

Abschlussbericht

Felduntersuchung: Betriebsverhalten von Heizungsanlagen mit Gas-Brennwertkesseln

Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff
Dipl.-Ing. (FH) Peter Teuber
Dipl.-Ing. (FH) Jörg Budde
Dipl.-Ing. (FH) Kati Jagnow

Wolfenbüttel, April 2004



unter der Fördernummer
DBU - AZ 14133

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.

1 Verzeichnisse

Inhaltsverzeichnis

1	Verzeichnisse	2
	Inhaltsverzeichnis.....	2
	Tabellenverzeichnis	3
	Abbildungsverzeichnis	4
	Verzeichnis von Begriffen und Abkürzungen.....	5
2	Zusammenfassung der Ergebnisse	6
3	Projektentwicklung	9
3.1	Zeitlicher Verlauf	9
3.2	Kostenplan	10
3.3	Projektdurchführung.....	11
3.4	Geplante und erreichte Ziele	14
3.5	Bewilligungsaufgaben	15
4	Einleitung zum technischen Teil	17
4.1	Nutzen und Aufwand von Wärmeerzeugern.....	18
4.2	Normnutzungsgrad nach DIN 4702-8.....	19
4.3	Realer Jahres-Nutzungsgrad aus Felduntersuchungen.....	21
4.4	Vergleich der gemessenen Erzeugerverluste mit Bedarfswerten	23
4.5	Haupteinflüsse auf die Abweichungen zwischen Theorie und Praxis	25
4.6	Energetische Bewertung mit Hilfe des normierten Energieaufwandes.....	26
5	Darstellung von Messung und Auswertung	31
5.1	Anlagentechnische Ausstattung der untersuchten Kesselanlagen.....	31
5.2	Aufbau der Messwerterfassung.....	33
5.3	Auswertung von Messwerten	34
5.4	Fehlerbetrachtung.....	36
6	Ergebnisse	39
6.1	Effizienzbewertung aus Verbrauchswerten	39
6.1.1	Jahresnutzungsgrad.....	39
6.1.2	Erzeugerverlust.....	41
6.1.3	Effizienzbewertung im Teillastbereich	42
6.1.4	Bestimmung des durchschnittlichen Betriebsbereitschaftsverlustes	44
6.1.5	Zusammenhang zwischen Trinkwarmwasserbedarf und Jahresnutzungsgrad.....	45
6.2	Einfluss verschiedener Anlagenkomponenten auf Nutzungsgrad und Energieverbrauch.....	45
6.2.1	Gebäudealter	46
6.2.2	Aufstellort.....	47
6.2.3	Einfluss von Überströmventilen	49
6.2.4	Im Kessel integrierte Umwälzpumpe	51
6.2.5	Regelungstechnische Ausstattung	53
6.2.6	Art der Heizflächen.....	55
6.2.7	Untersuchung baugleicher Kesselanlagen	57
6.2.8	Einfluss von Zirkulationsleitungen	60
6.2.9	Systeme mit Solarunterstützter Trinkwarmwasserbereitung	61
6.2.10	Einfluss der elektrischen Hilfsenergien.....	63
6.3	Diskussion der Ergebnisse im Überblick	65

7	Hinweise zur Qualitätssicherung und Optimierung	66
8	Fazit und Ausblick	69
9	Literaturverzeichnis	72
10	Anhang	73
	10.1 Projektwerbung	73
	10.2 Erfassungsbögen zur Bestandsaufnahme.....	75
	10.3 Einverständniserklärung.....	79
	10.4 Protokoll zur Messdatenerfassung	80
	10.5 Erinnerungsschreiben	81
	10.6 Zwischenbericht an die Hauseigentümer.....	82
	10.7 Unterlagen zur Fehlerbetrachtung.....	84
	10.8 Gesamtmessdaten und Nutzungsgrade	85
	10.9 Energetische Betrachtung der Einzelanlagen.....	87
	10.10 Monatliche spezifische Heizlast ausgewählter Anlagen.....	140
	10.11 Einzelbetrachtung der Anlagen mit solarer Trinkwarmwasserbereitung.....	147

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Begriffe und Abkürzungen	5
Tabelle 2: Durchschnittliche Kesselnutzungsgrade und Betriebsbereitschaftsverlustleistung	7
Tabelle 3: Anlagenvergleich mit/ohne Überströmventil im Kesselkreis	7
Tabelle 4: Einfluss des Kesselaufstellortes	7
Tabelle 5: Einfluss der Regelung auf den Wärmeerzeugerverlust	8
Tabelle 6: Einfluss der Heizflächenart	8
Tabelle 7: Anlagenvergleich mit/ohne solare Trinkwarmwasserbereitung	8
Tabelle 8: Geplante Messphasen	9
Tabelle 9: Regionen mit unterschiedlichen Brennwerten	13
Tabelle 10: Kesselbelastungen und Temperaturpaarungen für die Nutzungsgradmessung	20
Tabelle 11: Gemessene Erzeugerverluste und Bedarfswerte nach DIN V 4701-10	24
Tabelle 12: Erläuterung der Anlagenmerkmale	31
Tabelle 13: Anlagenmerkmale	33
Tabelle 14: Jahresverlauf von Nutzungsgrad, Nutzwärmemenge und Erzeugerverlust	43
Tabelle 15: Ergebnisse unter Berücksichtigung des Gebäudealters.....	46
Tabelle 16: Ergebnisse unter Berücksichtigung des Aufstellortes der Anlage	47
Tabelle 17: Ergebnisse für Anlagen mit und ohne Überströmeinrichtung	49
Tabelle 18: Ergebnisse unter Berücksichtigung der Bauart der Umwälzpumpe	51
Tabelle 19: Ergebnisse unter Berücksichtigung der Regelungsart	53
Tabelle 20: Ergebnisse unter Berücksichtigung der Art der Heizflächen	55
Tabelle 21: Ergebnisse für Buderus GB 112	57
Tabelle 22: Ergebnisse für Viessmann Vitodens 300.....	58
Tabelle 23: Ergebnisse für Vaillant EcoTec.....	58
Tabelle 24: Gegenüberstellung der am häufigsten eingesetzten Wärmeerzeuger	60
Tabelle 25: Gegenüberstellung der Anlagen mit und ohne Zirkulation	60
Tabelle 26: Gegenüberstellung der Anlagen mit und ohne solare Trinkwarmwasserbereitung.....	61
Tabelle 27: Gegenüberstellung der Anlagen mit und ohne solare Trinkwarmwasserbereitung.....	62
Tabelle 28: jährlicher Stromverbrauch der Heizungsanlagen.....	64
Tabelle 29: Gebäude- und Anlagenmerkmale.....	70
Tabelle 30: Jahresnutzungsgrad der Brennwertanlagen (bezogen auf H ₀)	86
Tabelle 31: Jahresnutzungsgrad der Niedertemperaturanlagen (bezogen auf H ₀)	86

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Soll-Kosten	10
Abbildung 2: Ist-Kosten.....	10
Abbildung 3: Messungen der Einzelanlagen	12
Abbildung 4: Verkaufszahlen für Gas-Brennwertkessel in den letzten 10 Jahren [1]	17
Abbildung 5: Absatz von Heizkesseln in Deutschland [12].....	18
Abbildung 6: Nutzungsgrad, Aufwandszahl, absolute Verluste	22
Abbildung 7: Aufteilung der dem Kessel zugeführten Energie [7]	27
Abbildung 8: Normierter Energieaufwand über normierter Energieabgabe	29
Abbildung 9: Nutzungsgradverlauf (H_0) aller Brennwertanlagen abhängig von der Auslastung	30
Abbildung 10: Darstellung der Messwerterfassung	34
Abbildung 11: Max. Messfehler bei $\Delta t = 5K$	37
Abbildung 12: Max. Messfehler bei $\Delta t = 10 K$	37
Abbildung 13: Max. Messfehler bei $\Delta t = 15 K$	37
Abbildung 14: Max. Messfehler bei $\Delta t = 20 K$	37
Abbildung 15: Jahresnutzungsgrad der Brennwertanlagen (60 Anlagen).....	39
Abbildung 16: Jahresnutzungsgrad der Niedertemperaturanlagen (7 Anlagen)	40
Abbildung 17: Normierter Energieaufwand über normierter Energieabgabe	40
Abbildung 18: Nutzungsgradverlauf (H_0) aller Brennwertanlagen abhängig von der Auslastung	41
Abbildung 19: Flächenbezogener jährlicher Erzeugerverlust (60 Anlagen)	41
Abbildung 20: Jährlicher Erzeugerverlust über Wärmeverbrauch (60 Anlagen)	42
Abbildung 21: Monatliche Nutzungsgrade aller Brennwertanlagen über dem Nutzwärmeverbrauch ...	43
Abbildung 22: Jahresverlauf von Nutzungsgrad, Nutzwärmemenge und Erzeugerverlust.....	44
Abbildung 23: Jahresverlauf von Nutzungsgrad, Nutzwärmemenge und Erzeugerverlust.....	45
Abbildung 24: Heizwärmebedarf über spezifischem Heizwärmebedarf	47
Abbildung 25: Normierter Aufwand über Auslastung (Aufstellung im unbeheiztem Bereich)	48
Abbildung 26: Normierter Energieaufwand über Belastung (Aufstellung im beheiztem Bereich)	48
Abbildung 27: Normierter Energieaufwand über Auslastung (Anlagen ohne ÜV).....	49
Abbildung 28: Normierter Energieaufwand über Auslastung (Anlagen mit ÜV)	50
Abbildung 29: Nutzungsgrad abhängig von der Anlagenbelastung (Anlagen mit und ohne ÜV).....	50
Abbildung 30: Normierter Energieaufwand über Auslastung (Anlagen mit unregelmäßiger Pumpe)	51
Abbildung 31: Normierter Energieaufwand über Auslastung (Anlagen mit geregelter Pumpe)	52
Abbildung 32: Normierter Aufwand über Auslastung (raumgeführte Regelung)	54
Abbildung 33: Normierter Aufwand über Auslastung (witterungsgeführte Regelung).....	54
Abbildung 34: Normierter Aufwand über Auslastung (witt. Regelung mit Raumaufschaltung)	55
Abbildung 35: normierter Energieaufwand über Auslastung (freie Heizflächen).....	56
Abbildung 36: normierter Energieaufwand über Auslastung (integrierte Heizflächen).....	56
Abbildung 37: normierter Energieaufwand über Belastung (kombinierte Heizflächen).....	57
Abbildung 38: Normierter Aufwand über Belastung (Buderus GB-112)	58
Abbildung 39: Normierter Aufwand über Belastung (Viessmann Vitodens 300).....	59
Abbildung 40: Normierter Aufwand über Belastung (Vaillant EcoTec).....	59
Abbildung 41: Nutzungsgradvergleich der am häufigsten eingesetzten Wärmeerzeuger	60
Abbildung 42: Normierter Energieaufwand über Auslastung (Anlagen mit solarer WW-Bereitung)	62
Abbildung 43: Stromverbrauch und Primärenergetisch bewerteter Stromverbrauch	63
Abbildung 44: Jahresnutzungsgrad mit und ohne Hilfsenergie	64
Abbildung 45: Fehlerkurve Volumenmessung $Q_n 1,5$	84
Abbildung 46: Fehlerkurve Volumenmessung $Q_n 0,6$	84
Abbildung 47: Fehlerkurve Temperaturmessung	84
Abbildung 48: Fehlerkurve Balgengaszähler.....	84
Abbildung 49: Nutzungsgradvergleich der Brennwertanlagen im Messzeitraum 1 und 2 (Bezug H_U) ..	86
Abbildung 50: Wärmemenge des Kessels zur Trinkwarmwassererwärmung in Anlage 4	147
Abbildung 51: Wärmemenge des Kessels zur Trinkwarmwassererwärmung in Anlage 18	148
Abbildung 52: Wärmemenge des Kessels zur Trinkwarmwasserbereitung in Anlage 27	149
Abbildung 53: Wärmemenge des Kessels zur Trinkwarmwasserbereitung in Anlage 37	150
Abbildung 54: Wärmemenge des Kessels zur Trinkwarmwasserbereitung in Anlage 47	150
Abbildung 55: Wärmemenge des Kessels zur Trinkwarmwasserbereitung in Anlage 49	151
Abbildung 56: Schaltschema Anlage 53 (ohne Darstellung der Solaranlage).....	152
Abbildung 57: Wärmemenge des Kessels zur Trinkwarmwasserbereitung in Anlage 63	153

Verzeichnis von Begriffen und Abkürzungen

Symbol	Physikalische Größe	Grundeinheiten
Q_B	Brennstoffwärmemenge bezogen auf den Brennwert	kWh/a
$Q_{B(H_0)}$	Brennstoffwärmemenge bezogen auf den Brennwert	kWh/a
$Q_{B(H_u)}$	Brennstoffwärmemenge bezogen auf den Heizwert	kWh/a
$\dot{Q}_{B(H_u)}$	Feuerungsleistung bezogen auf den Heizwert	kW
$\dot{Q}_{B(H_0)}$	Feuerungsleistung bezogen auf den Brennwert	kW
\dot{Q}_{NU}	Abgegebene Kesselnutzleistung	kW
H_u	Heizwert	kWh/m ³
H_0	Brennwert	kWh/m ³
$H_{u,n}$	Heizwert im Normzustand	kWh/m ³
$H_{0,n}$	Brennwert im Normzustand	kWh/m ³
$H_{0,B}$	Brennwert im Betriebszustand	kWh/m ³
$H_{u,B}$	Heizwert im Betriebszustand	kWh/m ³
Q_h	Abgegebene Wärmemenge für Raumheizung	kWh/a
Q_{TW}	Abgegebene Wärmemenge für Trinkwarmwasser	kWh/a
q_h	Spezifische Wärmemenge für Raumheizung	kWh/(m ² a)
q_{TW}	Spezifische Wärmemenge für Trinkwarmwasserbereitung	kWh/(m ² a)
q_{nutz}	Spezifische Nutzwärmemenge	kWh/(m ² a)
Q_{nutz}	Nutzwärmemenge	kWh/a
$q_{Verlust (H_u)}$	Spezifischer Wärmeverlust des Erzeugers	kWh/(m ² a)
$\eta_{(H_u)}$	Kesselnutzungsgrad	-
η_{Kessel}	Kesselwirkungsgrad	-
\dot{V}_{GAS}	Gasvolumenstrom	m ³ /h
\dot{m}_W	Heizwassermassenstrom	kg/s
c_p	Spezifische Wärmekapazität	kJ/(kgK)
t_{VL}	Heizwasservorlauftemperatur	°C
t_{RL}	Heizwasserrücklauftemperatur	°C
b_{vh}	Kesselvollbenutzungsstunden	h/a
G	Heizgradtage	Kd/a
G_{12}	Heizgradtage bei Heizgrenztemperatur 12 °C	Kd/a
ϑ_{HG}	Heizgrenztemperatur	°C
ϑ_{am}	Mittlere Außentemperatur über der Heizzeit	°C
$\Delta\vartheta_A$	Auslegungstemperaturdifferenz	K
\dot{Q}_N	Gebäudeheizlast	kW
H	Spezifische Gebäudeheizlast	W/K

Tabelle 1: Begriffe und Abkürzungen

2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen des Projektes "Felduntersuchungen: Betriebsverhalten von Heizungsanlagen mit Gasbrennwertkessel" - im Folgenden kurz "Brennwertkessel" - 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 soll 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 den am Kesselregler eingestellten Vorlauftemperaturen,
- von der hydraulischen Einbindung mit oder ohne ein Überströmventil zur Gewährleistung eines Mindestkesselwasservolumenstromes und
- vom Aufstellort des Wärmeerzeugers im beheizten oder unbeheizten Bereich

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 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 nach DIN 4702-8. 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 Fremdwärmegewinnen,
- 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 des-

halb nicht das einzige Kriterium zur Beurteilung eines Wärmerzeugers sein. Eine weiterführende Analyse der Ergebnisse, die aufgrund aktueller Fachdiskussionen im Rahmen der vorgesehenen Normung (DIN 18599) zur geplanten EU-Gebäuderichtlinie 2006 erst am Ende des Projektes (10/2003) eingearbeitet wurde, nutzt die Bewertung der Effizienz von Wärmeerzeugungsanlagen mit der Größe: "Normierter Aufwand in Abhängigkeit von der mittleren Kesselbelastung".

Weiterhin zeigt die Untersuchung, dass gleiche Wärmerzeuger 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 den folgenden Tabellen sind einige wichtige Messergebnisse kurz dargestellt. Nähere Erläuterungen zu den Tabellenwerten sind in den entsprechenden Kapiteln des Berichtes zu finden.

	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

Tabelle 2: Durchschnittliche Kesselnutzungsgrade und Betriebsbereitschaftsverlustleistung

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

Tabelle 3: Anlagenvergleich mit/ohne Überströmventil im Kesselkreis

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

Tabelle 4: Einfluss des Kesselaufstellortes

	Einheit	Referenzraumregelung	Witterungsgeführte Vorlauf-temperaturregelung	Witterungsgeführte Vorlauf-temperaturregelung mit Raum-aufschaltung
Zahl der untersuchten Anlagen		6	43	(10) 9
Jahresnutzungsgrad aus Jahresmesswerten	% (H ₀)	84,2	87,3	86,5
Spez. Kesselverluste (H ₀)	kWh/(m ² a)	20,0	15,3	15,9
Mittlere Kesselauslastung	%	7,3	9,8	6,1
Mittlerer Kesselwirkungsgrad η_K	% (H ₀)	91,4	90,0	88,3
Mittlerer Bereitschaftsverlust	% (H ₀)	0,62	0,45	0,38
Mittlerer Nutzungsgrad aus normiertem Energieaufwand	% (H ₀)	84,7	86,4	83,5

Tabelle 5: Einfluss der Regelung auf den Wärmerzeugerverlust

	Einheit	Anlagen mit freien Heiz-flächen	Anlagen mit in-tegrierten Heiz-flächen	Anlagen mit freien und integrierten Heizflächen
Zahl der untersuchten Anlagen		40 (41)	3 (3)	15 (15)
Jahresnutzungsgrad aus Jahresmesswerten	% (H ₀)	86,3	92,6	87,2
Spez. Kesselverluste (H ₀)	kWh/(m ² a)	16,8	11,0	14,1
Mittlere Kesselauslastung	%	9,1	10,8	8,7
Mittlerer Kesselwirkungs-grad η_K	% (H ₀)	89,8	91,5	90,3
Mittlerer Bereitschaftsverlust	% (H ₀)	0,49	0,16	0,43
Mittlerer Nutzungsgrad aus normiertem Energieaufwand	% (H ₀)	85,6	90,4	86,4

Tabelle 6: Einfluss der Heizflächenart

	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

Tabelle 7: Anlagenvergleich mit/ohne solare Trinkwarmwasserbereitung

3 Projektentwicklung

Vor der detaillierten Erläuterung der technischen Ergebnisse wird im Folgenden ein kurzer Überblick über die Projektentwicklung gegeben. Zeit- und Kostenplan werden umrissen, die Projektdurchführung beschrieben und zu den geplanten und erreichten Zielen wird Stellung genommen. An geeigneter Stelle werden Hinweise für die Durchführung ähnlich gearteter Projekte gegeben.

3.1 Zeitlicher Verlauf

Der erste Projektantrag mit dem Titel "Untersuchung des Betriebsverhalten von Brennwertgeräten im tatsächlichen Betrieb" wurde am 19. Januar 1998 bei der DBU zur Prüfung vorgelegt. Nach Ergänzungen im Juli und Oktober wird am 19. Oktober 1998 die endgültige Antragsfassung erstellt und eingereicht.

Am 23. November 1998 wird das Projekt von der DBU bewilligt. Das Institut für Heizungs- und Klimatechnik der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel erhält die zusage über Fördermittel in Höhe von 118.456 DM. Die gesamten Projektkosten betragen 201.459 DM.

Der offizielle Projektbeginn der Bearbeitung durch die Fachhochschule ist der 1. November 1998.

Bereits während des ersten Jahres der Projektlaufzeit wird klar, dass das geplante Projektende nicht eingehalten werden kann, da sich die Auswahl und der Umbau der zur Untersuchung vorgesehenen Anlagen verzögert. Der Zeitplan für den Einbau der Wärmemengenzähler kann aufgrund von Termenschwierigkeiten bei den Heizungsfachfirmen nicht eingehalten werden. Ein Ausweichen auf andere Firmen war in den meisten Fällen jedoch nicht möglich, da die Anlagenbetreiber den Einbau durch eine Firma Ihrer Wahl durchführen lassen wollten (Gewährleistung). Am 26. September 1999 beantragt die Fachhochschule eine 9-monatige Projektverlängerung. Damit soll sichergestellt werden, dass die geplanten Messphasen lang genug sind.

Die geplanten Messungen mit Stand Dezember 1999 zeigt Tabelle 8. Zusätzlich zu den ursprünglichen Messphasen 1 bis 4 wurden die Phasen 5 und 6 vorgesehen.

Messung	Zeiten	Messziel	Messung	Zeiten	Messziel
1	04/99 - 09/99	Sommernutzungsgrad	2	10/99 - 04/00	Winternutzungsgrad
3	05/00 - 09/00		4	10/00 - 04/01	
5	05/01 - 09/01		6	10/01 - 04/02	

Tabelle 8: Geplante Messphasen

Die Verlängerungsbitte wird am 31. Januar 2000 von der DBU genehmigt. Das Projektende wird auf den 30. Juni 2002 festgelegt.

Ab dem Spätsommer 2000 werden - bis auf wenige Ausnahmen - von allen Anlagenbetreibern regelmäßig Messwerte an die Fachhochschule übermittelt. Die Auswertung der ersten vollständigen Messperiode ab Sommer 2001 zeigt einzelne unerklärbare Unregelmäßigkeiten bei der Nutzungsgradbestimmung (viel zu hohe oder niedrige Nutzungsgrade). Die offenbar fehlerbehafteten Anlagen mussten besichtigt, teilweise noch optimiert und anschließend ausreichend lange gemessen werden.

Am 17. Dezember 2001 wird daher eine weitere Verlängerung des Projektes bis zum 31. Dezember 2002 beantragt, um vertrauenswürdige Messdaten zu garantieren.

Die Messungen konnten schließlich Ende 2002/Anfang 2003 beendet werden. Die durchschnittliche Messdauer aller Anlagen betrug 28 Monate. Dann folgte die Auswertung und der Abschlussbericht.

Ein Teil der Gebäude wurde in das im August 2002 begonnene, ebenfalls von der DBU geförderte Projekt "Optimus" mit dem Ziel der Optimierung von Heizungsanlagen übernommen.

3.2 Kostenplan

Der mit dem Projektantrag vom Oktober 1998 genehmigte Gesamtkostenrahmen konnte eingehalten werden.

Eine Gegenüberstellung der Projektkosten nach Rubriken zeigen Abbildung 1 (Sollwerte) sowie Abbildung 2 (tatsächliche Kosten). Die geplante Kostenstruktur konnte bis auf geringe Verschiebungen eingehalten werden. Den größten Anteil machen wie geplant die Sachkosten, d.h. die Ausstattung der Anlagen mit Messtechnik aus.

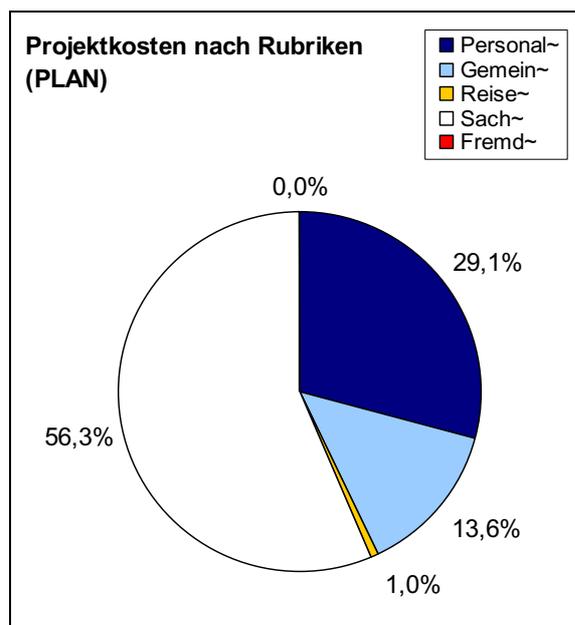


Abbildung 1: Soll-Kosten

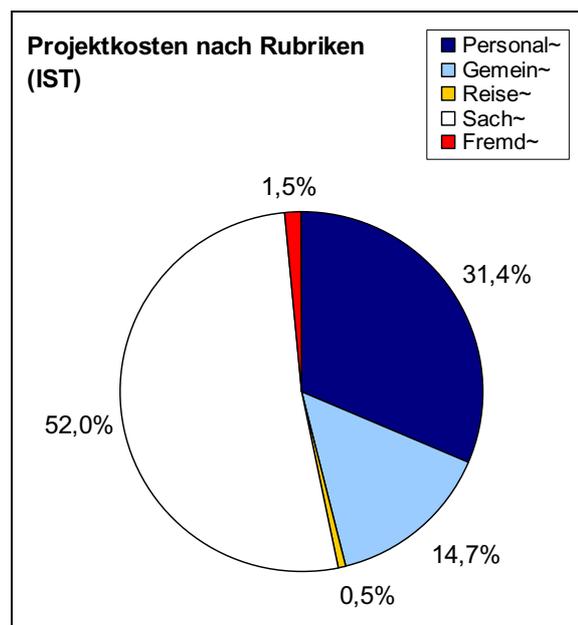


Abbildung 2: Ist-Kosten

3.3 Projektdurchführung

Im Folgenden wird ein kurzer Abriss über die Projektdurchführung gegeben. An geeigneter Stelle werden - für ähnlich geartete Projekte - Hinweise zur Verbesserung des Ablaufs gemacht.

Objektwahl

Die Auswahl geeigneter Anlagen erfolgte auf verschiedene Art und Weise. Zum einen wurde per "Mund-Propaganda" der Mitarbeiter des Instituts für Heizungs- und Klimatechnik geworben. Für die so gefundenen Anlagen konnte die Messdatenerfassung bereits 1999 beginnen, siehe auch Abbildung 10 auf Seite 34.

Die fehlenden Anlagen wurden über einen Artikel der Pressestelle der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel in der Tagespresse gefunden - siehe auch Projektwerbung in Anhang 10.1.

Aus den über 100 Rückmeldungen erfolgte eine Vorauswahl geeigneter Anlagen bereits am Telefon. Es wurden möglichst nur Anlagen mit Kesseln ab Baujahr 1995 in das Projekt aufgenommen. Die verbleibenden Anlagenbetreiber füllten anschließend einen Erfassungsbogen zur Bestandsaufnahme aus - siehe Anhang 10.2. Die wichtigsten Angaben zu Gebäude und Anlage wurden erfasst. Im Einzelfall wurde Gebäude nach der Bestandserfassung von der Messung ausgeschlossen, z.B. wenn gleichzeitig ein Gasherd betrieben wurde und somit keine separate Gasmessung für den Kessel erfolgen konnte.

Ein Teil der Anlagen wurde zudem von Mitarbeitern der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel besichtigt, um die Einbau der Wärmemengenzähler festzulegen. Bei der Begehung wurden wiederum einzelne Anlagen aus der Projektliste gestrichen, weil sich aufgrund der engen Einbausituation keine Wärmemengenzähler unterbringen ließen.

Hinweis: die Zeitdauer, die für die Objektwahl ursprünglich kalkuliert wurde, war zu kurz, vor allem wegen der unkalkulierbaren Gegebenheiten in den Anlagen vor Ort. In einem vergleichbaren Folgeprojekt würden die Projektbearbeiter an dieser Stelle einen größeren Bearbeitungszeitraum veranschlagen.

Messdatenerfassung

Vor dem Messbeginn mussten die Gebäudeeigentümer eine Einverständniserklärung unterschreiben, die der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel die spätere Verwendung der Messdaten gestattete. Gleichzeitig konnten die Eigentümer einen Fachhandwerker ihrer Wahl benennen, der die Installation durchführt - vergleiche Schriftstück in Anhang 10.3.

Der anschließende Aufbau der Messdatenerfassung in den Anlagen nahm einen wesentlich längeren Zeitumfang an als vorher geplant war. Teilweise verzögerten sich Einbautermine über mehrere Monate, obwohl die Wärmemengenzähler von der Fachhochschule eingekauft und gestellt wurden.

Hinweis: die Zeitdauer, die für die Installation der Messeinrichtungen vorgesehen wurde, war vorher viel zu optimistisch geplant. Für künftige Projekte kann der Hinweis gegeben werden, derartige Installationen flächendeckend von 2 bis 3 vorher festgelegten, zuverlässigen Fachunternehmen durchführen zu lassen.

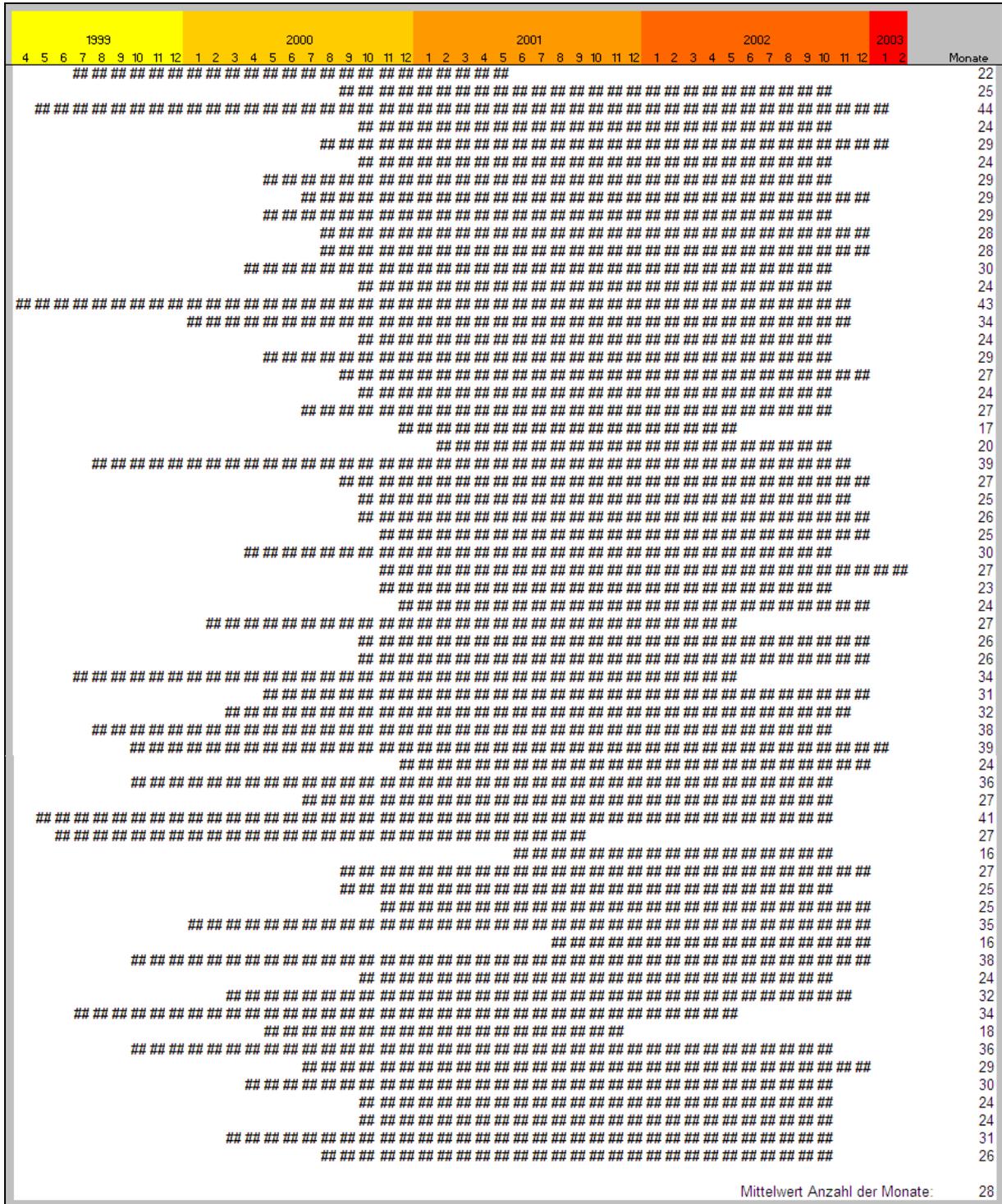


Abbildung 3: Messungen der Einzelanlagen

Nach Fertigstellung der Messdatenerfassung waren die Anlagenbetreiber angehalten, die Zählerstände mindestens zweimal jährlich (Anfang Mai und Anfang Oktober) oder besser monatlich an die Fachhochschule zu übermitteln. Dazu wurde ihnen ein leeres Messprotokoll zur Verfügung gestellt, welches sie per Fax oder Brief übersen-

den konnten. Ein Beispielprotokoll für die erste Messphase befindet sich in Anhang 10.4. Die Zeiträume, in denen jeweils für die einzelnen Anlagen Messdaten verfügbar sind, zeigt Abbildung 3.

Etwa drei viertel der Anlagenbetreiber lieferten Messprotokolle mit etwa monatlichen Zählerständen an die Fachhochschule. Anlagenbetreiber, welche die Ablesung vergaßen, wurden per Erinnerungsschreiben aufgefordert, die Zähler abzulesen - siehe Schreiben in Anhang 10.5.

Hinweis: in künftigen Projekten könnten Wärmemengenzähler mit Speicherfunktion eingesetzt werden. Diese speichern 12 Monatswerte zum Stichtag und sind nicht teurer als vergleichbare Modelle ohne diese Funktion. Mit der manuellen Messdatenerfassung durch die Eigentümer wurden dennoch sehr gute Erfahrungen gemacht, so dass diese Art der Ablesung auch für künftige Projekte zu empfehlen ist. Wichtig ist jedoch, dass dem Ablesenden klar ist, dass das Ablesedatum exakt angegeben werden muss, auch wenn die Ablesung nicht genau am Stichtag erfolgte. Parallel bearbeitete Projekte mit Funkdatenübertragung erwiesen sich als vergleichsweise unzuverlässig.

Brennwerte

Neben den Zählerständen der Gebäude recherchierten die Projektbearbeiter die monatlichen Gasbrennwerte für die einzelnen Gebäudestandorte. Die Werte mussten nicht monatlich abgefragt werden, sondern konnten halbjährlich oder jährlich rückwirkend erfragt werden. Von Juni 1999 bis zum Projektende wurden für die in Tabelle 9 genannten Gebiete jeweils verschiedene Brennwerte ermittelt.

Versorger	Versorgungsgebiet
Avacon	Bad Salzdetfurth
	Dorstadt, Groß Biewende, Hedeper, Kissenbrück, Remlingen und Börßum
	Gebhardshagen, Destedt, Volzum, Cremlingen und Schöppenstedt
	Hordorf
	Klein Denkte
	Liebenburg
	Östrum
	Salzgitter Thiede
	Sarstedt
	Schladen
	Varrigsen und Delligsen
Energieverband Wittingen	Hankensbüttel
GLG	Wedesbüttel, Isenbüttel und Gifhorn
RWE	Belm
Schleswig	Wesselburen
Stadtwerke Braunschweig	Braunschweig
Stadtwerke Hameln	Hameln
Stadtwerke Holzminden	Holzminden
Stadtwerke Wolfenbüttel	Wolfenbüttel
Stadtwerke Wolfsburg	Wolfsburg
WEVG	Salzgitter Bad

Tabelle 9: Regionen mit unterschiedlichen Brennwerten

Zwischen- und Endberichte

Den Gebäudeeigentümern wurde nach der ersten vollständigen Jahresmessung ein Zwischenbericht zugesendet; ein Beispiel befindet sich in Anhang 10.6. Der zweiseitige Bericht teilt dem Anlagenbetreiber mit, wie gut sein Kessel verglichen mit dem Durchschnitt ist.

Auch nach Projektabschluss werden die Anlagenbetreiber in ähnlicher Art über die Ergebnisse unterrichtet.

Hinweis: Dass einzelne Eigentümer beinahe geschockt auf die schlechten Ergebnisse des ersten Jahres (94 % Nutzungsgrad bei Brennwertkesseln statt 106 ... 109 %) reagierten und teilweise sogar ihren Anlagenbauer per Telefon dafür verantwortlich machten, zeigt Handlungsbedarf bei der Endkundenaufklärung. In vergleichbaren zukünftigen Projekten müssen die Endkunden ggf. umfassender über die Aussagekraft dieser Ergebnisse informiert werden.

Für den Endbericht an die Teilnehmer des Projektes ist dies folgendermaßen geplant: Neben dem Aufzeigen der reinen Messergebnisse sollen im Anschreiben auf einfache Art und Weise die verknüpften Einflüsse auf den Nutzungsgrad klargestellt werden. Es muss deutlich klar werden, dass ein Großteil der Nutzungsgradeinbußen an der Gerätetechnik selbst liegt, nicht am Fachunternehmen. Andererseits wird trotzdem auf die Notwendigkeit des hydraulischen Abgleichs hingewiesen, so dass auch der Fachhandwerker seinen Teil zur Anlagenoptimierung beitragen kann.

Darüber hinaus wird dem Kunden auch erläutert, dass der Nutzungsgrad bei geringer Belastung des Kessels sinkt, dass dies aber nicht bedeutet, dass ein schlechter Nutzungsgrad auch gleich hohe Verluste und Kosten bedeutet.

3.4 Geplante und erreichte Ziele

Geplante Ziele

Hauptziel der Untersuchung war die Beantwortung der Frage, ob die von Herstellern abgegebenen 105...109 % Normnutzungsgrad im tatsächlichen Praxisbetrieb überhaupt erreicht werden können. Damit verbunden waren folgende Detailfragen:

- Welchen Einfluss hat die Überdimensionierung und der Teillast (Sommer-) betrieb auf den Nutzungsgrad von Brennwertkesseln?
- Welchen Einfluss haben regelungstechnische (Art der Vorlauftemperaturregelung und Pumpenregelung), hydraulische (Überströmventile, hydraulischer Abgleich) und andere Merkmale der Anlage (Einbindung von Fußbodenheizung, Solartechnik) auf den Nutzungsgrad von Brennwertkesseln?

Die Untersuchung sollte sich auf etwa 100 Feldanlagen (Ein- oder Zweifamilienhaus) über eine Zeit von zwei Heizperioden erstrecken. Es sollten der Sommer-, Winter- und Jahresnutzungsgrad bestimmt werden.

Aus den Messergebnissen sollten Regeln für eine optimale Dimensionierung von Brennwert-Wandgeräten unter Berücksichtigung aller beteiligten Anlagenkomponenten abgeleitet werden. Es war vorgesehen, die abgeleiteten Planungs- und Betriebshinweise zusammengefasst in Fachzeitschriften aber auch in Publikationen für ausführendes Handwerk und Endverbraucher zu veröffentlichen.

Erreichte Ziele

Die gesteckten Ziele konnten mit teilweise anderer Schwerpunktlegung erreicht werden. Die angestrebte Heizungsanlagenzahl von 100 Anlagen konnte jedoch nicht realisiert werden. Da sich bei der Besichtigung der Anlagen herausstellte, dass ein großer Teil der Heizungsanlagen zur korrekten Erfassung der abgegebenen Energiemengen mit zwei Zählern ausgestattet werden musste, die Anschaffung zusätzlicher Zähler aus Kostengründen jedoch nicht möglich war, wurde die Zahl der Anlagen auf 67 reduziert. Auch diese Anzahl von Anlagen wurde als ausreichend repräsentativ für eine zuverlässige Aussage angesehen.

Die Untersuchungen der Einflüsse auf den Nutzungsgrad (Überdimensionierung, Überströmventile etc.) wurde wie geplant über 2 Jahre durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Kapitel 6 zusammengestellt.

Anstelle der geplanten Darstellung der Ergebnisse als Sommer-, Winter- und Jahresnutzungsgrad wurde der normierte Energieaufwand ausgewiesen. Diese Art der Ergebnisdarstellung ist universeller, lässt jedoch mindestens die gleichen Rückschlüsse auf die Anlagenqualität zu. Der normierte Energieaufwand lässt sich - und das ist die Begründung für die Abweichung vom ursprünglichen Projektziel - aus Messergebnissen besser, d.h. mit geringerem Fehlerpotential reproduzieren.

Aus den Messergebnissen wurden wie geplant Regeln für die Auswahl, Auslegung und den Betrieb abgeleitet - soweit dies die Messergebnisse gestatteten, vgl. Kapitel 7. Die Ergebnisse werden, wie vorgesehen veröffentlicht, vgl. Kapitel 8.

3.5 Bewilligungsaufgaben

Auflagen der Bewilligung

Das Projekt wurde unter folgenden, hier zusammengefassten Auflagen von der DBU bewilligt:

1. In die Untersuchung sind 20 konventionelle Anlagen einzubeziehen.
2. Es sind in den Anlagen zu erfassen: der Gasverbrauch, die Wärmemengenabgabe sowie die Anzahl der Ein/Ausschaltzyklen des Kessels an 5 Anlagen und der Stromverbrauch an 20 Anlagen.
3. Es ist eine detaillierte Fehleranalyse durchzuführen.
4. Es ist zu erarbeiten, an welcher Stelle der Wissens-/Informationstransfer zu verbessern ist, um die Planung/Ausführung/Nutzung von Brennwertkesselanlagen zu optimieren.

5. Bei der Auswertung ist abzuleiten, welche zukünftige Ausstattung von Brennwertkesselanlagen mit Blick auf die optimierte Planung, Installation, Betrieb erforderlich wäre.
6. Im Abschlussbericht soll über Maßnahmen der Verbreitung berichtet werden.

Stellungnahme

- zu 1: Die Untersuchung sollte ursprünglich 100 Anlagen, davon 20 Anlagen mit konventionellem Kessel (hier Niedertemperatur- oder Standardkessel) umfassen. Da die Messtechnik im einzelnen Gebäude jedoch umfangreicher als geplant ausfiel, konnten insgesamt nur 67 Anlagen untersucht werden. Damit die Zahl der im Mittelpunkt der Untersuchung stehenden Brennwertkesselanlagen trotzdem ausreichend groß bleibt, wurden nur 7 Anlagen mit konventioneller Technik untersucht. Die Unterschiede im Betriebsverhalten konnten auch mit dieser Anzahl deutlich herausgearbeitet werden.
- zu 2: Der Gasverbrauch und die Wärmemengenabgabe der Kessel wurde wie geplant erfasst. Da der messtechnische Aufwand zur Bestimmung der Ein/Ausschaltzyklen sehr groß geworden wäre, wurde auf eine Messung verzichtet. Die Zusammenhänge wurden jedoch sehr ausführlich im Labor nachgewiesen und veröffentlicht [10] [11]. Der Stromverbrauch wurde nicht an 20 %, sondern an 13 % der Anlagen gemessen. Die Ergebnisse lassen auch hier verallgemeinerbare Rückschlüsse zu.
- zu 3: Die Fehleranalyse befindet sich in Kapitel 5.4.
- zu 4 und 5: Aussagen zur Verbesserung des Wissenstransfers und zur zukünftigen Ausstattung von Brennwertkesselanlagen sind in Kapitel 7 zusammengestellt.
- zu 6: Möglichkeiten der Verbreitung sind in Kapitel 8 beschrieben.

4 Einleitung zum technischen Teil

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die Bestimmung des Normnutzungsgrades eines Kessel sowie des Nutzungsgrades im Feld. Theorie- und Praxis werden verglichen und die Haupteinflussgrößen für die Abweichungen genannt. Die Bewertung eines Erzeugers mit Hilfe des normierten Energieaufwandes wird beschrieben.

Bedeutung der Brennwerttechnik

Der Einsatz von Brennwertanlagen nimmt in der Heizungstechnik einen immer größer werdenden Stellenwert ein. Wie in Abbildung 4 dargestellt, stiegen die Absatzzahlen für Brennwertkessel innerhalb von 10 Jahren fast um das 10-fache von 27.000 Anlagen auf 240.000 Anlagen im Jahr 2000 an. Der wesentliche Vorteil der Geräte gegenüber herkömmlichen NT- Kesseln liegt darin, dass die eingesetzte Energie um ca. 10 % besser ausgenutzt werden kann. Gleichzeitig führt der verstärkte Einsatz von Brennwerttechnik zu einer Verringerung der CO₂-Emissionen.

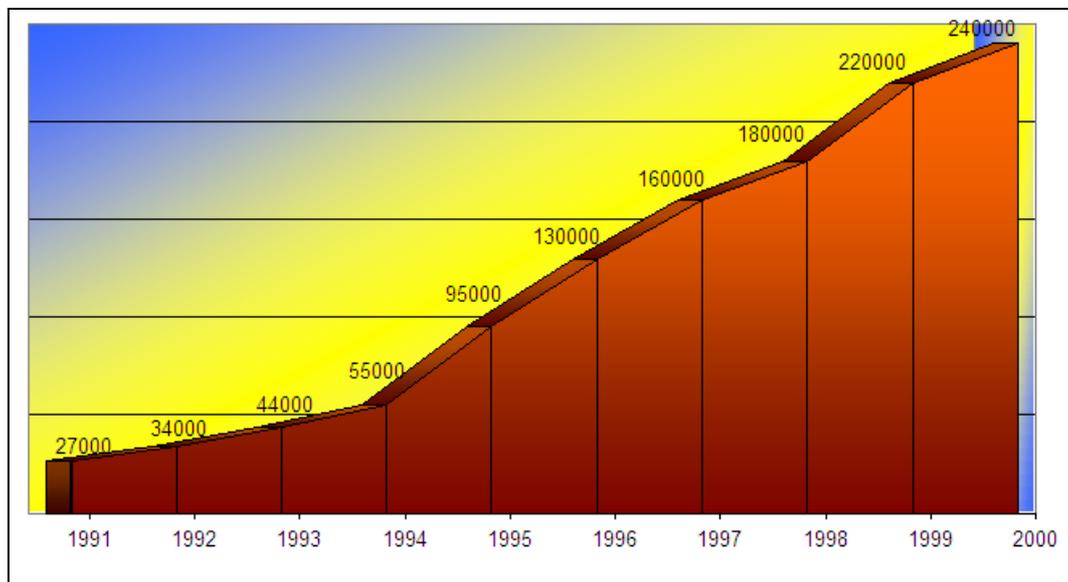


Abbildung 4: Verkaufszahlen für Gas-Brennwertkessel in den letzten 10 Jahren [1]

Der Einsatz von "wandhängenden Kesseln", die sich durch ihren geringen Platzbedarf auszeichnen, gewinnt hierbei immer größere Bedeutung, vgl. Abbildung 5. Speziell für diese Gerätetechnik stellt sich die Frage, ob die Norm-Nutzungsgrade zwischen 105 ...109 % bezogen auf den unteren Heizwert H_u im tatsächlichen Praxisbetrieb überhaupt erreicht werden. Die hohen Normnutzungsgrade nach DIN 4702-8 können nur eingehalten werden, wenn im Praxisbetrieb der Heizungsanlagen die gleichen Randbedingungen wie im Messverfahren der DIN 4702-8 zur Bestimmung des Normnutzungsgrades vorliegen.

