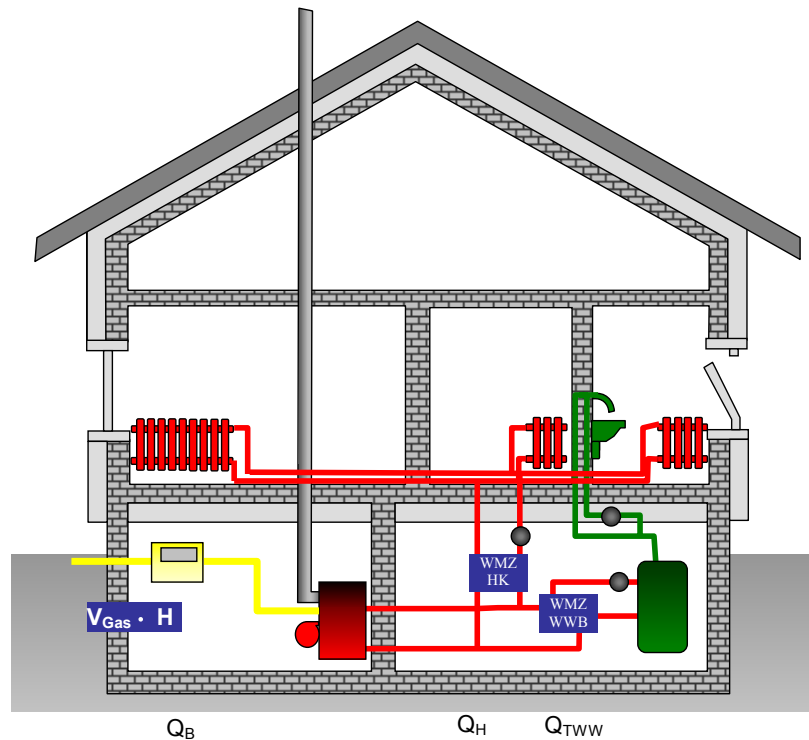
AZ: 14133

**"Felduntersuchungen: Betriebsverhalten von
Heizungsanlagen mit Gasbrennwertkessel"**

60 Heizungsanlagen mit Gas-Brennwertkesseln und 7 mit Gas-Niedertemperaturkesseln wurden mit zusätzlichen Wärmemengenzählern ausgestattet.

Die Auswertung des Messprogramms sollte 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.

Ausstattung der Anlagen mit Messgeräten



Hinweis

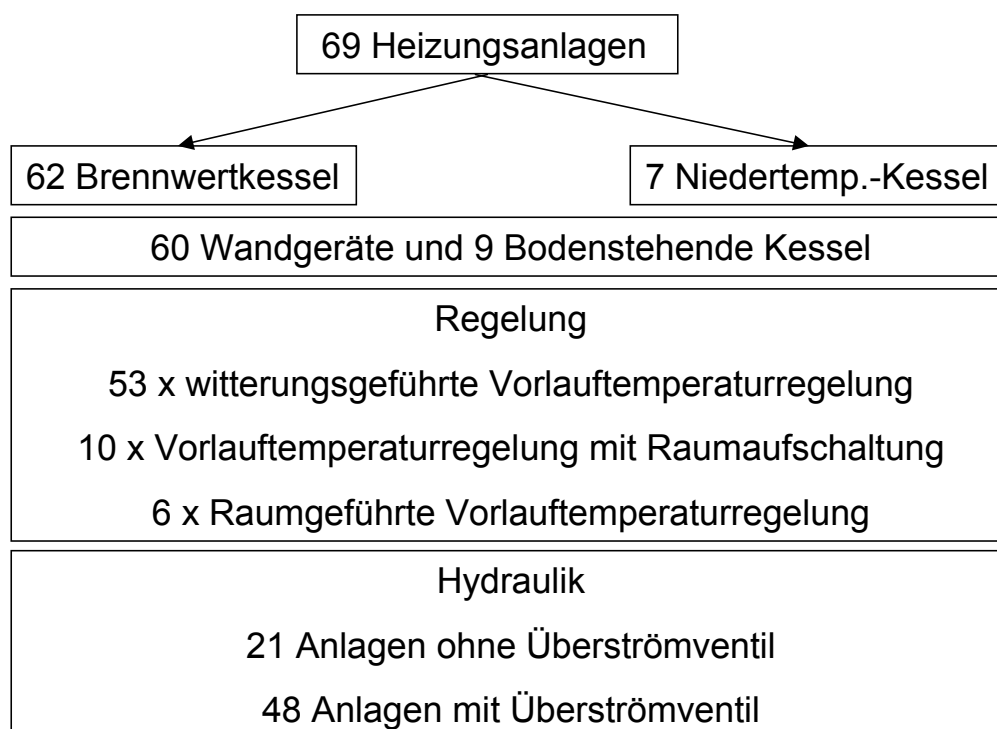
**In diesem Projekt werden konsequent
alle energetischen Kennwerte
auf den oberen Heizwert bzw. auf den Brennwert H_o
(bzw. heute besser europäisch H_s) bezogen.**

**Hierdurch können auch keine "negativen Kesselverluste"
("regenerative Effekt") entstehen, die sonst bei
Nutzungsgraden über 100 % auftreten.**

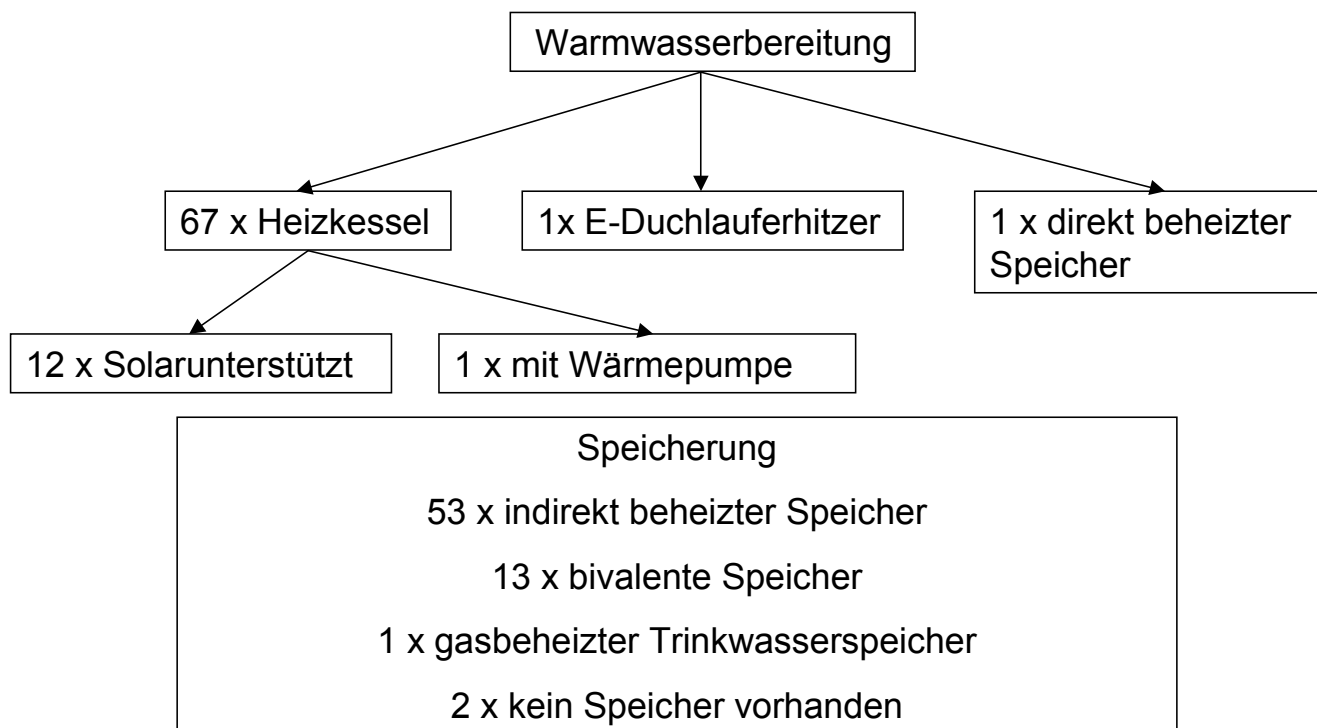
Anlagenüberblick



Anlagenübersicht



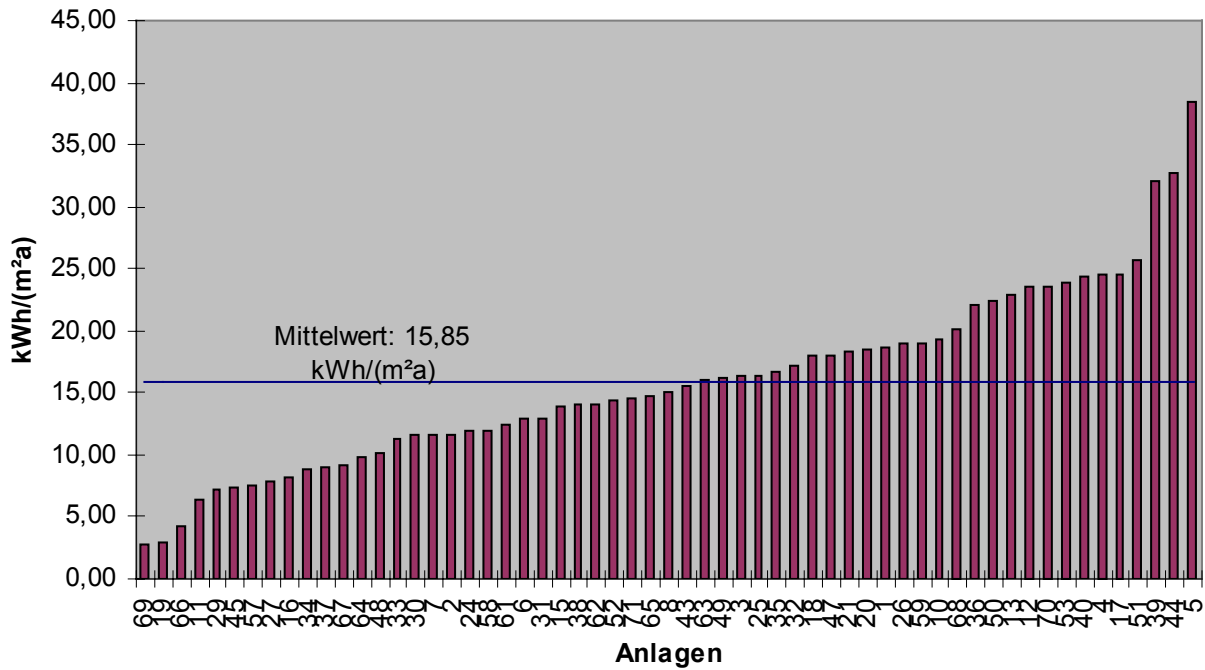
Anlagenübersicht



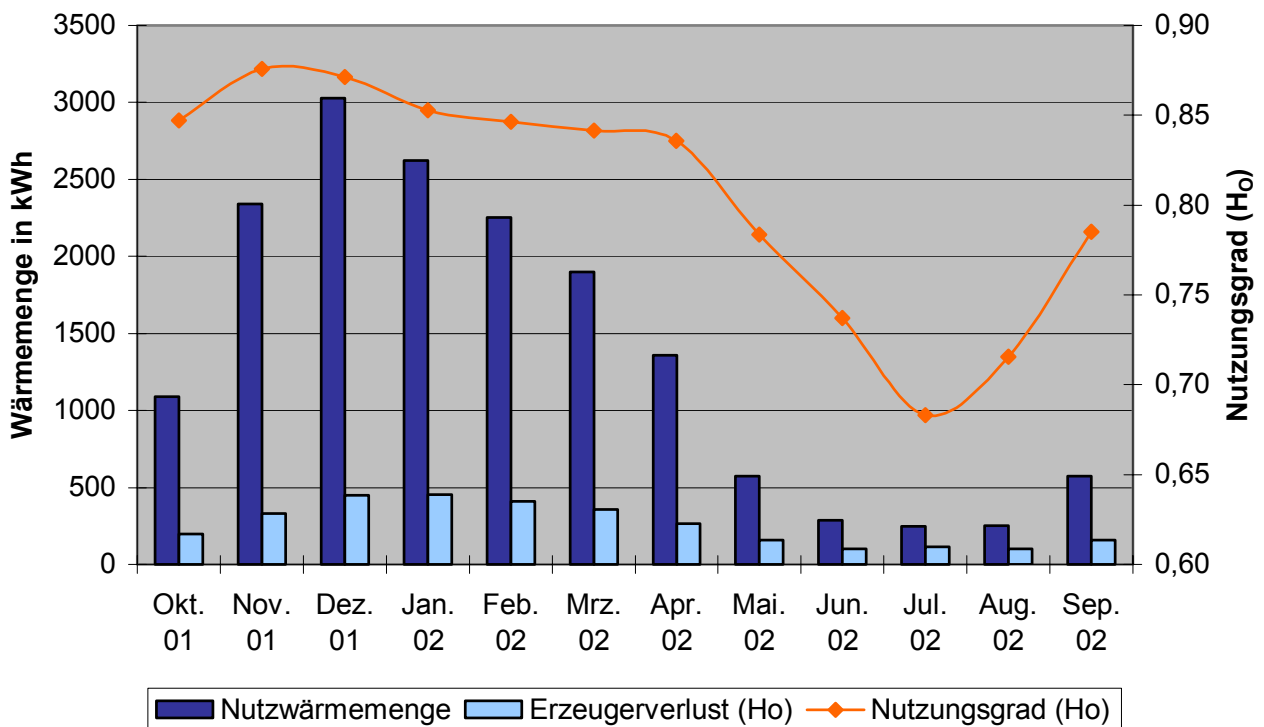
Mittlerer Nutzungsgrad und Kesselverluste



Flächenbezogener jährlicher Erzeugerverlust in kWh(H_o)/(m²a)



Flächenbezogener jährlicher Erzeugerverlust in kWh(H_o)/(m²a)



Normnutzungsgrad versus Jahresnutzungsgrad

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.