Ein wesentliches Ziel der Untersuchungen dieses Projektes liegt darin, den Ist-Zustand typischer Heizungsanlagen im Einfamilienhaus (mit dem Neubau als Schwerpunkt) darzustellen und die vorgefundenen tatsächlichen Betriebszustände den Randbedingungen des Prüfstandes gegenüberzustellen. Aus diesem Grund wurde bewusst auf Optimierungsmaßnahmen an der Heizungsanlage verzichtet, auch wenn im Verlauf der Projektdurchführung große Abweichungen zwischen Prüfstand und Praxis festzustellen waren.

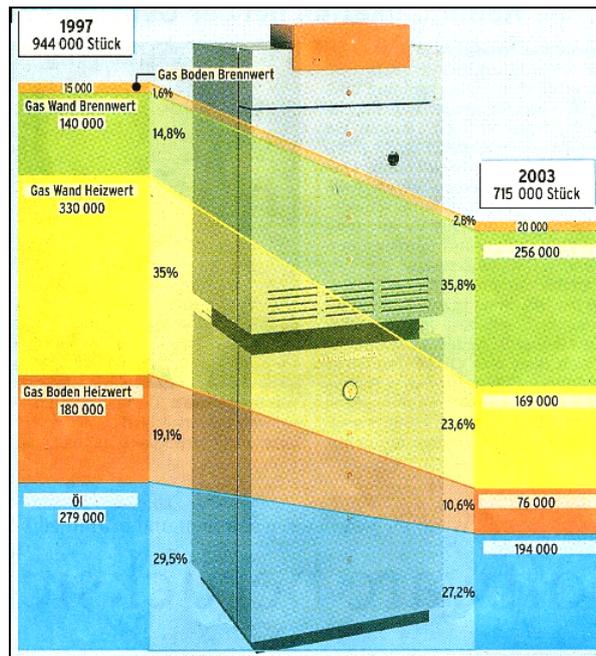


Abbildung 5: Absatz von Heizkesseln in Deutschland [12]

In einem bereits begonnenen Folgeprojekt, dem ebenfalls von der DBU geförderten Projekt "Optimus", wird an etwa 100 Mehr- und Einfamilienhäusern der Einfluss einer anlagentechnischen Optimierung wie Reglereinstellung und hydraulischer Abgleich messtechnisch erfasst und dokumentiert.

4.1 Nutzen und Aufwand von Wärmeerzeugern

Seit Einführung des NT-Kessels (Niedertemperaturkessel) in den 1970er Jahren wurde in einer nicht mehr überschaubaren Zahl von Fachveröffentlichungen versucht, die Effizienz der Energieausnutzung von gas- bzw. ölbefeuerten Wärmeerzeugern mit dem Begriff "Nutzungsgrad" als Verhältnis von abgegebener Nutzenergie und zugeführter Brennstoffenergie zu bewerten. Gleichung 1 formuliert den allgemeinen Zusammenhang.

$\eta = \frac{Q_{\text{Nutz}}}{V_B \cdot H_U}$ <p>mit:</p> <table style="margin-left: 20px;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">η</td> <td>Nutzungsgrad</td> </tr> <tr> <td>Q_{Nutz}</td> <td>vom Kessel abgegebene Wärmemenge</td> </tr> <tr> <td>V_B</td> <td>zugeführte Brennstoffmenge</td> </tr> <tr> <td>H_U</td> <td>unterer Heizwert</td> </tr> </table>	η	Nutzungsgrad	Q_{Nutz}	vom Kessel abgegebene Wärmemenge	V_B	zugeführte Brennstoffmenge	H_U	unterer Heizwert	<i>Gleichung 1</i>
η	Nutzungsgrad								
Q_{Nutz}	vom Kessel abgegebene Wärmemenge								
V_B	zugeführte Brennstoffmenge								
H_U	unterer Heizwert								

Der Nutzungsgrad ist dabei vom Wirkungsgrad zu unterscheiden. Dieser bewertet nur die Effizienz im Betrieb, d.h. bei laufendem Brenner, wenn lediglich Wärmeverluste über die Kesseloberflächen (Strahlungsverluste) und Abgasverluste - abhängig von der Abgastemperatur und dem eingestellten Luftüberschuss - auftreten.

Im realen Betrieb über einen längeren Zeitraum, z. B. für den Jahresnutzungsgrad über 1 Jahr, sind zusätzlich Stillstands- und Bereitschaftsverluste zu berücksichtigen. Diese werden durch Wärmeverluste über die Kesseloberflächen, durch innere Auskühlverluste des Feuerraumes wegen des Schornsteinzugs bei Brennerstillstand, durch die Vorspülverluste vor dem Brennerstart und vor der Zündung sowie durch die Anfahrverluste bis zum Erreichen stabiler Verbrennungswerte verursacht.

Problematik des Bezugs: unterer und oberer Heizwert (Brennwert)

Bei Angaben von Wirkungs- und Nutzungsgraden wird von der Heizungs- und Gasversorgungsbranche bis heute leider noch immer der Bezug auf den unteren Heizwert H_U (bzw. heute besser europäisch H_i) bevorzugt. Dadurch entstehen - speziell für Brennwertkessel - unsinnige Effizienzbewertungen: "Nutzungsgrade bis 110 %". Dies suggeriert, dass einem normalen, nicht-regenerativen Wärmeerzeuger mehr Nutzenergie entnommen werden kann, als an Brennstoffenergie eingesetzt wird. Dies ist selbstverständlich nicht der Fall, außerhalb des Fachs aber praktisch nicht vermittelbar.

In diesem Projekt werden daher 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" (d.h. der oben beschriebene "regenerative Effekt") entstehen, die sonst bei Nutzungsgraden über 100 % auftreten.

Zum Vergleich werden in einzelnen Übersichten die auf den unteren Heizwert H_U bezogenen Kenngrößen zusätzlich mit angegeben.

4.2 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 geringstmöglichen 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" [8].

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 zwi-

schen real gemessenem Nutzungsgrad und Normnutzungsgrad von 10 ... 13 Prozentpunkten.

Der Normnutzungsgrad für den Heizbetrieb eines Kessels wird aus den Teillastnutzungsgraden bei 5 festgelegten Kesselbelastungen und Temperaturpaarungen bestimmt, siehe Tabelle 10.

Relative Kesselleistung (Kesselbelastung)	Heizmitteltemperaturen			
	Temperaturpaar 75/60°C		Temperaturpaar 40/30°C	
	Vorlauftemp.	Rücklauftemp.	Vorlauftemp.	Rücklauftemp.
0,13	27	25	23	21
0,30	37	32	26	23
0,39	42	36	28	24
0,48	46	39	30	25
0,63	55	45	33	26

Tabelle 10: Kesselbelastungen und Temperaturpaarungen für die Nutzungsgradmessung

Folgendes, den realen Gegebenheiten nicht mehr entsprechendes Modell liegt der Ableitung des Normnutzungsgrades bzw. den verwendeten 5 Kesselbelastungen nach DIN 4702-8 zu Grunde:

Die Auslastung des Kessels, der jährliche Wärmebedarf und damit die abgegebene Heizwärme hängen zunächst von der Häufigkeitsverteilung der Außentemperatur ab. Zur Vereinfachung bezieht sich die Norm auf den Mittelwert von 10 deutschen Großstädten. Die zusätzlich erforderliche Berücksichtigung interner und externer Fremdwärmequellen erfolgt durch eine Verringerung der Heizkreisbelastung um einheitlich 10 %. Diese Annahme entspricht bei heutigen neuen Gebäuden mit hohem Wärmedämmstandard bei weitem nicht mehr der Realität; der Anteil Fremdwärme liegt bezogen auf die Auslegungsheizlast bei mehr als dem Doppelten.

Die Nachttemperaturabsenkung hat im Verfahren der DIN 4702-8 ausgehend von der tiefsten Außentemperatur (wo sie keine Wirkung besitzt) bis zur Heizgrenze von 14°C hin einen kontinuierlich ansteigenden Einfluss. Die Praxis zeigt allerdings, dass Nachtabsenkungen in gut gedämmten Neubau praktisch keine Bedeutung für die Kesselverluste haben [13].

Nicht berücksichtigt wird eine bei heutigen, neuen Gebäuden durchschnittliche Überdimensionierung der Kesselleistung gegenüber der Auslegungsheizlast um durchschnittlich den Faktor 3 ... 5 im Einfamilienhaus. Begründet ist dies durch die Leistungsanforderungen der Trinkwarmwasserbereitung im kleinen Gebäude.

Der Kessel wird bei den Messungen zum Norm-Nutzungsgrad nach DIN 4702 auf Nennwärmeleistung bei den Temperaturen 75/60°C bzw. 40/30°C eingestellt. Dabei müssen Nennmassenstrom und Vorlauftemperatur entsprechend einreguliert werden. Unter Beibehaltung des Heizmittelmassenstroms werden nun fünf Teillastnutzungsgrade in Abhängigkeit von der relativen Kesselleistung gemessen.

Hierzu sind die fünf Werte der relativen Kesselleistung aus Tabelle 10 einzustellen. Die fünf Betriebspunkte sind für die oben beschriebene Häufigkeit des mittleren Außentemperaturverlaufs so gewählt, dass jeder Betriebspunkt eine gleich starke Ge-

wichtung erhält. Der Normnutzungsgrad für den Heizbetrieb ergibt sich aus dem arithmetischen Mittelwert der 5 Teillastnutzungsgrade.

Im Praxisbetrieb einer Heizungsanlage werden sich die nach dem Verfahren der DIN 4702-8 ermittelten Normnutzungsgrade jedoch nur einstellen, wenn die Anlage bei ähnlichen Belastungsprofilen und Temperaturspreizungen wie in Tabelle 10 dargestellt betrieben wird. Die Feldmessungen ergaben in drei Punkten wesentliche Abweichungen zu den Prüfbedingungen der DIN 4702-8, auf die oben bereits teilweise hingewiesen wurde:

1. Aus den 5 Kesselbelastungen in Tabelle 10 ergibt sich eine mittlere Kesselbelastung von 39 %, Die Auswertung der Feldmessungen ergab jedoch eine durchschnittliche Kesselauslastung von lediglich 9 % im Einfamilienhaus.
2. Die Messung des Normnutzungsgrades erfolgt bei konstantem Volumenstrom, während im Praxisbetrieb, bedingt durch den Einsatz von Thermostatventilen, die Volumenströme im Teillastbereich abnehmen.
3. Der Normnutzungsgrad berücksichtigt lediglich den Heizbetrieb, bei den untersuchten Anlagen handelt es sich jedoch um Kessel, die sowohl zur Raumheizung als auch zur Trinkwarmwasserbereitung eingesetzt werden.

Weiterhin ergeben sich speziell für Brennwertkessel bei nicht angepassten Reglerheizkurven - wovon im Regelfall leider auszugehen ist [14] - und v. a. bei Einsatz von Überströmventilen sehr hohe Kesselrücklauftemperaturen, die zu keiner oder nur zu einer verminderten Kondensation und damit Brennwertnutzung führen.

Aufgrund dieser unterschiedlichen Randbedingungen sind erhebliche Abweichungen zwischen Normnutzungsgrad und gemessenen Nutzungsgradverläufen der Feldanlagen zu erwarten. Während der Einfluss der Trinkwarmwasserbereitung auf den Jahresnutzungsgrad allgemein bekannt ist, wurde der geringen Kesselauslastung und den abnehmenden Volumenströmen im Teillastbereich in der Vergangenheit kaum Bedeutung beigemessen.

4.3 Realer Jahres-Nutzungsgrad aus Felduntersuchungen

Die in Kapitel 4.1 genannten Einflüsse während Brennerbetrieb, Brennerstillstand und Brennerstart bestimmen zusammen mit den Merkmalen der nach geschalteten Heizsystemkomponenten (Heizflächen, Pumpe, Hydraulik), der zentralen Regelung und der sich einstellenden Kesseltemperaturen sowie der sich aus Gebäudeheizlast und installierter Kesselnennleistung ergebenden mittleren Kesselbelastung den Jahresnutzungsgrad.

Eine umfangreiche theoretische Analyse der Wechselwirkungen zwischen allen Einzeleinflüssen des Systems kann und soll im Rahmen dieses Projektes nicht durchgeführt werden. Hier sei auf die Literatur verwiesen, z.B. [8].

Durch Messung der beiden Größen: "Nutzenergieabgabe" und "Brennstoffenergiezufuhr" bei unterschiedlichen Belastungen über Monats- bzw. Jahreszeiträume können jedoch die Hauptmerkmale des Gesamtsystems: Wärmeerzeuger und nach geschaltetes Heizsystem und ihr Einfluss auf die Kesseleffizienz ermittelt werden. Dabei stellt der mittlere bzw. Jahresnutzungsgrad nicht die aus Sicht der Autoren einzig sinnvolle Bewertungsgröße für das Anlagensystem dar.

Mögliche Darstellung der Verlustkennwerte

Die wichtigsten Verlustkennwerte von Heizkesseln sind Abgas- und Abstrahlungsverluste sowie Verluste der inneren Auskühlung. Die Kennwerte können zu Verlusten während des Betriebs (Abgas- und Abstrahlungsverluste) und Betriebsbereitschaftsverlusten (Auskühlung und Abstrahlungsverluste) zusammengefasst werden.

Es gibt verschiedene Darstellungsformen für die Verlustkennwerte, gebräuchlich sind der Nutzungsgrad η und die Aufwandszahl e beide aufgetragen über der Kesselauslastung - siehe Abbildung 6 a und b. Beide Kennwerte sind bezogene Größen, d.h. sie geben keine Auskunft über die absolute Höhe der Verluste. Die Darstellung von Nutzungsgrad und Aufwandszahl als Funktion der Auslastung ergibt stark gekrümmte Verläufe.

Vor allem im Bereich geringer Belastungen sind beide Größen nur ungenau per Ablesung bestimmbar. Umgekehrt müssen zur Reproduktion der Kurve sehr viele Messpunkte - vor allem im unteren Lastbereich - vorhanden sein.

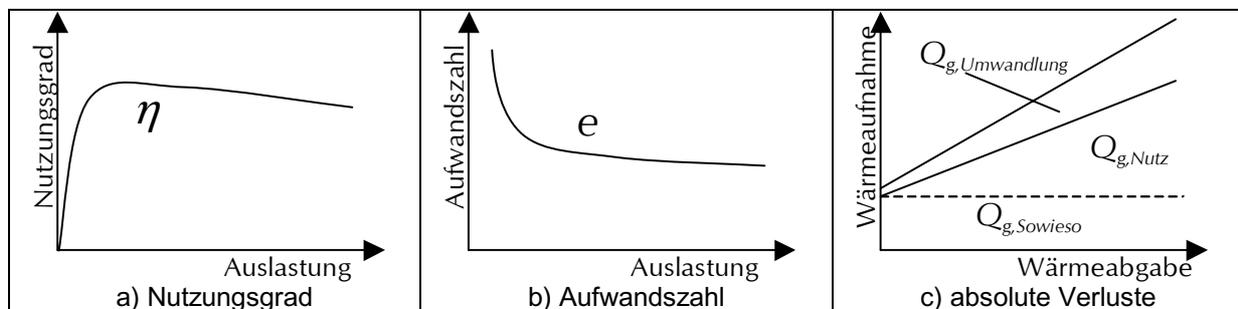


Abbildung 6: Nutzungsgrad, Aufwandszahl, absolute Verluste

Alternativ können zwei absolute Kennwerte verwendet werden, siehe Abbildung 6 c. Zum einen ist dies der von der Wärmeabgabe relativ unabhängige Kennwert für die sowieso vorhandenen Bereitschaftswärme- und Abstrahlungsverluste $Q_{g,Sowieso}$. Vereinfacht wird hier angenommen, dass die zugehörige Verlustleistung unabhängig vom Betriebszustand (Brenner ein oder aus) etwa konstant ist. Der zweite Wert, $Q_{g,Umwandlung}$, beschreibt die Verluste bei der Energieumwandlung der Nutzwärme und der sowieso vorhandenen Kesselverluste, d.h. er entspricht mittleren Abgasverlusten. Der Zusammenhang dieser Größen ist praktisch linear und kann im besten Fall mit zwei Messpunkten reproduziert werden.

Eine Weiterentwicklung dieses Ansatzes und damit eines Alternative zu Nutzungsgrad und Aufwandszahl ist in Kapitel 4.6 beschrieben.

Aufwandszahl

Die neben dem Nutzungsgrad durch die VDI-Richtlinie 2067 neu eingeführte Größe zur Effizienzbewertung ist die Aufwandszahl als Kehrwert von energetischem Aufwand zum abgegebenen Nutzen.

In der neuen DIN V 4701-10 (für den primärenergetischen Nachweis nach der Energieeinsparverordnung statisch in Bezug genommene Norm für die Anlagentechnik) werden die Erzeugerverluste für Trinkwarmwasserbereitung, Lüftung und Raumheizung ebenfalls mit Hilfe von Aufwandszahlen - leider unter Bezug auf den unteren Heizwert H_U - berechnet. Die Erzeugeraufwandszahl entspricht dem Verhältnis von

energetischem Aufwand zum Nutzen, ist also der Kehrwert des Nutzungsgrades. In nachfolgender Gleichung für die Aufwandszahl wird jedoch der Bezug auf den oberen Heizwert/Brennwert H_O gewählt.

$e_{g(H_o)} = \frac{Q_{B(H_o)}}{Q_{Nutz}} = \frac{Q_{Nutz} + Q_{g(H_o)}}{Q_{Nutz}}$	<i>Gleichung 2</i>								
mit: <table style="margin-left: 20px; border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">$e_{g(H_o)}$</td> <td>Erzeugeraufwandszahl bezogen auf H_O</td> </tr> <tr> <td>$Q_{B(H_o)}$</td> <td>Brennstoffwärmemenge bezogen auf H_O</td> </tr> <tr> <td>$Q_{g(H_o)}$</td> <td>Erzeugerverlust bezogen auf H_O</td> </tr> <tr> <td>Q_{Nutz}</td> <td>Nutzwärmemenge ab Kessel</td> </tr> </table>		$e_{g(H_o)}$	Erzeugeraufwandszahl bezogen auf H_O	$Q_{B(H_o)}$	Brennstoffwärmemenge bezogen auf H_O	$Q_{g(H_o)}$	Erzeugerverlust bezogen auf H_O	Q_{Nutz}	Nutzwärmemenge ab Kessel
$e_{g(H_o)}$	Erzeugeraufwandszahl bezogen auf H_O								
$Q_{B(H_o)}$	Brennstoffwärmemenge bezogen auf H_O								
$Q_{g(H_o)}$	Erzeugerverlust bezogen auf H_O								
Q_{Nutz}	Nutzwärmemenge ab Kessel								

Vorgehensweise und Messmethodik zur Bestimmung der Kesseffizienz in diesem Projekt werden detailliert in Kapitel 5.3 beschrieben.

4.4 Vergleich der gemessenen Erzeugerverluste mit Bedarfswerten

In der DIN V 4701-10 zur Berechnung des Primärenergieaufwandes nach der Energieeinsparverordnung werden die Erzeugerverluste getrennt für Trinkwarmwasserbereitung und Raumheizung mit Hilfe von Aufwandszahlen berechnet. Die Erzeugeraufwandszahl beschreibt das Verhältnis von Aufwand zu Nutzen. In dieser Norm wird der Bezug auf den unteren Heizwert gewählt.

$e_{g(H_u)} = \frac{Q_{B(H_u)}}{Q_{Nutz}} = \frac{Q_{Nutz} + Q_{g(H_u)}}{Q_{Nutz}}$	<i>Gleichung 3</i>								
mit: <table style="margin-left: 20px; border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">$e_{g(H_u)}$</td> <td>Erzeugeraufwandszahl bezogen auf H_U</td> </tr> <tr> <td>$Q_{B(H_u)}$</td> <td>Brennstoffwärmemenge bezogen auf H_U</td> </tr> <tr> <td>$Q_{g(H_u)}$</td> <td>Erzeugerverlust bezogen auf H_U</td> </tr> <tr> <td>Q_{Nutz}</td> <td>Nutzwärmemenge ab Kessel</td> </tr> </table>		$e_{g(H_u)}$	Erzeugeraufwandszahl bezogen auf H_U	$Q_{B(H_u)}$	Brennstoffwärmemenge bezogen auf H_U	$Q_{g(H_u)}$	Erzeugerverlust bezogen auf H_U	Q_{Nutz}	Nutzwärmemenge ab Kessel
$e_{g(H_u)}$	Erzeugeraufwandszahl bezogen auf H_U								
$Q_{B(H_u)}$	Brennstoffwärmemenge bezogen auf H_U								
$Q_{g(H_u)}$	Erzeugerverlust bezogen auf H_U								
Q_{Nutz}	Nutzwärmemenge ab Kessel								

Um eine vergleichbare Datenbasis zu erhalten, müssen die auf den Heizwert bezogenen Standard-Aufwandszahlen nach DIN V 4701-10 nach Gleichung 4 in Brennwertbezogene Erzeugerverluste umgerechnet werden.

Die Berechnung des Erzeugerverlustes erfolgte mit einem an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel erstellten Rechenprogramm zur EnEV unter Annahme folgender Randbedingungen:

- Heizwärmebedarf: 65 kWh/(m²a),
- Nutzfläche: 159 m² (entspricht dem Mittelwert der Gebäude)
- statische Heizflächen mit Auslegung auf 55/45°C, angeordnet an den Außenwänden unter dem Fenster und mit Thermostatventilen mit 1 K P-Bereich,
- Heizverteilungen überwiegend im beheizten Bereich, Steigestränge innenliegend,
- Regelpumpe,
- zentrale Warmwasserbereitung mit indirekt beheiztem Speicher und ohne Zirkulation (Anordnung von Leitungen und Speicher überwiegend im beheizten Bereich)
- Aufstellung des Brennwertkessels im beheizten Bereich, verbesserte BDH-Kennwerte nach Neuausgabe DIN V 4701-10, August 2003.

$$\begin{aligned}
 q_g(H_o) &= q_{g(H_o), TW} + q_{g(H_o), H} \\
 &= (e_{g(H_o), TW} \cdot q_{TW} - q_{TW}) + (e_{g(H_o), H} \cdot q_H - q_H) \\
 &= \left(e_{g(H_u), TW} \cdot \frac{H_o}{H_u} \cdot q_{TW} - q_{TW} \right) + \left(e_{g(H_o), H} \cdot \frac{H_o}{H_u} \cdot q_H - q_H \right) \\
 &= \left(1,13 \cdot 1,109 \cdot 20,32 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}} - 20,32 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}} \right) + \left(0,96 \cdot 1,109 \cdot 64,34 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}} - 64,34 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}} \right) \\
 &= 9,30 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}}
 \end{aligned}$$

Gleichung 4

mit:	$q_{g, TW}$	Erzeugerverlust für Trinkwarmwassererwärmung
	$q_{g, H}$	Erzeugerverlust für Heizung
	q_{TW}	vom Kessel abgegebene Wärme für Trinkwarmwasserbereitung
	q_H	vom Kessel abgegebene Wärme für Heizung
	$e_{g, TW}$	Aufwandszahl für Trinkwarmwasserbereitung
	$e_{g, H}$	Aufwandszahl für Heizung
	H_o	brennwertbezogen
	H_u	heizwertbezogen

Der Wert von $q_g(H_o) = 9,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ergibt sich für eine Brennwertkesselanlage mit angenommenen sehr guten Randbedingungen. Zum Vergleich wird die Berechnung mit teilweise schlechteren anlagentechnischen Randbedingungen noch einmal wiederholt:

- statische Heizflächen mit Auslegung auf 70/55°C, angeordnet an den Außenwänden unter dem Fenster und mit Thermostatventilen mit 2 K P-Bereich,
- Aufstellung des Brennwertkessels im beheizten Bereich, Standardwerte nach Anhang C.

Der Niedertemperaturkessel wurde analog (mit den schlechteren Daten) berechnet. In Tabelle 11 sind die errechneten Bedarfswerte den tatsächlichen Messwerten gegenübergestellt.

	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 _o)	kWh/(m ² a) (H _o)	kWh/(m ² a) (H _o)
Brennwertkessel	159	15,9	15,2	9,3
Niedertemperaturkessel	149	37,8	19,9	--

Tabelle 11: Gemessene Erzeugerverluste und Bedarfswerte nach DIN V 4701-10

Der aus den Aufwandszahlen nach DIN V 4701-10 mit verbesserten BDH-Daten berechnete Wärmeerzeugerverlust steht mit 9,3 kWh/(m²a) einem tatsächlich gemessenen Wärmeerzeugerverlust der Brennwertkessel von 15,9 kWh/(m²a) gegenüber.

Es kann festgestellt werden, dass die Bedarfswerte der DIN 4701-10 nur dann eine akzeptable Übereinstimmung mit den realen Messwerten ergeben, wenn die Heizflächen für eine Auslegungstemperaturspreizung von 70/55 °C bei einem schlechteren P-Bereich der Thermostatventile von 2 K angenommen werden und für die Kessel die Standardwerte nach Anhang C und nicht die verbesserten Kennwerte nach BDH verwendet werden. Die in der DIN V 4701-10 theoretisch berechneten Werte für die Erzeugerverluste entsprechen dann den im Praxisbetrieb erreichten Werten.

Wird jedoch - wie heute in der Praxis üblich - mit den verbesserten BDH-Kennwerten gerechnet, ergeben sich nicht gerechtfertigte Abweichungen von ca. 6 kWh/(m² a). Diese Differenz liegt in einer Größenordnung die z. B. dem Bonus eines erfolgreich bestandenen Dichtheitstests für Gebäude nach der Energieeinsparverordnung entspricht. Der Blower-Door-Test setzt dabei eine Qualitätssicherung voraus, für die Investitionen von 300 ... 500 € im EFH wirtschaftlich gerechtfertigt sind. Für das Heizsystem werden keine vergleichbaren Qualitätssicherungsmaßnahmen gefordert.

Die Abweichungen zwischen berechneten und in diesem Projekt gemessenen Nutzungsgraden für NT-Kessel sind teilweise noch gravierender, obwohl nach DIN 4701-10 bereits nur mit Standardwerten gerechnet wurde und keine herstellereigenspezifischen Werte verwendet wurden.

4.5 Haupteinflüsse auf die Abweichungen zwischen Theorie und Praxis

Aus den im voran gegangenen Kapitel dargestellten Einflüssen:

- Verwendung von Standardwerten gegenüber verbesserten Produktkennwerten im Rechenverfahren der DIN V 4701-10,
- und Heizmitteltemperaturen 70/55°C gegenüber 55/45°C

für Brennwertkessel zeigt sich der beträchtliche Einfluss der für theoretische Berechnungen getroffenen Annahmen und Randbedingungen.

Die Standardkennwerte wurden im Rahmen der Normungsarbeit zur DIN 4701-10 vom Projektleiter dieses DBU-Projektes (Prof. Dr.-Ing. D. Wolff) und gleichzeitig ehemaligen Obmann der DIN V 4701-10 vorgeschlagen. Sie basieren auf den Werten der europäischen Wirkungsgradrichtlinie von 1992, die für Standard-, Niedertemperatur- und Brennwertkessel auch heute noch immer auf den unteren Heizwert H_U bezogene Mindestwirkungsgrade vorschreibt.

Die Standardwerte der Norm überschreiten in keinem Fall die 100 %-Grenze, so dass auch keine negativen Erzeugerverluste entstehen können. Wie die Praxisergebnisse des Projektes "Brennwertkessel" zeigen, stimmen diese Standardwerte gut mit realen Jahresnutzungsgraden und Wärmeerzeugerverlusten überein.

In der Diskussion zur EnEV wurden jedoch sowohl von der Baubranche (DIN V 4108-6) als auch von der anlagentechnischen Seite theoretische Ergebnisverbesserungen (Wärmebrücken, Dichtheit, eingeschränkter Heizbetrieb, Leistungsziffern von Wärmepumpen, etc.) eingebracht, um einzelne Maßnahmen und Produkte mit einem Bonus zu versehen und daraus Marktvorteile zu ziehen.

So wurden auch von der Kesselbranche über den Bundesverband der deutschen Heizungsindustrie die verbesserten BDH-Kennwerte für Brennwertkessel mit CE-Zertifizierung nachträglich in der Neuausgabe: DIN V 4701-10 vom August 2003 ergänzt. Es können sogar noch bessere Produktkennwerte auf Basis von zertifizierten und gemessenen Norm-Nutzungsgraden nach DIN 4702-8 in das Berechnungsverfahren der DIN V 4701-10 einfließen.

Die notwendigen Rahmenbedingungen zum Erreichen dieser verbesserten Produktkennwerte werden aber nicht im Rahmen von Qualitätssicherungsmaßnahmen bei der Planung und Ausführung der Anlagen sichergestellt.

Hohe reale Nutzungsgrade von Brennwertkesseln sind erreichbar, wenn bestimmte Hauptmerkmale eingehalten werden. Hierzu zählen in einer von den Verfassern abgeschätzten Prioritätenrangfolge:

- 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,
- möglichst niedrige Heizwassertemperaturen, z.B. durch eine alleinige Flächenheizung; der Einfluss eines Fußbodenheizungssystems auf den Heizwärmebedarf, der unabhängig vom eingesetzten Wärmeerzeuger ist, kann durchaus negativ sein, wie die Ergebnisse der wenigen und daher nicht repräsentativen, in diesem Projekt untersuchten Gebäude mit FBH zeigen. Der Einfluss des Wärmeabgabesystems auf den Nutzenergieverbrauch war jedoch nicht Untersuchungsgegenstand dieses Projektes.
- 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.

Der Einfluss dieser Merkmale auf die Kesselverluste bzw. Effizienz (mittlerer Kesselwirkungsgrad, mittlerer spezifischer Bereitschaftsverlust) wurde für Anlagengruppen gleicher Merkmale ermittelt. Die untersuchten Anlagen mit ihren wichtigsten Gebäudedaten (Baujahr, Fläche) und den genannten Merkmalen sind in der Tabelle 13 auf Seite 33 zusammengestellt.

4.6 Energetische Bewertung mit Hilfe des normierten Energieaufwandes

Wie in Abbildung 6 bereits angedeutet, kann die Effizienz eines Kessels auch mit Hilfe anderer Effizienzmerkmale als dem Nutzungsgrad oder der Aufwandzahl beschrieben werden. In Folgenden wird die energetische Bewertung mit Hilfe des normierten Energieaufwandes beschrieben.

Das Modell des normierten Energieaufwands wird z. Z. für die Normung (DIN 18599) zur EU-Gebäuderichtlinie 2006 - auch von den Autoren dieses Projektberichts - präferiert.

Theorie

Für den Zusammenhang zwischen Aufwand und Nutzen wird heute noch immer - wie oben beschrieben - bei heiztechnischen Anlagen meist auf den Nutzungsgrad zurückgegriffen. Der Nutzungsgrad stellt jedoch eine nicht lineare Funktion der Nutzenergieabgabe Q_{Nutz} dar.

$\eta = f(Q_{\text{Nutz}})$	<i>Gleichung 5</i>
mit:	
η	Nutzungsgrad
Q_{Nutz}	Nutzwärmemenge ab Kessel

Allgemeingültiger wird nach Deutscher/Rouvel [7] der Zusammenhang von Aufwand und Nutzen, wenn man die Nutzenergieabgabe Q_{Nutz} auf die Nenn-Energieabgabe (Produkt aus Kesselnennleistung und Gesamtlaufzeit) zur Auslastung β normiert.

$\beta = \frac{Q_{\text{Nutz}}}{\dot{Q}_K \cdot t_B}$	<i>Gleichung 6</i>
mit:	
β	Auslastung
Q_{Nutz}	Nutzenergieabgabe des Kessels
\dot{Q}_K	Kesselnennleistung
t_B	Betriebszeit

Die einer Kesselanlage zuzuführende Energie lässt sich in der Regel in drei Teile aufteilen, siehe Abbildung 7:

- die Nutzenergieabgabe, die von den zu versorgenden Verbrauchern angefordert wird,
- die lastunabhängigen Verluste (Betriebsbereitschaftsverluste)
- die lastabhängigen Verluste (Abgas- und Strahlungsverluste).

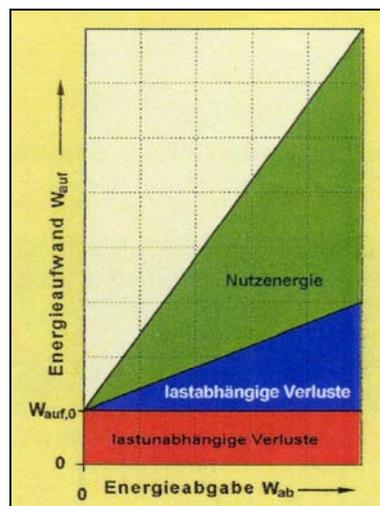


Abbildung 7: Aufteilung der dem Kessel zugeführten Energie [7]

In der Regel besteht zwischen den lastabhängigen Verlusten und der Nutzenergieabgabe ein näherungsweise linearer Zusammenhang. Tritt bei Brennwertkesseln erhöhte Kondensation auf, ergeben sich Abweichungen von der linearen Abhängigkeit. Entsprechend kann der Zusammenhang zwischen Nutzenergieabgabe Q_{Nutz} und zuzuführender Energie (Feuerungswärmemenge) Q_F als Polynom ersten Grades dargestellt werden.

Aus der Feuerungswärmemenge wird dementsprechend der "normierte Energieaufwand" nach Gleichung 7.

$w_{auf} = \frac{Q_F}{\dot{Q}_K \cdot t_B}$	<i>Gleichung 7</i>								
mit:	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="padding: 2px 10px 2px 0;">w_{auf}</td> <td style="padding: 2px 0 2px 0;">normierter Energieaufwand</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px 2px 0;">Q_F</td> <td style="padding: 2px 0 2px 0;">Feuerungswärmemenge</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px 2px 0;">\dot{Q}_K</td> <td style="padding: 2px 0 2px 0;">Kesselnennleistung</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px 2px 0;">t_B</td> <td style="padding: 2px 0 2px 0;">Betriebszeit</td> </tr> </table>	w_{auf}	normierter Energieaufwand	Q_F	Feuerungswärmemenge	\dot{Q}_K	Kesselnennleistung	t_B	Betriebszeit
w_{auf}	normierter Energieaufwand								
Q_F	Feuerungswärmemenge								
\dot{Q}_K	Kesselnennleistung								
t_B	Betriebszeit								

Aus Gleichung 2 und Gleichung 5 ergibt sich der Zusammenhang zwischen dem normierten Energieaufwand und der Auslastung mit folgender linearer Funktion:

$w_{auf}(\beta) = w_{auf,0} + a \cdot \beta$	<i>Gleichung 8</i>								
mit:	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="padding: 2px 10px 2px 0;">$w_{auf}(\beta)$</td> <td style="padding: 2px 0 2px 0;">normierter Energieaufwand je nach Belastung</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px 2px 0;">$w_{auf,0}$</td> <td style="padding: 2px 0 2px 0;">normierter Energieaufwand bei Nulllast</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px 2px 0;">a</td> <td style="padding: 2px 0 2px 0;">Verhältnissfaktor (Umwandlungsfaktor)</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px 2px 0;">β</td> <td style="padding: 2px 0 2px 0;">Belastung</td> </tr> </table>	$w_{auf}(\beta)$	normierter Energieaufwand je nach Belastung	$w_{auf,0}$	normierter Energieaufwand bei Nulllast	a	Verhältnissfaktor (Umwandlungsfaktor)	β	Belastung
$w_{auf}(\beta)$	normierter Energieaufwand je nach Belastung								
$w_{auf,0}$	normierter Energieaufwand bei Nulllast								
a	Verhältnissfaktor (Umwandlungsfaktor)								
β	Belastung								

Dabei entspricht $w_{auf,0}$ den Bereitschaftsverlusten dividiert durch den Kesselwirkungsgrad nach Gleichung 9. Für den Betriebsbereitschaftsverlust ergibt sich dann:

$q_B = \eta_K \cdot w_{auf,0}$	<i>Gleichung 9</i>						
mit:	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="padding: 2px 10px 2px 0;">q_B</td> <td style="padding: 2px 0 2px 0;">Bereitschaftsverluste</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px 2px 0;">$w_{auf,0}$</td> <td style="padding: 2px 0 2px 0;">normierter Energieaufwand bei Nulllast</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px 2px 0;">η_K</td> <td style="padding: 2px 0 2px 0;">Kesselwirkungsgrad</td> </tr> </table>	q_B	Bereitschaftsverluste	$w_{auf,0}$	normierter Energieaufwand bei Nulllast	η_K	Kesselwirkungsgrad
q_B	Bereitschaftsverluste						
$w_{auf,0}$	normierter Energieaufwand bei Nulllast						
η_K	Kesselwirkungsgrad						

Der mittlere Kesselwirkungsgrad (Umwandlungswirkungsgrad) ergibt sich aus dem Verhältnis von Nutzen zu Aufwand bei einer Auslastung von $\beta = 100\%$ nach Gleichung 10. Es gilt:

$\eta_K = \frac{\text{Kesselleistung}}{\text{Feuerungsleistung}} = \frac{\Delta \beta}{\Delta w_{auf}} = \frac{1}{w_{auf}(\beta = 1)}$	<i>Gleichung 10</i>				
mit:	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="padding: 2px 10px 2px 0;">η_K</td> <td style="padding: 2px 0 2px 0;">Kesselwirkungsgrad</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px 2px 0;">$w_{auf}(\beta = 1)$</td> <td style="padding: 2px 0 2px 0;">normierter Energieaufwand bei Vollast</td> </tr> </table>	η_K	Kesselwirkungsgrad	$w_{auf}(\beta = 1)$	normierter Energieaufwand bei Vollast
η_K	Kesselwirkungsgrad				
$w_{auf}(\beta = 1)$	normierter Energieaufwand bei Vollast				

Mit Hilfe dieses Verfahrens konnten alle gemessenen Nutzwärmemengen, unabhängig vom jeweiligen Messzeitraum, auf die "normierte Energieabgabe β " und alle gemessenen Feuerungswärmemengen auf den "normierten Energieaufwand w_{auf} " umgerechnet werden.

Durchschnittswerte aller untersuchten Anlagen

Der normierte Aufwand w_{auf} ergibt sich also aus dem Verhältnis von zugeführter Brennstoffenergie $Q_{B(H_0)}$ (hier bezogen auf den Brennwert) zur maximal möglichen Kesselnutzwärme (Produkt aus Kesselnennleistung und Betriebszeit, im Regelfall ein Jahr bzw. der Messzeitraum). Die mittlere Kesselbelastung entspricht dem Verhältnis von abgegebener Kesselnutzwärme zur maximal möglichen Kesselnutzwärme.

Danach ergibt sich für $\beta = 0$ aus Abb. 4-20 ein durchschnittlicher Betriebsbereitschaftsverlust von $q_B = 0,468\%$ für alle Brennwertanlagen. Der mittlere Kesselwirkungsgrad beträgt 90% .

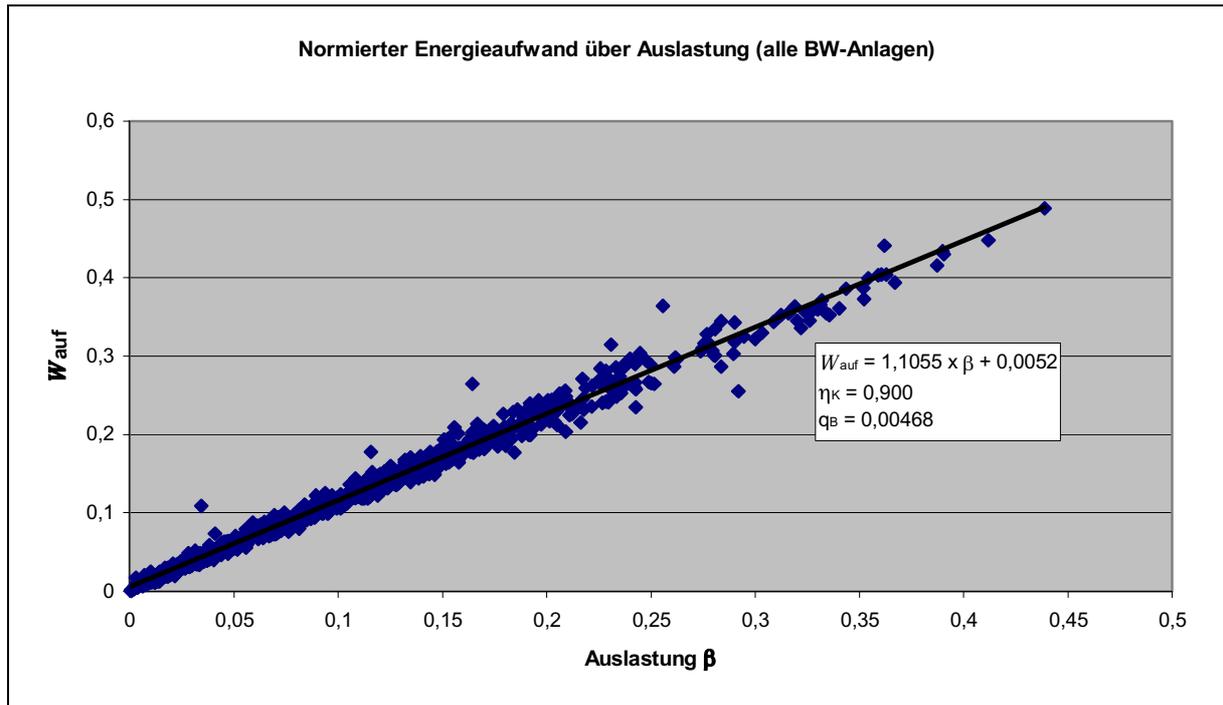


Abbildung 8: Normierter Energieaufwand über normierter Energieabgabe

Für die mittlere Belastung $\beta = 0,09$ aller in diesem Projekt untersuchten Heizungsanlagen ergeben sich ein normierter Aufwand von $w_{auf} = 0,105$. Das bedeutet, die mittlere Kesselnutzleistung im Betrieb beträgt 9 % der installierten Kesselleistung (z.B. 1,8 kW bei einem 20 kW Kessel) und die dabei benötigte zugeführte Leistung beträgt 10,5 % der installierten Kesselleistung (z.B. 2,1 kW).

Abgleich mit bekannten Bewertungskriterien

Die Jahresnutzungsgradtheorie nach Dittrich und die Beschreibung mit dem normierten Aufwand sind kompatibel, wenn der Jahresnutzungsgrad auf die Beschreibung durch zwei Kenngrößen nach Dittrich reduziert wird:

1. durch den mittleren Kesselwirkungsgrad η_K nach Gleichung 10
2. durch den mittleren spezifischen Bereitschaftsverlust q_B nach Gleichung 9

Der mittlere Jahresnutzungsgrad folgt daraus zu:

$\eta_a(\beta) = \frac{\beta}{a \cdot \beta + w_{auf,0}}$	Gleichung 11
mit:	$\eta_a(\beta)$ Kesselwirkungsgrad je nach Belastung a Verhältnisfaktor (Umwandlungsfaktor) β Belastung

Für die durchschnittliche Anlagenbelastung von $\beta = 9 \%$ ergibt sich ein mittlerer Jahresnutzungsgrad für alle Anlagen von 85,9%:

$\eta_{a,Ho} = \frac{0,09}{1,1055 \cdot 0,09 + 0,0052} = 0,859$	Gleichung 12
mit:	a Verhältnisfaktor (Umwandlungsfaktor) = 1,1055 β Belastung = 0,09

Dieser Wert stimmt trotz der durchgeführten Regression sehr gut mit dem davon unabhängig ermittelten mittleren Nutzungsgrad als Quotient aus der Summe aller Nutzwärmemengen zur Summe aller auf den Brennwert bezogenen Brennstoffenergien überein. Bei Vergleichen der auf diese Weise unterschiedlich ermittelten mittleren Nutzungsgradwerte ergeben sich für die o. a. Anlagengruppen mit gleichen Merkmalen - bei statistisch ausreichender Mindestanzahl von ca. 10 Anlagen - max. Abweichungen von 1,3 Prozentpunkten.

Damit ergibt sich für die Brennwertanlagen der in folgendem Bild dargestellte Nutzungsgradverlauf in Abhängigkeit von der Kesselbelastung.

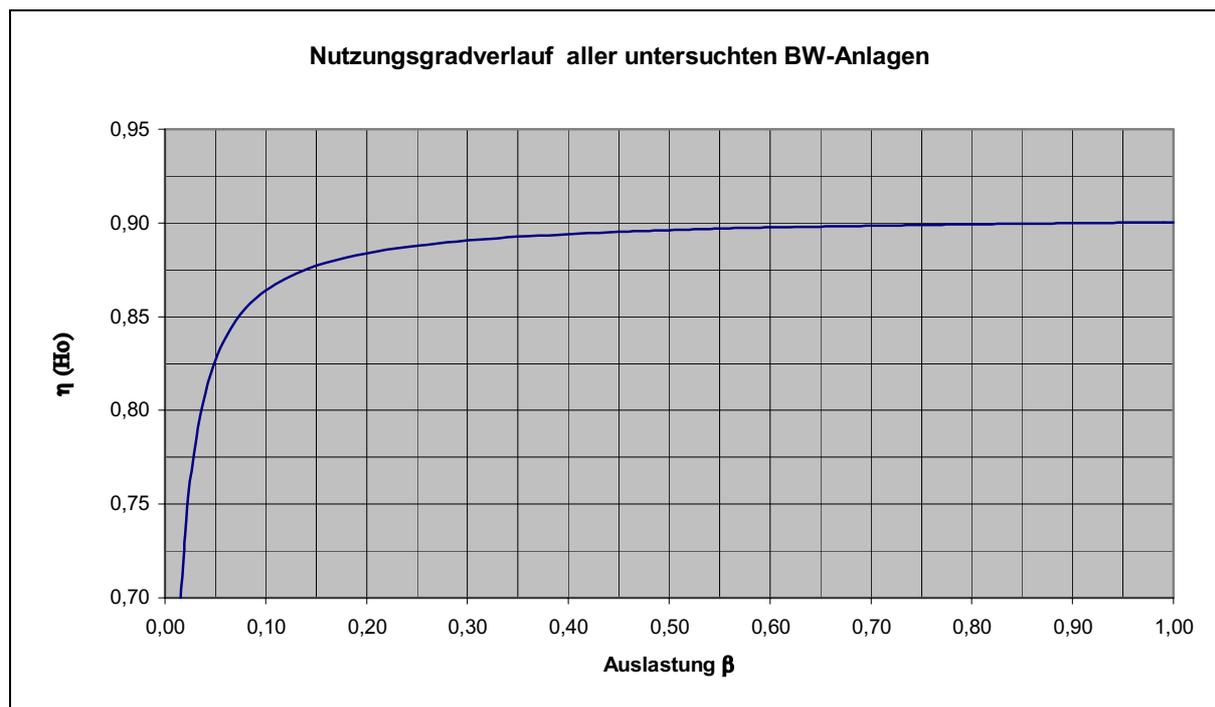


Abbildung 9: Nutzungsgradverlauf (H_0) aller Brennwertanlagen abhängig von der Auslastung

Wie aus dem Verlauf zu erkennen ist, fällt der Nutzungsgrad bei Belastungen unter 40 % ab. Besonders stark wird der Nutzungsgradabfall bei Belastungen unter 10 %. Gerade für den Betrieb in den Sommermonaten, wo der Kessel ausschließlich zur Trinkwarmwasserbereitung genutzt wird, kann es insbesondere bei überdimensionierten Kesseln zu einem starken Abfall der Nutzungsgrade kommen. Obwohl der Nutzungsgrad stark abfällt, sind die absoluten Verluste in kWh in den Sommermonaten mit niedrigen Nutzungsgraden sehr viel kleiner als bei großen Kesselbelastungen. Hieraus wird ersichtlich, dass bei kleiner werdenden Nutzwärmeverbräuchen der Nutzungsgrad nicht das geeignete Kriterium zur Kesselbewertung darstellt.