Normnutzungsgrad versus Jahresnutzungsgrad

*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 (max. 1%!) vom Normnutzungsgrad abweicht**. Die Ergebnisse dieses Projektes liefern jedoch Unterschiede zwischen real gemessenem Nutzungsgrad und Normnutzungsgrad von **10 ... 13 Prozentpunkten**.*

Abweichungen zu den Prüfbedingungen der DIN 4702-8

- Mittlere Kesselbelastung nach DIN 4702-8: 39 %
Feldmessungen: **lediglich 9 %**
- Messung des Normnutzungsgrades: bei konstantem Volumenstrom
Praxisbetrieb: bedingt durch den Einsatz von Thermostatventilen
starke Abnahme der Volumenströme im Teillastbereich
- Normnutzungsgrad berücksichtigt lediglich den Heizbetrieb
Feld-Anlagen: Kessel, die sowohl zur Raumheizung als auch zur
Trinkwarmwasserbereitung eingesetzt werden.

Unterschiede zwischen Theorie und Praxis im EnEV-Nachweis

	durchschnittliche Nutzfläche	Erzeugerverlust		
		Messwert	DIN V 4701-10 Anhang C 70/55 °C	BDH-Produktkennwerte 55/45 °C
	m ²	kWh/(m ² a) (H ₀)	kWh/(m ² a) (H ₀)	kWh/(m ² a) (H ₀)
Brennwertkessel	159	15,9	15,2	9,3
Niedertemperaturkessel	149	37,8	19,9	--

Gemessene Erzeugerverluste und Bedarfswerte nach DIN V 4701-10

Rahmenbedingungen zum Erreichen von verbesserten Produktkennwerten

- Einstellung von niedrigen Auslegungsheizwassertemperaturen am zentralen Kesselregler
- möglichst Verzicht auf den Einsatz von Überströmventilen zur Aufrechterhaltung eines Kesselmindestwasservolumenstromes
- möglichst Aufstellung des Wärmeerzeugers (und des Trinkwarmwasserspeichers) im beheizten Bereich
- Einsatz einer witterungsgeführten Kessel-/Vorlauftemperaturregelung anstelle einer zentralen Raumtemperaturregelung,

Rahmenbedingungen zum Erreichen von verbesserten Produktkennwerten

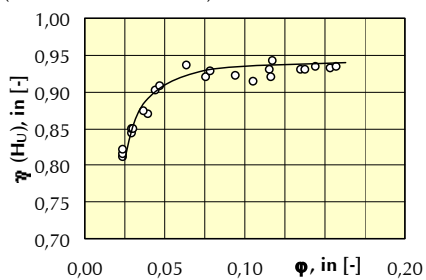
- möglichst niedrige Heizwassertemperaturen, z.B. durch eine alleinige Flächenheizung; der Einfluss eines Fußbodenheizungssystems auf den Heizwärmebedarf, der unabhängig vom eingesetzten Wärmeerzeuger ist, kann aber durchaus negativ sein,
- optimierte regelungstechnische und hydraulische Einbindung von Trinkwarmwasserspeichern insbesondere bei zusätzlicher solarer Warmwasserbereitung,
- Wärmeerzeuger mit optimierten Pumpen **oder - besser Kesselkonstruktionen mit ausreichendem Wasserinhalt und geringem hydraulischen Widerstand - ohne integrierte Pumpen,**
- Kesselkonstruktionen mit modulierenden Brennern bei großem Modulationsbereich sowie mit optimierten Heizflächen im Feuerraum, bei denen die Abgastemperaturen nur geringfügig über den Kesselwasser-Rücklauftemperaturen liegen.

Normierter Energieaufwand

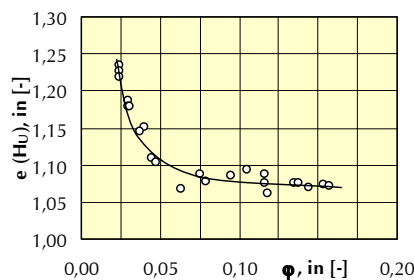


Auswertung von Messwerten

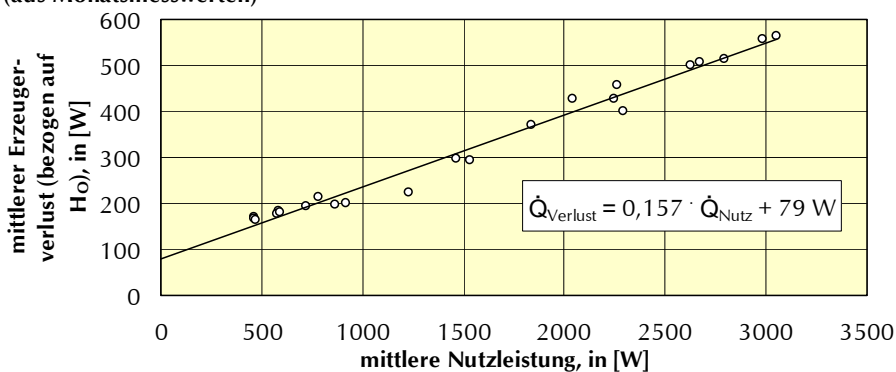
Erzeugernutzungsgrad
(aus Monatsmesswerten)



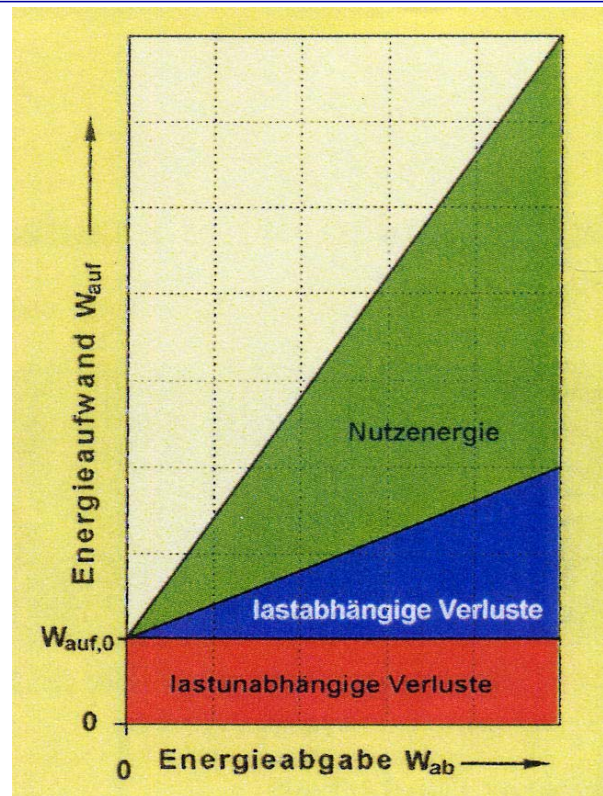
Erzeugeraufwandszahl
(aus Monatsmesswerten)



Erzeugernutz- und -verlustleistung
(aus Monatsmesswerten)



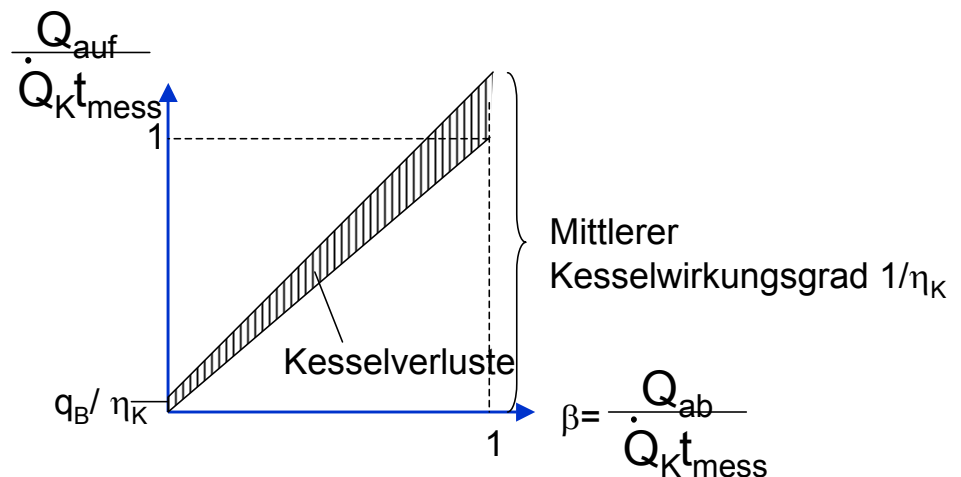
Normierter Energieaufwand



$$w_{\text{auf}}(\beta) = w_{\text{auf},0} + \left(\frac{1}{\eta_{\text{Nenn}}} - w_{\text{auf},0} \right) \cdot \beta$$

Quelle: Deutscher und Rouvel, HLH, 7/03

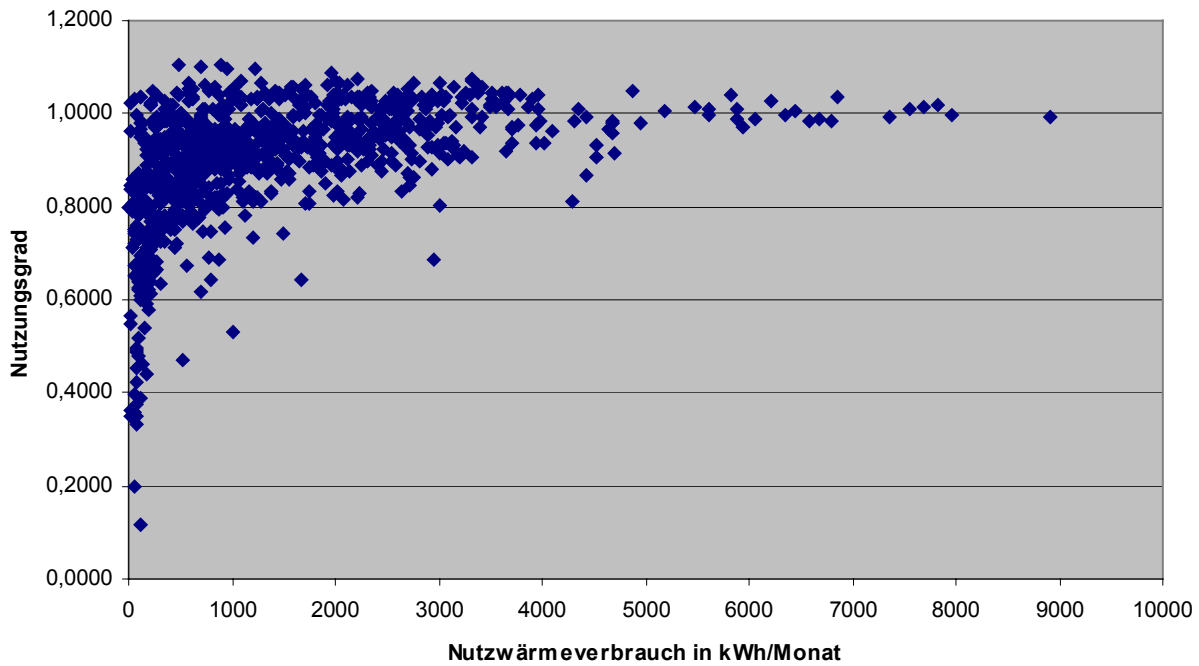
Auswertung: Effizienz des Wärmeerzeugers



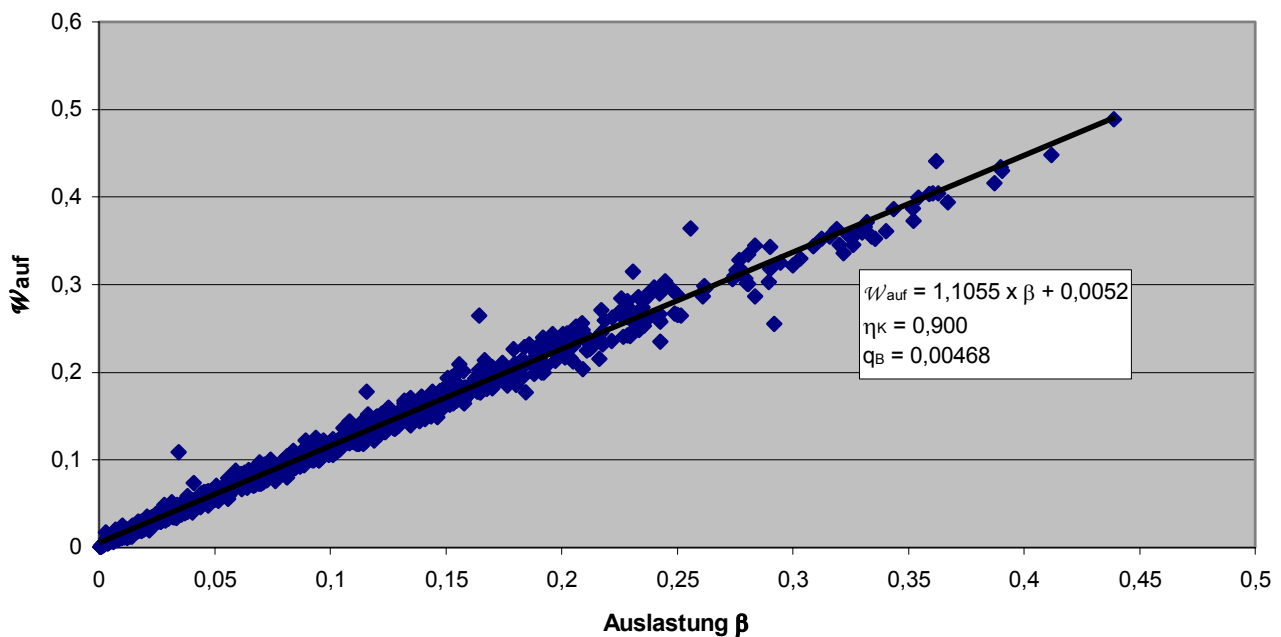
Typische Ergebnisse

	gemessen	berechnet	
Verluste Brennwert	16	6,5	kWh _{HO} /(m ² a)
Verluste Niedertemperatur	38	20	