5 Darstellung von Messung und Auswertung

Im Folgenden werden zunächst die untersuchten Anlagen und ihre Merkmale kurz vorgestellt und der Aufbau der Messwerterfassung wird erläutert. Anschließend wird die Auswertung der gesammelten Daten beschreiben. Abschließend wird eine Fehlerabschätzung durchgeführt.

5.1 Anlagentechnische Ausstattung der untersuchten Kesselanlagen

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde der tatsächliche Anlagenbetrieb von 67 Feldanlagen ohne wesentliche vorhergehende Qualitätssicherungsmaßnahmen über eine Zeit von 2 Jahren untersucht und ausgewertet. Die Anlagen wurden vor Beginn der Messungen bewusst nicht optimiert, da es ein wesentliches Projektziel war, die in der Praxis übliche Anlagenausführung darzustellen und zu bewerten.

Bei der Untersuchung wurde versucht, den Einfluss verschiedener Anlagenparameter zu quantifizieren. Dabei wurden die untersuchten Anlagen in folgende Kategorien eingeteilt.

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
Aufstellort	
außen	Aufstellort des Wärmerzeugers außerhalb des beheizten Bereichs
innen	Aufstellort des Wärmerzeugers 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 Wärmerzeuger
Solar	solarunterstützte Warmwasserbereitung

Tabelle 12: Erläuterung der Anlagenmerkmale

Jede der untersuchten Anlagen wurde hinsichtlich der in Tabelle 12 genannten Merkmale kategorisiert. Die Anlagenbeschreibung befindet sich in Tabelle 13. sie dient dazu, Gruppen von Anlagen mit gleichen Merkmalen zu bilden, um Abhängigkeiten zwischen Kesseleffizienz und Anlagenmerkmalen herauszuarbeiten.

Anl.-Nr.	Gebäudebaujahr	Nutzfläche m ²	Kesstyp	Bauart	Hydraulik	Aufstellort	Regelung	Heizflächen	Zirkulation	WW-Bereitung
1	vor 1977	220	BW	wand.		außen	w	frei		o.WW
2	nach 1995	105	BW	wand.	ÜV	außen	r	frei		Kessel
3	nachtr. gedämmt	180	BW	wand.		innen	w	kombi.	Zirkulation	Kessel
4	nach 1995	119	BW	wand.	ÜV	außen	r	frei		solar
5	nachtr. gedämmt	90	BW	wand.	ÜV	außen	r	frei	Zirkulation	solar
6	nach 1995	143	BW	wand.	ÜV	außen	w	frei	Zirkulation	Kessel
7	nach 1995	155	BW	wand.	ÜV	außen	w	kombi.	Zirkulation	Kessel
8	vor 1977	120	BW	wand.	ÜV	innen	r	frei		Kessel
9	nach 1977	163	NT	boden.	ÜV	innen	w	frei	Zirkulation	Kessel
10	nachtr. gedämmt	210	BW	wand.		außen	wr	frei	Zirkulation	Kessel
11	nach 1995	167	BW	wand.	ÜV	innen	wr	frei		Kessel
12	nach 1995	116	BW	boden.	ÜV	außen	w	frei	Zirkulation	Kessel
13	nachtr. gedämmt	117	BW	wand.		außen	w	frei		Kessel
15	nach 1995	220	BW	wand.		außen	wr	kombi.	Zirkulation	Kessel
16	nach 1995	251	BW	wand.		außen	w	frei	Zirkulation	Kessel
17	nach 1977	155	BW	wand.	ÜV	außen	w	frei	Zirkulation	Kessel
18	nach 1995	200	BW	wand.	ÜV	außen	w	kombi.	Zirkulation	solar
19	nach 1995	285	BW	wand.	ÜV	innen	w	frei		Kessel
20	nachtr. gedämmt	148	BW	wand.	ÜV	außen	w	frei		Kessel
21	nach 1982	100	BW	wand.	ÜV	innen	r	frei		Kessel
23	nachtr. gedämmt	160	NT	boden.		außen	w	frei	Zirkulation	Kessel
24	nachtr. gedämmt	210	BW	wand.	ÜV	außen	r	frei		Kessel
25	nach 1995	150	BW	wand.	ÜV	außen	w	frei	Zirkulation	Kessel
26	nachtr. gedämmt	143	BW	boden.		Innen	w	frei		Kessel
27	nach 1977	165	BW	wand.		außen	w	frei	Zirkulation	solar
28	nach 1995	130	NT	boden		außen	w	kombi.	Zirkulation	Kessel
29	nach 1995	135	BW	wand.		außen	w	frei		Kessel
30	nach 1995	176	BW	wand.	ÜV	außen	w	FBH	Zirkulation	Kessel
31	nach 1995	150	BW	wand.		außen	w	frei		Kessel
32	nachtr. gedämmt	130	BW	wand.	ÜV	außen	wr	frei		Kessel
33	nach 1995	159	BW	wand.		außen	w	kombi.		Kessel
34	nach 1995	161	BW	wand.	ÜV	außen	w	frei		Kessel
35	vor 1977	145	BW	wand.		außen	w	frei		o.WW
36	nach 1995	250	BW	wand.	ÜV	außen	w	frei	Zirkulation	Kessel
37	nachtr. gedämmt	125	BW	wand.		außen	w	kombi.	Zirkulation	solar
38	nach 1995	250	BW	wand.	ÜV	innen	w	frei	Zirkulation	Kessel
39	nach 1982	213	BW	boden.	ÜV	außen	w	frei	Zirkulation	Kessel
40	nachtr. gedämmt	166	BW	wand.	ÜV	außen	w	kombi.		Kessel
43	nach 1995	219	BW	wand.		außen	w	frei	Zirkulation	Kessel
44	nach 1977	130	BW	wand.		außen	w	frei		Kessel
45	nach 1995	132	BW	wand.	ÜV	außen	w	FBH	Zirkulation	Kessel
47	nach 1977	120	BW	wand.		außen	w	frei		solar
48	nach 1995	145	BW	wand.		außen	wr	kombi.	Zirkulation	Kessel
49	nach 1995	222	BW	wand.		außen	w	frei	Zirkulation	solar
50	nach 1995	123	BW	wand.	ÜV	außen	w	frei	Zirkulation	Kessel
51	vor 1977	109	BW	wand.	ÜV	außen	wr	kombi.	Zirkulation	solar

Anl.-Nr.	Gebäudebaujahr	Nutzfläche m ²	Kesstyp	Bauart	Hydraulik	Aufstellort	Regelung	Heizflächen	Zirkulation	WW-Bereitung
52	nach 1995	150	BW	wand.	ÜV	außen	w	kombi.	Zirkulation	Kessel
53	nach 1982	188	BW	wand.	ÜV	außen	w	frei		solar
55	nach 1977	150	NT	boden.		außen	w	kombi.	Zirkulation	Kessel
56	vor 1977	126	NT	wand.	ÜV	außen	w	frei	Zirkulation	Kessel
57	nach 1995	168	BW	wand.		außen	w	kombi.		Kessel
58	nach 1995	115	BW	wand.	ÜV	innen	w	frei		Kessel
59	nach 1995	150	BW	wand.	ÜV	außen	wr	frei		Kessel
60	nach 1995	196	NT	boden.		außen	wr	kombi.	Zirkulation	Kessel
61	nach 1995	149	BW	wand.	ÜV	außen	w	frei	Zirkulation	Kessel
62	nach 1977	140	BW	wand.		außen	w	FBH		Kessel
63	nach 1995	150	BW	wand.	ÜV	außen	w	kombi.	Zirkulation	solar
64	nach 1995	115	BW	wand.	ÜV	innen	w	frei		Kessel
65	nachtr. gedämmt	100	BW	wand.	ÜV	innen	w	frei		Kessel
66	nach 1995	128	BW	wand.		außen	w	kombi.	Zirkulation	solar
67	nach 1995	126	BW	wand.		außen	wr	kombi.		Kessel
68	nach 1995	170	BW	wand.		außen	w	kombi.	Zirkulation	Kessel
69	nach 1995	190	BW	wand.		innen	w	frei		Kessel
70	nach 1995	116	BW	wand.	ÜV	innen	wr	frei		Kessel
71	nach 1995	153	BW	wand.	ÜV	außen	wr	frei		Kessel
72	nach 1995	116	NT	wand.	ÜV	innen	wr	frei		Kessel

Tabelle 13: Anlagenmerkmale

Um die Auswirkungen einer Anlagenoptimierung genauer quantifizieren zu können, wurde ein Teil der untersuchten Anlagen im Rahmen des Folgeprojektes "Optimus" optimiert, so dass in einer anschließenden Messphase die Einsparpotentiale ermittelt werden können.

5.2 Aufbau der Messwerterfassung

Um mit den vorhandenen finanziellen Mitteln möglichst viele Anlagen untersuchen zu können, wurde bewusst eine sehr einfache Art der Messwerterfassung aufgebaut.

Um den Nutzungsgrad und die Energieeffizienz eines Wärmeerzeugers zu erfassen, benötigt man lediglich die zugeführte Brennstoffenergie und die abgeführte Nutzenergie. Die Brennstoffenergie wird über den Gaszähler, die abgegebene Nutzenergie über Wärmemengenzähler, wie in Abbildung 10 dargestellt, erfasst.

Die an dem Projekt teilnehmenden Anlagenbetreiber wurden verpflichtet, die Ableseung der Messwerte mindestens an zwei Stichtagen pro Jahr, am Anfang und am Ende der Heizperiode durchzuführen. Viele der Teilnehmer stellten auch monatliche Messwerte zur Verfügung. In fünf Anlagen mussten Datenverluste durch defekte oder falsch eingebaute Zähler sowie durch Ablesefehler in Kauf genommen werden. Fehlerhafte Messwerte wurden nicht ausgewertet.

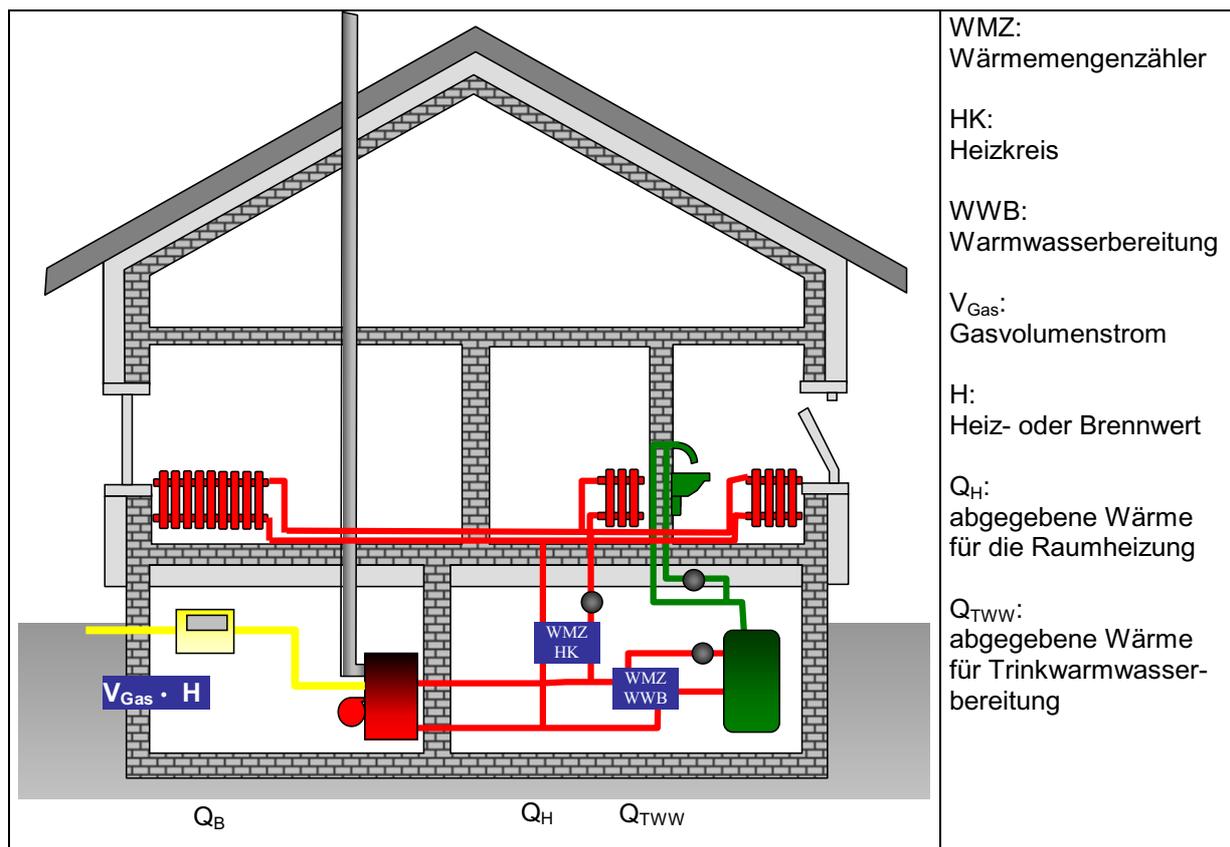


Abbildung 10: Darstellung der Messwerterfassung

Aus den oben genannten Gründen reduzierte sich die Zahl der auswertbaren Anlagen von 72 auf 67. Da nicht alle Anlagenbetreiber monatliche Messwerte zur Verfügung stellten, differiert die jeweils betrachtete Anlagenzahl je nach Auswertungsart.

Um bei zukünftigen Projekten Datenverluste durch Ablesefehler zu minimieren, sollte auf Wärmemengenzähler zurückgegriffen werden, die über eine automatische Speichermöglichkeit der Monatsmesswerte verfügen, so dass auch ein nachträgliches Ablesen der Stichtagswerte möglich ist.

Die erfassten Verbrauchswerte wurden in eine EXCEL-Datenbank übertragen und nach verschiedenen Gesichtspunkten ausgewertet. Der Erfassungsbogen befindet sich im Anhang 10.4.

5.3 Auswertung von Messwerten

Im Folgenden wird die Auswertung der Messwerte erläutert, die zu den Ergebnissen in Kapitel 6 führte.

Vorbereitung

1. Im ersten Schritt wurden die Messprotokolle der Einzelanlagen in Exceltabellen übertragen.
2. Aus den Zählerständen und den Ablesedaten konnten die Messzeiträume t_B , die verbrauchten Wärmemengen für Heizung und Trinkwarmwasser Q_H und Q_{TWW} oder der Summenwert $Q_H + Q_{\text{TWW}}$ sowie der verbrauchte Gasvolumenstrom V_{Gas} bestimmt werden.

3. Der Gasvolumenstrom wurde mit dem Brennwert H_O und Heizwert H_U der Versorger im jeweiligen Messzeitraum auf Energiemengen $Q_B (H_O)$ oder $Q_B (H_U)$ umgerechnet. Dabei wurde zusätzlich berücksichtigt, dass die Versorger den Brenn- oder Heizwert normiert (bei 0°C und ohne Überdruck) angeben, im Gebäude aber 15°C und in der Regel 20 mbar Fließdruck herrschen. Der Brenn/Heizwert wurde von Norm- auf Betriebsbedingungen korrigiert.
4. Aus der zugeführten ($Q_B (H_O)$ oder $Q_B (H_U)$) und abgeführten ($Q_H + Q_{TWW}$ bzw. auch Q_{Nutz}) Energiemenge konnten alle weiteren Berechnungen erfolgen.

Auswertung nach Einzelmerkmalen

Sollte ein Merkmal, z.B. der Einfluss eines Überströmventils, bewertet werden, wurden alle Anlagen mit und alle Anlagen ohne Überströmventil in zwei Gruppen betrachtet. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigt im Beispiel Tabelle 17 auf Seite 49.

1. Die Anzahl der Anlagen wird in der Tabelle vermerkt, z.B. Anlagen mit Überströmventil 35 Anlagen.
2. Der Jahresnutzungsgrad $\eta (H_O)$ wurde bestimmt aus dem Verhältnis aller zugeführten Energien (Summe) zu allen abgegebenen Nutzwärmemengen (Summe). Siehe Gleichung 1 auf Seite 18, aber mit Summenwerten aller Anlagen im Zähler und Nenner. Es ergibt sich ein Nutzungsgrad von 85,0%.
3. Die Differenz zwischen abgegebener Nutzwärmemenge und zugeführter Brennstoffwärmemenge (mit Bezug auf H_O) wird für alle Anlagen einzeln bestimmt. Anschließend summiert und dann auf die gesamte Fläche aller 35 Gebäude umgelegt. Es ergibt sich der spezifische Kesselverlust (H_O), hier $17 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.
4. Die abgegebene Nutzwärmemenge aller 35 Kessel wird ebenfalls nach diesem Prinzip auf die gesamte Nutzfläche der 35 Gebäude bezogen angegeben. Sie beträgt $93,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.
5. Der Mittelwert der Kesselauslastung β aller Anlagen einer Gruppe wird bestimmt, z.B. $\beta = 0,08$ oder 8 % für die Anlagen mit Überströmventil. Dazu wurde die gesamte abgegebene Energie Q_{Nutz} aller 35 Anlagen ins Verhältnis zur maximal möglichen abgebbaren Energie der 35 Kessel im Messzeitraum gesetzt. Die mögliche Nutzenergie ist die Summe aller einzelnen Kesselleistungen mal dem jeweiligen Messzeitraum t_B (Vollbenutzung). Siehe Gleichung 6 auf Seite 27, aber mit Summenwerten im Zähler und Nenner.
6. Die Monatsmesswerte der normierten Energieaufwände aller 35 Anlagen mit Überströmventil werden in ein Diagramm eingetragen, vgl. Abbildung 28 auf Seite 50. Die Berechnung der Auslastung β und den Aufwandes w_{auf} erfolgt für jeden einzelnen Messpunkt nach dem in Kapitel 4.6 in Gleichung 6 und Gleichung 7 beschriebenen Verfahren. Aus den mehreren hundert Monatsmesspunkten wird eine Ausgleichsgerade errechnet. Die Geradengleichung ist jeweils im Bild dargestellt. Sie lautet hier: $w_{\text{auf}} = 1,1348 \times \beta + 0,0039$.
7. Aus der Steigung der Geraden wird der mittlere Kesselwirkungsgrad η_K nach Gleichung 10 bestimmt und als Durchschnittswert aller 35 Anlagen bezogen auf H_O angegeben. Er beträgt 87,8 %.
8. Der mittlere Bereitschaftsverlust ergibt sich nach Gleichung 9 aus dem Achsenabschnitt der Geradengleichung. Er beträgt hier 0,34 %.
9. Der mittlere Nutzungsgrad aus normiertem Aufwand bezogen auf H_O ergibt sich, wenn die Belastung $\beta = 0,08$ in die Geradengleichung des normierten Aufwandes eingesetzt wird. Hier ergibt sich 84,6 %.

Nach diesem Prinzip erfolgten alle Auswertungen.

5.4 Fehlerbetrachtung

Bei den durchgeführten Messungen ist eine Reihe von Fehlerquellen zu berücksichtigen, die im Folgenden kurz dargestellt werden:

1. Da die Ablesung der Messwerte durch die Anlagenbetreiber erfolgte und die Messdaten telefonisch oder schriftlich weitergeleitet wurden, können in Ausnahmefällen Ablese- und Übertragungsfehler nicht ausgeschlossen werden. Die nachträgliche Auswertung des normierten Aufwands zeigt jedoch Ausreißer sehr deutlich an.
2. Für die Umrechnung der Gasbrennwerte vom Norm- auf den Betriebszustand wurde auf das DVGW Arbeitsblatt G 685 [3] zurückgegriffen. Dabei werden ein Betriebsdruck von 22 mbar, ein Atmosphärendruck von 1004 mbar und eine Gas-temperatur von 15°C zu Grunde gelegt. Es wurde davon ausgegangen, dass diese Randbedingungen mit ausreichender Näherung eingehalten werden. Geringfügige Abweichungen sind in ihrer Auswirkung auf das Gesamtergebnis vernachlässigbar.
3. Bei den Messungen wurden handelsübliche geeichte Wärmemengenzähler und Balgengaszähler der Energieversorgungsunternehmen eingesetzt. Für diese Geräte wird von den Geräteherstellern der Messfehler für unterschiedliche Temperaturen und Durchflüsse anhand von Diagrammen dargestellt.

Die Messfehler, die sich aus den Punkten 1 und 2 ergeben, lassen sich nicht quantifizieren, da weder die Zahl von eventuellen Ablesefehlern noch die reale Schwankungsbreite der Gastemperatur in den einzelnen Anlagen erfasst werden kann.

Der max. - nicht der mittlere Fehler der Einzelmessung - der durch die Genauigkeit der Wärmemengen- und Gasmengenmessung entsteht, ist abhängig von der Vorlauf/Rücklauf-Temperatur-Differenz sowie von der abgegebenen Wärmeleistung. er liegt bei einer typischen Spreizung von 10 K und einer typischen Leistung von 2 kW bei max. $\pm 1,3$ %.

Weiterführende Unterlagen zur Fehlerbetrachtung finden sich im Anhang 10.7.

Bestimmung des absoluten Maximalfehlers

Da der Fehler der Messgeräte in Abhängigkeit von Volumenstrom und Temperatur-spreizung angegeben wird, kann der Fehler nur für bestimmte Betriebszustände, das heißt bei jeweils einer Leistung und einer Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf des Wärmeerzeugers berechnet werden. Der absolute Maximalfehler wird nach folgendem Ansatz berechnet:

$$\eta_K = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = \frac{\dot{Q}_{Nu}}{\dot{Q}_B} = \frac{\dot{m}_{Wasser} \cdot c_p \cdot (t_{VL} - t_{RL})}{\dot{V}_G \cdot H_u} \quad \text{Gleichung 13}$$

mit:

η_K	Kesselwirkungsgrad
\dot{Q}_{Nu}	abgegebene Nutzleistung, in kW
\dot{Q}_B	zugeführte Feuerungswärmeleistung, in kW
\dot{m}_{Wasser}	Heizwassermassenstrom, in kg/s
c_p	spezifische Wärmekapazität, in kJ/(kg K)
t_{VL}	Vorlauftemperatur, in °C
t_{RL}	Rücklauftemperatur, in °C
\dot{V}_G	Gasvolumenstrom, in m³/h
H_u	Heizwert, in kWh/m³

Der absolute Maximalfehler für den Kesselwirkungsgrad berechnet sich aus der partiellen Ableitung von Gleichung 13:

$$\Delta\eta_{\max} = \pm \left| \frac{\partial\eta}{\partial\dot{m}_{Wasser}} \cdot \Delta\dot{m}_{Wasser} \right| + \left| \frac{\partial\eta}{\partial\dot{V}_{Gas}} \cdot \Delta\dot{V}_{Gas} \right| + \left| \frac{\partial\eta}{\partial\Delta t} \cdot \Delta\Delta t \right| \quad \text{Gleichung 14}$$

$$= \pm \left| \frac{c_p \cdot (t_{VL} - t_{RL})}{\dot{V}_{Gas} \cdot H_u} \cdot \Delta\dot{m}_{Wasser} \right| + \left| \frac{\dot{m}_{Wasser} \cdot c_p \cdot (t_{VL} - t_{RL})}{(\dot{V}_{Gas})^2 \cdot H_u} \cdot \Delta\dot{V}_{Gas} \right| + \left| \frac{\dot{m}_{Wasser} \cdot c_p}{\dot{V}_{Gas} \cdot H_u} \cdot \Delta\Delta t \right|$$

mit: siehe Gleichung 13

Da sich für die unterschiedlichen Betriebszustände der Heizungsanlage auch unterschiedliche Messfehler ergeben, wird der Messfehler für die Anlagen mit einem Wärmemengenzähler $Q_n = 0,6 \text{ m}^3/\text{h}$ in Abhängigkeit von der abgegebenen Wärmeleistung und der Temperaturspreizung angegeben.

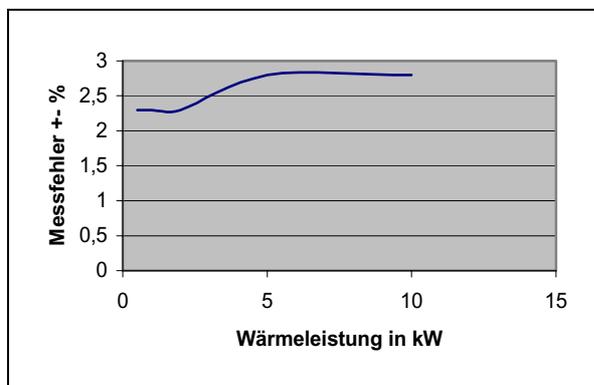


Abbildung 11: Max. Messfehler bei $\Delta t = 5K$

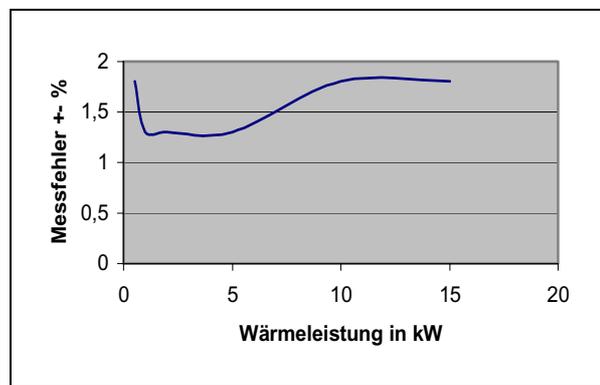


Abbildung 12: Max. Messfehler bei $\Delta t = 10 K$

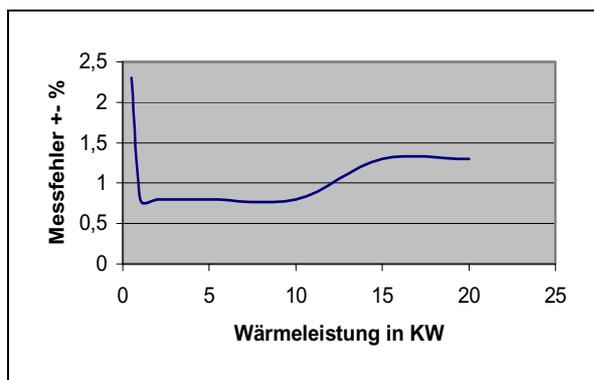


Abbildung 13: Max. Messfehler bei $\Delta t = 15 K$

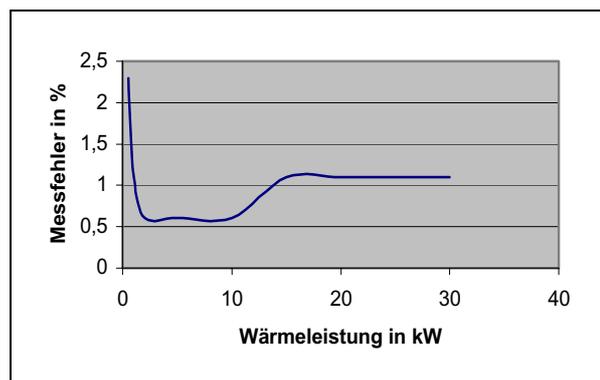


Abbildung 14: Max. Messfehler bei $\Delta t = 20 K$

Die Diagramme zeigen, dass der maximale Messfehler mit steigender Temperaturspreizung abnimmt. Weiterhin ist erkennbar, dass bei sehr kleinen Wärmeerzeugerleistungen der Fehler stark ansteigen kann. Der erhöhte Messfehler bei kleinen Wärmeleistungen wirkt sich insbesondere bei der Bestimmung von Sommernutzungsgraden und bei der Bewertung von Gebäuden mit niedrigem Wärmeverbrauch aus. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass es sich um den maximalen Messfehler handelt. Es kann davon ausgegangen werden, dass der tatsächliche mittlere Messfehler bedingt durch die Vielzahl der untersuchten Anlagen sehr viel geringer ist.

Fehler im Verfahren des normierten Energieaufwandes

Der Fehler ist bei Interpretationsaussagen, die mit Hilfe dieses Verfahrens gemacht werden, sehr gering. Die Begründung liegt in der Linearität der Kurvenverläufe, die auch für den extremen Teillastbereich verlässliche Aussagen zulassen.

Fehler bei Angaben auf die Fläche bezogener Kennwerte

Die flächenbezogenen Angaben (Nutzwärmen, Erzeugerverluste) sind mit Fehlern behaftet, da die Angabe der Fläche durch den Hauseigentümer erfolgte. Die Fehleinschätzung liegt nach Ansicht der Autoren des Berichtes unter 10 %.

Damit sind die Fehlerbandbreiten der flächenbezogenen Kennwerte noch geringer als Angaben der EnEV oder DIN V 4701-10. Hier wird die Nutzfläche einfach aus dem umbauten Volumen abgeleitet und kann im Mittel um 25 % von der realen Fläche abweichen.

Die flächenbezogenen Werte sollen als Anhaltswerte für den Vergleich mit üblichen Energiekennwerten, z.B. nach VDI 3807 gesehen werden.

6 Ergebnisse

In den folgenden Auswertungen sind die oben beschriebenen 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)

für die o. a. Anlagengruppen mit gleichen Merkmalen sowie weitere Einzelbetrachtungen aufgeführt.

6.1 Effizienzbewertung aus Verbrauchswerten

6.1.1 Jahresnutzungsgrad

Wie in Abbildung 15 dargestellt, ergibt sich für die Brennwertanlagen ein Jahresnutzungsgrad von 86,2 % bezogen auf den Brennwert als Mittelwert der einzelnen Anlagennutzungsgrade. Die gemessenen Nutzungsgrade liegen um ca. 13 Prozentpunkte unter den von den Kesselherstellern angegebenen Normnutzungsgraden (109 % bezogen auf H_U bzw. 99 % bezogen auf H_O). Auffällig ist die große Spannweite der gemessenen Jahresnutzungsgrade.

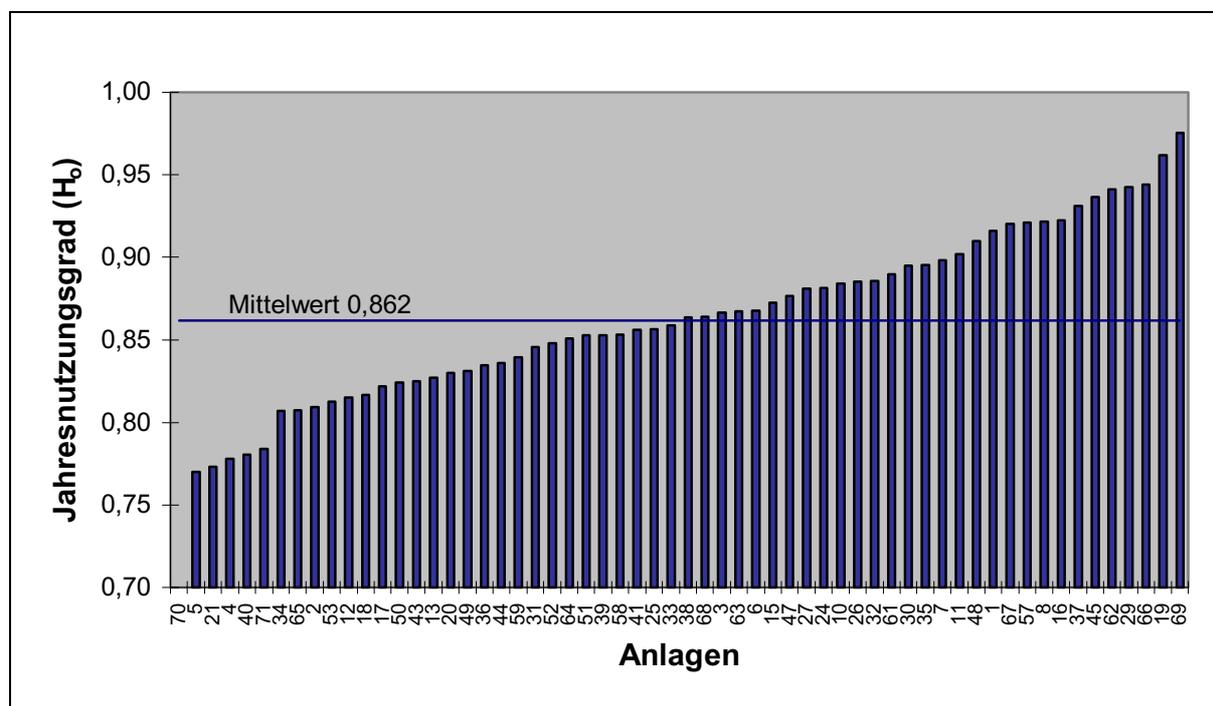


Abbildung 15: Jahresnutzungsgrad der Brennwertanlagen (60 Anlagen)

Der Vergleich der Brennwertanlagen mit den Niedertemperaturkesseln (Abbildung 16) zeigt deutlich, dass die Energieverluste der Niedertemperaturanlagen erheblich höher sind als die der Brennwertanlagen.

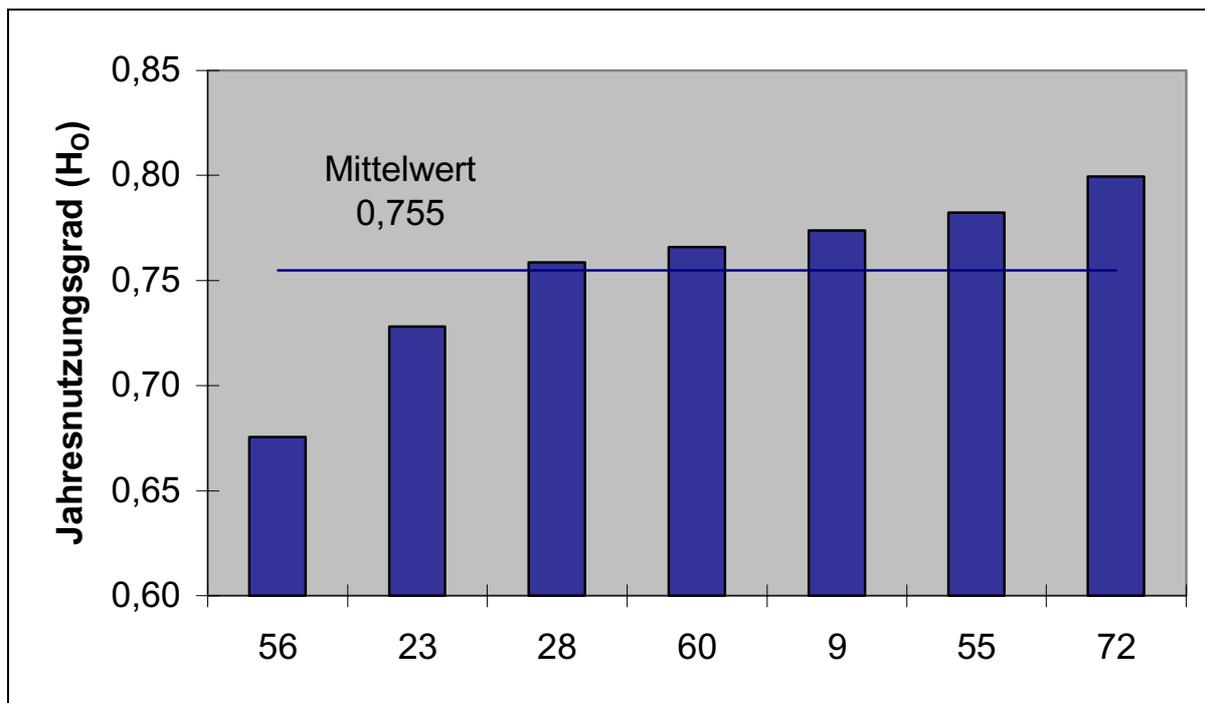


Abbildung 16: Jahresnutzungsgrad der Niedertemperaturanlagen (7 Anlagen)

Die Jahresnutzungsgrade der Brennwertkessel liegen um ca. 12 Prozentpunkte höher als die der Niedertemperaturkessel. Damit erreichen auch die untersuchten Niedertemperaturanlagen im Praxisbetrieb nicht die angegebenen Normnutzungsgrade, die bei modernen Niedertemperaturkesseln zwischen 90% und 94% (H_u) liegen.

Abbildung 17 zeigt in Wiederholung den normierten Aufwand aller 60 Brennwertkesselanlagen aus den über 1000 Einzelmesspunkten. Abbildung 18 gibt den daraus abgeleiteten Nutzungsgradverlauf aller Anlagen in Abhängigkeit von ihrer mittleren Belastung wieder.

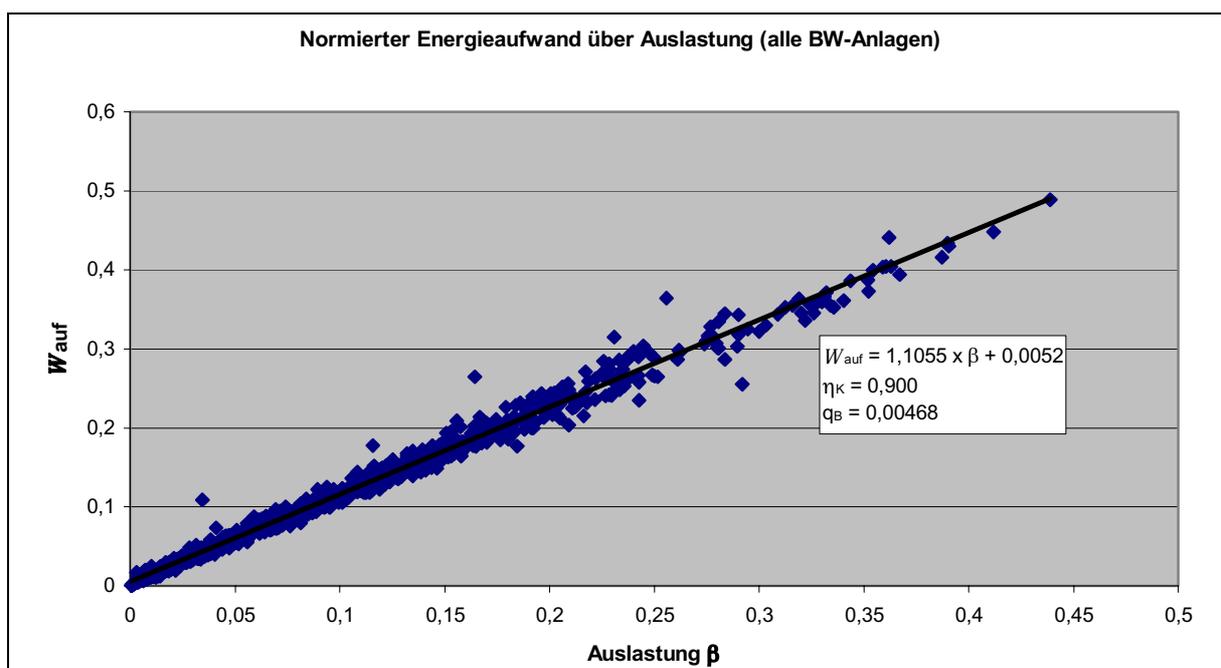


Abbildung 17: Normierter Energieaufwand über normierter Energieabgabe

Es zeigen sich in der Darstellung nach Abbildung 18 erstaunlich wenige "Ausreißer". Das lässt darauf schließen, dass der normierte Energieaufwand eine geeignete Art der Auswertung ist.

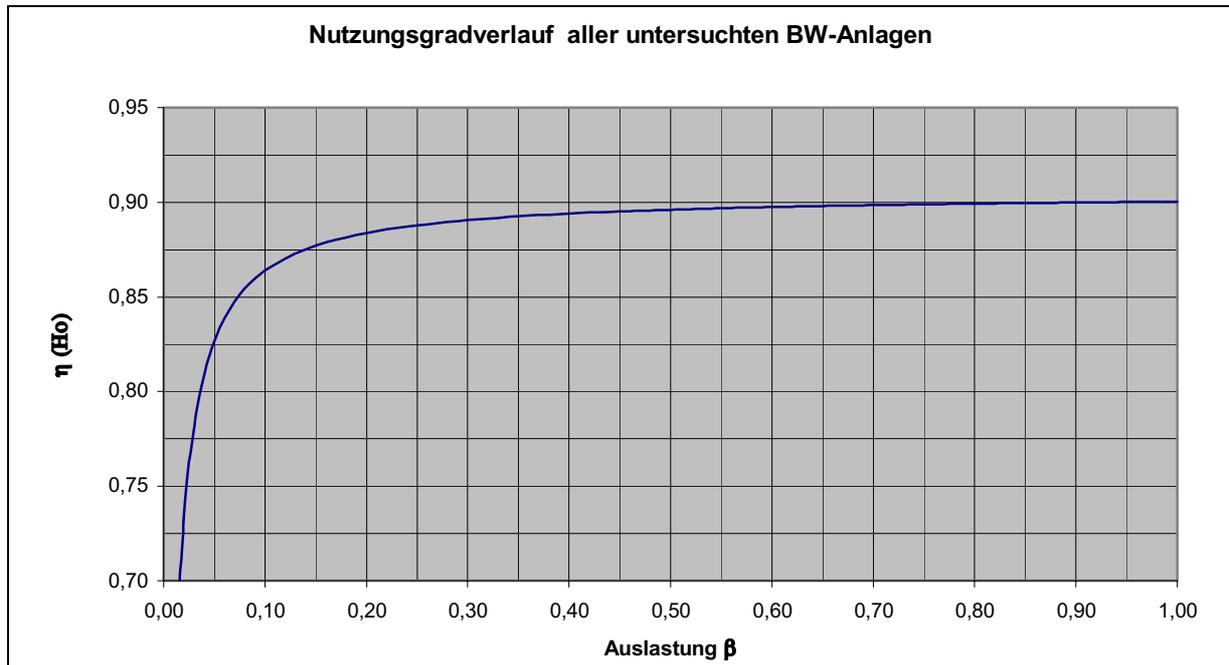


Abbildung 18: Nutzungsgradverlauf (H_0) aller Brennwertanlagen abhängig von der Auslastung

6.1.2 Erzeugerverlust

Für die Bewertung der Anlagentechnik kann im Nachweis nach der EnEV und bei Wirtschaftlichkeitsberechnungen statt auf den Nutzungsgrad und den normierten Aufwand auch auf flächenbezogene Verbrauchswerte zurückgegriffen werden. In Abbildung 19 sind die Erzeugerverluste auf die beheizte Wohnfläche bezogen dargestellt. Als Mittelwert aller Brennwertanlagen ergibt sich hier ein mittlerer spezifischer Verlust des Wärmeerzeugers von 15,9 kWh/(m²a) bezogen auf den Brennwert (H_0).

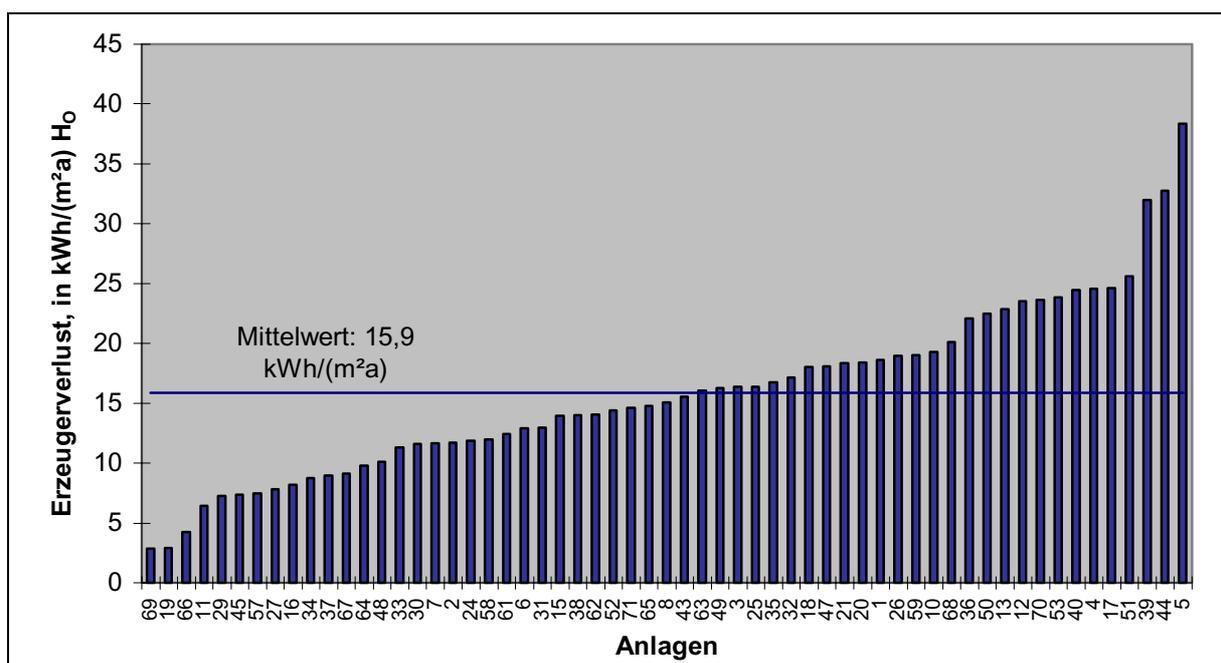


Abbildung 19: Flächenbezogener jährlicher Erzeugerverlust (60 Anlagen)

Aus Abbildung 20 kann abgelesen werden, dass der Wärmeerzeugerverlust, bedingt durch die geringeren Abgasverluste, mit abnehmendem Wärmeverbrauch sinkt. Trotz sinkenden Nutzungsgrades werden die Kesselverluste geringer.