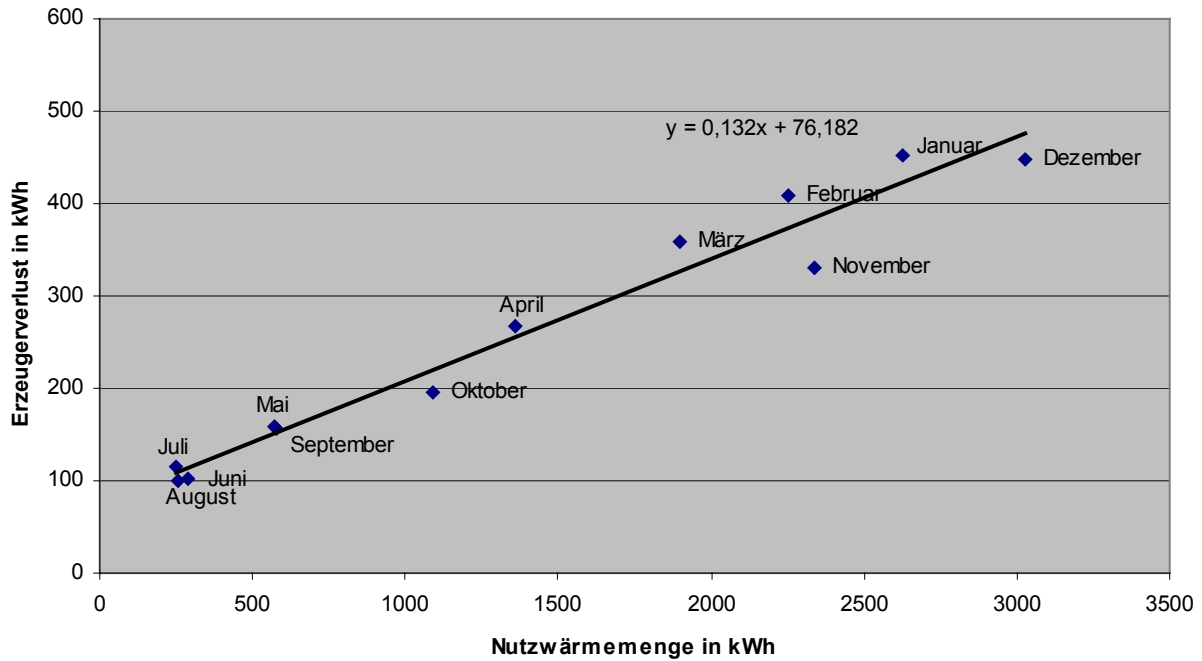
Monatliche Nutzungsgrade aller Brennwertanlagen über dem Nutzwärmeverbrauch (Messzeitraum 2 Jahre)



Normierter Energieaufwand über normierter Energieabgabe (alle Brennwertanlagen)



Ausgleichsgerade „Erzeugerverluste über Nutzwärmeverbrauch“



Durchschnittliche Kesselnutzungsgrade und Betriebsbereitschaftsverlustleistung

	Einheit	BW-Kessel	NT-Kessel
Zahl der Anlagen		60	7
Jahresnutzungsgrad	% (H _U)	96,4	83,4
Jahresnutzungsgrad	% (H _O)	86,6	75,3
Spez. Kesselverluste (H _O)	kWh/(m ² a)	15,9	37,8
Mittlere Kesselbelastung	%	9	
Mittlerer Kesselwirkungsgrad η _K	% (H _O)	90,0	
Mittlerer Bereitschaftsverlust	% (H _O)	0,47	
Betriebsbereitschaftsverlustleistung	kW	0,1	
Mittlerer Nutzungsgrad aus normiertem Energieaufwand	% (H _O)	85,9	
Stromverbrauch	kWh/(m ² a)	2,91	1,64

Durchschnittswerte aller untersuchten Anlagen

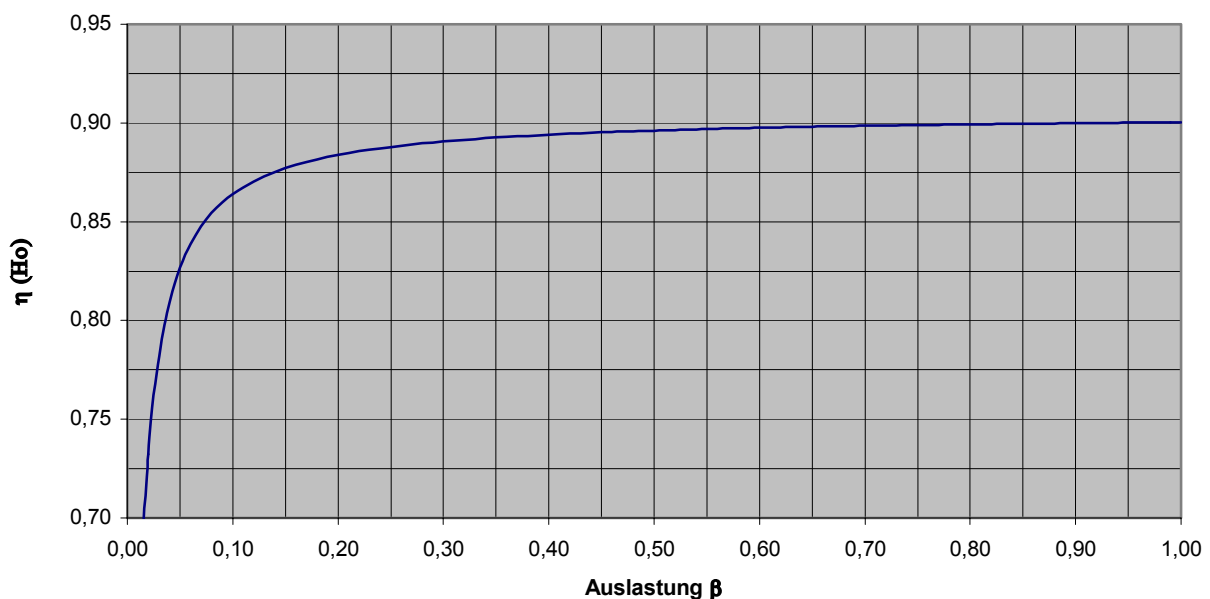
Mittlerer Betriebsbereitschaftsverlust: $q_B = 0,5 \%$

Mittlerer Kesselwirkungsgrad: 90% (H_o)

Mittlerer Jahresnutzungsgrad: 86% (H_o).

Mittlere Kesselbelastung: $\beta = 0,09$
(1,8 kW bei 20 kW Kesselleistung)

Nutzungsgradverlauf (H_o) aller Brennwertanlagen abhängig von der Auslastung



Einflüsse verschiedener Merkmale



Anlagenmerkmale

Gebäudebaujahr	
vor 1977	Gebäudebaujahr vor 1977
nach 1977	Gebäudebaujahr zwischen 1978 und 1982
nach 1982	Gebäudebaujahr zwischen 1983 und 1995
nach 1995	Gebäudebaujahr nach 1995
nachtr. gedämmt	Gebäude Baujahr vor 1977 nachträglich gedämmt
Kesseltyp	
NT	Niedertemperaturkessel
BW	Brennwertkessel
Bauart	
wand	wandhängendes Gerät
boden	bodenstehendes Gerät
Hydraulik	
ÜV	Anlagen mit Überströmventil im Kesselkreis
	Anlagen ohne Überströmventil im Kesselkreis

Anlagenmerkmale

Aufstellort	
außen	Aufstellort des Wärmerzeugers außerhalb des beheizten Bereichs
innen	Aufstellort des Wärmeerzeugers innerhalb des beheizten Bereichs
Regelung	
r	referenzraumgeführte Regelung
w	witterungsgeführte Regelung
wr	witterungsgeführte Regelung mit Raumaufschaltung
Heizflächen	
frei	freie Heizflächen
kombi	Kombination aus freien und integrierten Heizflächen
FBH	Fußbodenheizung
Zirkulation	
Zirkulation	Anlagen mit Zirkulationspumpe im Warmwasserkreis
	Anlagen ohne Zirkulationspumpe im Warmwasserkreis
WW-Bereitung	
O.WW	Anlagen ohne WW-Bereitung über den betrachteten Wärmerzeuger
Kessel	WW-Bereitung über den betrachteten Wärmeerzeuger
Solar	solarunterstützte Warmwasserbereitung