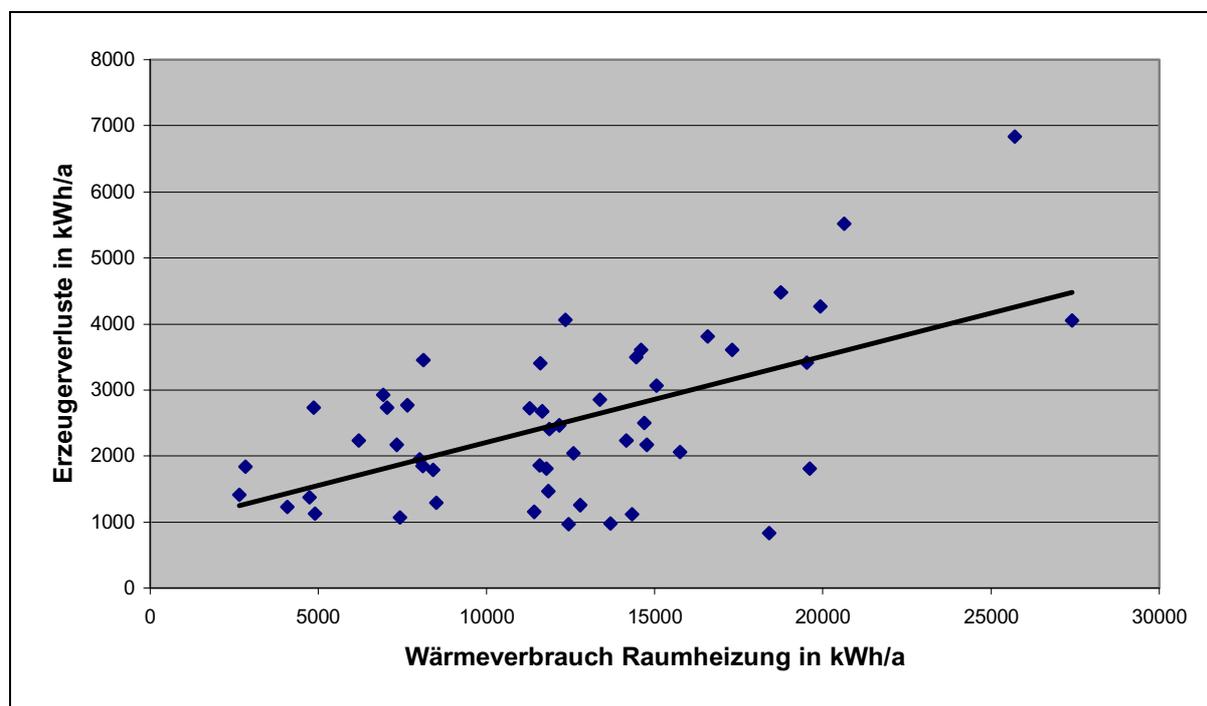


Abbildung 20: Jährlicher Erzeugerverlust über Wärmeverbrauch (60 Anlagen)

Deutlich wird, dass zur energetischen Bewertung der normierte Aufwand und zur wirtschaftlichen und emissionsbezogenen Bewertung flächenbezogene oder absolute Verbrauchskennwerte anstelle von Nutzungsgraden und Aufwandzahlen herangezogen werden sollten. Flächenbezogene Verlustkennwerte können bei Kenntnis der Gebäudegeometrie in einfacher Weise aus dem normierten Aufwand abgeleitet werden.

6.1.3 Effizienzbewertung im Teillastbereich

Bei der Auswertung der Jahreswerte ist der Einfluss einzelner Anlagen mit ungewöhnlichem Verbrauchsprofil oder bedingt durch Messfehler aufgrund der begrenzten Zahl der Messwerte relativ hoch. Um eine größere Genauigkeit zu erzielen, wird in den folgenden Auswertungen auf Monatsmesswerte zurückgegriffen.

In der folgenden Abbildung 21 sind die monatlichen Nutzungsgrade aller Brennwertanlagen in Abhängigkeit vom monatlichen Nutzwärmeverbrauch für Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung dargestellt. Aus dem Punktediagramm kann abgelesen werden, dass der Nutzungsgrad der Wärmeerzeuger bei kleiner werdenden Nutzwärmeverbräuchen abfällt. Bei Verbrauchswerten unter 500 kWh/Monat wird diese Tendenz besonders deutlich.

Bei monatlichen Nutzwärmemengen zwischen 1000 ... 500 kWh fällt der Nutzungsgrad stark ab. Dieser Verbrauchswert entspricht dem typischen Wärmeverbrauch in der Übergangszeit. Bei einer mittleren Kesselnennleistung von 21 kW und bei einem monatlichen Wärmeverbrauch von 500 kWh über alle betrachteten Brennwertanlagen resultiert daraus eine mittlere Kesselauslastung von lediglich 3,3 %.

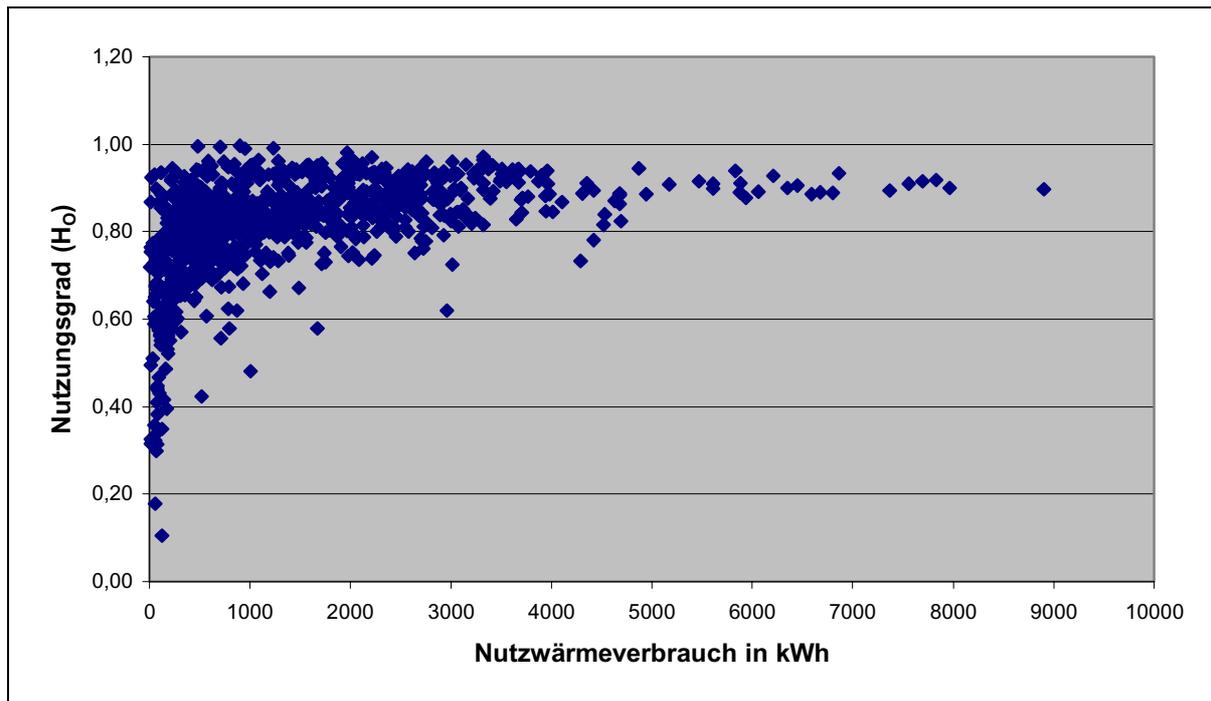


Abbildung 21: Monatliche Nutzungsgrade aller Brennwertanlagen über dem Nutzwärmeverbrauch

Aus Tabelle 14 kann abgelesen werden, dass der durchschnittliche Nutzwärmeverbrauch im Sommer nur ca. 250 kWh/Monat beträgt, woraus sich eine Kesselauslastung von ca. 1,7 % ergibt.

Monat	Nutzwärme- menge, in kWh/Monat	Erzeugerver- lust, in kWh/Monat (H_0)	Nutzungsgrad η (H_0)	Auslastung β , in %	Anzahl der Anlagen
Oktober 2001	1090	197	0,847	6,7	33
November 2001	2340	331	0,876	14,3	32
Dezember 2001	3030	448	0,871	19,4	34
Januar 2002	2624	453	0,853	16,8	39
Februar 2002	2250	409	0,846	14,4	36
März 2002	1899	358	0,841	12,2	34
April 2002	1356	267	0,836	8,7	36
Mai 2002	573	158	0,783	3,5	31
Juni 2002	289	103	0,737	1,8	29
Juli 2002	247	115	0,683	1,6	30
August 2002	253	101	0,716	1,5	30
September 2002	575	157	0,785	3,5	32

Tabelle 14: Jahresverlauf von Nutzungsgrad, Nutzwärmemenge und Erzeugerverlust

Wie bereits erwähnt, liegen nicht für alle Anlagen monatliche Messwerte vor. Um auch Messwerte in unterschiedlich langen Messperioden miteinander vergleichen zu können, wird hier auf das in Kapitel 4.6 beschriebene, von Deutscher und Rouvel [7] veröffentlichte Verfahren zurückgegriffen.

Abbildung 22 zeigt den Jahresverlauf ausgewählter Kennwerte. In der Sommerzeit liegt der Erzeugerverlust bei etwa 1/3 bis 1/2 der Nutzenergie für die Trinkwarmwasserbereitung.

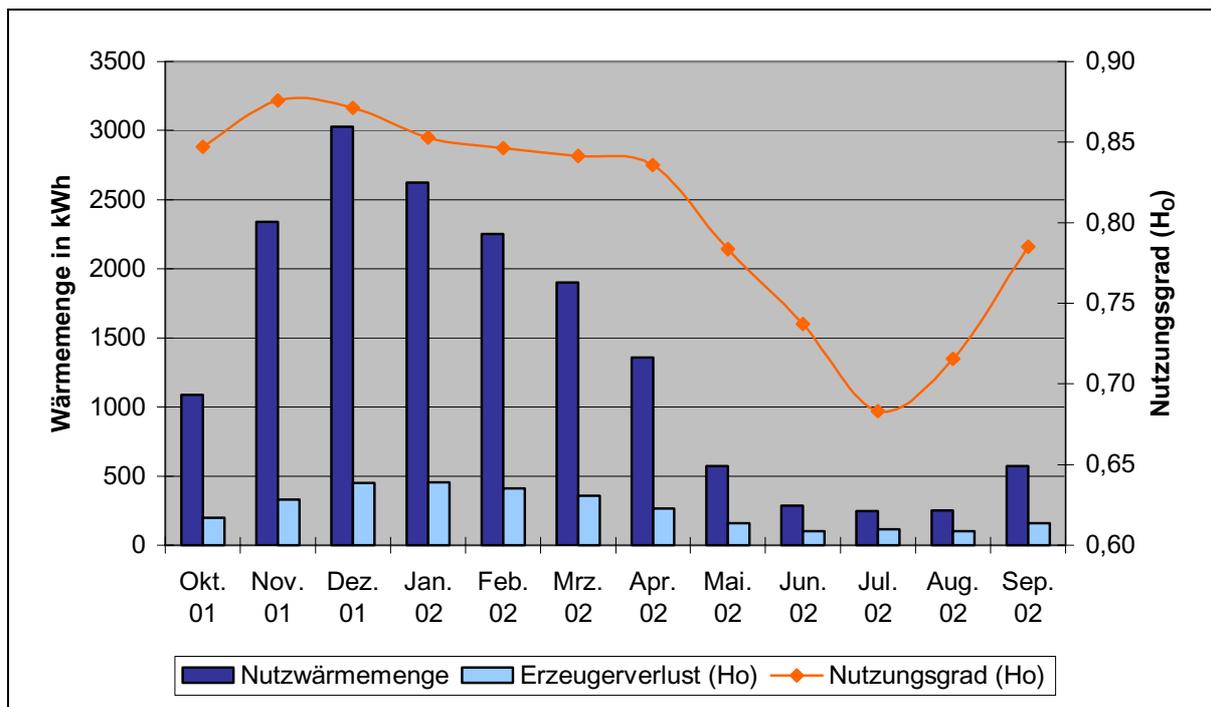


Abbildung 22: Jahresverlauf von Nutzungsgrad, Nutzwärmemenge und Erzeugerverlust

6.1.4 Bestimmung des durchschnittlichen Betriebsbereitschaftsverlustes

Bei sinkendem Wärmeverbrauch in hochwärmedämmten Gebäuden steigen die Stillstandszeiten des Kessels gegenüber den Laufzeiten; der Betriebsbereitschaftsverlust des Kessels wird neben dem Abgasverlust zu untersuchen sein. Auch bei der Kombination der Kesselanlage mit thermischen Solaranlagen wird in der Praxis der Kessel trotz ausreichendem Solarangebot in den Sommermonaten in Bereitschaft gehalten. Die Bereitschaftsverlustwärmeleistung kann als verbrauchsunabhängiger Verlust definiert werden.

Der Bereitschaftsverlust des Kessels ist demzufolge die verbrauchte Wärmemenge bei einer Nutzwärmeabgabe von 0 kWh, das heißt bei einer Auslastung $\beta = 0$. Aus der Funktion der Regressionsgeraden in Abbildung 17 resultiert ein durchschnittlicher Betriebsbereitschaftsverlust von 0,468 % der Kesselleistung. Bei einer durchschnittlichen Kesselnennleistung von 21 kW entspricht dies einer Verlustleistung von 0,1 kW.

Auch hier wird deutlich, dass zwar der Nutzungsgrad mit sinkendem Wärmeverbrauch fällt, die Verluste aber dennoch abnehmen. Für Gebäude mit sehr geringem Wärmeverbrauch bedeutet dies, dass trotz niedrigem Nutzungsgrad geringe Verluste des Wärmeerzeugers erreicht werden können. Andererseits ergibt eine dauernde Bereitschaftsverlustleistung von 0,1 kW einen Jahresverlust von ca. 900 kWh. Dieser Betrag könnte 40 % zur Deckung des Heizwärmebedarfs eines 150 m² großen Passivhauses beitragen.

6.1.5 Zusammenhang zwischen Trinkwarmwasserbedarf und Jahresnutzungsgrad

Bedingt durch erhöhte Anforderungen an die Wärmedämmung von Gebäuden, erlangt die Trinkwarmwasserbereitung eine immer größere Bedeutung. Der Anteil der Trinkwarmwasserbereitung an der gesamten Nutzwärmemenge kann bis zu 50 % betragen. Wie aus Abbildung 23 hervorgeht, nimmt der Jahresnutzungsgrad mit steigendem Trinkwarmwasseranteil ab.

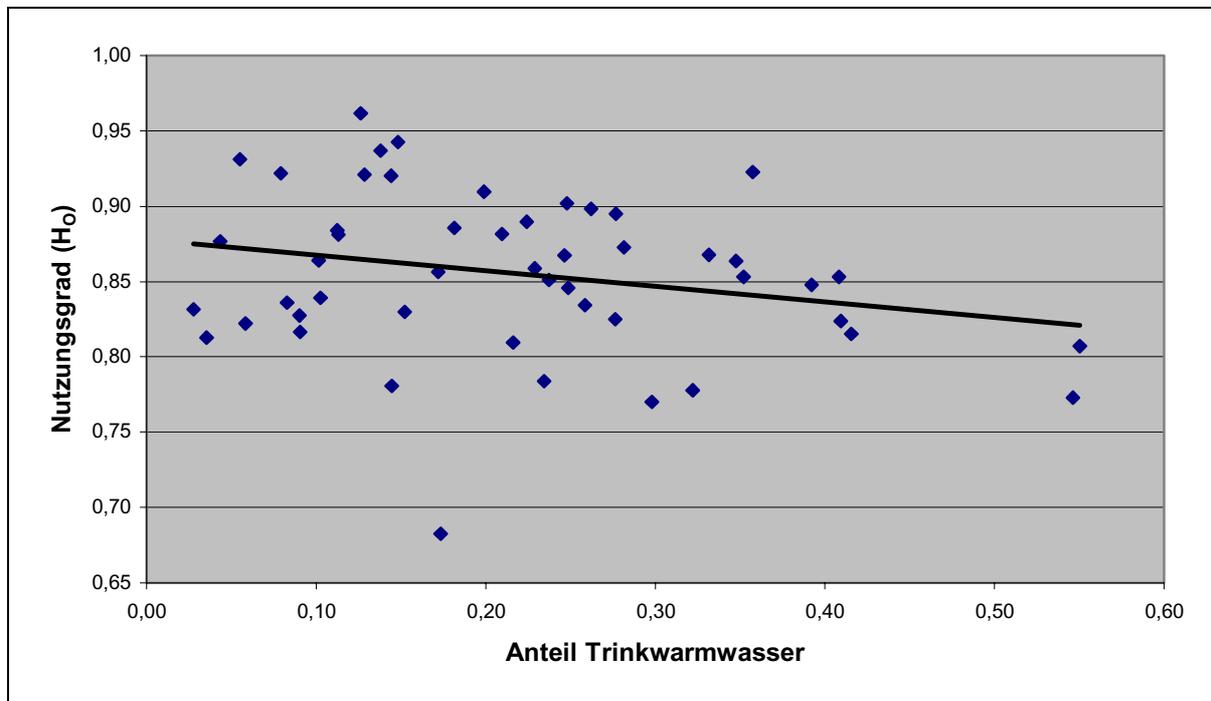


Abbildung 23: Nutzungsgrad über Trinkwarmwasseranteil (60 Anlagen)

Hierfür kommen folgende Ursachen in Frage:

1. Für die Trinkwarmwasserbereitung werden Vorlauftemperaturen von ca. 70°C benötigt, woraus sich Rücklauftemperaturen über dem Abgastaupunkt einstellen.
2. Bei den meisten Brennwertwandgeräten wird über ein Umschaltventil die gleiche Umwälzpumpe für die Heizungsanlage und die Trinkwarmwasserbereitung genutzt. Die Pumpe verfügt in den meisten Fällen über eine zu große Förderhöhe. Dies führt zu sehr kleinen Temperaturspreizungen und damit zu einer zu hohen Rücklauftemperatur, die der Brennwertnutzung entgegenwirkt.
3. Der Kessel muss im Sommer nur für die Trinkwarmwasserbereitung in Bereitschaft gehalten werden. Das Verhältnis von Nutzwärmemenge zu Bereitschaftsverlusten sinkt. Siehe Kapitel 6.1.4!

6.2 Einfluss verschiedener Anlagenkomponenten auf Nutzungsgrad und Energieverbrauch

Im Folgenden wird versucht, den Einfluss verschiedener Komponenten und Anlagenmerkmale, wie z.B. den Einsatz von Überströmventilen oder von geregelten Umwälzpumpen auf den Jahresnutzungsgrad und die Wärmeerzeugerverluste sowie zusätzliche besondere Einflüsse, die nicht direkt die Effizienz des Wärmeerzeugers betreffen, zu quantifizieren.

6.2.1 Gebäudealter

Bei der Mehrzahl der Gebäude handelt es sich um Bauten, die nach 1995 errichtet worden sind. Für diese Gebäude gilt der Dämmstandard der WSchV 95. Es fällt auf, dass bei den Gebäuden nach 1995 der Wärmeverbrauch für Raumheizung die Anforderung der WSchV 95 unterschreitet.

Zu berücksichtigen ist hierbei zusätzlich, dass in dem Verbrauch von durchschnittlich 65,7 kWh/(m²a) bereits die Verluste der Wärmeverteilung und der Wärmeübergabe enthalten sind. Der Grenzwert nach WSchV für den Heizwärmebedarf bei einem A/V Verhältnis von 0,8 m⁻¹ beträgt 86,5 kWh/(m²a).

	Einheit	Vor 1977	Nach 1977	Nach 1982	Nach 1995	Vor 1977 nachträglich gedämmt
Zahl der untersuchten Anlagen		1	4	3	34	8
Feuerungswärmemenge $Q_B (H_0)$	kWh	23101	75879	78509	560978	156860
Wärmemenge Raumheizung Q_{Nutz}	kWh	19606	59761	47279	371136	113979
Spezifische Wärmemenge Raumheizung	kWh/(m ² a)	163,4	108,7	82,8	65,7	95,9
Wärmemenge Trinkwarmwasser Q_{TW}	kWh	1686	4585	18076	11423	20063
Spezifische Wärmemenge Trinkwarmwasser	kWh/(m ² a)	14,1	8,2	34,4	20,5	17,6
Jahresnutzungsgrad $\eta (H_0)$	%	92,2	84,5	83,2	86,0	85,5
Spezifische Kesselverluste (H_0)	kWh/(m ² a)	15,1	20,8	24,7	13,8	20,2

Tabelle 15: Ergebnisse unter Berücksichtigung des Gebäudealters

Zu beachten bleibt jedoch, dass die hier verwendeten Verbrauchswerte nicht witterungsbereinigt wurden, so dass ein Vergleich mit den Bedarfswerten der Wärmeschutzverordnungen nur bedingt möglich ist. Wird der Verbrauch auf die in der Wärmeschutzverordnung 1995 angenommene Gradtagzahl $G_{t_{12}} = 3500 \text{ Kd/a}$ umgerechnet, ergibt sich ein durchschnittlicher Verbrauch von ca. 77 kWh/(m²a). Auch dieser Wert liegt noch deutlich unter dem Grenzwert der Verordnung.

Weiterhin ist der angenommene Flächenbezug zu berücksichtigen. Während die Wärmeschutzverordnung mit einer künstlichen Nutzfläche A_N rechnet, handelt es sich bei den Flächen des Messprogramms um Wohnflächenangaben der Hausbewohner. Die künstliche Nutzfläche A_N ist nach eigenen Auswertungen im Einfamilienhausbereich um ca. 25 % größer als die Wohnfläche A_{EB} . Da davon ausgegangen wird, dass bei der Flächenangabe der Hauseigentümer Ungenauigkeiten vorliegen, wird an dieser Stelle auf eine Flächenbereinigung verzichtet. Bei Flächenangaben ist jedoch immer auf eine genaue Angabe der Bezugsfläche zu achten.

Ein wichtiger Faktor für die geringen Heizenergieverbräuche liegt sicherlich darin, dass im Einfamilienhaus Teilbereiche der Nutzfläche nicht beheizt werden (z.B. Schlafräume, Flur, etc.). Im Nachweisverfahren der Wärmeschutzverordnung wird jedoch die gesamte beheizte Fläche in die Berechnung des Energiebedarfs mit eingerechnet.

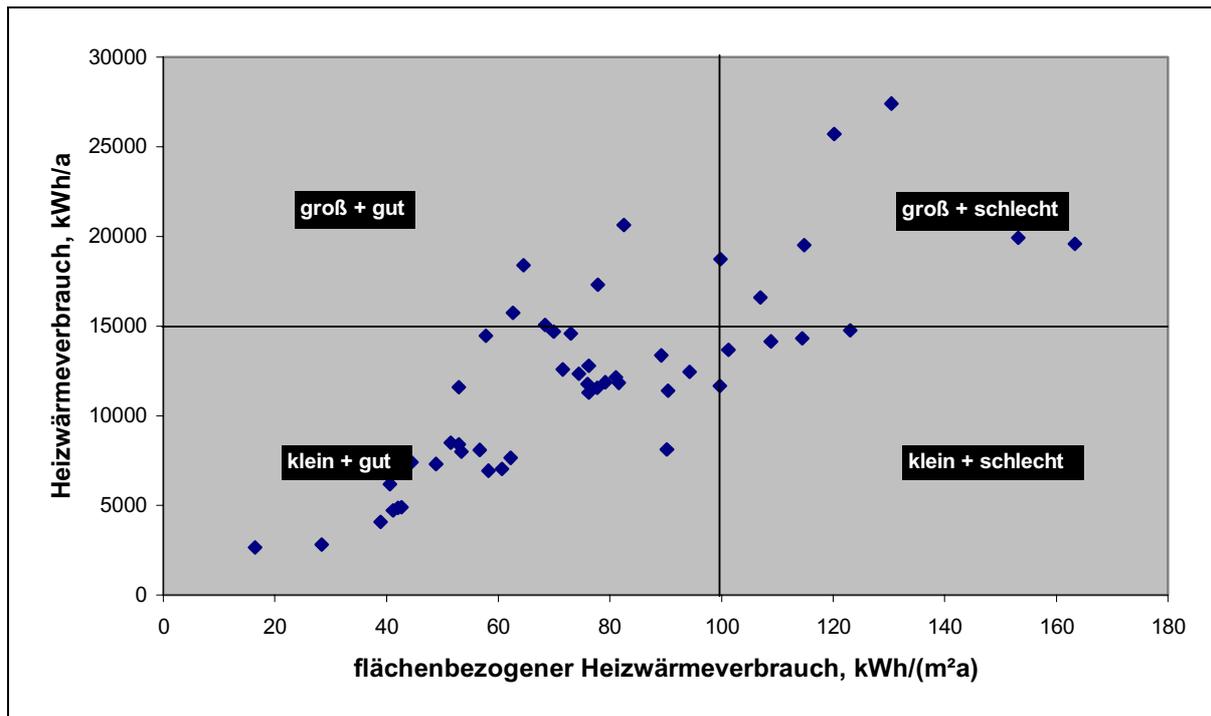


Abbildung 24: Heizwärmebedarf über spezifischem Heizwärmebedarf

In Abbildung 24 ist der Heizwärmeverbrauch über dem spezifischen, flächenbezogenen Heizwärmeverbrauch dargestellt. Aus dem Diagramm ist deutlich zu erkennen, dass es sich bei den meisten Anlagen um Gebäude mit gutem Dämmstandard handelt, also nicht um typische Bestandsgebäude. Optimierungen an der Wärmeerzeugeranlage werden bei diesen Gebäuden deshalb auch keine zu hohen Einsparpotentiale erschließen.

Zukünftig sollte das Augenmerk auf den Gebäudebestand gerichtet werden, bei dem Jahresendenergiebedarfswerte von 200 bis zu 400 kWh/(m²a) keine Seltenheit sind und damit große Einsparpotentiale realisierbar sind.

6.2.2 Aufstellort

Ein weiterer wichtiger Faktor für die Größe der Kesselverluste ist der Aufstellort des Wärmeerzeugers im Gebäude. Bedingt durch die unterschiedlichen Umgebungstemperaturen bei einer Aufstellung im unbeheizten Bereich oder im beheizten Bereich des Gebäudes ergeben sich auch unterschiedliche Wärmeverluste.

	Einheit	Unbeheizter Bereich	Beheizter Bereich
Zahl der untersuchten Anlagen		47 (47)	11 (12)
Feuerungswärmemenge $Q_B (H_0)$	kWh	914279	190675
Nutzwärmemenge Q_{Nutz}	kWh	791814	168717
Spezifische Nutzwärmemenge	kWh/(m²a)	106,1	88,8
Jahresnutzungsgrad $\eta (H_0)$	% (H_0)	86,6	88,5
Mittlere Kesselauslastung	%	9,0	9,4
Mittlerer Nutzungsgrad aus normiertem Energieaufwand	%(H_0)	85,3	89,2
Mittlerer Kesselwirkungsgrad η_K	%(H_0)	89,3	93,9
Mittlerer Bereitschaftsverlust	%(H_0)	0,46	0,56
Spezifische Kesselverluste (H_0)	kWh/(m²a)	16,6	12,9

Tabelle 16: Ergebnisse unter Berücksichtigung des Aufstellortes der Anlage

Die Wärmeverluste der Kessel im beheizten Bereich sind um ca. 3,7 kWh/(m²a) oder knapp 600 kWh/a geringer als bei den Anlagen, die im unbeheiztem Bereich des Gebäudes aufgestellt sind.

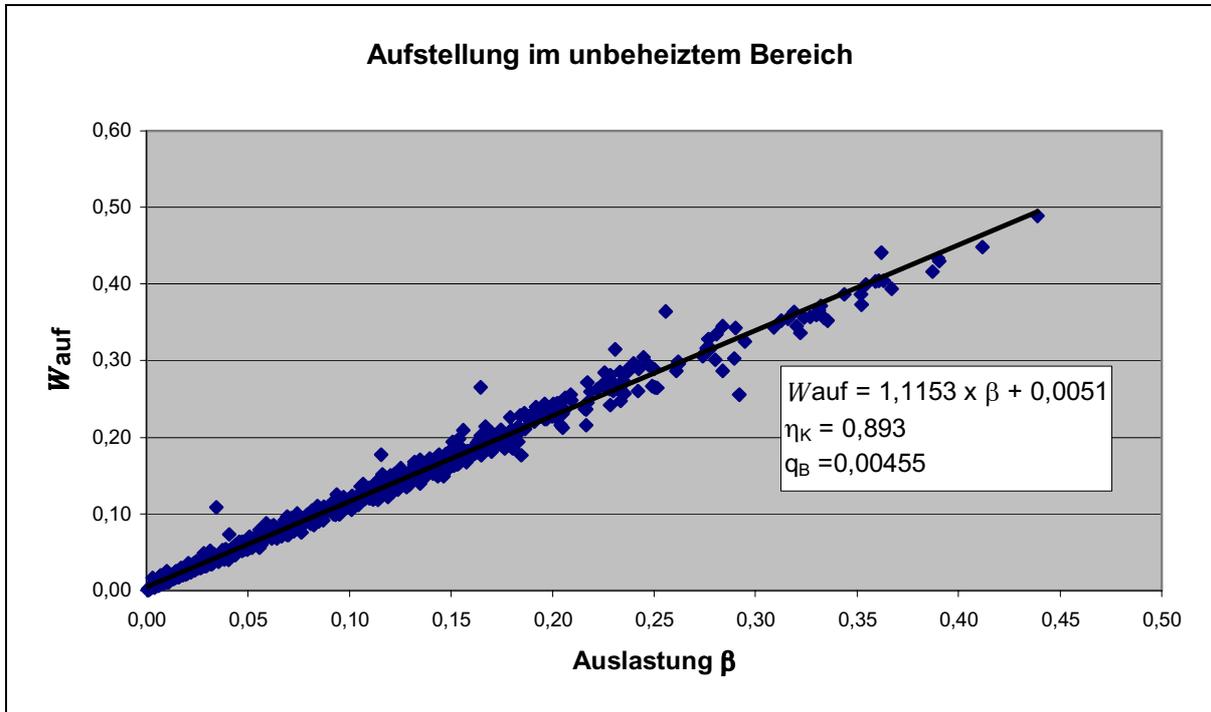


Abbildung 25: Normierter Aufwand über Auslastung (Aufstellung im unbeheiztem Bereich)

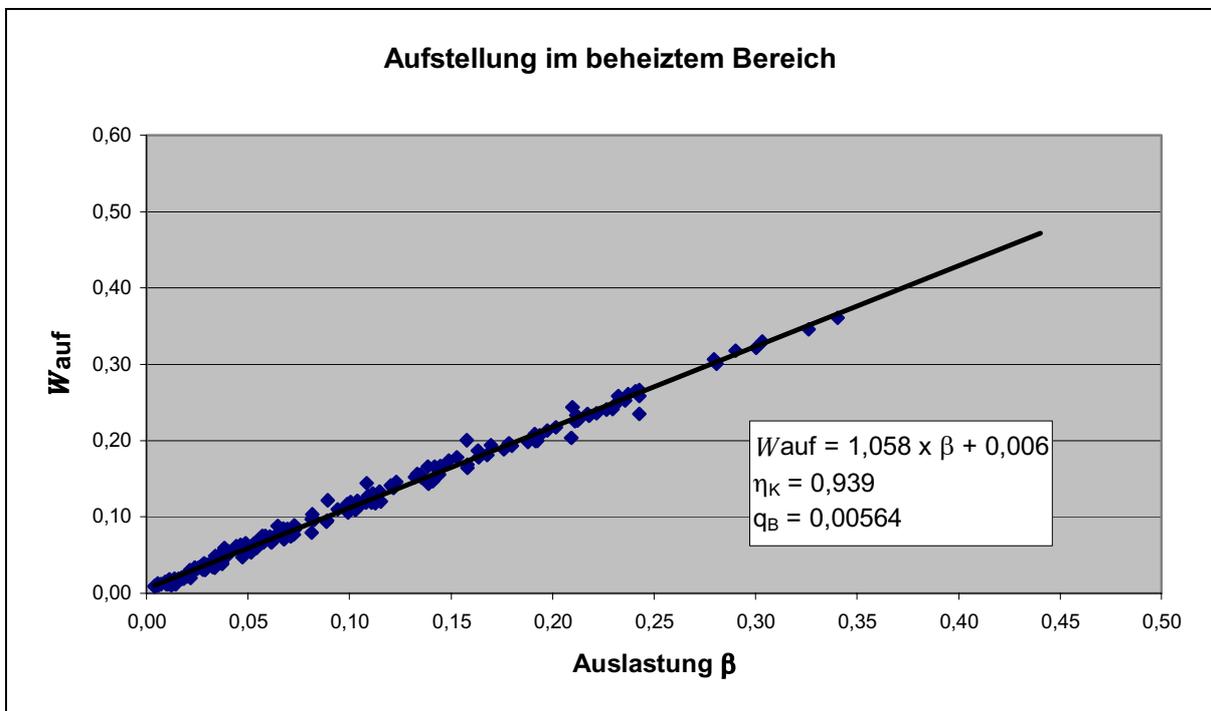


Abbildung 26: Normierter Energieaufwand über Belastung (Aufstellung im beheiztem Bereich)

6.2.3 Einfluss von Überströmventilen

Bedingt durch den geringen Wasserinhalt von Wandheizkesseln wird für viele wandhängende Brennwertkessel der Einbau eines Überströmventils (ÜV) zur Sicherstellung eines Mindestkesselvolumenstromes vorgeschrieben. Der mittlere Wasservolumenstrom in der Heizzeit liegt bei hydraulisch abgeglichenen Anlagen mit Thermostatventilen bei ca. 20 ... 30 % des Auslegungsvolumenstromes. Es kann davon ausgegangen werden, dass es in weiten Bereichen des Teillastbetriebes zu einem Öffnen des ÜV und damit zu einer ungewollten Rücklauftemperaturenhebung kommt. Diese erhöhte Rücklauftemperatur behindert die Kondensation der Abgase und bedeutet damit eine Minderung des Brennwertnutzens.

	Einheit	Ohne ÜV	Mit ÜV
Zahl der untersuchten Anlagen		23 (25)	35
Feuerungswärmemenge Q_B (H_0)	kWh	525462	579491
Nutzwärmemenge Q_{Nutz}	kWh	467753	492778
Spezifische Nutzwärmemenge	kWh/(m ² a)	114,9	93,4
Jahresnutzungsgrad η (H_0)	% (H_0)	89,0	85,0
Mittlere Kesselauslastung	%	0,10	0,08
Mittlerer Nutzungsgrad aus normiertem Energieaufwand	% (H_0)	87,7	84,6
Mittlerer Kesselwirkungsgrad η_K	% (H_0)	91,8	87,8
Mittlerer Bereitschaftsverlust	% (H_0)	0,53	0,34
Spezifischer Kesselverluste (H_0)	kWh/(m ² a)	14,3	17,0

Tabelle 17: Ergebnisse für Anlagen mit und ohne Überströmeinrichtung

Nach Tabelle 17 weisen die Anlagen mit Überströmeinrichtung einen niedrigeren Nutzungsgrad als die Anlagen ohne ÜV. Es kann also - durch die hohe Zahl der untersuchten Anlagen statistisch abgesichert - bestätigt werden, dass durch den Einsatz von Überströmeinrichtungen die Rücklauftemperatur angehoben und der Brennwertnutzen gemindert wird. Der mittlere Kesselwirkungsgrad ist bei den Anlagen mit Überströmventil um 4 Prozentpunkte schlechter.

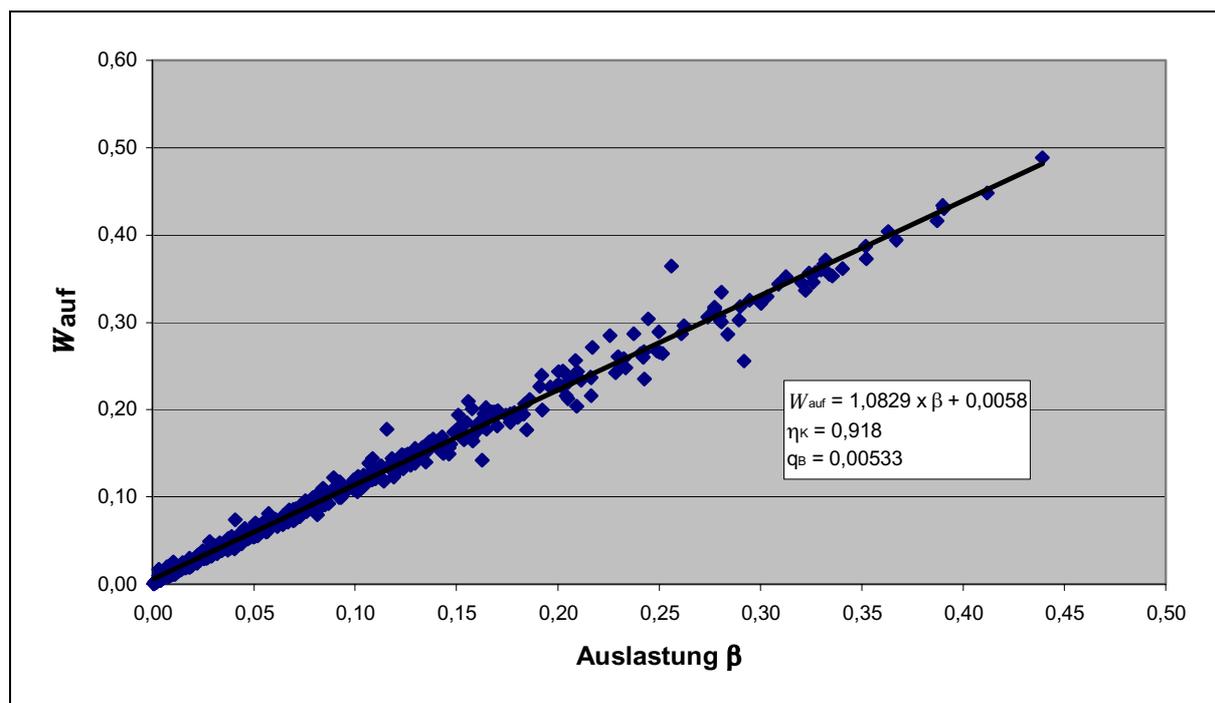


Abbildung 27: Normierter Energieaufwand über Auslastung (Anlagen ohne ÜV)

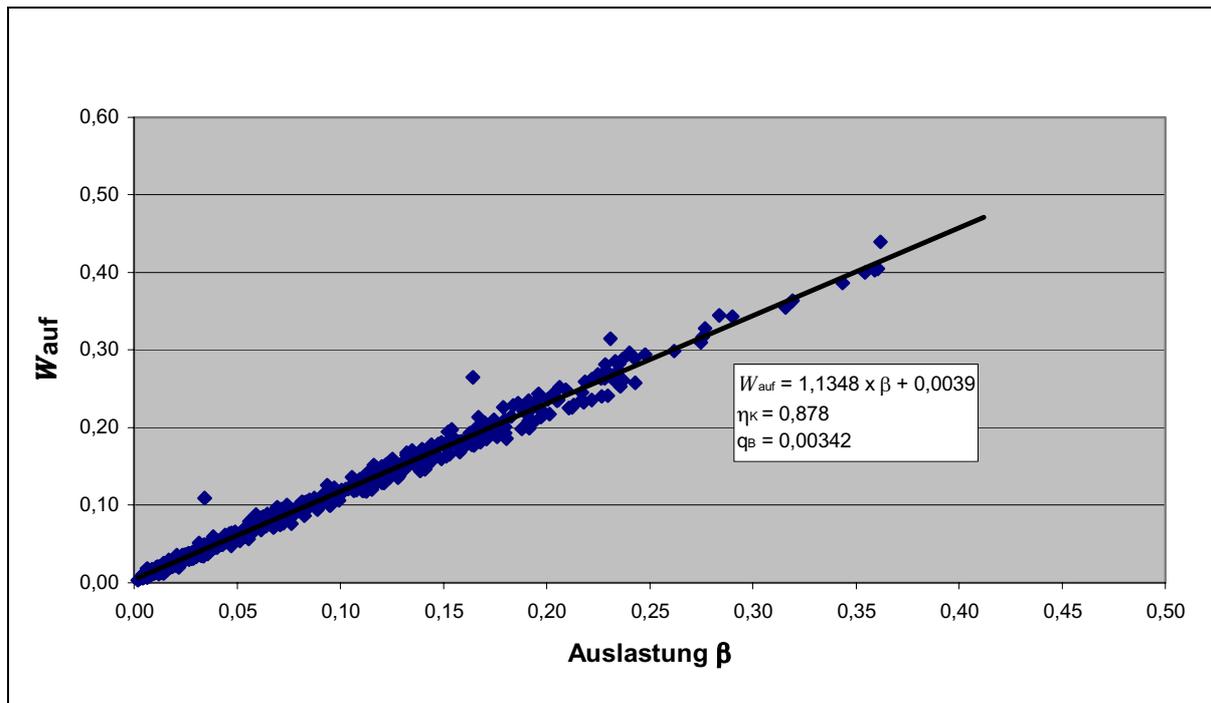


Abbildung 28: Normierter Energieaufwand über Auslastung (Anlagen mit ÜV)

In Abbildung 27 und Abbildung 28 sind die Funktionen des normierten Energieaufwandes für Anlagen mit und ohne Überströmeinrichtung dargestellt. Aus den Geradengleichungen kann zusätzlich der Nutzungsgradverlauf in Abhängigkeit von der Kesselbelastung dargestellt werden.

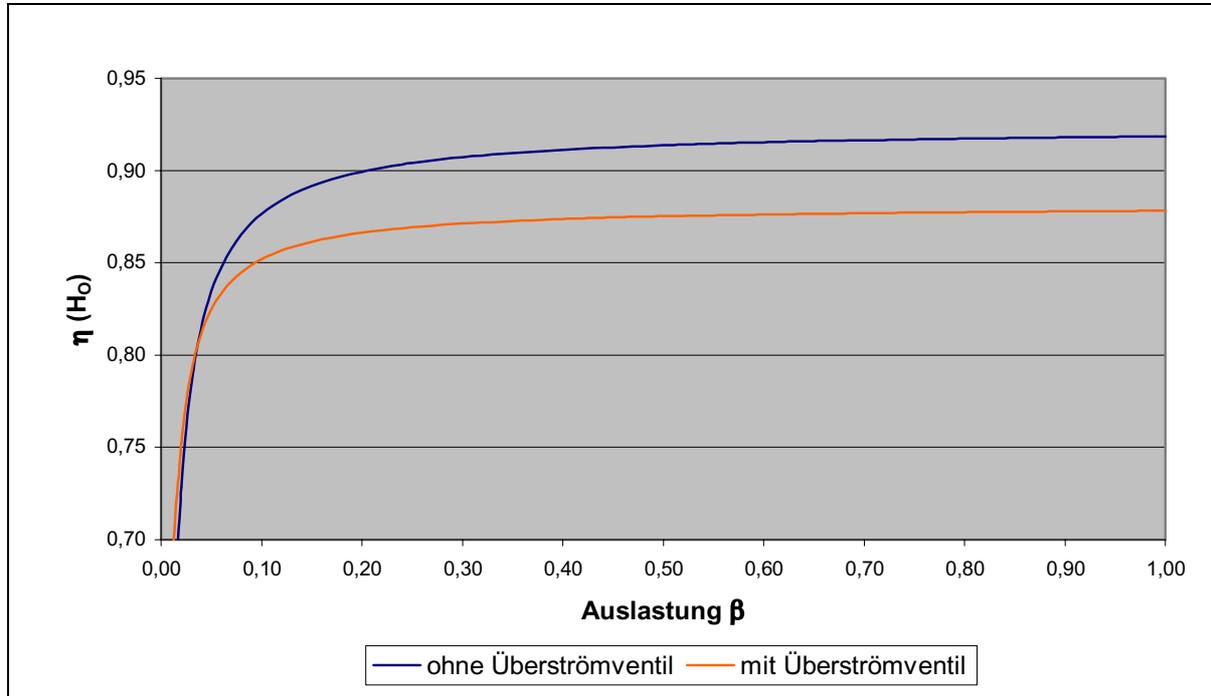


Abbildung 29: Nutzungsgrad abhängig von der Anlagenbelastung (Anlagen mit und ohne ÜV)

6.2.4 Im Kessel integrierte Umwälzpumpe

Durch den Einsatz von differenzdruckgeregelten Umwälzpumpen soll neben der Einsparung von elektrischer Hilfsenergie einer Rücklauffanhebung über das Überströmventil entgegengewirkt werden. Diese Tendenz kann anhand der in Tabelle 18 zusammengefassten Messwerte nicht bestätigt werden.

	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

Tabelle 18: Ergebnisse unter Berücksichtigung der Bauart der Umwälzpumpe

Die fest installierte Pumpe im Wandheizkessel stellt nach Meinung der Autoren eines der größten Probleme für den einwandfreien Betrieb der Heizungsanlagen da. Da die Geräte ein großes Spektrum von Anlagenvarianten abdecken sollen, und der Kesselmindestvolumenstrom auf jeden Fall zu gewährleisten ist, sind die Geräte in der Regel mit zu großen Pumpen ausgestattet; unabhängig, ob es sich um geregelte oder um ungeregelte Pumpen handelt.