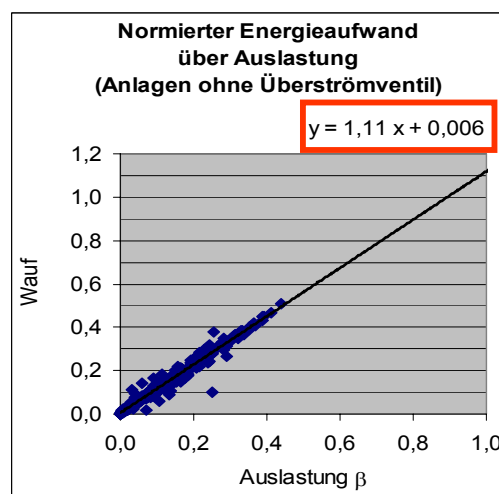
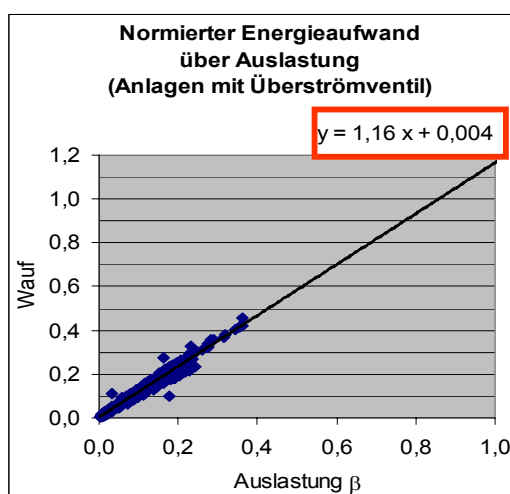
Bewertungskennwerte

- mittlerer Nutzungsgrad aus der Summe aller Nutz- und Brennstoffenergien
- mittlere Kesselauslastung
- mittlerer Nutzungsgrad aus normiertem Energieaufwand
- mittlerer Kesselwirkungsgrad η_K
- mittlerer Bereitschaftsverlust q_B
- spezifische Kesselverluste (H_o)

Anlagenvergleich mit/ohne Überströmventil im Kesselkreis

	Einheit	Kessel ohne Überströmventil	Kessel mit Überströmventil
Zahl der untersuchten Anlagen		23	35
Jahresnutzungsgrad aus Jahresmesswerten	% (H ₀)	89,0	85,0
Spez. Kesselverluste (H ₀)	kWh/(m ² a)	14,3	17,0
Mittlere Kesselauslastung	%	10,1	8,2
Mittlerer Kesselwirkungsgrad η_K	% (H ₀)	91,8	87,8
Mittlerer Bereitschaftsverlust	% (H ₀)	0,53	0,34
Mittlerer Nutzungsgrad aus normiertem Energieaufwand	% (H₀)	87,7	84,6

Auswertung: Wärmeerzeuger mit und ohne Überströmventil



- Steigung: größere Steigung, d.h. größerer Abgasverlust, bei Kesseln mit ÜV
Kesselwirkungsgrad: 0,86 (mit ÜV), 0,90 (ohne ÜV), Unterschied: 5 kWh/(m² a)
- Y-Verschiebung: höherer Wert, d.h. etwas größerer Bereitschaftsverlust, bei Kesseln mit Überströmventil (Unterschied 2 Promille, vernachlässigbar)

Einfluss des Kesselaufstellortes

	Einheit	Aufstellung im unbeheiztem Bereich	Aufstellung im beheiztem Bereich
Zahl der untersuchten Anlagen		47 (47)	11 (12)
Jahresnutzungsgrad aus Jahresmesswerten	% (H ₀)	86,6	88,5
Spez. Kesselverluste (H ₀)	kWh/(m ² a)	16,6	12,9
Mittlere Kesselauslastung	%	9,0	9,4
Mittlerer Kesselwirkungsgrad η_K	% (H ₀)	89,3	93,9
Mittlerer Bereitschaftsverlust	% (H ₀)	0,46	0,56
Mittlerer Nutzungsgrad aus normiertem Energieaufwand	% (H ₀)	85,3	89,2

Anlagenvergleich mit/ohne solare Trinkwarmwasserbereitung

	Einheit	Anlagen mit Solarunterstützung	Anlagen ohne Solarunterstützung
Zahl der untersuchten Anlagen		11 (11)	47(46)
Jahresnutzungsgrad aus Jahresmesswerten	% (H ₀)	85,1	86,9
Spez. Kesselverluste (H ₀)	kWh/(m ² a)	16,7	15,9
Mittlere Kesselauslastung	%	8,6	9,1
Mittlerer Kesselwirkungsgrad η_K	% (H ₀)	89,2	90,2
Mittlerer Bereitschaftsverlust	% (H ₀)	0,37	0,50
Mittlerer Nutzungsgrad aus normiertem Energieaufwand	% (H ₀)	86,0	85,9
Wärmemenge Kessel zur TWW Bereitung	kWh/(m ² a)	10,7	21,5

Vergleich: Regelpumpen – Ungeregelte Pumpen

	Einheit	Geregelte Pumpe	Ungeregelte Pumpe
Zahl der untersuchten Anlagen		28	31
Feuerungswärmemenge Q_B (H_O)	kWh	548363	556591
Nutzwärmemenge Q_{Nutz}	kWh	471693	488838
Spezifische Nutzwärmemenge	kWh/(m ² a)	106,3	99,2
Jahresnutzungsgrad η (H_O)	% (H_O)	86,0	87,8
Mittlere Kesselauslastung	%	0,09	0,09
Mittlerer Nutzungsgrad aus normiertem Energieaufwand	% (H_O)	85,5	87,2
Mittlerer Kesselwirkungsgrad η_K	% (H_O)	88,7	91,3
Mittlerer Bereitschaftsverlust	% (H_O)	0,42	0,53
Spezifische Kesselverluste (H_O)	kWh/(m ² a)	17,7	14,2

Überraschendes Ergebnis

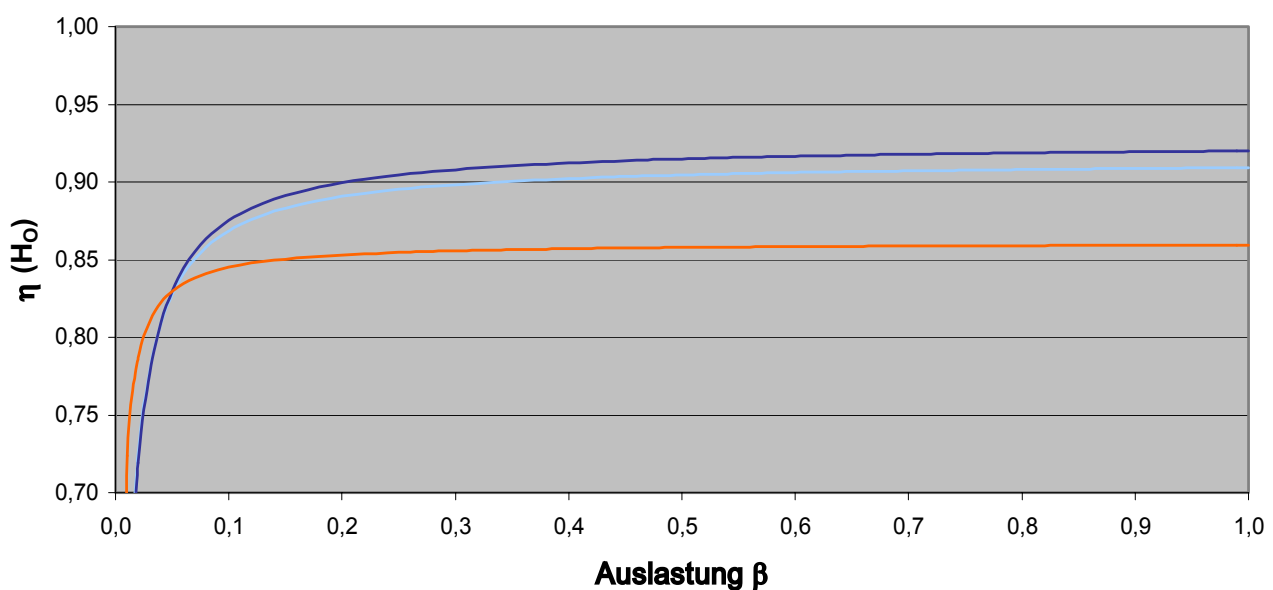
Kessel mit geregelten Pumpen ergeben einen um etwa 2 ½ Prozentpunkte schlechteren mittleren Kesselwirkungsgrad und höhere Kesselverluste.