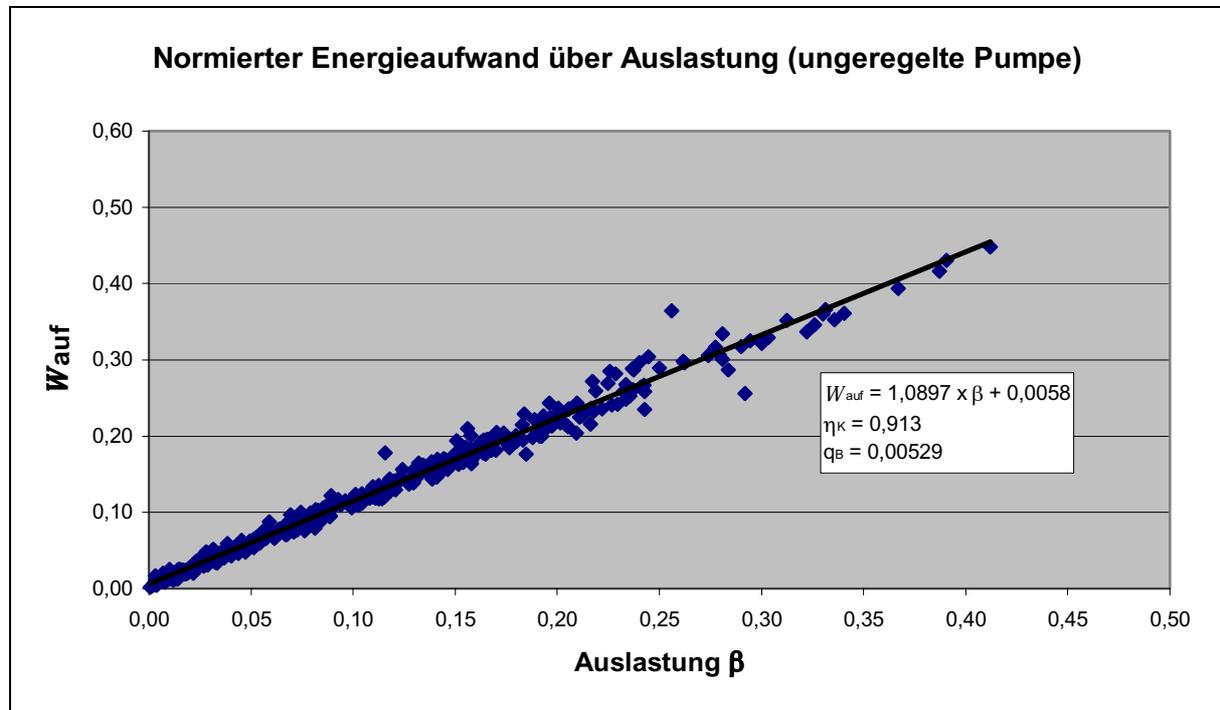


Abbildung 30: Normierter Energieaufwand über Auslastung (Anlagen mit unregelter Pumpe)

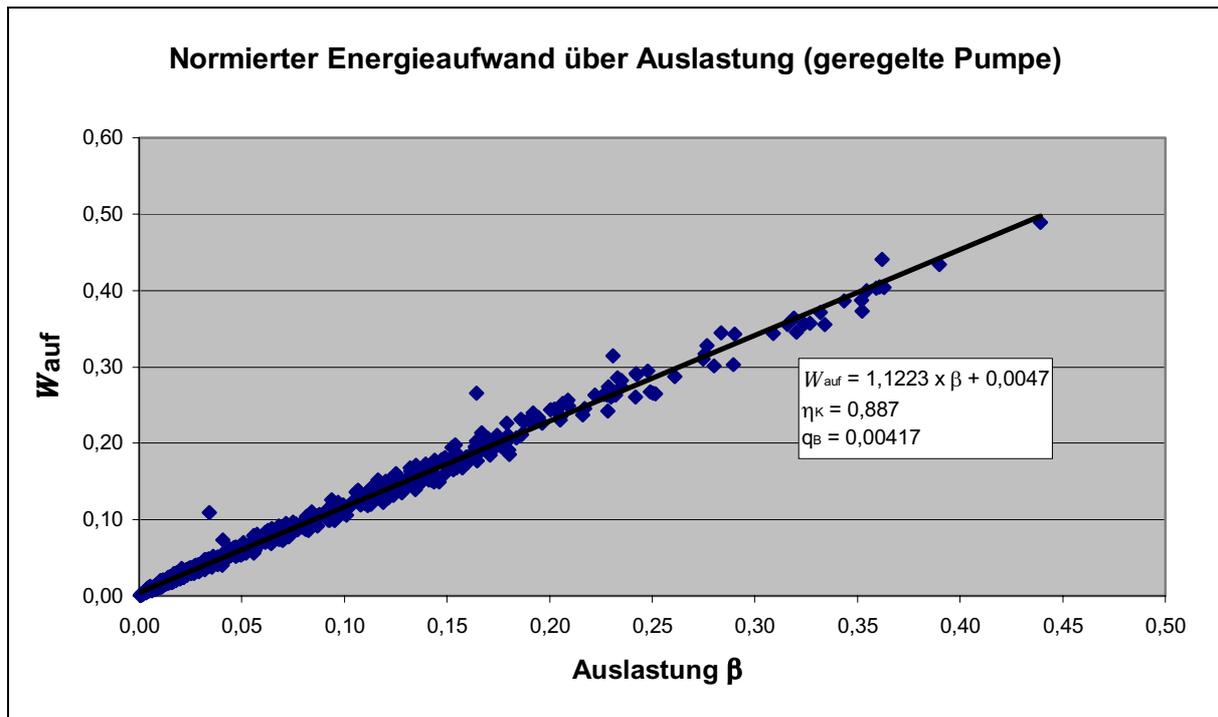


Abbildung 31: Normierter Energieaufwand über Auslastung (Anlagen mit geregelter Pumpe)

Das überraschende Ergebnis: Kessel mit geregelten Pumpen ergeben einen um etwa 2 ½ Prozentpunkte schlechteren mittleren Kesselwirkungsgrad und höhere Kesselverluste. Dies legt sogar die Vermutung nahe, dass die geregelten Pumpen in Kesselsystemen stärker überdimensioniert sind als die ungeregelten Pumpen oder dass die bei Einsatz geregelter Pumpen verwendeten neuartigen Regelalgorithmen noch nicht ausreichend in der Praxis erprobt sind.

Die Pumpförderhöhen, die zur Überwindung des Kessel- und des Netzwidestandes zur Verfügung stehen, liegen im Bereich bis zu 500 mbar. Diese Druckdifferenz ist für die Rohrnetze neuer Einfamilienhäuser viel zu groß und führt häufig zu Strömungsgeräuschen. Ohne eine Voreinstellung der Thermostatventile führt dies zu überhöhten Volumenströmen, und als Folge daraus zu erhöhten Rücklauftemperaturen.

Als Lösung bleibt nur die Möglichkeit des hydraulischen Abgleichs durch starke Voreinstellung der Thermostatventile und durch den nachträglichen Einbau eines Differenzdruckreglers, der den zur Verfügung gestellten Differenzdruck für die nachgeschaltete Anlage begrenzt. Dabei ergeben sich in der Praxis folgende Schwierigkeiten:

1. Bei 15 Anlagen wurde kontrolliert, ob eine Voreinstellung der Thermostatventile durchgeführt wurde. Es konnte festgestellt werden, dass bei keiner der Anlagen ein hydraulischer Abgleich durchgeführt wurde.
2. Bei Pumpenförderhöhen über 250 ... 300 mbar muss zur Einhaltung der Auslegungsvolumenströme soviel Druck über die Thermostatventile gedrosselt werden, dass es zu Strömungsgeräuschen kommen kann. Dies wurde von einigen Nutzern bestätigt.
3. Die am häufigsten eingesetzten Thermostatventile haben zu große k_V -Werte (Durchflusskennwert). Die Folge ist, dass bei der erforderlichen starken Voreinstellung ein instabiles Regelverhalten mit den Heizkörperventilen als Stellorganen

und damit nicht akzeptable Raumtemperaturschwankungen und im Mittel zu hohe Raumtemperaturen resultieren.

Aus diesen Gründen wird aus Sicht der Projektergebnisse von den Berichtsverfassern empfohlen, Wärmeerzeuger mit etwas größeren Kesselwasserinhalten, geringeren hydraulischen Widerständen und - wenn überhaupt erforderlich - mit kleineren Umwälzpumpen auszustatten und Thermostatventile an die geringen Volumenströme im Niedrigenergiehaus anzupassen. In vielen Fällen wäre es energetisch günstiger, die Umwälzpumpe extern und nicht im Kessel integriert, zu wählen.

6.2.5 Regelungstechnische Ausstattung

Bei den in diesem Projekt untersuchten Heizungsanlagen kommen drei verschiedene Regelungstypen zum Einsatz.

1. Referenzraumregelung/Raumtemperaturregelung: Bei dieser Regelungsvariante wird die Lufttemperatur eines Referenzraumes, zumeist des Wohnzimmers oder des Flurs, als Führungsgröße für die Regelung genutzt. Die Heizwassertemperatur wird nur durch einen Raum bestimmt.
2. Witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung: Über die Heizkurve wird der Außentemperatur eine Vorlauftemperatur zugeordnet. Durch Veränderung der Neigung und der Parallelverschiebung der Heizkurve können die Sollwerte der Vorlauftemperatur an das Heizsystem angepasst werden.
3. Witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung mit Raumaufschaltung: Bei dieser Variante handelt es sich um eine Kombination aus den beiden zuvor beschriebenen Regelungsvarianten. Hierbei kann die sich aus der Heizkurve der witterungsgeführten Regelung ergebende Vorlauftemperatur durch die tatsächliche Raumtemperatur eines Referenzraumes korrigiert werden. Der Einfluss dieser Raumtemperaturkorrektur wird jedoch begrenzt.

Aus Tabelle 19 geht hervor, dass die witterungsgeführte Regelung zu einem etwas günstigeren Nutzungsgrad und geringeren Kesselverlusten führt als die referenzraumgeführten Anlagen. Aufgrund der geringen Anzahl der referenzraumgeführten Anlagen kann diesem Ergebnis aber nur wenig Aussagekraft zugeschrieben werden.

	Einheit	Referenzraumregelung	Witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung	Witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung mit Raumaufschaltung
Zahl der untersuchten Anlagen		6	43	(10) 9
Feuerungswärmemenge Q_B (H_O)	kWh	86884	842256	175813
Nutzwärmemenge Q_{Nutz}	kWh	73137	735228	152166
Spezifische Nutzwärmemenge	kWh/(m ² a)	98,7	103,8	99,4
Jahresnutzungsgrad η (H_O)	% (H_O)	84,2	87,3	86,5
Mittlere Kesselauslastung	%	7,3	9,8	6,1
Mittlerer Nutzungsgrad aus normiertem Energieaufwand	% (H_O)	84,7	86,5	83,5
Mittlerer Kesselwirkungsgrad η_K	% (H_O)	91,4	90,0	88,3
Mittlerer Bereitschaftsverlust	% (H_O)	0,62	0,45	0,38
Spez. Kesselverluste (H_O)	kWh/(m ² a)	20,0	15,3	15,9

Tabelle 19: Ergebnisse unter Berücksichtigung der Regelungsart

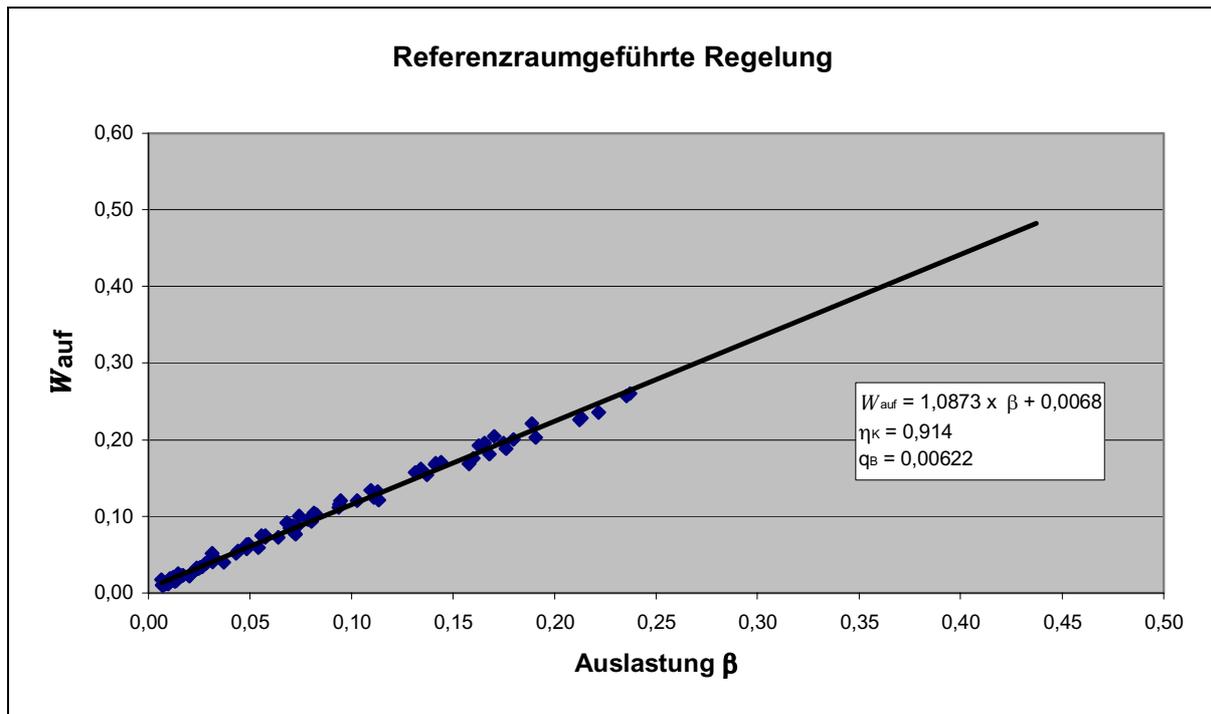


Abbildung 32: Normierter Aufwand über Auslastung (raumgeführte Regelung)

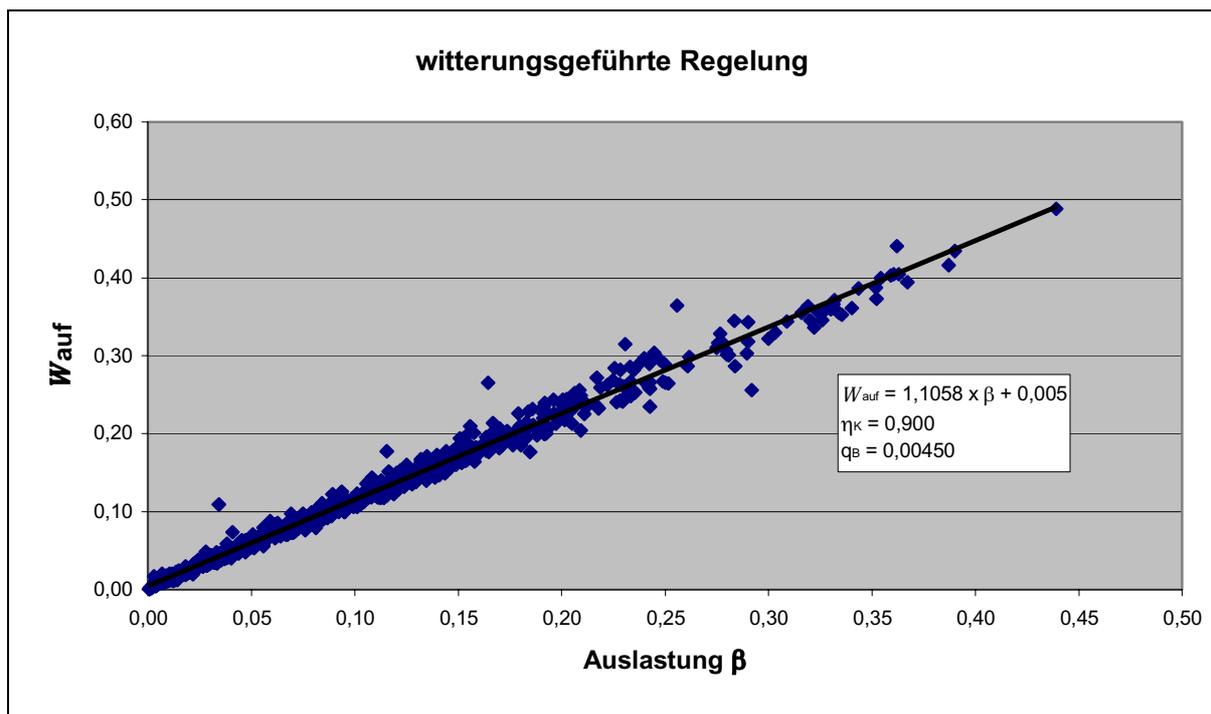


Abbildung 33: Normierter Aufwand über Auslastung (witterungsgeführte Regelung)

Bei diesem Ergebnis ist aber auch zu berücksichtigen, dass zusätzliche Merkmale die Kesseffizienz beeinflussen können. So besitzen alle Anlagen und Wärmeerzeuger mit Referenzraumgeführter Regelung auch ein Überströmventil, durch dessen Wirkung gleichzeitig eine verschlechterte Brennwertnutzung erfolgt.

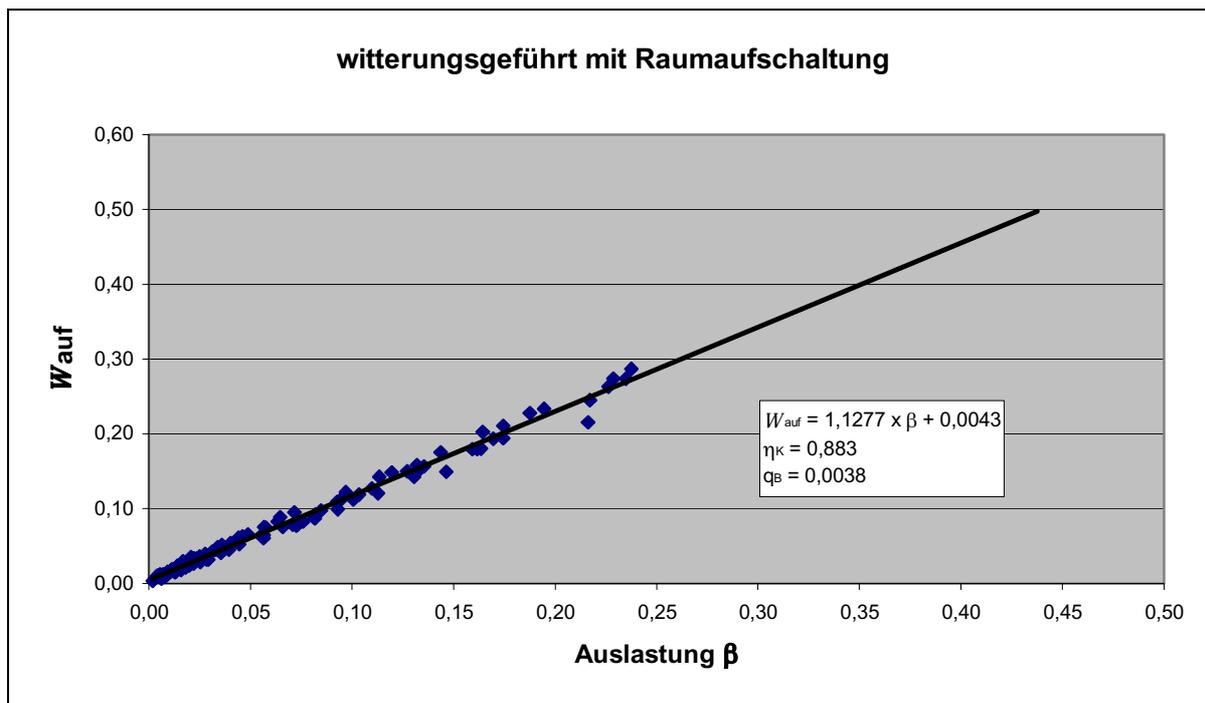


Abbildung 34: Normierter Aufwand über Auslastung (witt. Regelung mit Raumaufschaltung)

6.2.6 Art der Heizflächen

Leider sind nur drei der untersuchten Anlagen ausschließlich mit integrierten Heizflächen ausgestattet. Eine statistisch abgesicherte Aussage über die Auswirkung der Heizflächenart auf die Energieeffizienz des Wärmereizgers ist deshalb nicht möglich.

	Einheit	Freie Heizflächen	Integrierte Heizflächen	Freie und integrierte Heizflächen
Zahl der untersuchten Anlagen		40 (41)	3 (3)	15 (15)
Feuerungswärmemenge $Q_B(H_0)$	kWh	772847	68169	263938
Nutzwärmemenge Q_{Nutz}	kWh	667004	63190	230337
Spez. Nutzwärmemenge	kWh/(m ² a)	100,7	144,1	99,3
Jahresnutzungsgrad $\eta_{(H_0)}$	% (H ₀)	86,3	92,6	87,2
Mittlere Kesselauslastung	%	9,1	10,8	8,7
Mittlerer Nutzungsgrad aus normiertem Energieaufwand	% (H ₀)	85,6	90,4	86,4
Mittlerer Kesselwirkungsgrad η_K	% (H ₀)	89,8	91,5	90,3
Mittlerer Bereitschaftsverlust	% (H ₀)	0,49	0,16	0,43
Spez. Kesselverluste (H ₀)	kWh/(m ² a)	16,8	11,0	14,1

Tabelle 20: Ergebnisse unter Berücksichtigung der Art der Heizflächen

Vergleicht man in Tabelle 20 die Anlagen mit integrierten Heizflächen mit den Anlagen mit freien Heizflächen, ergeben sich für die integrierten Heizflächen ein geringerer Kesselverlust und ein höherer Nutzungsgrad. Integrierte Heizflächen von Fußboden- und Wandheizungen eignen sich besonders gut für die Brennwertnutzung. Aufgrund der niedrigen Systemtemperaturen können die Wasserdampfanteile im Rauchgas besser kondensieren. Auch die Anlagen, bei denen freie Heizflächen und Fußbodenheizung kombiniert sind, arbeiten mit geringeren Erzeugerverlusten als die Anlagen mit ausschließlich freien Heizflächen.

Auffallend ist der geringe spezifische Bereitschaftsverlust bei Wärmeerzeugern für ein Fußbodenheizsystem. Dies ist auf die geringen Heiz- und Kesselwassertemperaturen zurückzuführen. Ein erhöhter Pumpenergieaufwand für Fußbodenheizungen ist demgegenüber zu berücksichtigen.

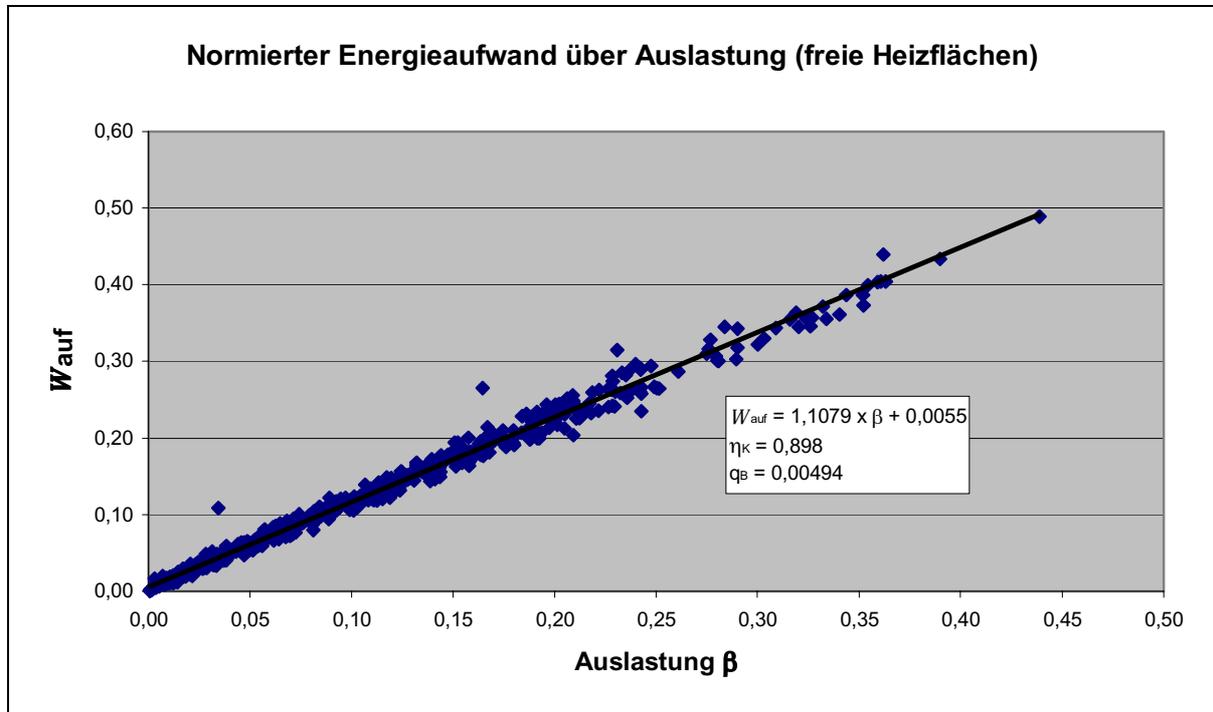


Abbildung 35: normierter Energieaufwand über Auslastung (freie Heizflächen)

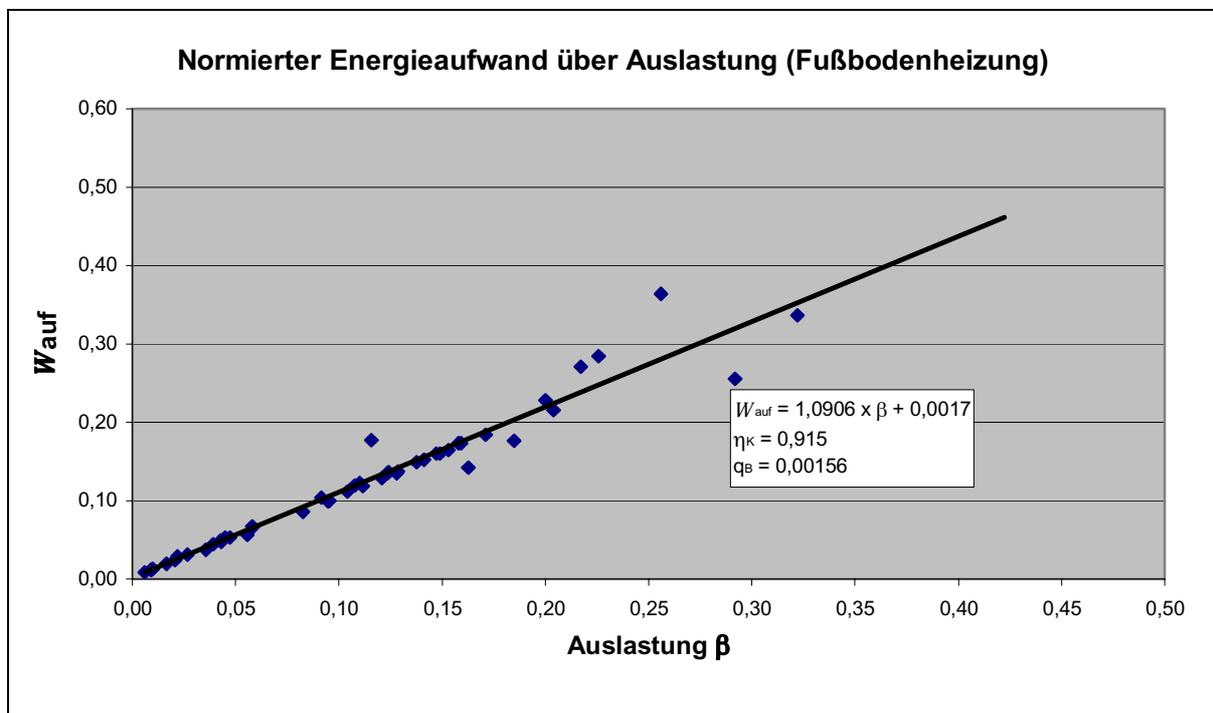


Abbildung 36: normierter Energieaufwand über Auslastung (integrierte Heizflächen)

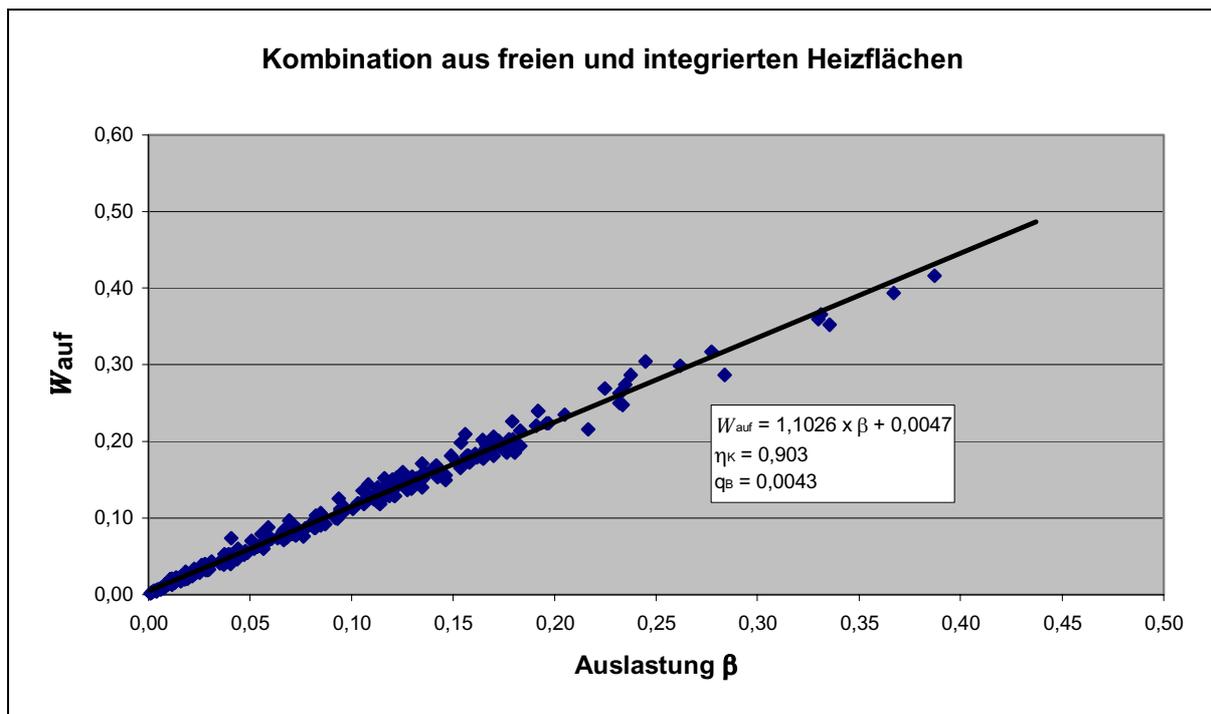


Abbildung 37: normierter Energieaufwand über Belastung (kombinierte Heizflächen)

6.2.7 Untersuchung baugleicher Kesselanlagen

Die Auswertung der Messwerte ergab, dass völlig identische Wärmeerzeuger sehr unterschiedliche Jahresnutzungsgrade und Wärmeverluste aufweisen. Die Ergebnisse für die Produkte der Firmen Buderus und Viessmann liegen in der gleichen Größenordnung, während die Kennwerte für die Vaillant-Geräte abfallen. Für letztere wird durchgehend der Einsatz von Überströmventilen empfohlen bzw. es sind diese Einrichtungen bereits im Gerät integriert.

Hierbei werden die drei am häufigsten eingesetzten Kesseltypen untersucht.

Anlage Nr.	$Q_{B(Ho)}$ kWh	Q_{Nutz} kWh	q_{Nutz} kWh/(m ² a)	$q_{Verlust(Ho)}$ kWh/(m ² a)	$\eta_{(Ho)}$ –	Kesselleistung kW	b_{VK} h/a
19	21890	21056	73,88	2,93	0,962	11	1914
66	9716	9176	71,69	4,25	0,944	6,7	1369
30	19437	17396	98,98	11,61	0,895	18,7	930
7	17772	15965	103,00	11,65	0,898	24	665
24	21082	18584	88,50	11,90	0,882	17	1093
31	12596	10654	71,03	12,95	0,846	11	967
18	19655	16051	80,26	18,02	0,817	21,4	750
4	13156	10232	85,98	24,57	0,778	24	426
17	21426	17612	113,63	24,61	0,822	24	733
Summe/ Mittel:	156730	136726		13,6	0,872		

Tabelle 21: Ergebnisse für Buderus GB 112

Anlage Nr.	Q _{B(Ho)} kWh	Q _{Nutz} kWh	q _{Nutz} kWh/(m ² a)	q _{Verlust(Ho)} kWh/(m ² a)	η _(Ho) –	Kesselleistung kW	b _{VK} h/a
16	26570	24513	97,48	8,18	0,923	15	1634
37	16268	15148	121,18	8,97	0,931	24	631
48	16242	14778	101,92	10,10	0,910	11	1331
33	12707	10913	68,64	11,28	0,859	24	455
15	24022	20957	95,26	13,93	0,872	20	1047
43	19438	16036	73,26	15,55	0,825	15	1069
10	34932	30885	147,07	19,27	0,884	18	1716
68	25145	21728	127,81	20,10	0,864	18	1207
13	15496	12819	109,56	22,88	0,827	24	534
44	25972	21712	167,02	32,76	0,836	18	1206
Summe/ Mittel:	190820	167777		16,3	0,879		

Tabelle 22: Ergebnisse für Viessmann Vitodens 300

Anlage Nr.	Q _{B(Ho)} kWh	Q _{Nutz} kWh	q _{Nutz} kWh/(m ² a)	q _{Verlust(Ho)} kWh/(m ² a)	η _(Ho) –	Kesselleistung kW	b _{VK} h/a
6	13966	12120	84,76	12,91	0,8678	14	866
20	16029	13303	89,89	18,42	0,8299	16	831
25	17148	14686	97,91	16,41	0,8564	20,2	727
52	14217	12053	80,35	14,43	0,8478	18	670
50	15718	12951	105,29	22,50	0,8240	19,4	668
58	9366	7991	69,49	11,95	0,8532	9	888
63	18165	15756	105,04	16,06	0,8674		
64	7554	6429	55,90	9,79	0,8510	9	714
Summe/ Mittel:	127659	108108		15,3	0,847		

Tabelle 23: Ergebnisse für Vaillant EcoTec

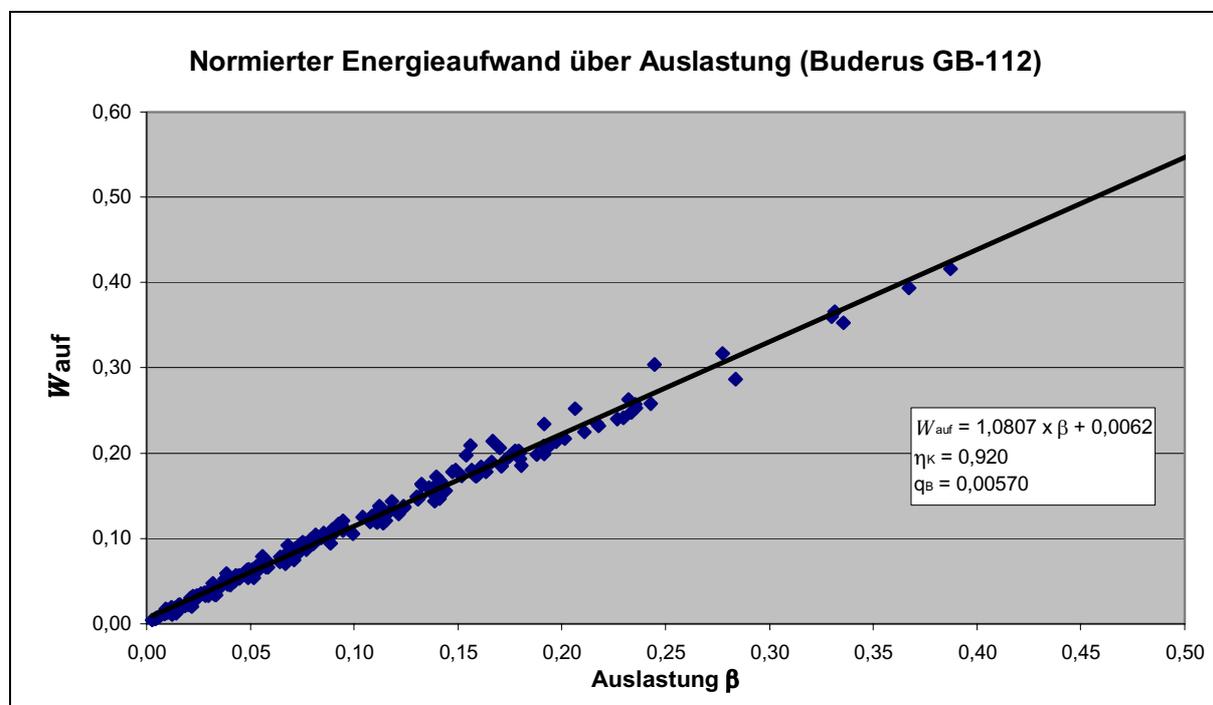


Abbildung 38: Normierter Aufwand über Belastung (Buderus GB-112)

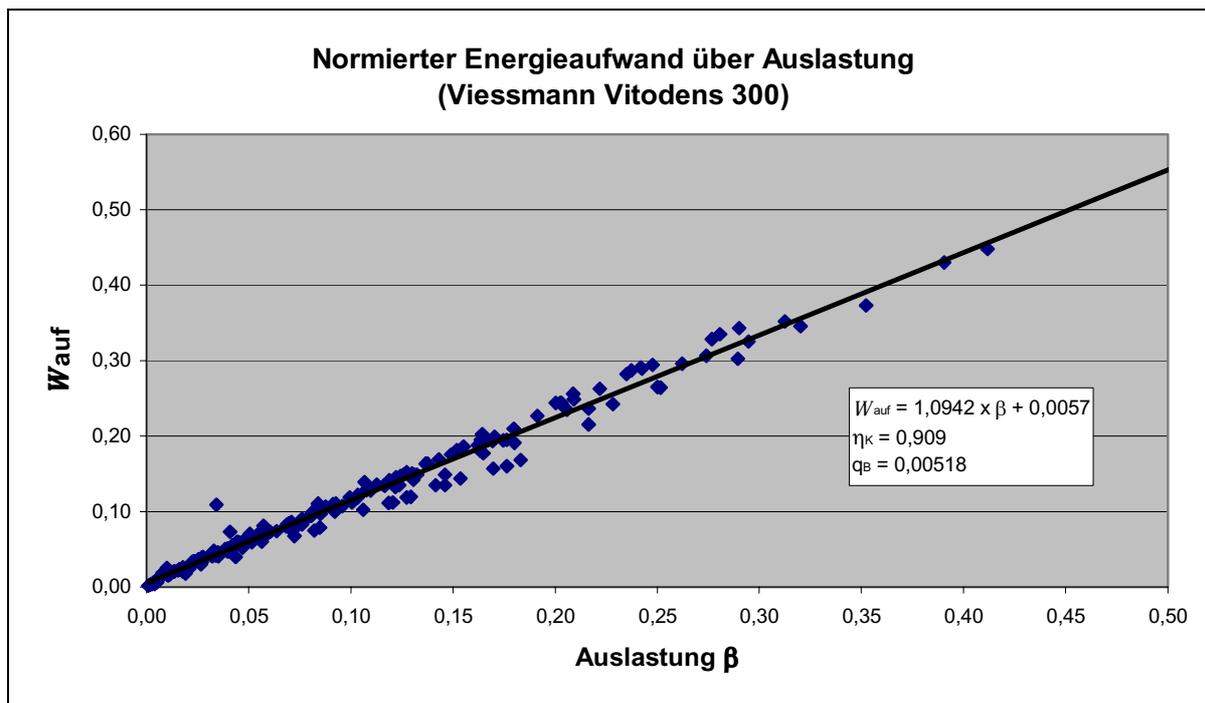


Abbildung 39: Normierter Aufwand über Belastung (Viessmann Vitodens 300)

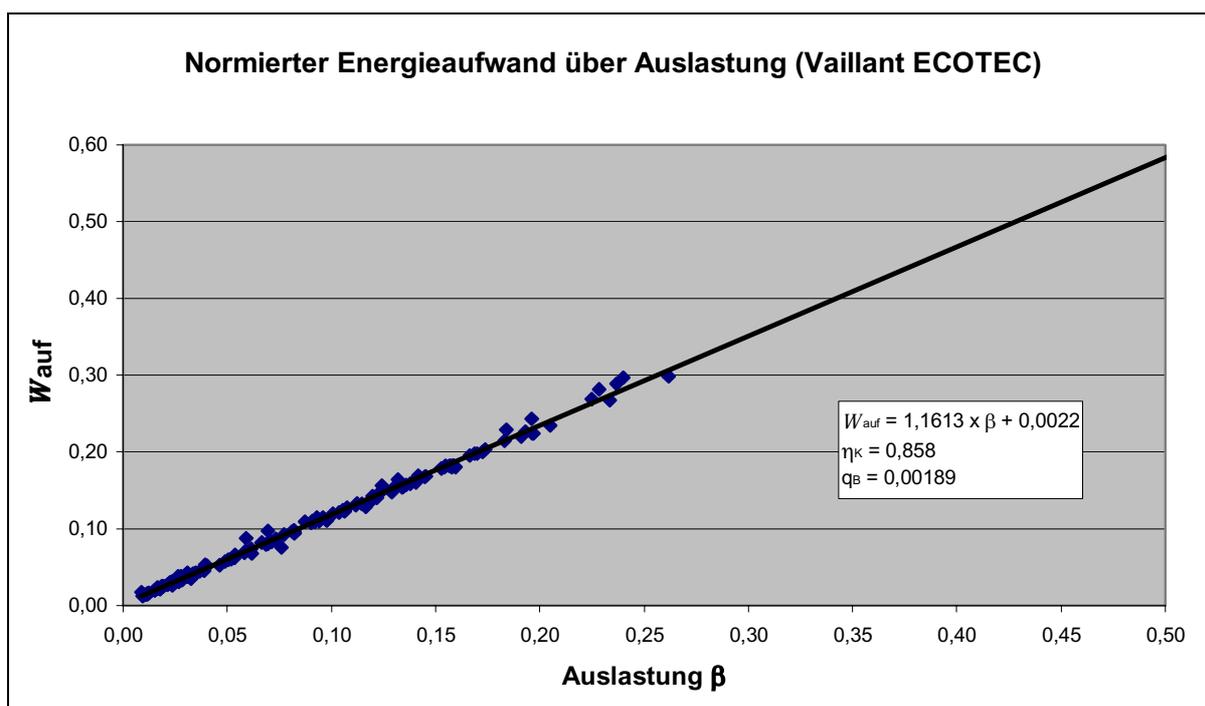


Abbildung 40: Normierter Aufwand über Belastung (Vaillant EcoTec)

Nachfolgend werden die drei Kesseltypen gegenübergestellt. Der aus den Messwerten des normierten Energieaufwandes rekonstruierte Nutzungsgradverlauf zeigt, dass die Kessel von Buderus und Viessmann bezogen auf den Nutzungsgrad etwa gleich gut sind, der Kessel von Vaillant jedoch in der Praxis schlechter abschneidet. Diese Aussage gilt jedoch nicht für die Flächenspezifischen Kesselverluste. Hier schneiden die Geräte der Fa. Viessmann – bei gleichzeitig höherer Nutzwärmeabgabe – schlechter ab.

	Einheit	Buderus GB112	Viessmann Vitodens 300	Vaillant ecoTec
Zahl der untersuchten Anlagen		9	10	8
Feuerungswärmemenge $Q_B (H_0)$	kWh	156731	216794	112163
Nutzwärmemenge Q_{Nutz}	kWh	136726	189489	95289
Spezifische Nutzwärmemenge	kWh/(m ² a)	87,5	110,9	86,1
Jahresnutzungsgrad $\eta (H_0)$	% (H ₀)	87,2	87,4	85,0
Mittlere Kesselauslastung	%	9,0	9,9	8,3
Mittlerer Nutzungsgrad aus normiertem Energieaufwand	% (H ₀)	87,0	86,8	84,2
Mittlerer Kesselwirkungsgrad η_K	% (H ₀)	92,0	90,9	85,9
Mittlerer Bereitschaftsverlust	% (H ₀)	0,57	0,52	0,19
Spezifischer Kesselverlust (H ₀)	kWh/(m ² a)	13,6	16,3	15,3

Tabelle 24: Gegenüberstellung der am häufigsten eingesetzten Wärmeerzeuger

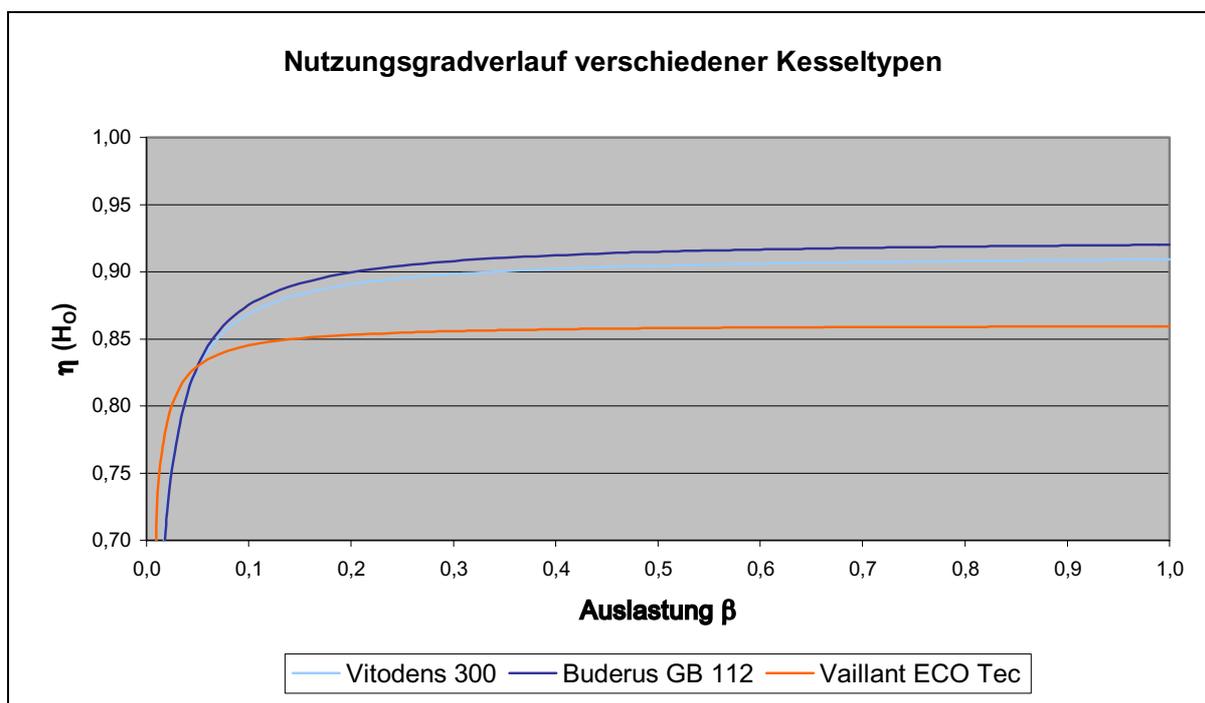


Abbildung 41: Nutzungsgradvergleich der am häufigsten eingesetzten Wärmeerzeuger

6.2.8 Einfluss von Zirkulationsleitungen

Der Einsatz von Zirkulationsleitungen im Einfamilienhaus wird in der Fachwelt sehr kontrovers diskutiert. Einerseits führt der Einsatz einer Zirkulationsleitung zu erhöhten Wärmeverlusten des Verteilnetzes, andererseits bedeutet der Verzicht auf eine Zirkulation eine oft vom Nutzer nicht akzeptierte Komforteinbuße. Die Auslaufverluste an den Zapfstellen stehen den Wärmeverlusten des Verteilnetzes gegenüber. Hinzu kommt die Diskussion, dass nur mit Zirkulationssystemen Legionellen – auch im EFH – vermieden werden können.