Vermutung: Geregelte Pumpen sind stärker überdimensioniert als ungeregelte Pumpen. Noch nicht ausreichend erprobte Regelalgorithmen

Empfehlung

- Wärmeerzeuger mit etwas größeren Kesselwasserinhalten, geringeren hydraulischen Widerständen und - wenn überhaupt erforderlich – mit kleineren Umwälzpumpen ausstatten
- Thermostatventile an die geringen Volumenströme im Niedrigenergiehaus anzupassen.
- Umwälzpumpe extern und nicht im Kessel integriert wählen.

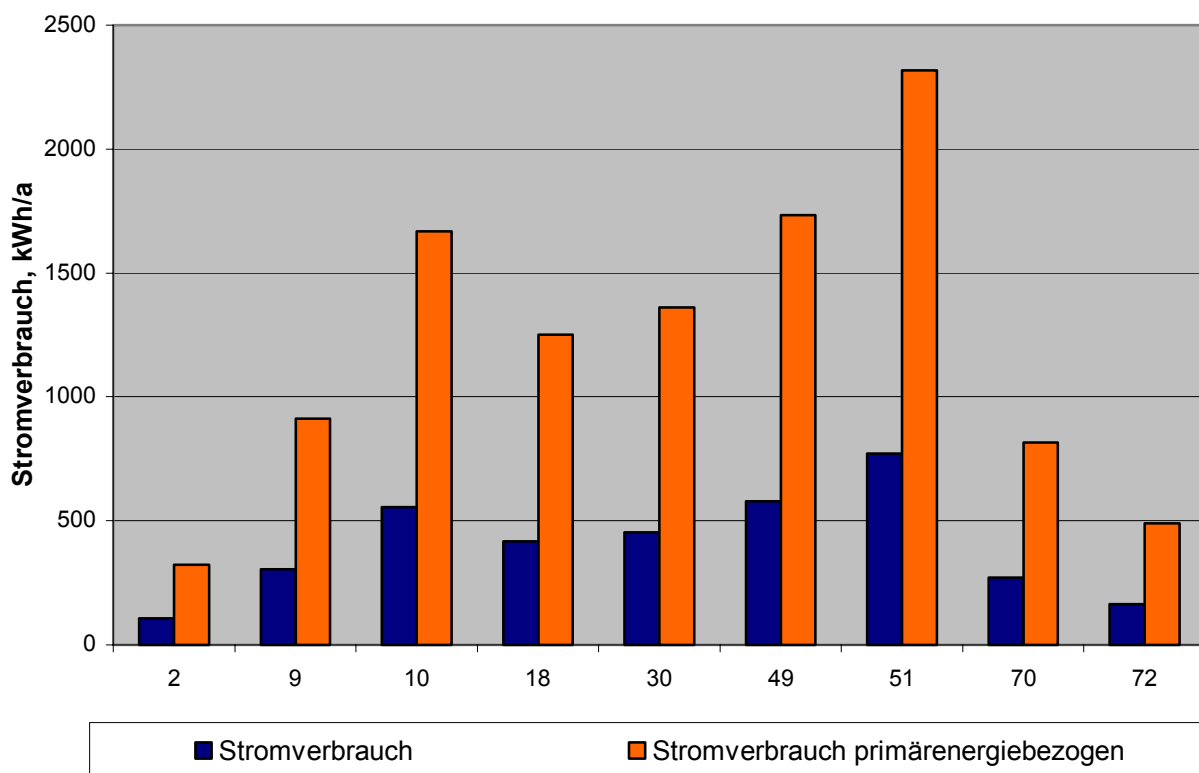
Nutzungsgradverlauf verschiedener Kesseltypen



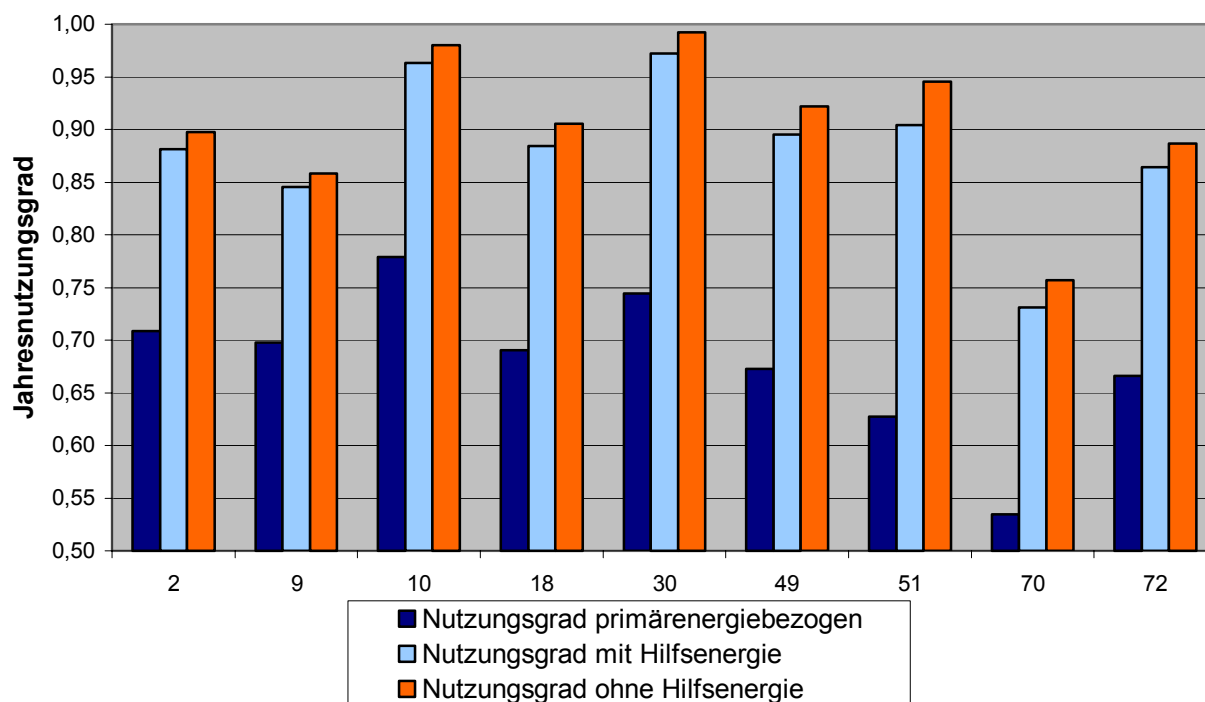
Gegenüberstellung der Anlagen mit und ohne Zirkulation

	Anzahl	Q_{TW}	q_{TW}
		kWh	kWh/(m ² a)
Ohne Zirkulation	25	53916	15,33
zeitgesteuerte Zirkulationspumpe	22	96069	24,47

Stromverbrauch und Primärenergetisch bewerteter Stromverbrauch



Jahresnutzungsgrad mit und ohne Hilfsenergie



Empfehlungen



Empfehlungen an die Hersteller

Zur Zeit:

- kombinierten Heiz- und Trinkwarmwasserbetrieb nach dem Durchflussprinzip,
- meist mit nur einer Pumpe und einem Umschaltventil,
- kombinierten Heiz- und Trinkwarmwasserbetrieb mit gesondertem Speicher.

Beide Aufgaben sollen mit nur einem Konstruktionsprinzip erfüllt werden.
Folge: Niedriger Kesselwasserinhalt. Hohe hydraulische Widerstände

Zunehmender Dämmstandard - Leistungsanforderung an minimale und maximale Kesselleistung:

Raumheizung Einfamilienhaus:	2 ... 6 kW
Trinkwassererwärmung;:	10 ... 12 kW beim Speicherprinzip
	18 ... 24 kW beim Durchflussprinzip

Empfehlungen an die Hersteller

Der geringe Kesselwasserinhalt der Geräte bewirkt:

- hohe hydraulische Widerstände und als Folge hohe Gerätedruckverluste,
- die Notwendigkeit eines Kesselmindestumlaufstroms,
- den Einbau integrierter, für die nach geschalteten Heizkreise im Regelfall viel zu großer Pumpen,
- den Einbau von Überströmventilen oder sogar den Einsatz von hydraulischen Weichen, die zur Rücklaufteperaturanhebung und damit zu verminderter Brennwertnutzung führen.

In Einzelfällen wird sogar der Einbau von Heizwasserpufferspeichern empfohlen. Sowohl beim Einsatz von hydraulischen Weichen als auch von Pufferspeichern ist der zusätzliche Einsatz einer gesonderten Pumpe in der Primärenergiebilanz zu berücksichtigen.

Empfehlungen an die Hersteller

Da heute überwiegend die Trinkwassererwärmung nach dem Speicherprinzip erfolgt, sollten die hierfür eingesetzten Brennwertkesselkonstruktionen einen so hohen Kesselwasserinhalt aufweisen, dass der hydraulische Widerstand des Gerätes vernachlässigbar wird und somit auf eine Kesselpumpe verzichtet werden kann.

An diese Geräte könnten heizseitig die kleinsten heute verfügbaren Pumpen mit einer elektrischen Leistungsaufnahme zwischen 8 bis maximal 25 W (60 bis über 100 W in heutigen Wandgeräten) eingesetzt werden.

Äquivalente Nutzungsgraderhöhung: **8 – 12 % - Punkte!!!**

Parallel sind möglichst hohe Modulationsbereiche der eingesetzten Gasbrenner (Optimum 1:15) zu fordern, um eine Anpassung an verschiedene Auslegungslasten und Teillastbereiche zu ermöglichen.

Empfehlungen für die Planung

Neuplanung: Aufstellung im beheizten Bereich

Bestandsmodernisierung: Ist-Zustandsaufnahme – Anpassung der Reglereinstellungen und Temperaturen

Projekte: OPTIMUS und proklima

Empfehlungen für die Planung

- Im Neubau nur noch einfache Heizsysteme: entweder nur Heizkörper oder nur Fußbodenheizflächen
- Gesamtsysteme eines Herstellers: speziell auch für solar-unterstützte Systeme mit einfachem Gesamtregelkonzept.
- Kessel mit ausreichendem Wasserinhalt und ohne Anforderungen an Mindestvolumenstrom: Gesamtspreizungen Heizkreislauf 15 ... 25 K
- Wahl eines Kessel mit einem möglichst hohen Modulationsbereich (unter 3 ... 5 kW)
- Getrennte Einstellung der Brenner-/Kessel-Leistungen für die Raumheizung und für die Trinkwarmwasserspeicherladung.

Empfehlungen für die Ausführung

Plandaten von den ausführenden Handwerkern einstellen und in einer Fachunternehmererklärung bestätigen:

- Korrekte Einstellung der Heizkurve am Regler
- Anpassung der Pumpe
- Durchführung des hydraulischen Abgleichs

Empfehlungen für die Nutzung

Information und Einweisung in alle wesentlichen Geräte- und Bedienfunktionen v. a. für die Reglereinstellung (Heizpausen, Heizgrenztemperaturen, Sommerbetrieb, Thermostatventilregler)

Zusammenfassung

1. Die nach dem Trinkwarmwasserwärmebedarf dimensionierten Wärmeerzeuger sind für den Neubaubereich mit Heizlasten von 25...50 W/m² zu groß und arbeiten weitgehend unterhalb des Modulationsbereichs des Brenners im Taktbetrieb.
2. Der durch die Konstruktion der Brennwertwandkessel erforderliche Mindestkesselvolumenstrom (wegen des geringen Wasserinhalts der meisten am Markt angebotenen Brennwertgeräte) und der damit verbundene Einsatz von Überströmventilen oder hydraulischer Weichen führt zu einer unerwünschten Rücklauf Temperaturerhöhung und damit zu einer Minderung des Brennwertnutzens.

Zusammenfassung

3. Die in den Wärmeerzeugern eingebauten Heizkreisumwälzpumpen weisen für den Neubaubereich viel zu hohe Förderdrücke auf. Im Zusammenspiel mit nicht hydraulisch abgeglichenen Heiznetzen führt dies wegen der hohen Umlaufwassermengen zu kleinen Temperaturpreizungen, erhöhten Rücklauftemperaturen und verstärkter Schalthäufigkeit, die den Nutzungsgrad verschlechtern.
4. Aus nicht angepassten Heizkurven und Reglereinstellungen resultieren zu hohe Systemtemperaturen. Hier sollte von Herstellerseite eine niedrigere Werkseinstellung gewählt werden, um den Heizungsbauer zu zwingen, bei der Inbetriebnahme eine Anpassung der Heizkurve auf Planwerte vorzunehmen.

Energetisches Einsparpotential: Heizwärmebedarf von zwei Passivhäusern

Die mittleren, auf die beheizte Wohnfläche bezogenen Wärmezeugerverluste von Brennwertkesseln liegen mit ca. 15 ... 16 kWh/(m²a) in der gleichen Größenordnung wie der gesamte Raumheizwärmebedarf eines Passivhauses.

Integrierte Pumpen mit 40 bis zu 80 W elektrischer Überschussleistung erzeugen einen zusätzlichen Primärenergiebedarf von 5 bis 9 kWh/(m²a)

Die Wärmeabgabe von Trinkwarmwasser-Zirkulationsleitungen und von Heizwasserleitungen liegt mindestens noch einmal in der gleichen Größenordnung.

***Der ausführliche
Abschlussbericht zum Projekt
ist im Internet unter:***

enev.tww.de

verfügbar