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

Tabelle 25: Gegenüberstellung der Anlagen mit und ohne Zirkulation

Aus Tabelle 4-2 ist erkennbar, dass die abgegebene Wärmemenge für die Trinkwarmwasserbereitung bei den Anlagen mit Zirkulation bedingt durch die erhöhten Wärmeverluste der Zirkulationsleitungen um ca. 9 kWh/(m²a) über den Anlagen ohne Zirkulation liegt. Dieser Wert liegt deutlich über dem Ansatz der DIN V 4701-10 [4], bei der von einem Zirkulationsverlust zwischen 5 kWh/(m²a) und 8 kWh/(m²a) ausgegangen wird.

Wird berücksichtigt, dass der Nutzwärmebedarf für die Trinkwarmwasserbereitung nach EnEV [5] lediglich 12,5 kWh/(m²a) beträgt, ist der Einsatz von zeitgesteuerten Zirkulationssystemen sehr kritisch zu beurteilen. 9 kWh/(m²a) sind 60 % des Heizwärmebedarfs eines Passivhauses. Zukünftig sollte versucht werden, durch günstige Platzierung des Wärmeerzeugers und optimierte Leitungsführung auf den Einsatz einer Zirkulationsleitung im Einfamilienhaus zu verzichten. Wird dennoch eine Zirkulation eingesetzt, bieten bedarfsgesteuerte Systeme, zum Beispiel über eine Taster-schaltung an der Zapfstelle, die beste Lösung.

6.2.9 Systeme mit Solarunterstützter Trinkwarmwasserbereitung

Ein Teil der untersuchten Brennwertanlagen ist mit einer thermischen Solaranlage zur Trinkwarmwasserbereitung ausgerüstet. Dieser Anteil entspricht "noch" nicht dem Durchschnittsanteil von Solaranlagen in Einfamilienhäusern. Die Nutzungsgrade und Wärmeverbräuche dieser Anlagen werden im Folgenden den Anlagen ohne Solarunterstützung gegenübergestellt.

In Tabelle 26 sind alle Brennwertanlagen erfasst. Die Anlagen mit solarer Unterstützung erreichen einen etwas schlechteren Jahresnutzungsgrad als die Anlagen ohne solare Trinkwarmwasserbereitung. Die spezifischen Wärmeverluste der Kessel sind aber nur um ca. 0,5 ... 0,8 kWh/(m²a) höher als bei den Anlagen ohne solare Trinkwarmwasserbereitung

	Einheit	Anlagen mit Solarunterstützung	Anlagen ohne Solarunterstützung
Zahl der untersuchten Anlagen		11 (11)	47 (46)
Feuerungswärmemenge $Q_B(H_0)$	kWh	177389	855416
Nutzwärmemenge Q_{nutz}	kWh	150968	743939
Jahresnutzungsgrad $\eta_{(H_0)}$	% (H ₀)	85,1	86,9
Mittlere Kesselauslastung	%	8,6	9,1
Mittlerer Nutzungsgrad aus normiertem Energieaufwand	% (H ₀)	86,0	85,9
Mittlerer Kesselwirkungsgrad η_K	% (H ₀)	89,2	90,2
Mittlerer Bereitschaftsverlust	% (H ₀)	0,37	0,50
Spez. Kesselverluste (H ₀)	kWh/(m ² a)	16,2	15,7

Tabelle 26: Gegenüberstellung der Anlagen mit und ohne solare Trinkwarmwasserbereitung

Die Auswertung der Monatswerte aller Solaranlagen ist in der Abbildung 42 dargestellt. Es wird deutlich, dass die Kessel meist mit sehr kleinen Auslastungen unter 20 % betrieben werden, und dadurch ein Abfall des Nutzungsgrades zu erklären ist. Die absoluten Kesselverluste sind aber nicht wesentlich höher als bei den Anlagen ohne solare Trinkwarmwasserbereitung.

Die Energieeffizienz der Wärmeerzeuger in den Anlagen mit solarer Trinkwarmwasserbereitung ist also nicht geringer als bei den Anlagen ohne solare Warmwasserbereitung.

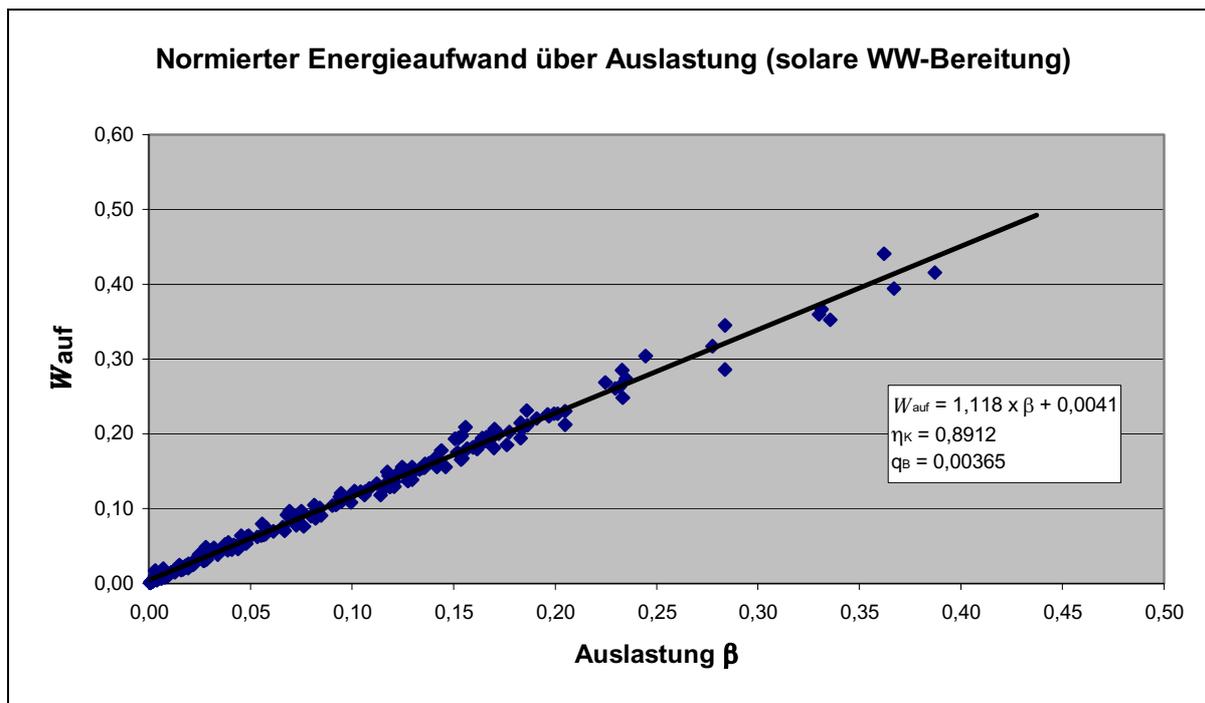


Abbildung 42: Normierter Energieaufwand über Auslastung (Anlagen mit solarer WW-Bereitung)

Da nicht bei allen Anlagen die Wärmemenge für Trinkwarmwasser einzeln erfasst werden konnte - teilweise wird die vom Kessel abgegebene Wärme für Raumheizung und Trinkwarmwasser über einen gemeinsamen Wärmemengenzähler gemessen - werden die Anlagen mit einer getrennten Erfassung noch einmal in Tabelle 27 dargestellt. Auch hier ergeben sich ein niedrigerer Nutzungsgrad und höhere Kesselverluste für die Anlagen mit Solarunterstützung.

(nur Anlagen mit separater Erfassung Warmwasser)	Einheit	Anlagen mit Solarunterstützung	Anlagen ohne Solarunterstützung
Zahl der untersuchten Anlagen		8	42
Feuerungswärmemenge Q_B (H_O)	kWh	141048	754282
Wärmemenge Raumheizung Q_H	kWh	107026	504735
Wärmemenge TWW	kWh	12414	146235
Spezifische Wärmemenge Raumheizung	kWh/(m ² a)	84,7	75,4
Spezifische Wärmemenge Trinkwarmwasser	kWh/(m ² a)	10,7	21,5
Jahresnutzungsgrad η (H_O)	% (H_O)	84,7	86,3
Spezifische Kesselverluste (H_O)	kWh/(m ² a)	16,7	15,9

Tabelle 27: Gegenüberstellung der Anlagen mit und ohne solare Trinkwarmwasserbereitung

Durch den Einsatz der Solaranlagen konnte der Aufwand für die Trinkwarmwasserbereitung um ca. 11 kWh/(m²a) reduziert werden. Bei den Anlagen ohne Solarunterstützung gibt der Kessel durchschnittlich 21,5 kWh/(m²a) zur Trinkwarmwasserbereitung ab. Daraus ergibt sich ein durchschnittlicher solarer Deckungsanteil von 51 %; das entspricht einer Wärmemenge von 25334 kWh/a für acht Anlagen, also durchschnittlich 3200 kWh/a je Anlage.

Weitere Detailauswertungen befinden sich in Anhang 10.11.

6.2.10 Einfluss der elektrischen Hilfsenergien

Bei der Bewertung von Heizungsanlagen wurde in der Vergangenheit der Einfluss der elektrischen Energien für den Antrieb von Pumpen und Ventilatoren sowie für den Betrieb der Elektronik des Wärmerzeugers nicht mit einbezogen. Bei alten Gebäuden mit sehr hohen Heizlasten war dies auch durchaus gerechtfertigt, da das Verhältnis zwischen elektrischer Hilfsenergie und benötigter Wärmeenergie so klein war, dass der Anteil des elektrischen Stroms vernachlässigt werden konnte. Mit besserem Dämmstandard der Gebäude und damit verbundenen kleineren Heizwärmeverbräuchen hat sich dieses Verhältnis jedoch stark verschoben. Diesem Sachverhalt trägt auch die Energieeinsparverordnung 2002 Rechnung, indem eine primärenergetische Betrachtung der elektrischen Hilfsenergien mit in das Nachweisverfahren einbezogen wurde.

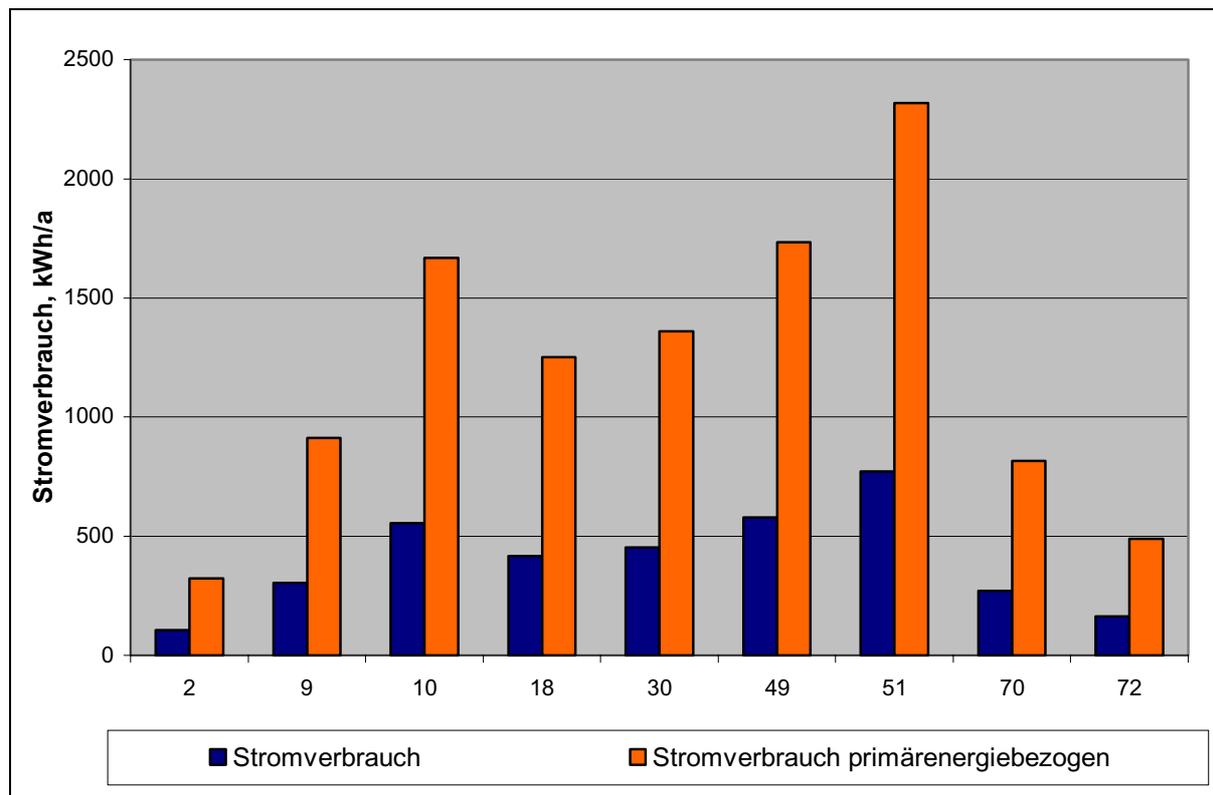


Abbildung 43: Stromverbrauch und Primärenergetisch bewerteter Stromverbrauch

Im Messprogramm wurden 7 Brennwertanlagen und 2 Niedertemperaturanlagen mit separaten Stromzählern für die Heizungsanlage ausgestattet. In Abbildung 43 ist der Stromverbrauch der Heizungsanlagen dargestellt. Bei den Anlagen 9 und 72 handelt es sich um Niedertemperaturkessel. Der Stromverbrauch wurde einer Primärenergiebewertung gemäß EnEV-2002 [5] unterzogen. Dabei wird der gemessene Stromverbrauch mit dem Primärenergiefaktor 3 bewertet, um so die Verluste bei der Gewinnung, der Umwandlung und dem Transport des Energieträgers zu berücksichtigen.

Die Anlagen mit dem größten Stromverbrauch 49 und 51 sind mit einer Solaranlage ausgestattet. Durch die zusätzlichen Pumpen für den Solarkreis stellt sich ein höherer Energieverbrauch ein. Dass dieser Verbrauch durchaus kritisch zu bewerten ist, zeigt sich in Abbildung 44 wenn der primärenergetisch bewertete Jahresnutzungsgrad der Anlagen mit dem Jahresnutzungsgrad ohne Berücksichtigung der elektrischen Hilfsenergien verglichen wird. Der Jahresnutzungsgrad fällt stark ab, wobei zu

berücksichtigen ist, dass nicht der gesamte Stromverbrauch dem Wärmeerzeuger zuzuschreiben ist, sondern dem Verteilnetz oder gegebenenfalls der Solaranlage anzurechnen ist. Bei der Berechnung des primärenergetischen Jahresnutzungsgrad wurde der Gasverbrauch mit dem Primärenergiefaktor 1,1, der Stromverbrauch mit dem Faktor 3 bewertet. Der primärenergiebezogene Nutzungsgrad berechnet sich nach folgender Gleichung:

$$\eta^P = \frac{Q_{\text{Nutz}}}{Q_B \cdot 1,1 + W_{\text{el}} \cdot 3} \quad \text{Gleichung 15}$$

mit:

- η^P primärenergiebezogener Jahresnutzungsgrad
- Q_{Nutz} abgeführte Nutzwärmemenge, in kWh/a
- Q_B zugeführte Brennstoffwärmemenge, in kWh/a
- W_{el} Elektrische Hilfsenergiemenge, in kWh/a

Anlage	2	9	10	18	30	49	51	70	72
Stromverbrauch, in kWh/a	108	304	556	417	454	578	772	271	163
Nutzwärmemenge thermisch, in kWh	5194	18129	30885	16051	17396	17793	16166	5877	5625
Verhältnis elektrischer Strom zu thermischer Energie in ‰	20,8	16,7	18,0	26,0	26,1	32,5	47,8	46,1	28,9

Tabelle 28: jährlicher Stromverbrauch der Heizungsanlagen

Aus Tabelle 28 ergibt sich für die Brennwertanlagen ein mittlerer Hilfsenergieaufwand von 2,9 kWh/(m²a) und für die Niedertemperaturanlagen von 1,6 kWh/(m²a). Diese Werte entsprechen in etwa den in der DIN V 4701-10 angegebenen Bedarfswerten.

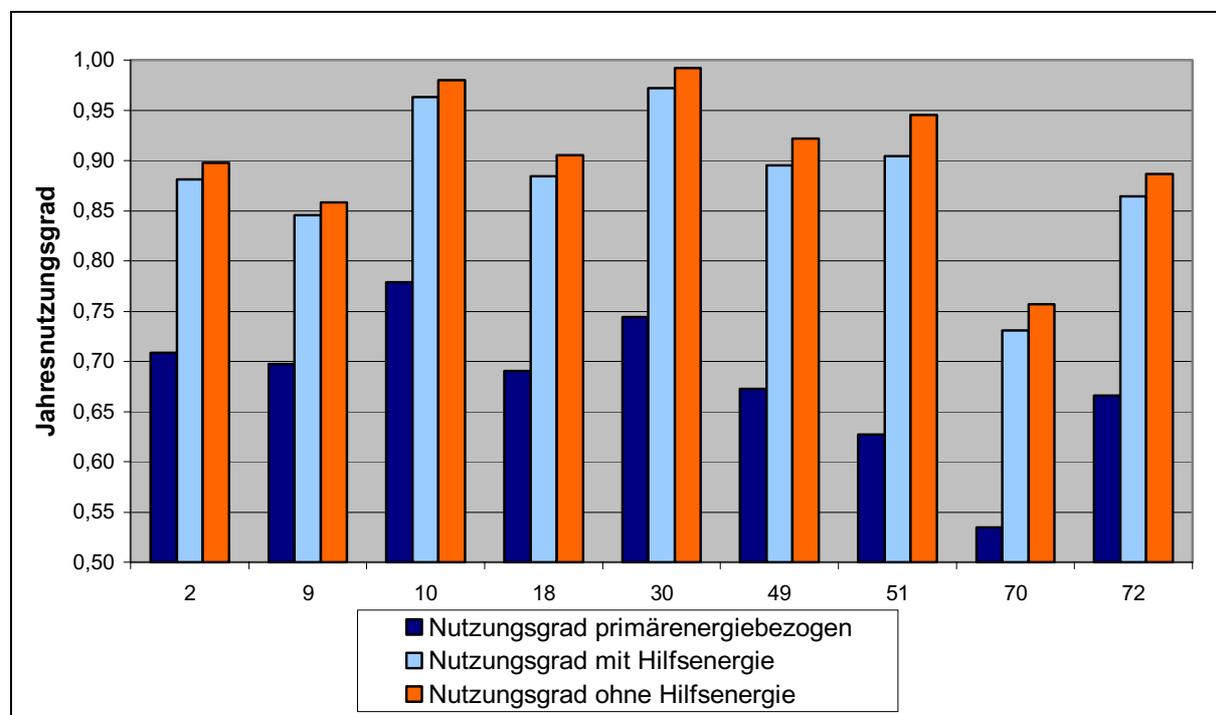


Abbildung 44: Jahresnutzungsgrad mit und ohne Hilfsenergie

6.3 Diskussion der Ergebnisse im Überblick

Die Auswertung zeigt, dass die Angabe des normierten Energieaufwandes bzw. der daraus abgeleiteten Größen des mittleren Kesselwirkungsgrades η_K und der mittleren Bereitschaftsverluste die geeignetste Art der Darstellung der Kesseleffizienz ist.

Die Angabe flächenbezogener Kennwerte ist immer mit dem Problem behaftet, die richtige Bezugsfläche zu wählen. Weiterhin ist der flächenbezogene Kennwerte nicht unabhängig vom Nutzen zu sehen. Ein flächenbezogener Verlust kann nur vergleichbar sein, wenn auch die Nutzwärmemenge in etwa gleich ist.

Die wichtigsten Einflussparameter auf die Kesseleffizienz sind die Wahl des Aufstellortes (4 % besserer mittlerer Nutzungsgrad bei Innenaufstellung) und der Einfluss von Überströmventilen (4 % höherer mittlerer Kesselwirkungsgrad ohne Überströmventil). Dies gibt Anlass, die künftige Wahl und Anordnung von Kesseln zu überdenken.

Weiterhin überraschend und nicht ohne weitere Untersuchungen erklärbar ist der um etwa 2,6 % verminderte Nutzungsgrad bei Geräten mit geregelter Umwälzpumpe verglichen mit Geräten mit regelten Pumpen.

Die Art der Heizflächen, der regelungstechnischen Ausstattung und der Einsatz von solarer Trinkwasserbereitung haben nach den Projektergebnissen untergeordneten Einfluss auf die Kessel- und Anlageneffizienzmerkmale. Reine Fußbodenheizungen ergeben bessere Nutzungsgrade, können aber auch höhere Nutzwärmeverbräuche im Vergleich zu Anlagen mit freien Heizflächen aufweisen.

Die Auswertung verschiedener Kesselfabrikate zeigt, dass die Kessel der Firmen Buderus und Viessmann einen etwa 2,7 % besseren mittleren Nutzungsgrad aufweisen als die Geräte von Vaillant. Hier bleibt es im Ermessen des Kunden seine Produktwahl zu überdenken. Die Autoren des Berichtes geben hier ausdrücklich keine Wertung ab.

Bei der Anlagenplanung ist ebenfalls zu bedenken: eine Zirkulation verursacht zusätzliche jährliche Wärmeaufwendungen von etwa 1450 kWh/a pro Gebäude. Auch der Hilfsenergieaufwand der hochverbrauchenden Brennwertkesselanlagen liegt höher als bei sparsamen Anlagen (gilt für Anlagen ohne Solartechnik).

7 Hinweise zur Qualitätssicherung und Optimierung

Im Folgenden werden aus den Projektergebnissen abgeleitete Regeln für die künftige Konstruktion, die Planung und den Betrieb von Brennwertkesselanlagen formuliert.

Empfehlungen an die Hersteller

Die heute überwiegend angebotenen und vertriebenen Geräte sind als Allroundgeräte konzipiert für:

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

Da beide Aufgaben mit nur einem Konstruktionsprinzip erfüllt werden sollen, weisen fast alle heute am Markt angebotenen Brennwertgeräte einen extrem niedrigen Kesselwasserinhalt auf. Nur so kann die Trinkwassererwärmung nach dem Durchflussprinzip einigermaßen komfortabel ohne zu lange Verzögerungszeiten gewährleistet werden.

Mit zunehmendem Dämmstandard neuer und nachträglich modernisierter Gebäude differiert in immer stärkerem Maße die Leistungsanforderung an die minimale und maximale Kesselleistung einerseits für die Raumheizung (im Einfamilienhaus 1 ... 6 kW) und für die Trinkwassererwärmung (mindestens 10 ... 12 kW beim Speicherprinzip, 18 ... 24 kW beim Durchflussprinzip).

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 Rücklauftemperaturenhebung 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.

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. 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

Zu unterscheiden sind Planungen für die Kesselmodernisierung im Bestand und für Neuanlagen. Es sollten jedoch grundsätzlich weitgehend einfache Anlagensystemkonzepte geplant werden, Kessel mit hohem Wasserinhalt bevorzugt und die Kessel soweit möglich im beheizten Bereich des Gebäudes angeordnet werden.

Im Bestand sind das vorhandene Rohrnetz sowie die Heizflächen in einer Ist-Analyse aufzunehmen. Hierzu wurden von den Verfassern Hilfen, u. a. auch mit Softwareunterstützung, im Rahmen der bereits angesprochenen Projekte: OPTIMUS und ProKlima entwickelt und bereits erfolgreich erprobt [9]. Wichtig ist die Anpassung der notwendigen Heizwassertemperaturen auf einem für das Gesamtsystem, v. a. für die Brennwertnutzung sinnvollen, möglichst niedrigen Temperaturniveau.

Im Neubau sollten nur noch einfache Heizsysteme: entweder nur Heizkörper oder nur Fußbodenheizflächen eingesetzt werden. Empfehlungen der Autoren für die Komponentenauslegung finden sich in [10]. Gesamtsysteme eines Herstellers, speziell auch für solarunterstützte Systeme und ein einfaches Gesamtregelkonzept sind zu bevorzugen.

Für Kessel mit ausreichendem Wasserinhalt und ohne Anforderungen an einen Mindestvolumenstrom werden Gesamtspreizungen des Heizkreislaufs von 15 ... 25 K (Vorlauftemperatur: 60 ... 70°C, Rücklauftemperatur: 40 ... 55°C) empfohlen. Für Kessel mit geringem Wasserinhalt können meist keine Gesamtspreizungen über 10 ... 15 K (Vorlauftemperatur: 50 ... 60°C, Rücklauftemperatur: 40 ... 55°C) eingestellt werden.

Zu achten ist weiterhin auf die Wahl eines Kessel mit einem möglichst hohen Modulationsbereich der in den Brennwertgeräten integrierten Brenner mit möglichst niedriger Grundlaststufe (unter 4 ... 5 kW) sowie auf eine getrennte Einstellung der Brenner-/Kessel-Leistungen für die Raumheizung und für die Trinkwarmwasserspeicherung.

Die Planung sollte eine Heizlastberechnung, eine Rohrnetzberechnung und eine Heizflächenauslegung mit den Plandaten für die Einstellung der Heizkurve am Kesselregler, für die Einstellung der Pumpförderhöhe und für den hydraulischen Abgleich (Voreinstellwerte für Thermostatventile) umfassen.

Bei der Wahl von Kesseln im kleinen Gebäude ist besonders auf geringe Bereitschaftsverluste und Pumpenstromaufwendungen zu achten, da die Kessel praktisch die gesamte Heizperiode hindurch in Betrieb bzw. größtenteils in Betriebsbereitschaft sind.

Grundsätzlich wird der Einbau eines Wärmemengenzählers nach dem Wärmeerzeuger als Kontrollinstrument für den späteren Betrieb empfohlen.

Empfehlungen für die Ausführung

Die Plandaten sind von den ausführenden Handwerkern einzustellen und in einer Fachunternehmererklärung zu bestätigen. Auch hier wird auf die im OPTIMUS/ProKlima-Projekt erarbeiteten Checklisten und Arbeitsformulare verwiesen. Zu achten ist v. a. auf die korrekte Einstellung der Heizkurve am Regler sowie die Anpassung der Pumpe und auf die Durchführung des hydraulischen Abgleichs, um niedrige Rücklauftemperaturen und einen geringen Pumpenergieverbrauch zu gewährleisten.

Empfehlungen für die Nutzung

Zusammen mit dem ausführenden Handwerksunternehmen ist der Kunde bei der Endabnahme über alle wesentlichen Geräte- und Bedienfunktionen zu informieren. Dies betrifft v. a. die Reglereinstellung (Heizpausen, Heizgrenztemperaturen, Sommerbetrieb) sowie die Bedienung der Thermostatventilregler.

Es ist grundsätzlich zu empfehlen, monatliche Verbrauchswerte regelmäßig zu erfassen und damit Verbrauchskontrollen zu ermöglichen. Auf das typische Verschwendungspotential zu hoher Raumtemperaturen, dauernd gekippter Fenster, v. a. in der Übergangszeit, ist deutlich hinzuweisen. Weitere Hinweise finden sich in [9].

8 Fazit und Ausblick

Das Projekt hat deutlich bestätigt, dass die häufig angegebenen Normnutzungsgrade von Brennwertkesselanlagen im Praxisbetrieb unter den in klassischen Heizungsanlagen vorliegenden Randbedingungen nicht zu erreichen sind.

Die typische Anlage der untersuchten Gebäude weist einen mittleren Bereitschaftsverlust von $q_B = 0,5 \%$ oder ca. 100 W auf. Der mittlere Wirkungsgrad beträgt 90 % (H_0). Da die Anlagen aber im Mittel nur zu 9 % ausgelastet sind, ergibt sich ein durchschnittlicher Jahresnutzungsgrad von etwa 86 % (H_0).

Nach Meinung der Verfasser sind zusammengefasst die wesentlichen Gründe für die in der Praxis und in diesem Feldprojekt bestätigten zu niedrigen Nutzungsgrade in folgenden Ursachen zu suchen:

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 Rücklauftemperaturenanhebung und damit zu einer Minderung des Brennwertnutzens.
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 Temperaturspreizungen, 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.

Weiterhin lässt sich aus den Messwerten ableiten, dass der Jahresnutzungsgrad bei sinkendem Wärmeverbrauch kleiner wird, obwohl die absoluten Wärmeverluste des Erzeugers sinken. Als Folge erreicht die gleiche Kesselanlage in einem Niedrigenergiehaus einen niedrigeren Jahresnutzungsgrad als in einem Altbau.

In Zukunft sollten zur Bewertung der Effizienz der normierte Aufwand bezogen auf die mittlere Kesselleistung bzw. die daraus abgeleiteten Größen: mittlerer Kesselwirkungsgrad und mittlerer spez. Bereitschaftsverlust sowie für Vergleiche mit Verordnungswerten und für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen parallel flächenbezogene Verlustkennwerte anstelle von Nutzungsgraden und Aufwandzahlen herangezogen werden.

Die mittleren, auf die beheizte Wohnfläche bezogenen Wärmeerzeugerverluste von Brennwertkesseln liegen mit ca. 15 ... 16 kWh/(m² a) in der gleichen Größenordnung wie der gesamte Raumheizwärmebedarf eines Passivhauses. Die Wärmeabgabe von Trinkwarmwasser-Zirkulationsleitungen und von Heizwasserleitungen liegt mindestens noch einmal in der gleichen Größenordnung.

Sinnvoller als eine Bewertung von Einzelkomponenten des Heizsystems ist eine energetische Gesamtbilanzierung der Heizungsanlage im Zusammenspiel mit dem Gebäude und seiner Nutzung. Gebäude, Technik und ihr Komplexitätsgrad sowie Regelung und Nutzung müssen zueinander passen!

Bei aller Kritik an den untersuchten Brennwertanlagen soll an dieser Stelle noch mal darauf hingewiesen werden, dass die als Referenzanlagen betrachteten Niedertemperaturanlagen deutlich höhere Wärmeverluste aufweisen; auch hier werden die angegebenen Normnutzungsgrade nicht erreicht.

Sehr unterschiedliche Ergebnisse ergibt die detaillierte Betrachtung der thermischen Solaranlagen. Während ein Teil der Anlagen einwandfrei arbeitet, gibt es Anlagen, die praktisch keinen Nutzen erzeugen. Ursachen hierfür sind in einer mangelnden Wartung und in einer nicht auf die Solartechnik angepassten Kesselregelung zu finden. Um dem Anlagenbetreiber eine ständige Funktionskontrolle der Solaranlage zu ermöglichen, sollte ein Wärmemengenzähler im Solarkreis auf jeden Fall vorgesehen werden.

Ausblick

Aus der vorliegenden Untersuchung geht hervor, dass es nicht ausreicht, den Wärmeerzeuger oder andere Komponenten der Heizungsanlage einzeln zu betrachten und zu bewerten. Nur die Optimierung des Gesamtsystems im Zusammenspiel mit Gebäudedämmstandard und Nutzerprofil kann zu besserer Energieausnutzung und zu einwandfreier Funktion der Heizungsanlage führen. Weiterhin kann aus den trotz überhöhter Wärmeerzeugerverluste erreichten niedrigen Energieverbräuchen im Neubaubereich abgeleitet werden, dass im Sinne der Energieeinsparung das Augenmerk zukünftig auf den Gebäudebestand zu richten ist.

Hier besteht die Gefahr, dass durch reine Bedarfsrechnungen mit entsprechenden Normen und Richtlinien zu optimistische Einsparungen vorausberechnet werden, die in der Praxis nicht oder nur unter idealen Randbedingungen erreicht werden. In dem parallel von der DBU geförderten Projekt zur Erstellung einer Kennwerte-Datenbank sollen deshalb mit dem Verfahren des normierten Energieaufwands und mit Auswertungen zum tatsächlichen Nutzenergieverbrauch des Gebäudes reale Kennwerte für folgende Gebäude- und Anlagendaten nach den verschiedenen Merkmalen (Gebäude- und Anlagenstandard) gesammelt werden:

Bereich			Kennwert	
Gebäude	Nutzung	Anlage	Transmissionswärmeverluste	mittlerer U-Wert der Gebäudehülle
			Lüftungswärmeverluste	mittlere Luftwechsel n in der Kernheiz- und in der Übergangszeit
		Anlage	Fremdwärmegewinne	Solare, innere Fremdwärme und Gewinne aus Anlagentechnik
			Verteilverluste	Heiz- und Trinkwarmwasserleitungen
			Wärmeerzeugerverluste	Mittlere Belastung nach der Außentemperatur, mittlerer Kesselwirkungsgrad, mittlerer Bereitschaftsverlust aus normiertem Aufwand

Tabelle 29: Gebäude- und Anlagenmerkmale

Hierdurch soll zukünftig v. a. das Einsparpotential durch Qualitätssicherungsmaßnahmen sowohl auf der Bau- als auch auf der Anlagenseite quantifiziert werden können.

Das seit Oktober 2002 laufende Forschungs- und Qualifizierungsprojekt OPTIMUS, gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, befasst sich in diesem Zusammenhang mit Möglichkeiten der Optimierung bereits bestehender Heizungsanlagen. Gerade hier, bei Primärenergieverbräuchen im Altbau von bis zu 400 kWh/(m²a), liegt ein enormes Einsparpotential.

Neben anderen Ein- und Mehrfamilienhäusern wurden auch 15 Heizungsanlagen aus der vorliegenden Brennwertkesseluntersuchung in das OPTIMUS-Projekt überführt. Bei OPTIMUS handelt es sich nicht nur um ein Messprogramm, sondern anhand einer detaillierten Gebäude- und Anlagenbegutachtung und auf Basis einer vereinfachten Rohrnetz- und Heizlastberechnung werden Optimierungsmaßnahmen entwickelt und umgesetzt. Das erwartete Einsparpotential wird durch Messung der Heizwärmemengen vor und nach der Optimierung empirisch ermittelt und quantifiziert.

Ein wesentlicher Bestandteil des Projektes liegt in der gezielten Qualifizierung der beteiligten Handwerksfirmen. Die Handwerksfirmen sollen dabei in Schulungen die notwendigen Kenntnisse für die Datenaufnahme, die Durchführung der Berechnungen bis hin zur eigentlichen Optimierung der Anlagen erlangen. Die Arbeiten werden flankiert von verschiedenen Maßnahmen zur Öffentlichkeitsarbeit, damit die gewonnenen Erkenntnisse möglichst schnell allgemein verbreitet werden und insbesondere Multiplikatoren, wie Berufsschulen, Innungen sowie Umweltverbände etc. darüber informiert und geschult werden.

Nach Meinung der Autoren lässt sich nur durch diesen ganzheitlichen Ansatz ein energiesparender Betrieb von Anlagen zur Raumheizung und Trinkwarmwasserbereitung realisieren.

Geplante Veröffentlichungen

Die Ergebnisse dieses Projektes werden in Form von Fachartikeln und anderen Publikationen veröffentlicht. Zu nennen wären hier die geplante Veröffentlichung in den Fachzeitschriften TGA Fachplaner (Fachplaner) und SBZ (Handwerk).

Des Weiteren wird der Bericht den zuständigen Referenten der Verbraucherzentrale NRW (Herr Wolsiffer) und Hannover (Herr Habermann) zur Verfügung gestellt, so dass die Erkenntnisse an den Endkunden fließen. Weiterhin ist auch eine Veröffentlichung in der Internet-Plattform: "Haustechnik-Dialog" (<http://www.haustechnik-dialog.de>) geplant.

Den Gebäudeeigentümern werden die Ergebnisse selbstverständlich mitgeteilt. Der Bericht wird im Internet abrufbar sein (<http://enev.tww.de>).

Danksagung

Die Projektbearbeiter danken der DBU, insbesondere dem Fachreferenten Herrn Schötz, für das Interesse am Projekt und das Verständnis für die notwendigen Projektverlängerungen.

9 Literaturverzeichnis

- [1] ZfK-Technik; 10/2001; Gas-Brennwertheizung immer beliebter.
- [2] VDZ Vereinigung der deutschen Zentralheizungswirtschaft VDZ; Information Nr.1/2003; Februar 2003.
- [3] DVGW Regelwerk; Technische Regel Arbeitsblatt G 685; 4/1993.
- [4] DIN V 4701-10; Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen; Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung. 2003.
- [5] EnEV; Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung EnEV); 21.11.2001.
- [6] Jagnow, K. / Horschler, S. und Wolff, D.; Die Energieeinsparverordnung 2002: Kosten- und Verbrauchsorientierte Gesamtlösungen; Dt. Wirtschaftsdienst; Köln; 2002.
- [7] Deutscher, P. und Rouvel, L.; Energetische Bewertung haustechnischer Anlagen; 2 Teile; HLH; Nr. 7 und 8/2003; VDI; Düsseldorf; 2003.
- [8] Buderus Heiztechnik GmbH (Hrsg.); Handbuch für Heizungstechnik; Beuth; Berlin; 1995 und 2002.
- [9] Jagnow, Kati / Halper, Christian / Timm, Tobias und Sobirey, Marco; Optimierung von Heizungsanlagen im Bestand; Teile 1 bis 5; TGA Fachplaner; Nr. 5, 8 und 11/2003, 01 und 03/2004; Gentner; Stuttgart; 2003
- [10] Vorländer, J. / Wolff, D. und Hahn, S. Landeshauptstadt Hannover (Hrsg.); Bauen Am Kronsberg - Heiztechnisches Konzept; Amt für Umweltschutz; Hannover; 1998.
- [11] Wolff, D. / Stock, H. / Vorländer, J. und Hahn, S.; Entwicklungstendenzen in der Regelungstechnik von Heizungsanlagen; 3 Teile; Wärme + Versorgungstechnik; Nr. 12/1995, 4/1996, 7/1998; Gentner; Stuttgart; 1995 - 1998.
- [12] Absatz Heizkessel in Deutschland; VDI Nachrichten 16. April 2004; Seite 17.
- [13] Schrode, A.; Altbausanierung in Niedrigenergiebauweise; expert; Renningen-Malmsheim; 1997. und Niedrigenergiehäuser; Rudolf Müller Verlagsgesellschaft; Köln; 1996.
- [14] Wohlers, H.; Technische und wirtschaftliche Kennwerte der Anlagentechnik; erstellt im Rahmen des Projektes Optimus; Diplomarbeit an der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel (unveröffentlicht); Wolfenbüttel; 2003.

10 Anhang

10.1 Projektwerbung



im Januar 2001

Betrifft Ihre Heizungsanlage

Sehr geehrte Kundin, sehr geehrter Kunde,

Sie haben sich bei der Wahl Ihres Wärmeerzeugers für eine hochwertige Heizungsanlage mit Niedertemperatur- oder Brennwerttechnik entschieden.

Mit Hilfe der **Brennwerttechnik** kann die zugeführte Primärenergie (Erdgas) optimal ausgenutzt werden. Die Abgastemperatur wird dabei soweit gesenkt, das Wasser aus dem Abgas kondensiert und ein Teil der Kondensationswärme an die Wärmeübertragerfläche des Kessels abgibt. Aufgrund dieses Verfahrens und der Tatsache, daß der Nutzungsgrad einer Heizungsanlage auf den unteren Heizwert bezogen wird, ergeben sich für Brennwertkessel **Nutzungsgrade**, die über 100% liegen können, während die Nutzungsgrade bei NT-Kesseln um ca. 10% niedriger liegen.

Ein weiterer Vorteil, der für den Einsatz eines Gas-Brennwertgerätes spricht, ist eine umweltfreundlichere Wärmeerzeugung gegenüber der Heizölfeuerung. Der Anteil der CO₂-Emissionen liegt bei der Erdgasverbrennung aufgrund der Brennstoffbestandteile um ca. 30% niedriger als bei Heizöl. Durch den Einsatz neuester Brennertechnik unterbietet ein Brennwertkessel die strenge Anforderung des **Umweltzeichens "Blauer Engel"** und arbeitet umweltschonend.

In naher Zukunft wird jeder zweite neu installierte Gaskessel mit umweltfreundlicher Brennwerttechnik ausgestattet sein. Aufgrund dieser vorhersehbaren Entwicklung, ist aus wissenschaftlicher Sicht eine Untersuchung des tatsächlichen Betriebsverhaltens von Brennwert- und Niedertemperaturanlagen im Praxisbetrieb wünschenswert.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes (gefördert durch die **Deutsche Bundesstiftung Umwelt**) werden von der **Fachhochschule Braunschweig / Wolfenbüttel** an bestehenden Heizungsanlagen Untersuchungen hinsichtlich des Betriebsverhaltens (Bestimmung des Nutzungsgrades, der Brennerlauf- und Stillstandszeiten sowie dem Stromverbrauch) durchgeführt.

Wir suchen für die Fortsetzung dieses Projektes geeignete Heizungsanlagen, an denen wir weitere Messungen durchführen können.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß für den Anlagenbetreiber bei der Durchführung der Messung keine Kosten entstehen.

Die Durchführung der Messung erfolgt ohne größeren Aufwand und bedarf keiner besonderen Fachkenntnis. Der Meßzeitraum ist auf drei Jahre begrenzt. In diesem Zeitraum sind lediglich zwei Ablesungen (Gaszähler, Wärmemengenzähler, evtl. Stromzähler) pro Jahr durchzuführen, die von dem Anlagenbetreiber selbst vorgenommen werden können. Bei den Verbrauchsmessungen handelt es sich nicht um eine Verbrauchskontrolle, sondern um die Schaffung einer Bewertungsgrundlage für die Bestimmung der Energieausnutzung von Brennwert- und Niedertemperaturkesseln.

Um den Nutzungsgrad des Kessels bestimmen zu können, muß die erzeugte Wärmemenge erfaßt werden. Hierfür werden von Ihrem Heizungsfachmann kostenlos Wärmemengenzähler in Ihre Heizungsanlage eingebaut. Nach Ablauf der Meßzeit gehen die Wärmemengenzähler in Ihren Besitz über und können zur eigenen Verbrauchsmessung genutzt werden.

Da es sich bei diesem Forschungsprojekt um Praxisuntersuchungen handelt, sollten Sie ihre Heizgewohnheiten uneingeschränkt beibehalten. Die ermittelten Meßdaten werden von uns anonym behandelt, so daß von Dritten keine Rückschlüsse auf den Anlagenbetreiber gezogen werden können.

Nach Ablauf des Forschungsprojektes, können wir Ihnen anbieten, aufgrund der ermittelten Meßergebnisse, Vorschläge zur Optimierung Ihrer Heizungsanlage auszuarbeiten.

Wir würden uns freuen, wenn Sie Interesse an unserem Projekt gefunden haben und uns darüber hinaus gestatten, an Ihrer Heizungsanlage Messungen durchzuführen. Bitte schicken Sie uns Ihre Entscheidung über die Teilnahme an unserem Forschungsprojekt mit der Adresse Ihres Heizungsfachmannes zurück. Wir werden dann das weitere Vorgehen veranlassen.

Sollten Sie Fragen zu dem Forschungsprojekt haben, so stehe ich Ihnen gern zur Verfügung Tel.-Nr. 05331/939 445 bzw. Herr Budde, Tel.-Nr. 05331/939 444.

Mit freundlichen Grüßen

i.A. 

Dipl.-Ing. P. Teuber
Fachhochschule BS/WF
Institut für Heizungs- und Klimatechnik
Salzdahlumer Straße 46 - 48
38302 Wolfenbüttel

10.2 Erfassungsbögen zur Bestandsaufnahme



Fachhochschule BS/WF
Fachbereich Versorgungstechnik

Forschungsprojekt :

Betriebsverhalten von Brennwertkesseln

Fragebogen zur Bestandsaufnahme der Heizungsanlage

Füllen Sie bitte diesen Fragebogen mit Ihren anlagenspezifischen Daten aus. Wenn Fragen nicht beantwortet werden können, so vermerken Sie dies an der entsprechenden Stelle. Nichtzutreffendes ist zu streichen.

Name :

1. Gebäudedaten

1.1. Baujahr des Gebäudes

1.2. Wohnfläche, ohne Kellerm²

1.2.1. Kellerfläche, beheiztm²

der Keller wird regelmäßig beheizt (wie ein Wohnraum)

der Keller wird so gut wie **nie** bzw. **selten** (Partykeller, Wäskeskeller..) beheizt

1.3. Wie groß ist der Wärmebedarf des Gebäudes kW

Der Wärmebedarf ist nicht bekannt !

1.4. Ist ein Wärmeschutznachweis (Wärmepass) vorhanden ? **ja / nein**

- Wie groß ist laut Wärmeschutznachweis der berechneter Jahres-Heizwärmebedarf Q_H kWh/a

- Wurde das Haus nachträglich gedämmt ? **ja / nein**

1.5. Besonderheiten des Gebäudes (offenes Treppenhaus, Büro im Keller, Niedrigenergiehaus...)

.....
.....
.....

Wird Ihr Herd z.B. Backofen mit Gas betrieben ? **ja / nein**



2.7. Besonderheiten der Wärmeerzeugung (z.B. Solaranlage, Wärmepumpe, elekt. Warmwasserbereitung, regelmäßiger Betrieb eines Festbrennstoffkessels (Holz, Papier) oder Kamins zur Heizungsunterstützung)

.....
.....
.....

3. Warmwasserspeicher (Typ, Inhalt)

.....

.....

3.1. Warmwasserverbrauch

hoch / mittel / sparsam

Gasverbrauch im Sommer für die Warmwasserbereitung m³/Tag

Anzahl der ständig wohnenden Personen

4. Hydraulische Anbindung der Heizungsanlage

4.1. Heizflächen

4.1.1. Welche Heizkörpertypen wurden eingesetzt ?

	Plattenheizkörper	Konvektoren	Fußbodenheizung
--	--------------------------	--------------------	------------------------

4.1.2. Sind Thermostatventile vorhanden ? **ja / nein**

4.1.3. Findet eine Systemtrennung der Fußbodenheizung statt ? **ja / nein**

4.1.4. Verfügt Ihr Haus über eine maschinelle Lüftungsanlage ? **ja / nein**

4.2. Hydraulik

4.2.1. Wie viele Heizkreise (für die Heizung) sind angeschlossen ?

..... unregelter Heizkreis (ohne Mischer), eine Systemtemperatur

..... geregelte/r Heizkreis/e (mit Dreiwege-Ventil)



Fachhochschule BS/WF
Fachbereich Versorgungstechnik

Forschungsprojekt :

Betriebsverhalten von Brennwertkesseln

4.2.2. Wurde eine Überströmeinrichtung eingebaut ? **ja / nein**

Welche :

.....

.....

(z.B. Überströmventil, hydr. Weiche, Bypassleitung...)

4.3. Sonstige Besonderheiten der Heizkörper oder Hydraulik (z.b. Auslegungstemperatur 55/45...)

.....

.....

.....

5. Verbrauchsdaten

5.1. Gasverbrauch pro Jahr (19__) m³/a

5.2. Welcher Gasversorger übernimmt die Gaslieferung

.....

5.3. Welcher Gasvertrag wurde abgeschlossen ?

(z.B. Kleinverbrauchstarif, Grundpreistarif oder Sondervertrag)

5.4. Besteht ein Wartungsvertrag für die Heizungsanlage ? **ja / nein**

Vielen Dank für die Beantwortung der gestellten Fragen.

10.3 Einverständniserklärung



Fachhochschule Braunschweig / Wolfenbüttel
Institut für Heizungs- und Klimatechnik
Salzdahlumer Straße 46 – 48

38302 Wolfenbüttel

Forschungsprojekt der Fachhochschule gefördert durch die DBU

- Bestimmung des Betriebsverhaltens von Brennwertkesseln -

Ich gestatte der Fachhochschule Braunschweig / Wolfenbüttel, Messungen an meiner Heizungsanlage durchzuführen und bin bereit Auskünfte über die Gas- und Wärmemengenverbräuche zu erteilen.

Name :

Anschrift :

PLZ; Ort :

Tel.-Nr. : /

- Ich möchte, daß meine Heizungsbaufirma den Einbau der Wärmemengenzähler für mich kostenlos durchführt.
(Name und Anschrift der Firma)

.....

.....

Tel.-Nr.

- Der Einbau kann von einer Fachfirma in Zusammenarbeit mit dem IfHK (Institut für Heizungs- und Klimatechnik) für mich kostenlos vorgenommen werden.

Datum, Ort

Unterschrift

10.4 Protokoll zur Messdatenerfassung

Die Ablesemessungen der Gas- und Wärmemengenzähler sind in dem farblich gekennzeichneten Zeiträumen durchzuführen. Sie haben darüber hinaus die Möglichkeit, in das Meßprotokoll monatliche Meßdaten einzutragen.

In die Spalte :
 Gas [m³] Ist der Zählerstand der Gasuhr einzutragen
 Wärmemengenzähler Ist der Zählerstand des Wärmemengenzählers für die
 Heizung [kWh] - Heizung
 WW [kWh] - Warmwasserbereitung einzutragen.

Bitte führen Sie die Messungen gewissenhaft durch !

	Ablesetermin	Datum	Gas [m³]	Wärmemengenzähler			Strom [kWh]	Anmerkung
				Heizkr. 1 [kWh]	Heizkr. 2 [kWh]	WW [kWh]		
Beispiel		25. 04	123,456	34,567	12,345	34,567	4,567	3 Wochen Urlaub

Jan 2000								
Feb 2000								
Mrz 2000								
Apr 2000								
Mai 2000	23.04 - 06.05							
Jun 2000								
Jul 2000								
Aug 2000								
Sep 2000								
Okt 2000	24.09 - 08.10							
Nov 2000								
Dez 2000								
Jan 2001								
Feb 2001								
Mrz 2001								
Apr 2001								
Mai 2001	23.04-06.05							
Jun 2001								
Jul 2001								
Aug 2001								
Sep 2001								
Okt 2001	24.09 - 08.10							

Es wär nett, wenn Sie uns die ermittelten Meßergebnisse mitteilen könnten.

Adresse : Fachhochschule BS / WF

Institut für Heizungs- und Klimatechnik

Salzdahlumer Straße 46-48

38302 Wolfenbüttel

Anlagenbetreiber

Tel.-Nr. : 05331 / 939 445 (Herr Teuber)

Fax-Nr.: **05331 / 939 478 ab 01.07.2000 05331 / 939 442**

10.5 Erinnerungsschreiben



**Fachhochschule
Braunschweig/Wolfenbüttel**
Standort Wolfenbüttel

Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel
Salzdahlumer Str. 46-48
38302 Wolfenbüttel

Salzdahlumer Straße 46/48
38302 Wolfenbüttel

Fachbereich Versorgungstechnik

IfHK

Institut für Heizungs- und Klimatechnik

Dipl.-Ing. Peter Teuber

FON +49 5331 939 445

FAX +49 5331 939 478

EMAIL P.Teuber@FH-Wolfenbuettel.de

Wolfenbüttel, 01.11.1999

Erinnerungsschreiben

Sehr geehrte(r) Frau (Herr) _____,

da ich noch keine Messdaten von Ihnen erhalten habe, möchte ich Sie bitten die Zählerstände noch heute abzulesen, da sonst eine Bewertung Ihrer Heizungsanlage nicht möglich ist.

Bitte teilen Sie mir telefonisch oder per Post folgend Angaben mit

1. Wärmemengenzählerstand Heizung kWh
2. Wärmemengenzählerstand Warmwasser kWh
3. Gaszählerstand m³
4. Stromzählerstand kWh
5. Datum der durchgeführten Messung
6. Besonderheiten
(z.B. Urlaub 3 Monate, Heizunterbrechungen außer der Reihe, Umschaltung Sommer / Winterbetrieb, Änderungen der Heizgewohnheiten, Betriebszeit-Heizpausen, Babypause u.ä.)

Mit freundlichen Grüßen

10.6 Zwischenbericht an die Hauseigentümer



**Fachhochschule
Braunschweig/Wolfenbüttel**

University of Applied Sciences

Braunschweig **Wolfenbüttel** Wolfsburg Salzgitter

Fachhochschule
Braunschweig/Wolfenbüttel

Salzdahlumer Str. 46/48
38302 Wolfenbüttel

Salzdahlumer Straße 46/48
38302 Wolfenbüttel

**Fachbereich Versorgungstechnik
Institut für Heizungs- und Klimatechnik**

Dipl.-Ing. Jörg Budde

Telefon (+49) 5331 939 4422
Fax (+49) 5331 939 4402
E-Mail j.budde@fh-wolfenbuettel.de
Internet www.fh-wolfenbuettel.de



Wolfenbüttel, 08.02.2002
Ihre Nachricht vom
Ihr Zeichen
Mein Zeichen Bud

Betriebsverhalten von Brennwertkesseln

Sehr geehrter ,

sicherlich warten Sie schon gespannt auf die ersten Zwischenergebnisse unserer Untersuchung des Betriebsverhaltens von Brennwertkesselanlagen, an der Sie freundlicherweise teilnehmen.

Nach der ersten Auswertung eines repräsentativen Zeitraums können wir Ihnen nun mitteilen, mit welchem Nutzungsgrad Ihr Heizkessel arbeitet. Die Angabe bezieht sich dabei auf den Heizwert des Brennstoffs unter Betriebsbedingungen der Anlage.

Messdaten Ihrer Heizungsanlage

Zeitraum	Gasverbrauch		WMZ Heizung kWh	WMZ WW kWh	Nutzungsgrad %
	m ³	kWh			
30.12.99 bis 31.12.01	1688,649	14428	11196	1921	91



Wie Sie der Tabelle entnehmen können, arbeitet Ihr Heizkessel mit einem Nutzungsgrad von 91 %.

Um Ihnen eine Vergleichsmöglichkeit zu den anderen von uns untersuchten Anlagen zu schaffen, geben wir Ihnen den durchschnittlichen Nutzungsgrad aller 69 Anlagen bekannt.

Der durchschnittliche Nutzungsgrad aller Anlagen liegt

**für Brennwertkessel bei 94 %,
für Niedertemperaturkessel bei 83 %.**

Daraus können Sie sehen, dass Ihr Heizkessel etwas schlechter als der Durchschnitt arbeitet.

Nach Beendigung des Forschungsvorhabens stellen wir Ihnen nach Absprache mit dem Förderer des Projektes, der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU, die Ergebnisse über den gesamten Messzeitraum zur Verfügung.

Generell hat sich durch das Forschungsvorhaben unsere Annahme bestätigt, dass sowohl Brennwert- als auch Niedertemperaturkessel im alltäglichen Heizbetrieb nicht den Nutzungsgrad erreichen können, der von den Kesselherstellern angegeben wird.

Mit freundlichen Grüßen

10.7 Unterlagen zur Fehlerbetrachtung

Gaszähler

Es wurden handelsübliche Balgengaszähler der Energieversorgungsunternehmen eingesetzt. Die angegebene Eichfehlerkurve ist beispielhaft aus den Produktunterlagen der Firma Schlumberger entnommen. Die Eichfehlerkurve für einen handelsüblichen Balgengaszähler ist in Abbildung 48 dargestellt.

Wärmemengenzähler

Hersteller: Techem
 Typ: Delta kompakt
 Temperaturfühler: PT 500
 Volumen: Flügelradzähler
 Mindestdurchfluss: $Q_{n,0,6} = 6 \text{ l/h}$
 $Q_{n,1,5} = 15 \text{ l/h}$

Im Projekt sind sowohl Wärmemengenzähler mit einem Nenndurchfluss von $0,6 \text{ m}^3/\text{h}$ als auch mit einem Nenndurchfluss von $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ eingesetzt. Die Messfehlerkurven für die Temperaturmessung sowie für die Volumenstrommessung sind in Abbildung 45 bis Abbildung 47 dargestellt.

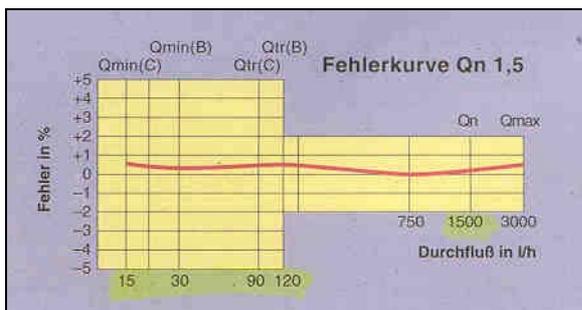


Abbildung 45: Fehlerkurve Volumenmessung $Q_n 1,5$

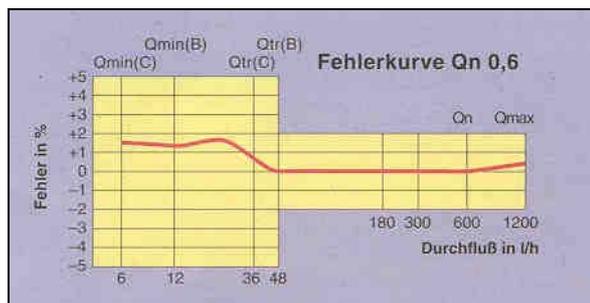


Abbildung 46: Fehlerkurve Volumenmessung $Q_n 0,6$

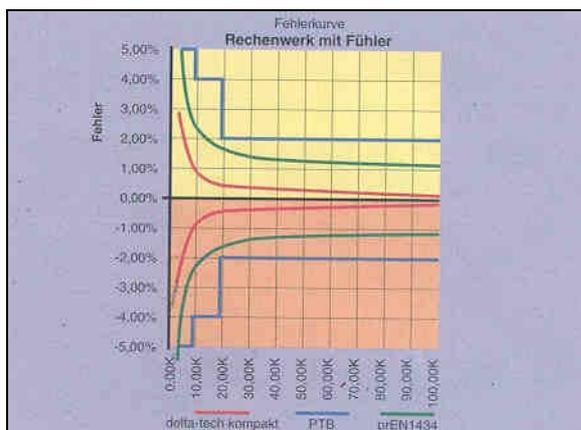


Abbildung 47: Fehlerkurve Temperaturmessung

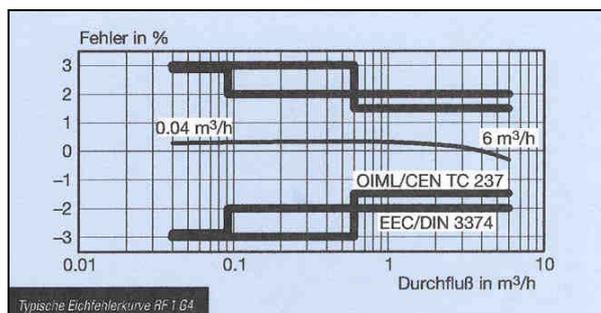


Abbildung 48: Fehlerkurve Balgengaszähler

10.8 Gesamtdaten und Nutzungsgrade

Anl. Nr.	Mess-Zeitraum	Q _B (H ₀)	Q _B (H _U)	Q _H bzw. (Q _H +Q _{TW})	Q _{TW}	q _H bzw. (q _H +q _{TW})	q _{TW}	q _{verlust} (H ₀)	η (H ₀)
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	
1	10.01-10.02	48925	44131	44830		203,77		18,61	0,9163
2	10.01-10.02	6440	5808	4086	1126	38,91	10,72	11,69	0,8094
3	10.01-10.02	22139	19969	19188		106,60		16,39	0,8667
4	05.01-05.02	13156	11867	6935	3297	58,28	27,71	24,57	0,7778
5	10.01-10.02	15023	13551	8120	3448	90,22	38,31	38,39	0,7700
6	10.01-10.02	13966	12598	8100	4020	56,64	28,11	12,91	0,8678
7	10.01-10.02	17771	16030	11778	4187	75,99	27,01	11,65	0,8984
8	10.01-10.02	23102	20838	19606	1686	163,38	14,05	15,08	0,9217
10	10.01-10.02	34933	31509	27409	3476	130,52	16,55	19,27	0,8841
11	09.01-09.02	10946	9873	7424	2449	44,46	14,66	6,42	0,9020
12	10.01-10.02	14767	13320	7035	5003	60,65	43,13	23,53	0,8152
13	10.01-10.02	15496	13978	11661	1158	99,67	9,90	22,88	0,8272
15	12.01-12.02	24021	21667	15055	5903	68,43	26,83	13,93	0,8725
16	10.01-10.02	26571	23967	15752	8761	62,64	34,84	8,18	0,9226
17	10.01-10.02	21426	19326	16582	1030	106,98	6,65	24,61	0,8220
18	10.01-10.02	19656	17729	14595	1456	72,98	7,28	18,02	0,8166
19	10.01-10.02	21890	19745	18397	2659	64,55	9,33	2,93	0,9619
20	10.01-10.02	16029	14458	11278	2025	76,20	13,68	18,42	0,8299
21	06.99-06.00	8083	7291	2834	3415	28,34	34,15	18,34	0,7731
24	10.01-10.02	21082	19016	14687	3897	69,94	18,56	11,90	0,8815
25	09.00-09.01	17147	15466	12159	2527	81,06	16,85	16,41	0,8565
26	10.01-10.02	23637	21321	20928		146,76		19,00	0,8854
27	10.01-10.02	10875	9810	8498	1086	51,50	6,58	7,83	0,8812
29	10.01-10.02	17037	15368	13676	2381	101,30	17,64	7,26	0,9425
30	10.01-10.02	19437	17532	12582	4814	71,59	27,39	11,61	0,8950
31	10.01-10.02	12597	11362	8006	2648	53,37	17,66	12,95	0,8458
32	10.01-10.02	19528	17614	14158	3136	108,91	24,12	17,19	0,8856
33	10.01-10.02	12707	11462	8414	2499	52,92	15,72	11,28	0,8588
34	05.01-05.02	7309	6593	2652	3246	16,47	20,16	8,77	0,8069
35	10.01-10.02	23225	20949	20794		143,41		16,76	0,8953
36	11.00-11.01	33346	30078	20633	7195	82,53	28,78	22,07	0,8345
37	10.01-10.02	16269	14675	14315	833	114,52	6,66	8,97	0,9311
38	05.01-05.02	25657	23142	14458	7699	57,83	30,80	14,00	0,8636
39	10.01-10.02	46510	41952	25699	13969	120,20	65,34	32,00	0,8529
40	10.01-10.02	18501	16688	12351	2090	74,40	12,59	24,46	0,7806
41	Nov 02	2607	2351	1720	512				0,8563
43	10.01-10.02	19439	17534	11600	4436	52,99	20,26	15,55	0,8249
44	10.01-10.02	25971	23426	19916	1796	153,20	13,82	32,76	0,8360
45	10.01-10.02	15404	13894	12441	1990	94,25	15,08	7,37	0,9368
47	10.01-10.02	17607	15881	14765	673	123,04	5,61	18,07	0,8768
48	10.01-10.02	16242	14651	11837	2941	81,63	20,28	10,10	0,9098
49	10.01-10.02	21403	19306	17297	496	77,91	2,23	16,26	0,8313
50	10.01-10.02	15718	14178	7647	5304	62,17	43,122	22,50	0,8240
51	10.01-10.02	18959	17101	16166		148,31		25,62	0,8527
52	10.01-10.02	14217	12824	7327	4726	48,85	31,51	14,43	0,8478
53	10.01-10.02	23917	21573	18746	692	99,79	3,68	23,84	0,8127
57	10.01-10.02	15940	14378	12795	1888	76,16	11,24	7,49	0,9211
58	10.01-10.02	9366	8448	4729	3262	41,12	28,37	11,95	0,8532
59	05.00-05.01	17757	16017	13378	1528	89,19	10,19	19,01	0,8394
61	02.01-02.02	16778	15134	11579	3347	77,71	22,46	12,43	0,8896
62	10.01-10.02	33329	30063	31363		224,02		14,04	0,9410
63	10.02-10.01	18165	16385	11875	3881	79,17	25,87	16,06	0,8674

Anl. Nr.	Mess-Zeitraum	Q _B (H ₀)	Q _B (H _U)	Q _H bzw. (Q _H +Q _{TW})	Q _{TW}	q _H bzw. (q _H +q _{TW})	q _{TW}	q _{verlust} (H ₀)	η (H ₀)
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	
64	10.01-10.02	7554	6814	4904	1525	42,64	13,26	9,79	0,8510
65	12.01-11.02	7662	6911	6186		61,86		14,76	0,8073
66	10.01-10.02	9719	8767	9176		71,69		4,25	0,9441
67	10.01-10.02	14487	13067	11411	1923	90,41	15,24	9,14	0,9204
68	12.01-12.02	25145	22680	19523	2205	114,84	12,97	20,10	0,8641
69	10.01-10.02	22030	19871	21491		113,11		2,84	0,9755
70	10.01-10.02	8611	7767	4857	1020	41,97	8,82	23,62	0,6825
71	10.01-10.02	10330	9318	6199	1897	40,60	12,42	14,63	0,7837
								Mittelwert:	0,8617
	Summen:	1107561	999020	803603	159161				0,8692

Tabelle 30: Jahresnutzungsgrad der Brennwertanlagen (bezogen auf H₀)

Anl. Nr.	Mess-Zeitraum	Q _B (H ₀)	Q _B (H _U)	Q _H bzw. (Q _H +Q _{TW})	Q _{TW}	q _H bzw. (q _H +q _{TW})	q _{TW}	q _{verlust} (H ₀)	η (H ₀)
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	
56	10.01-10.02	20818	18778	12668	1394	100,54	11,06	53,62	0,6755
23	10.01-10.02	28486	25695	19043	1695	119,02	10,59	48,43	0,7280
28	10.01-10.02	23910	21567	12431	5706	95,62	43,89	44,41	0,7585
60	03.01-03.02	23497	21194	13224	4777	67,54	24,40	28,04	0,7661
9	05.01-05.02	23428	21132	14495	3634	88,93	22,29	32,51	0,7738
55	10.01-10.02	31456	28373	19731	4881	131,54	32,54	45,63	0,7824
72	10.01-10.02	7035	6346	5292	333	45,73	2,88	12,16	0,7996
								Mittelwert:	0,7548
	Summen:	158631	143085	96884	22420				0,7521

Tabelle 31: Jahresnutzungsgrad der Niedertemperaturanlagen (bezogen auf H₀)

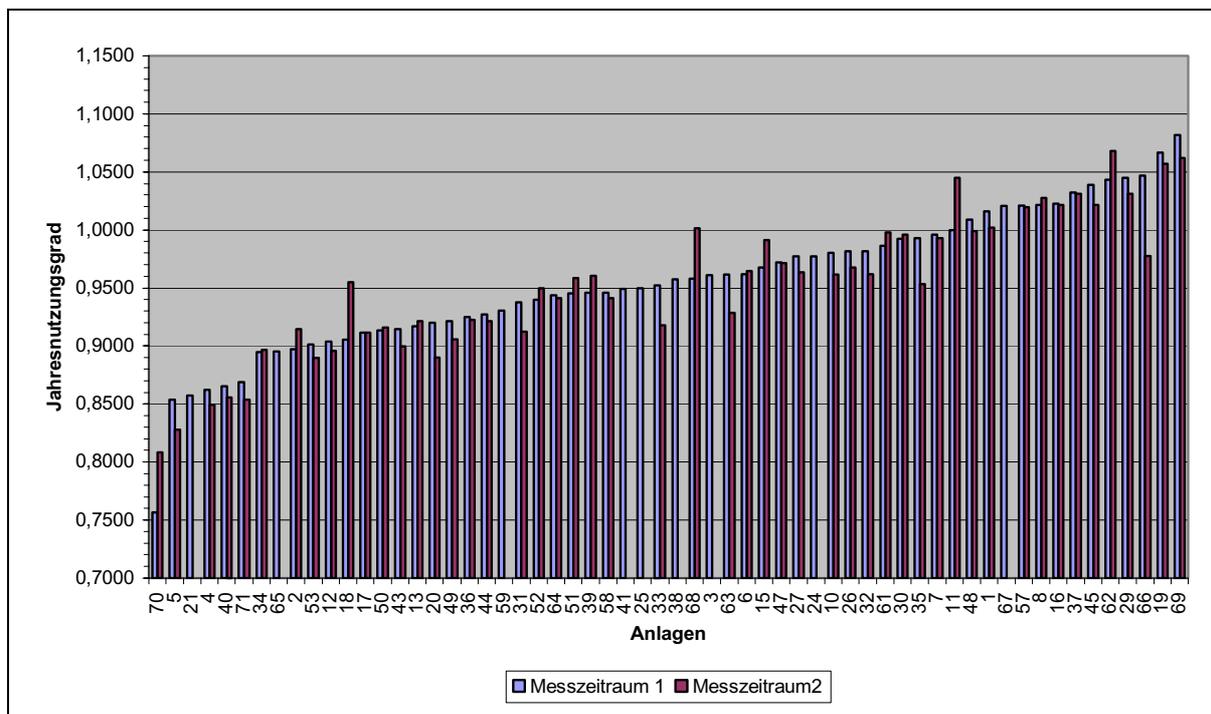
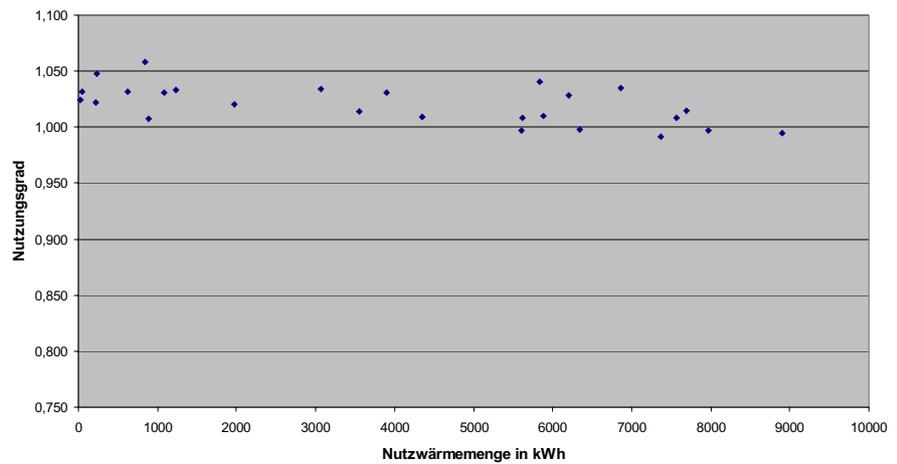


Abbildung 49: Nutzungsgradvergleich der Brennwertanlagen im Messzeitraum 1 und 2 (Bezug H_U)

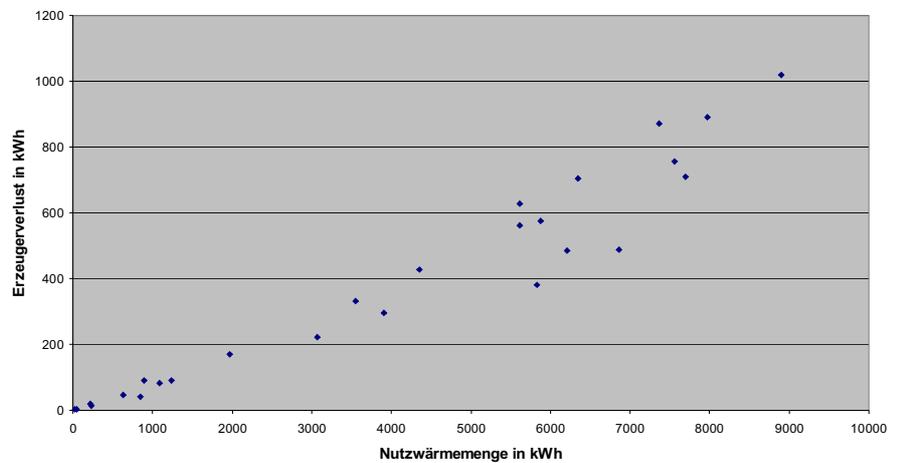
10.9 Energetische Betrachtung der Einzelanlagen

Anlage 1

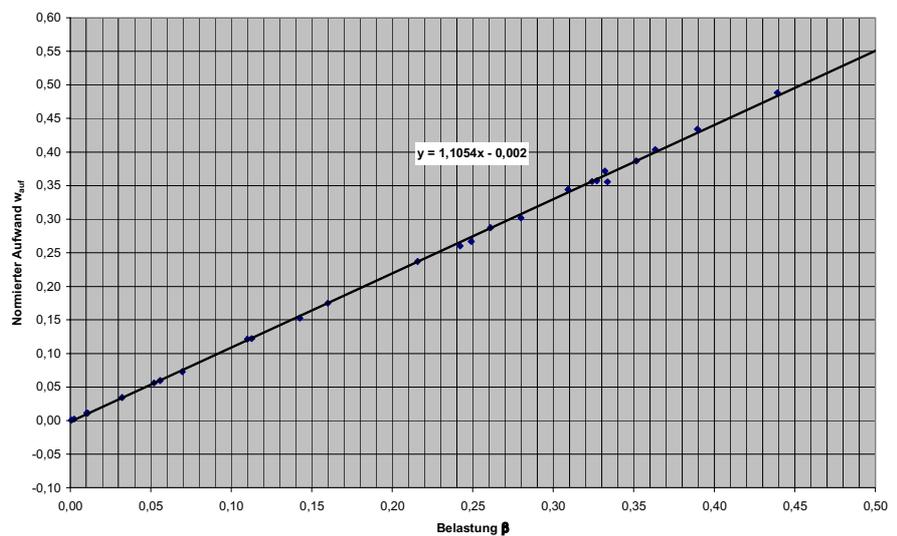
Nutzungsgrad
(bezogen auf H_U)
über abgegebener
Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust
(bezogen auf H_U)
über abgegebener
Nutzwärmemenge

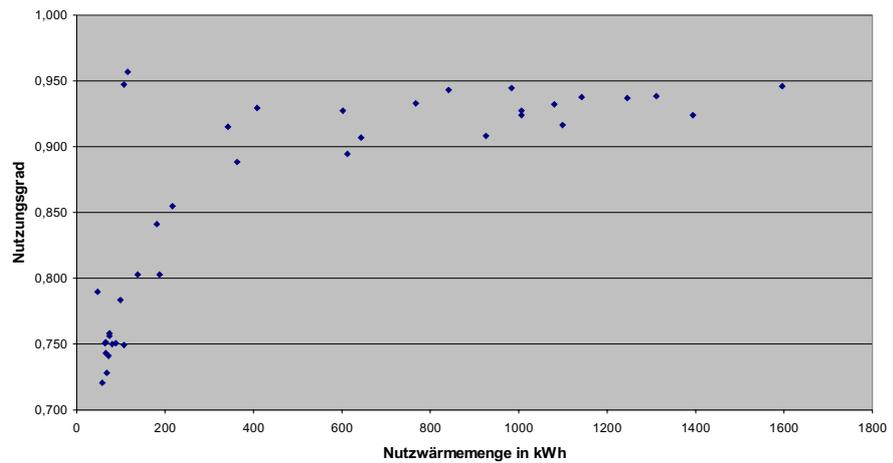


Normierter Auf-
wand w_{auf}
über normierter
Belastung β (nor-
miert auf die Kes-
selleistung, Auf-
wand bezogen auf
 H_0)

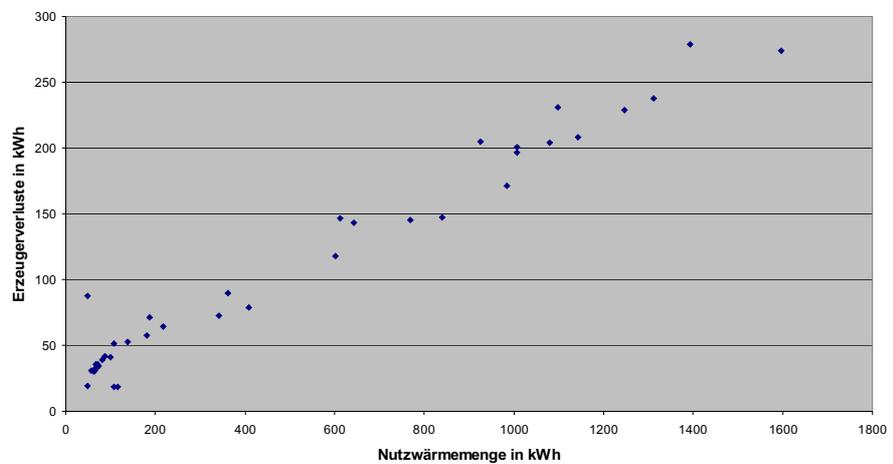


Anlage 2

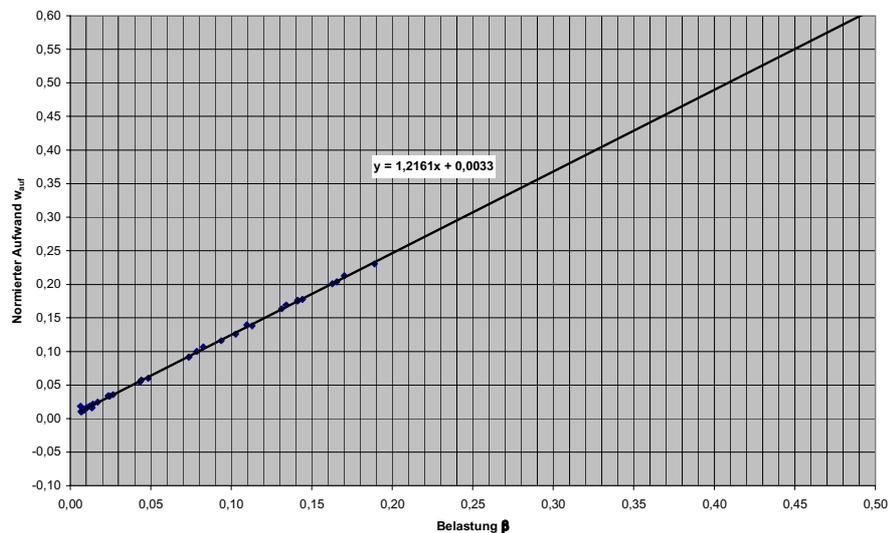
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

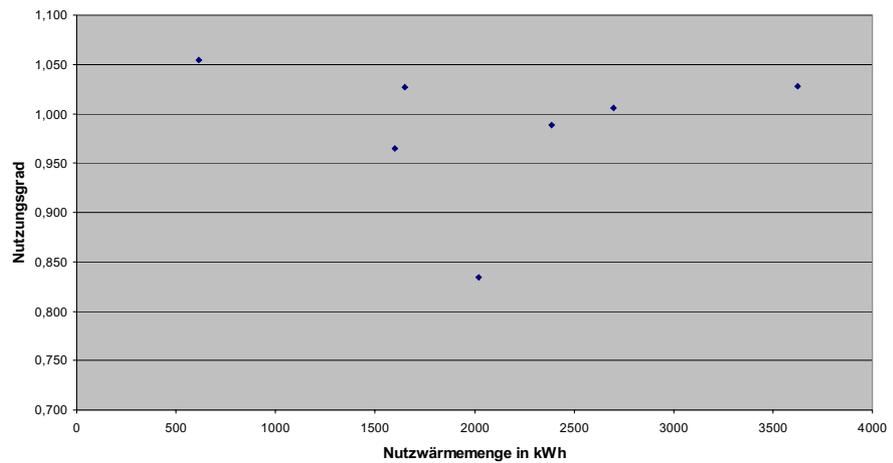


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

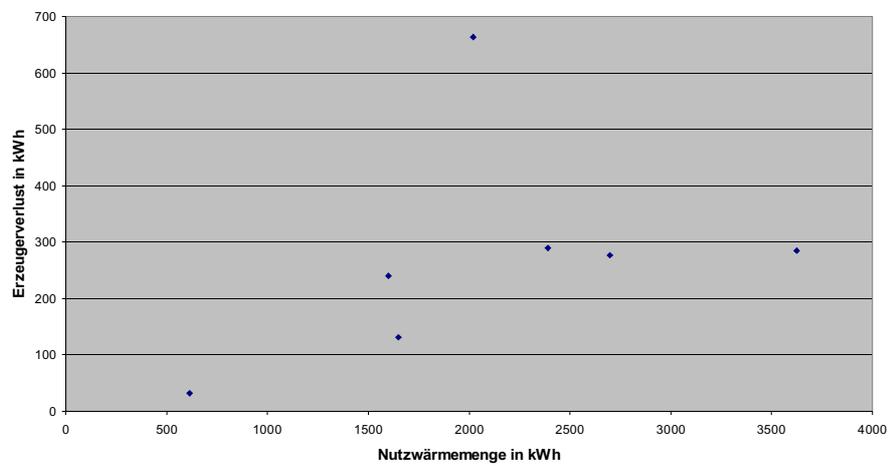


Anlage 3

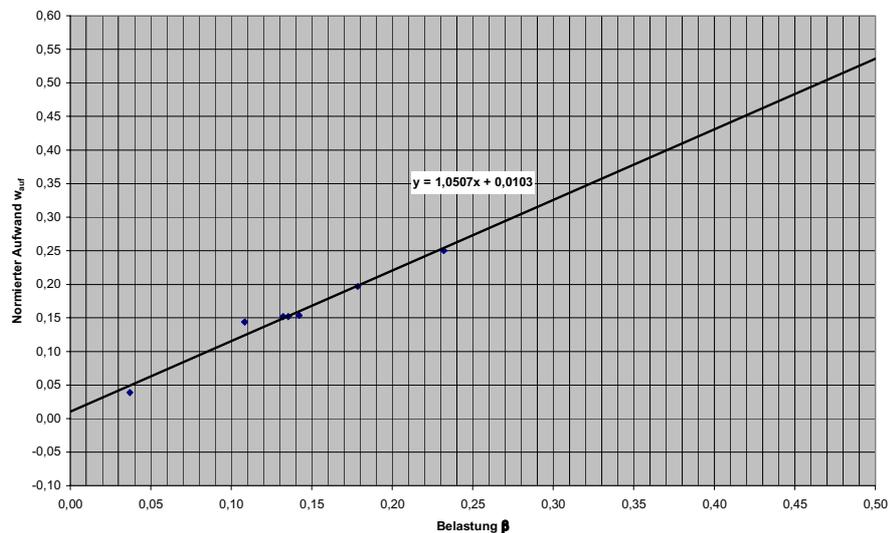
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

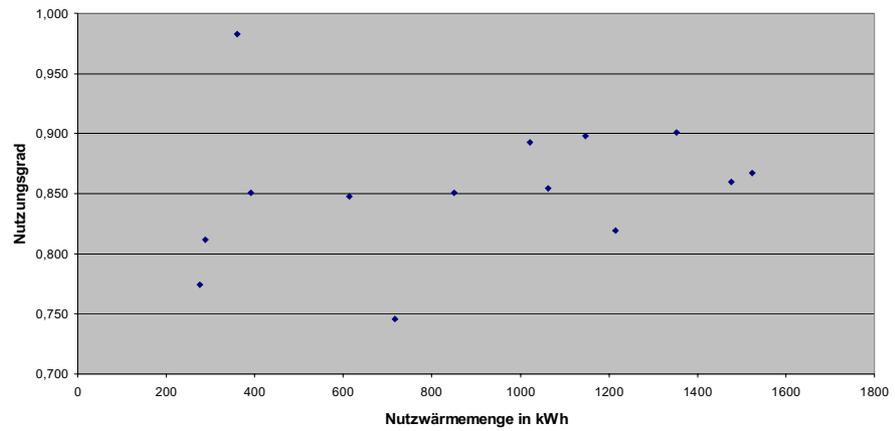


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

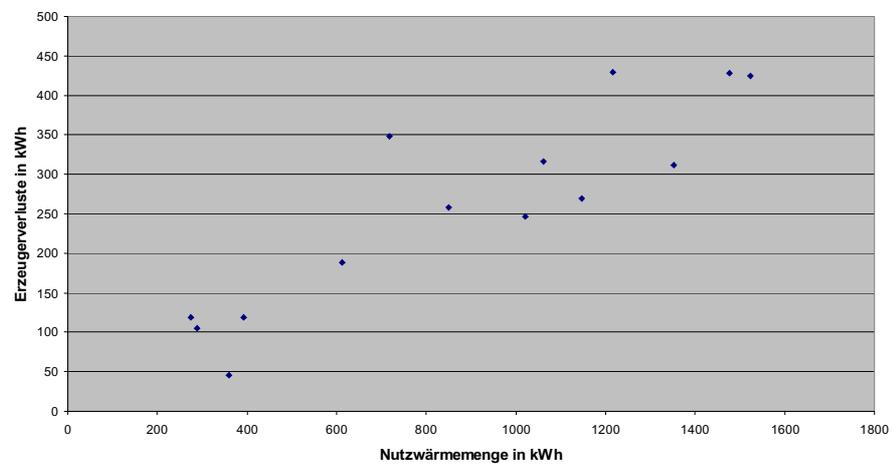


Anlage 4

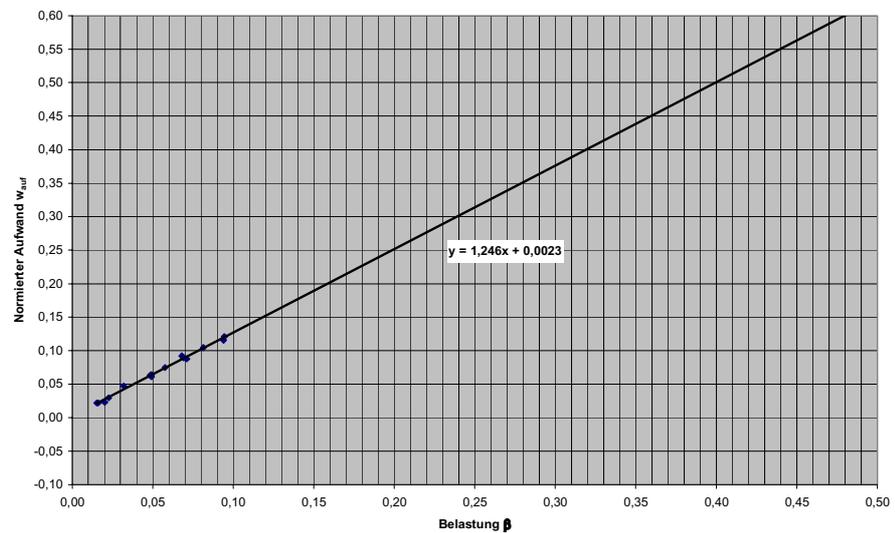
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

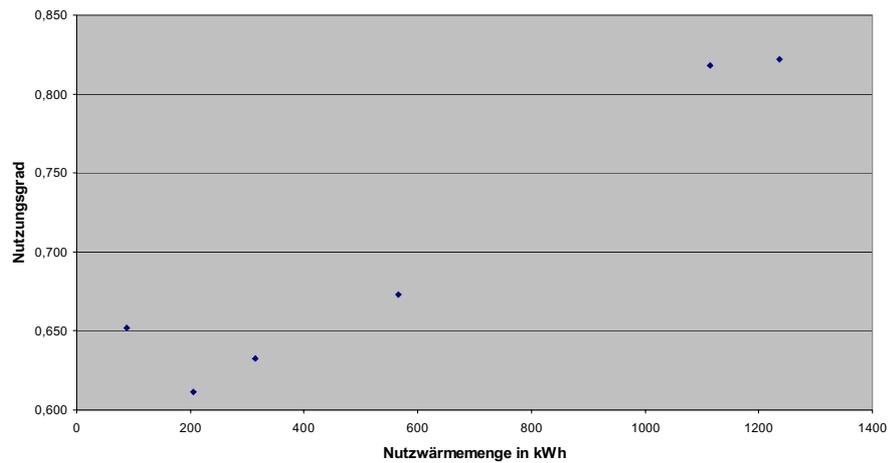


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

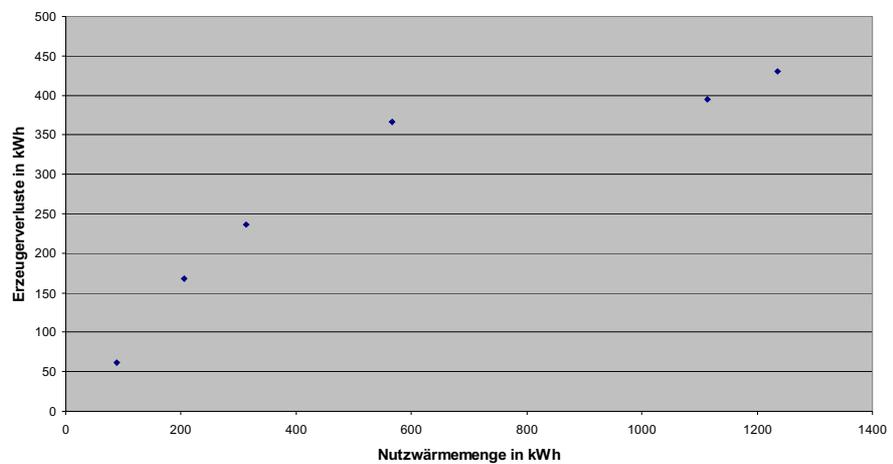


Anlage 5

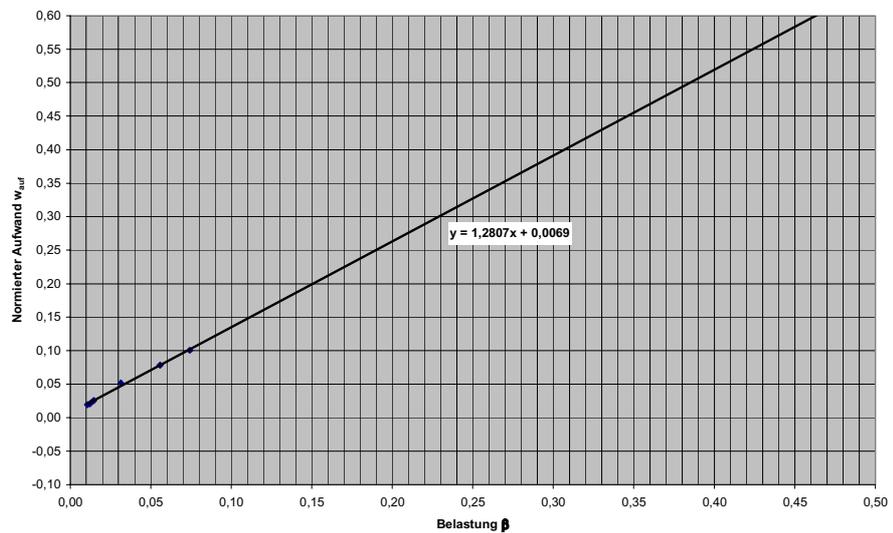
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

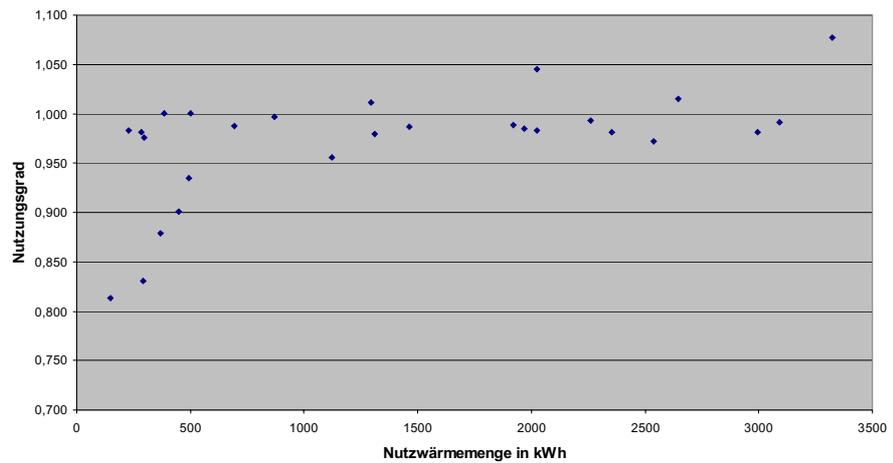


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

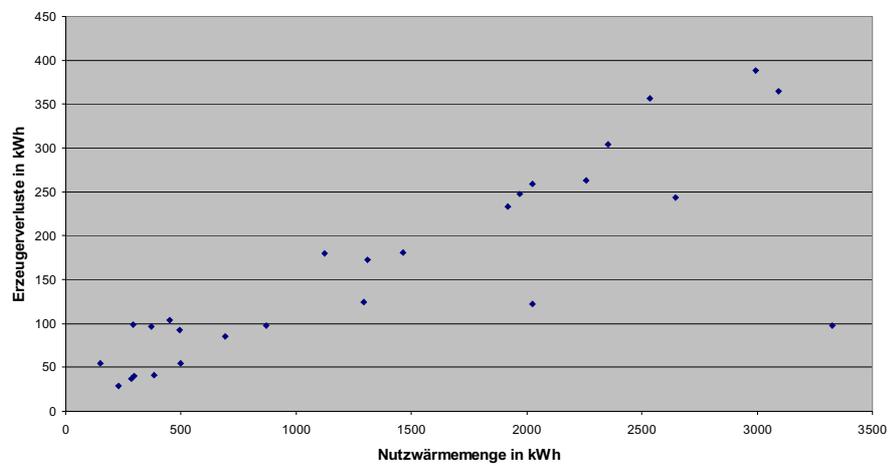


Anlage 7

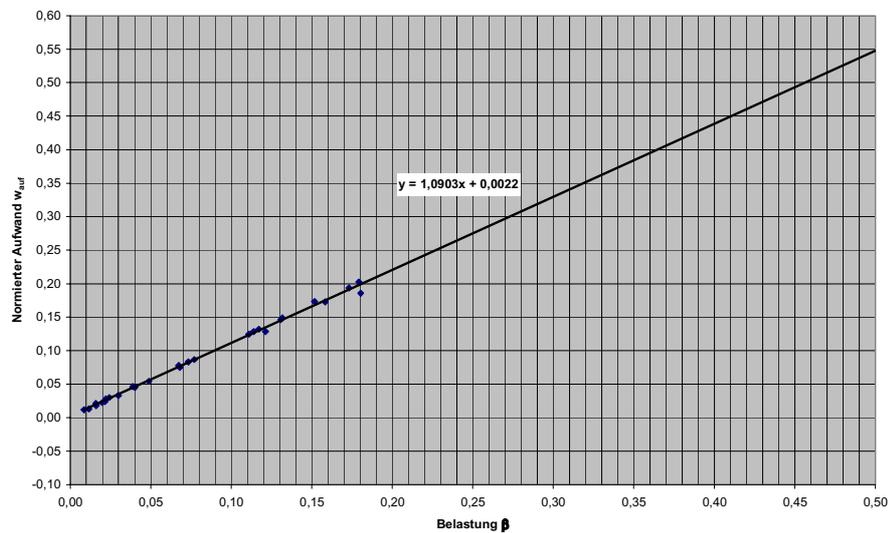
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

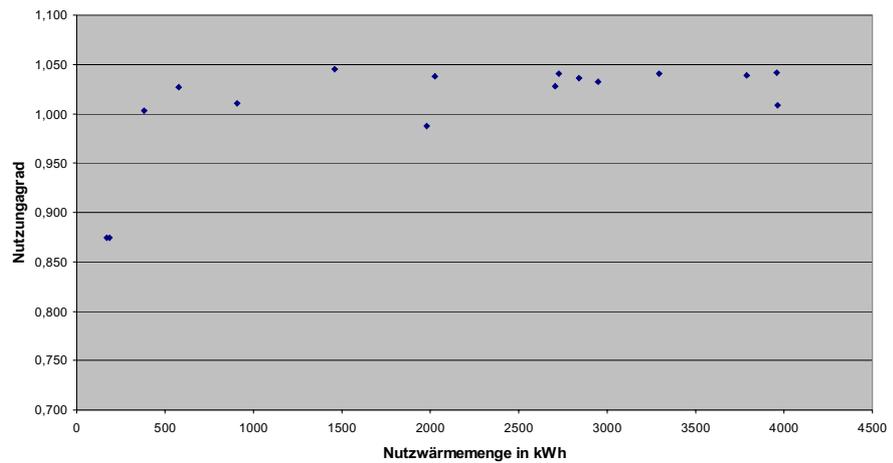


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

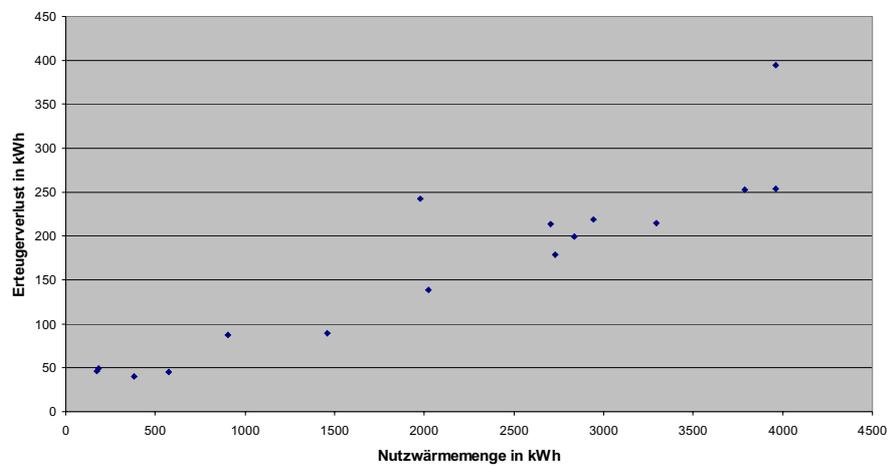


Anlage 8

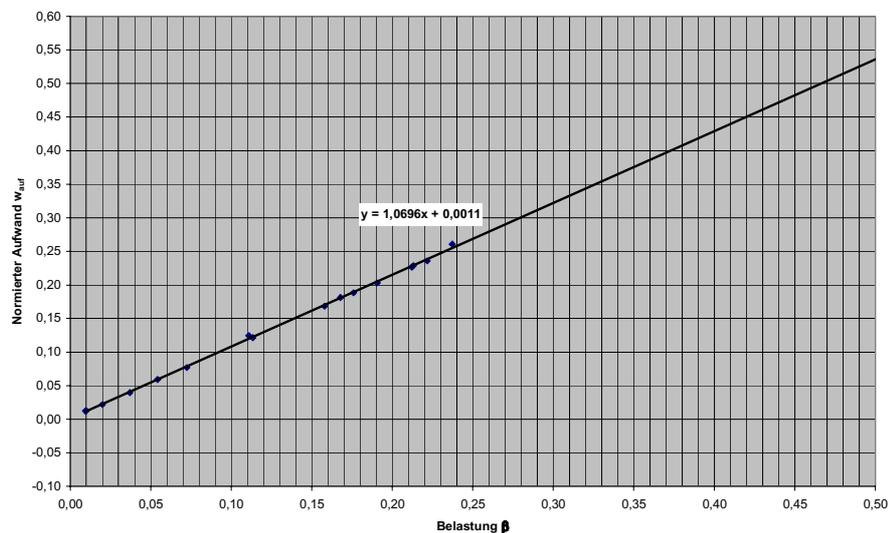
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

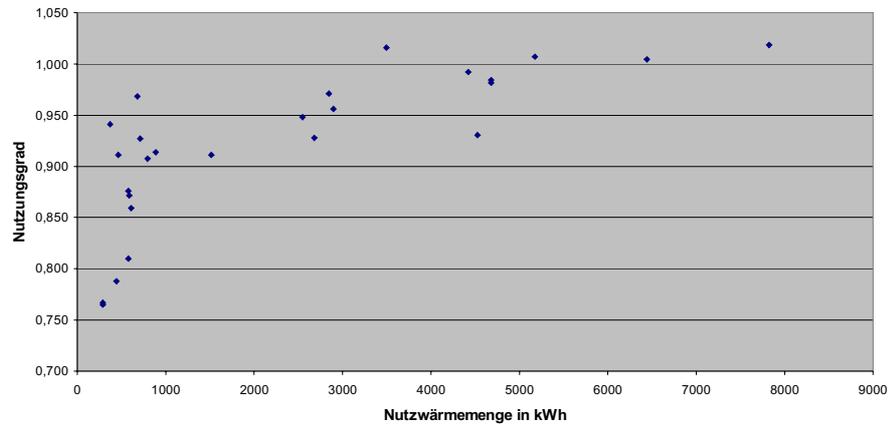


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

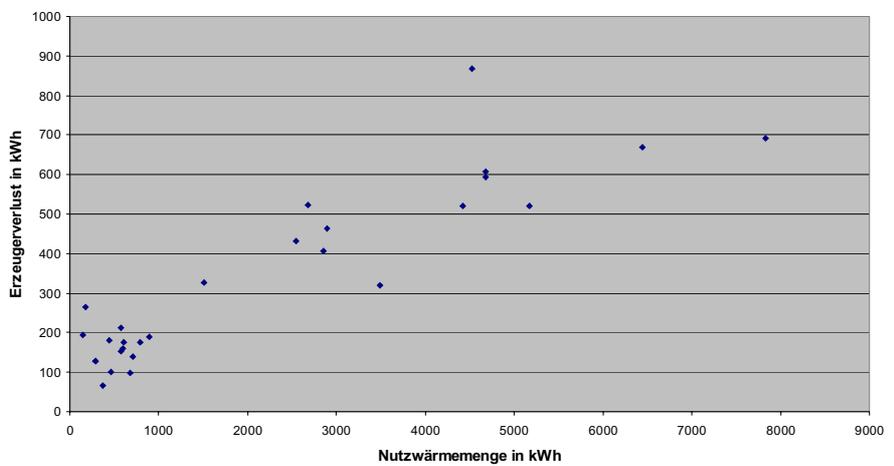


Anlage 10

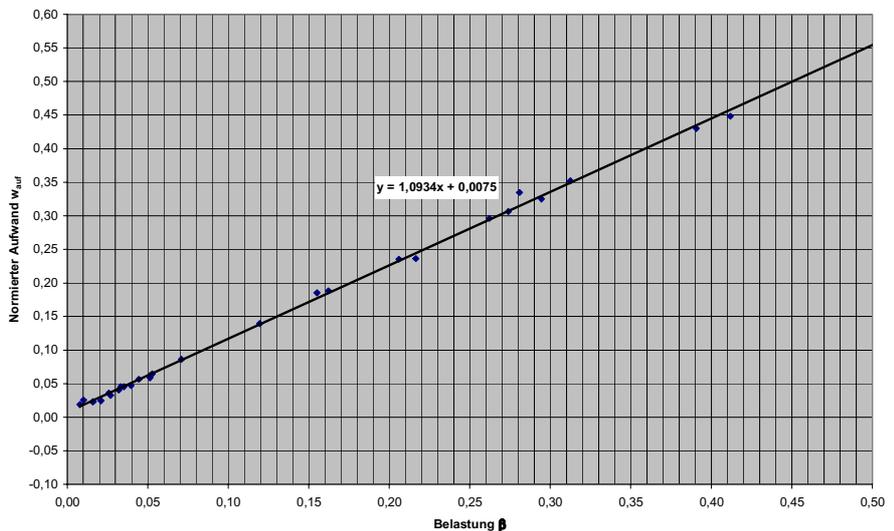
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

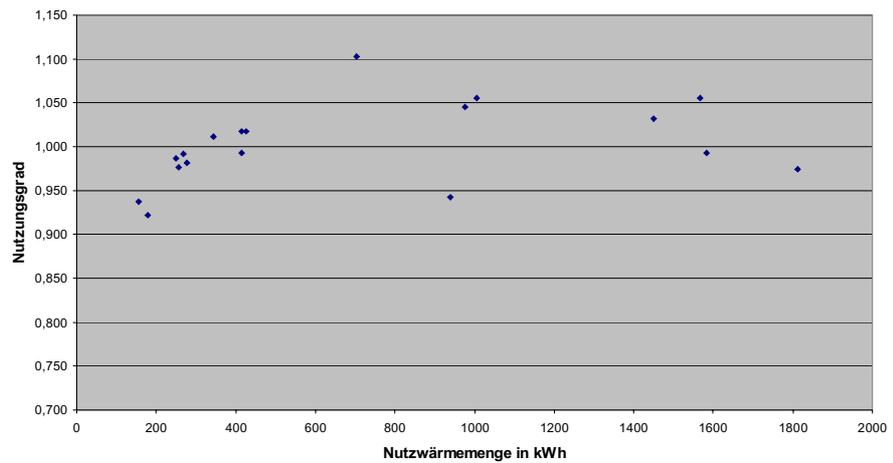


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

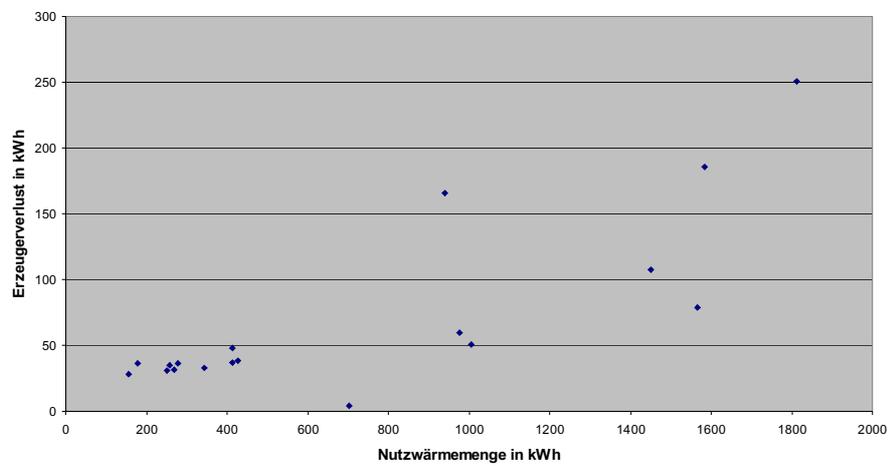


Anlage 11

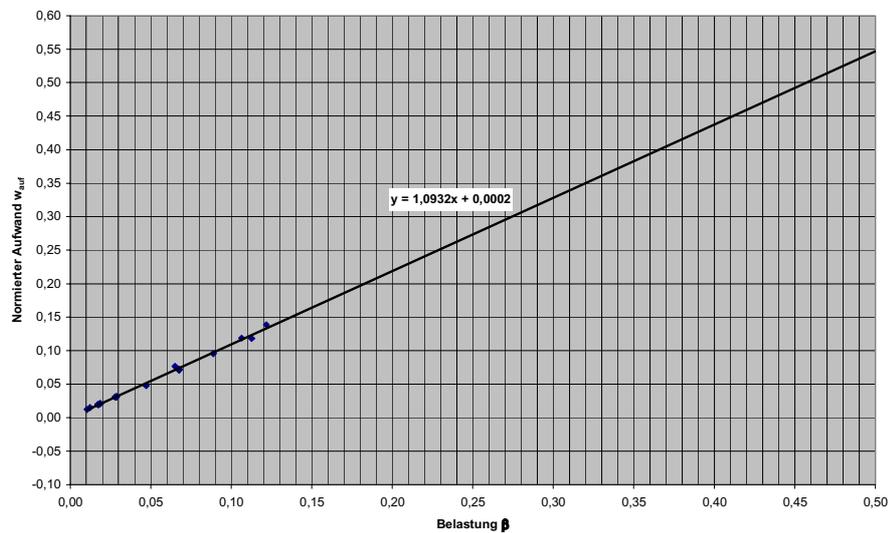
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

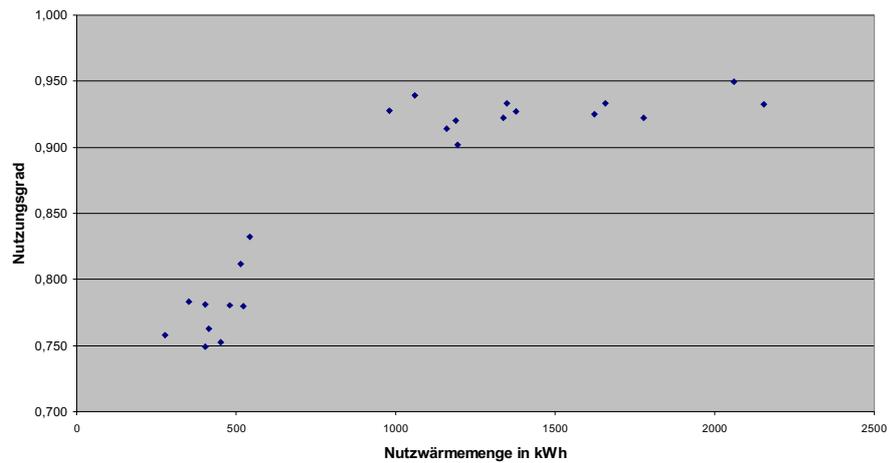


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

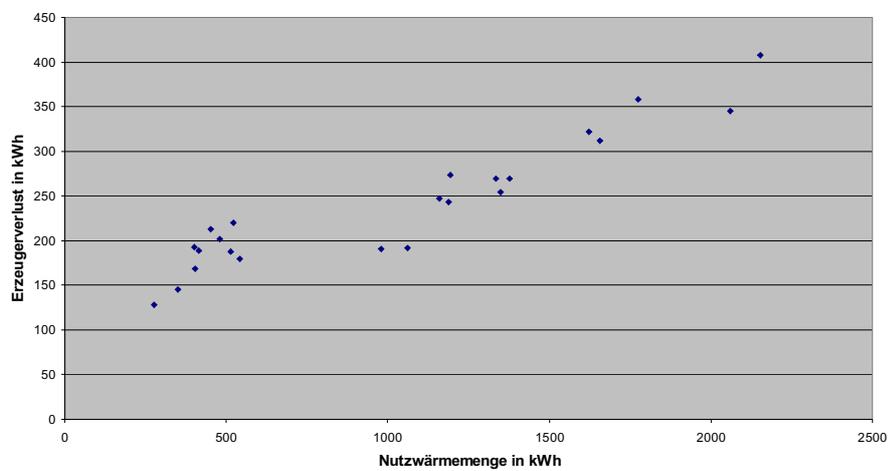


Anlage 12

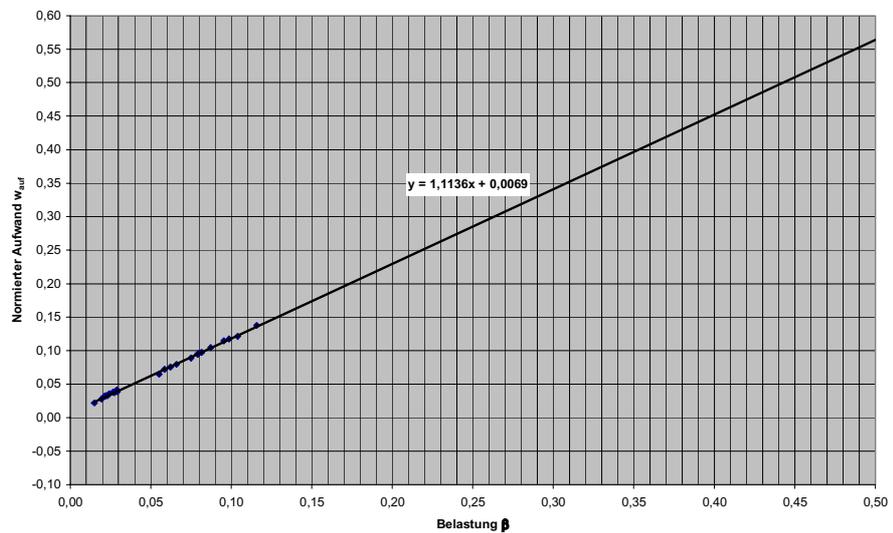
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

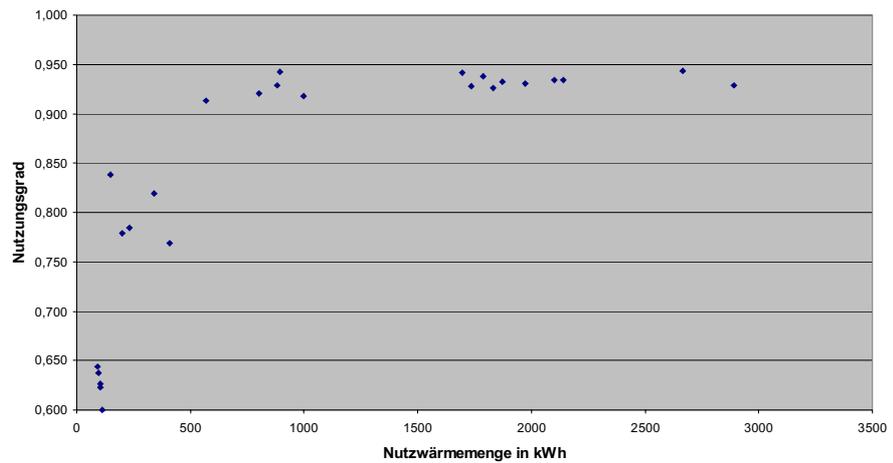


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

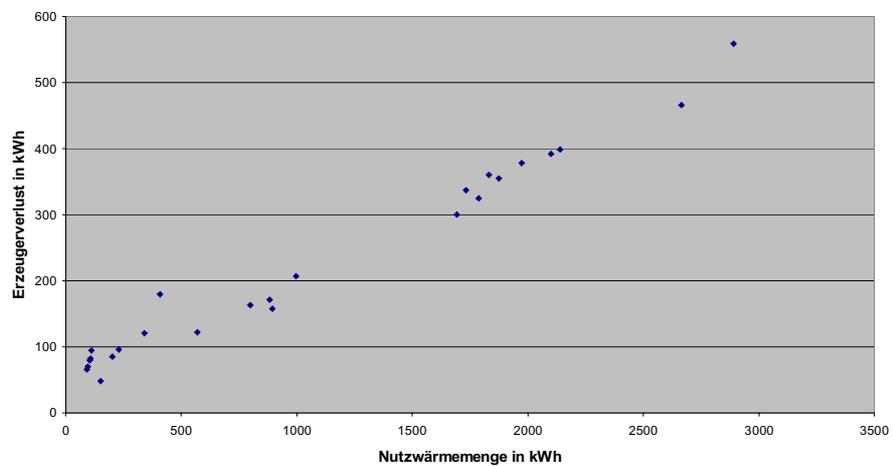


Anlage 13

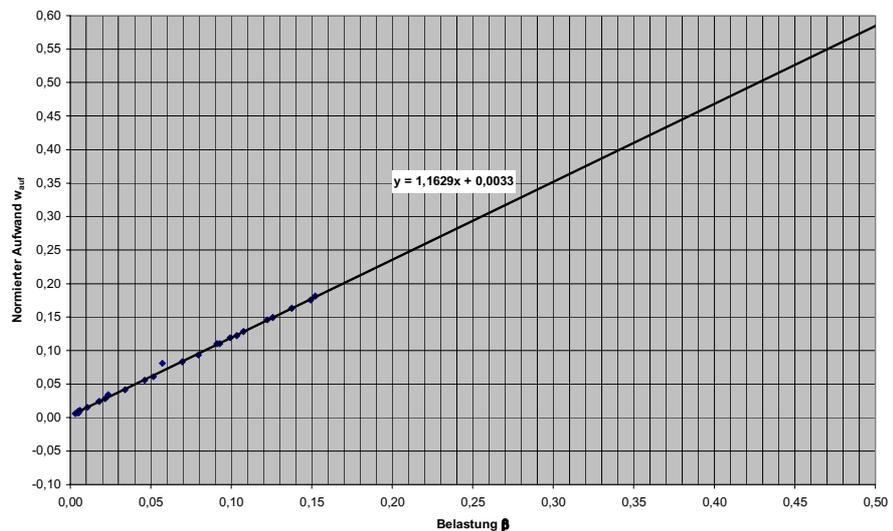
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

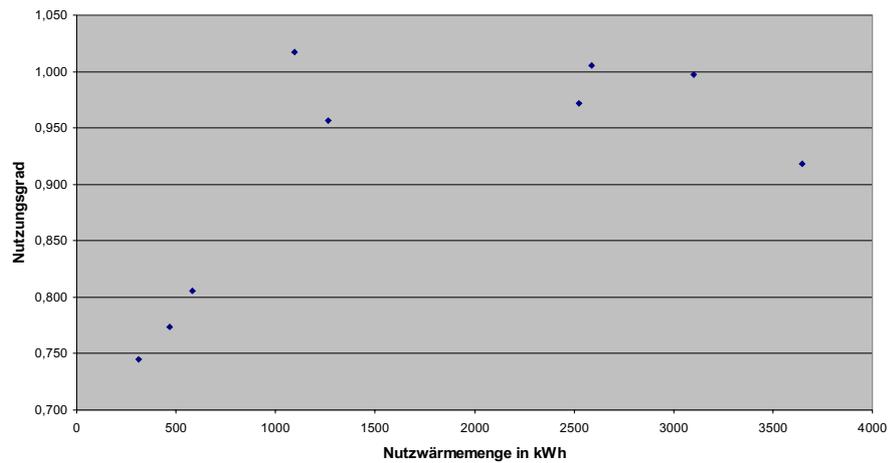


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

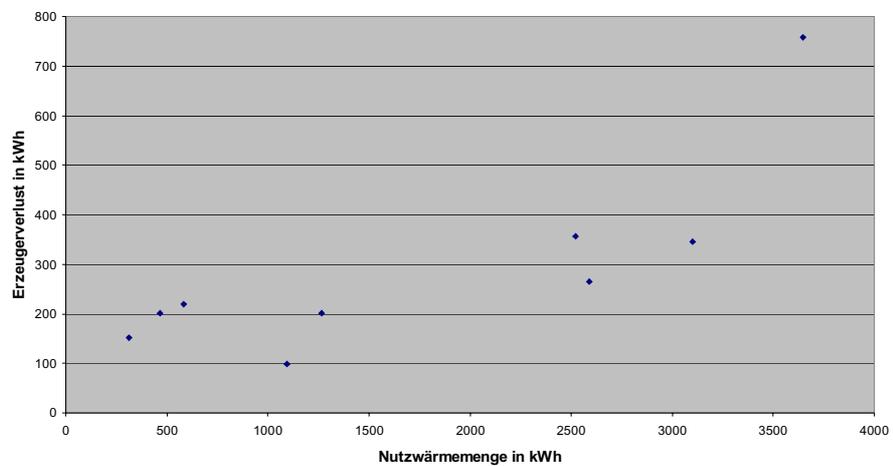


Anlage 15

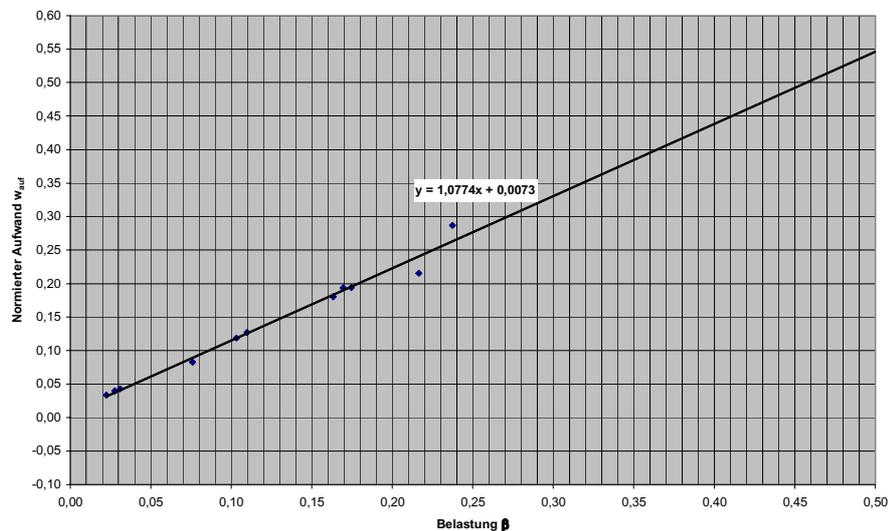
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

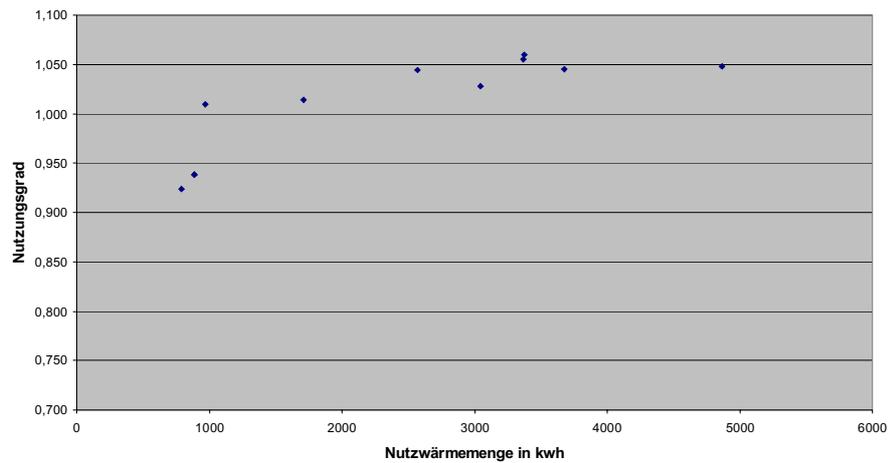


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

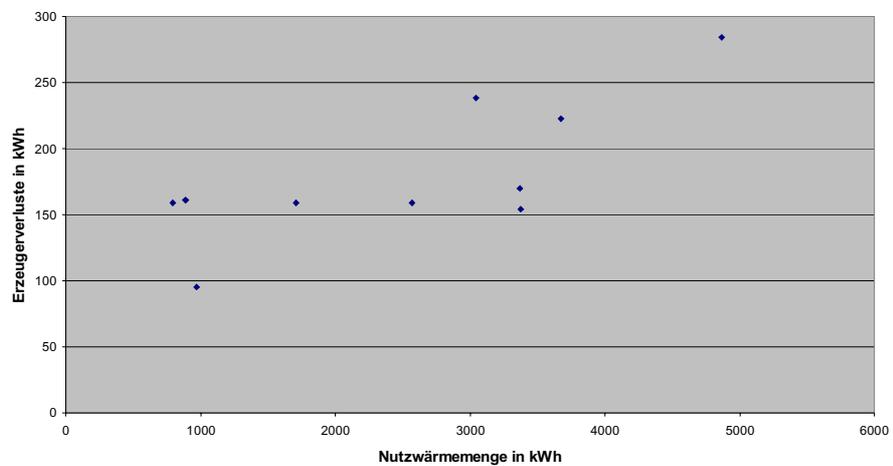


Anlage 16

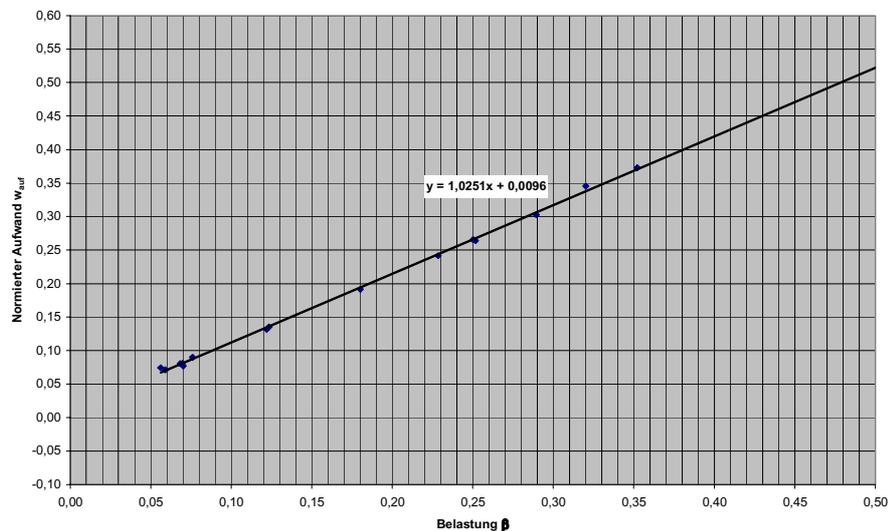
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

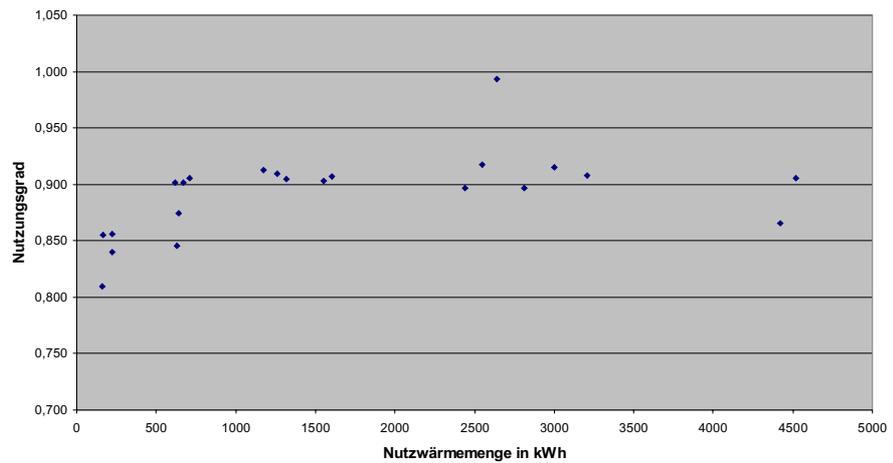


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

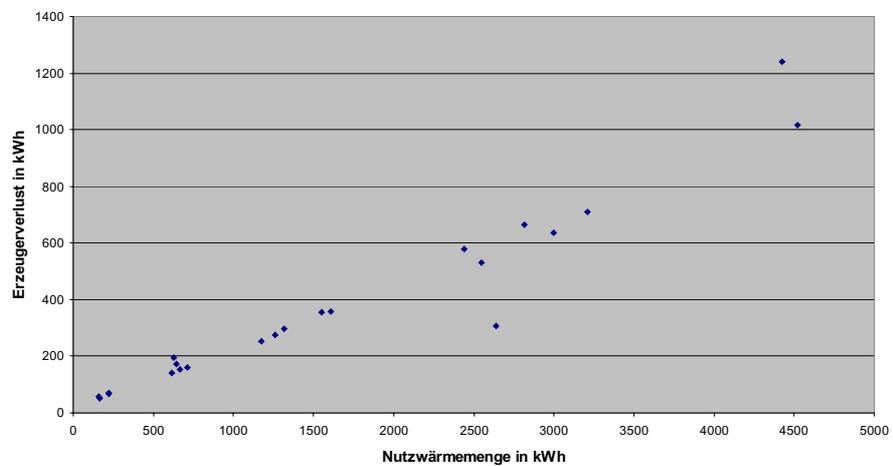


Anlage 17

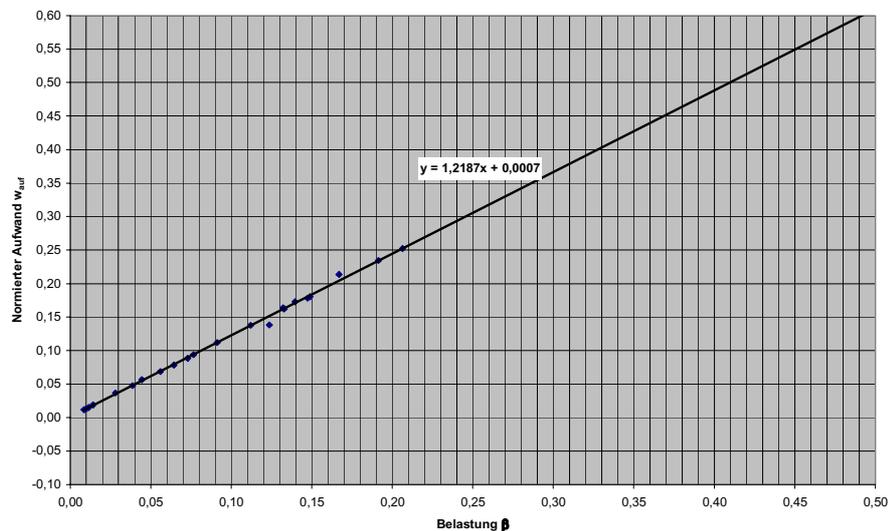
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

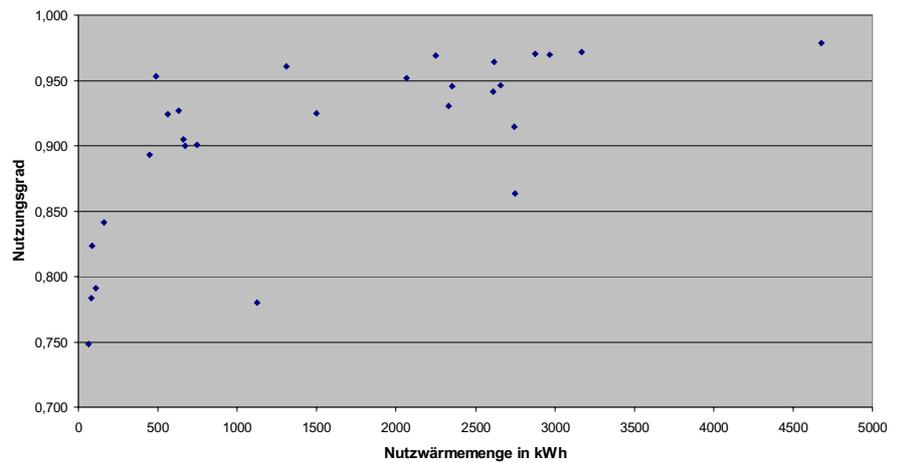


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_0)

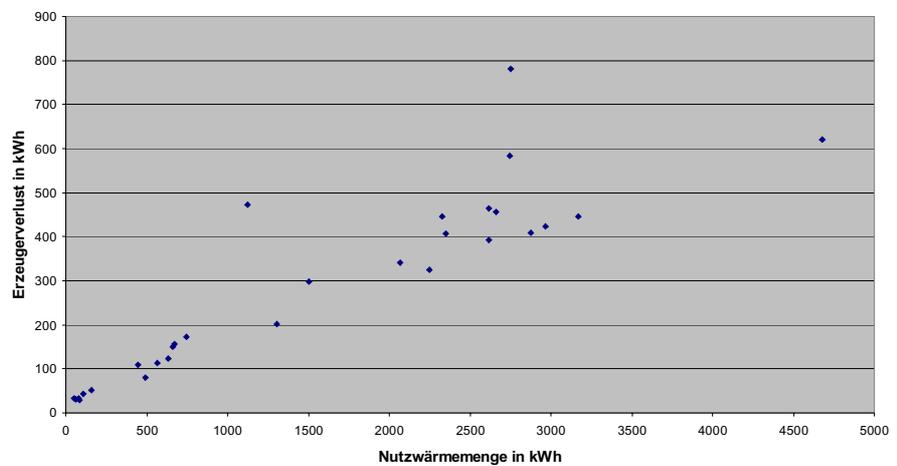


Anlage 18

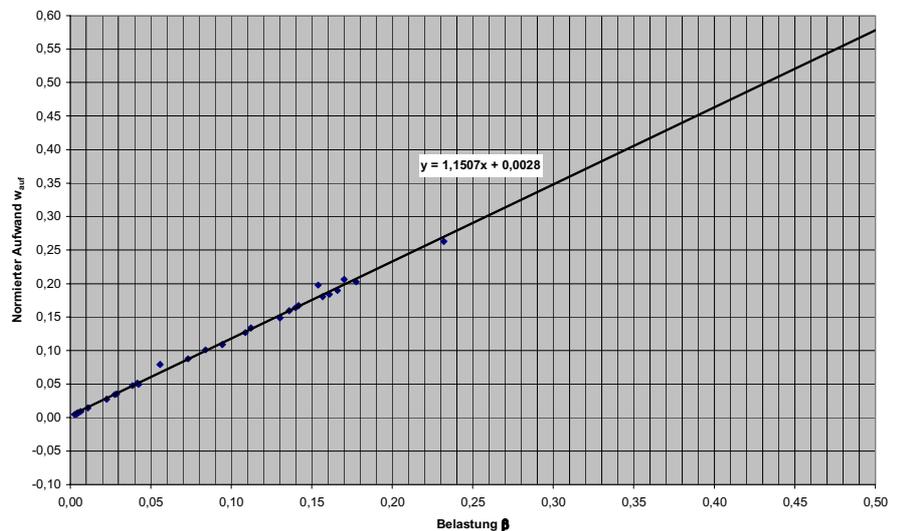
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

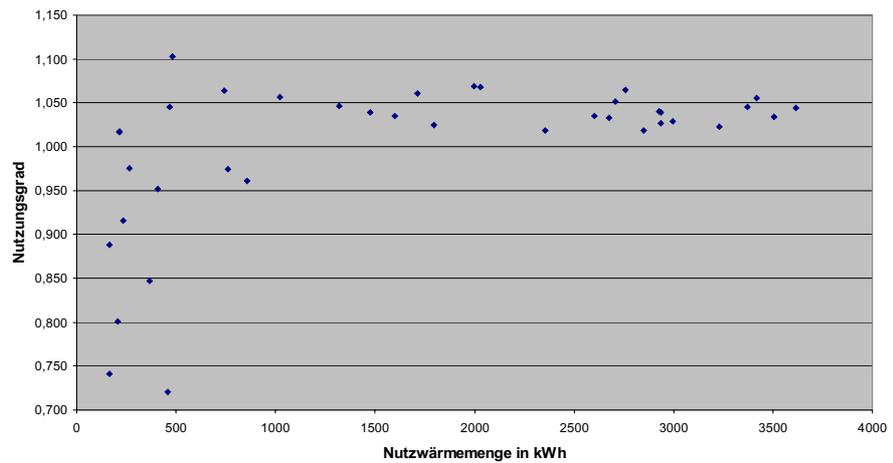


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_0)

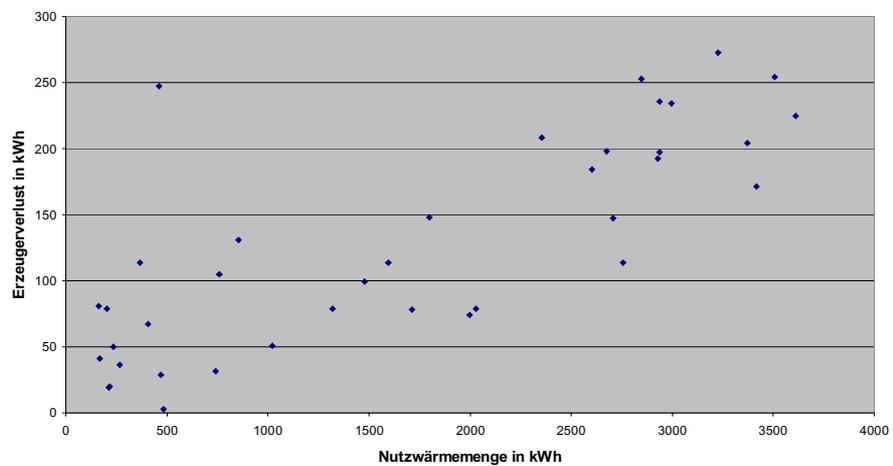


Anlage 19

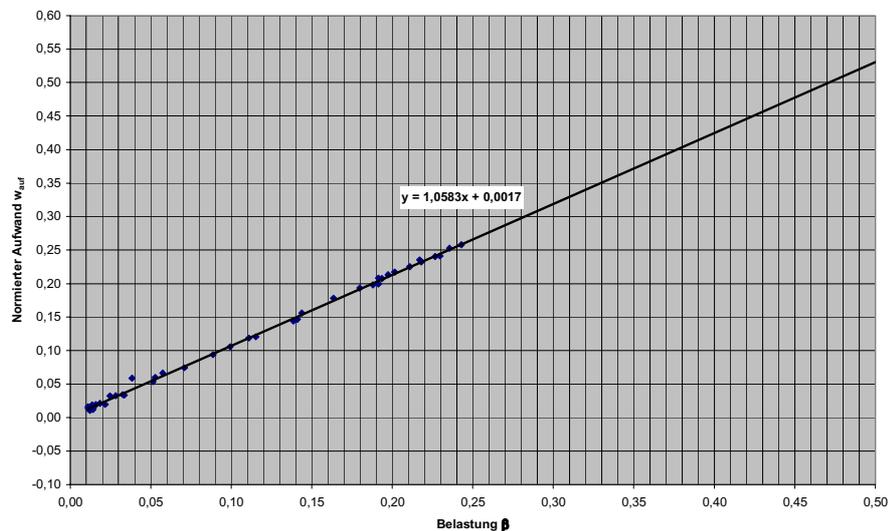
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

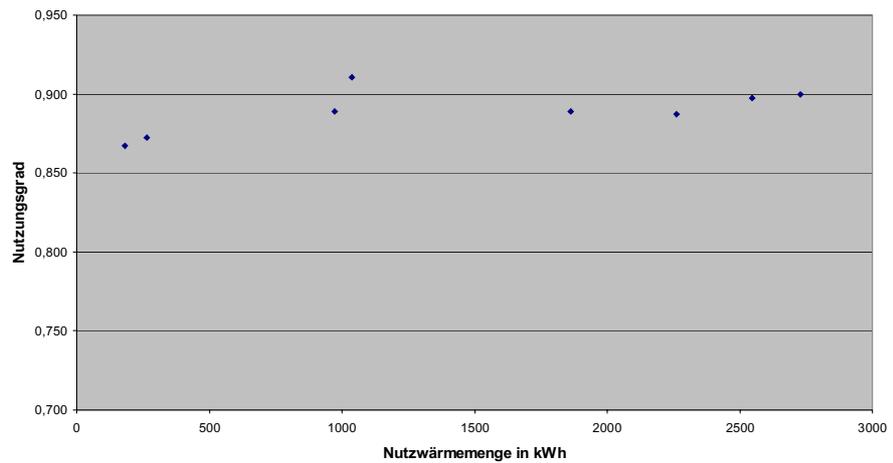


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

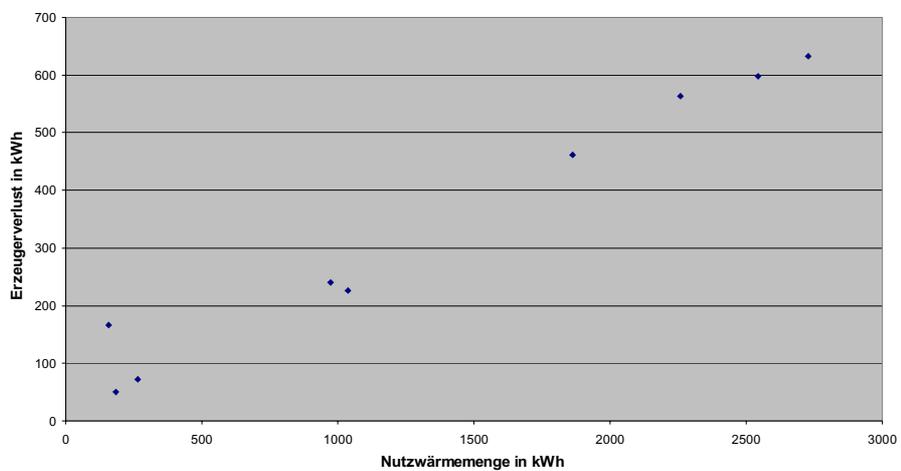


Anlage 20

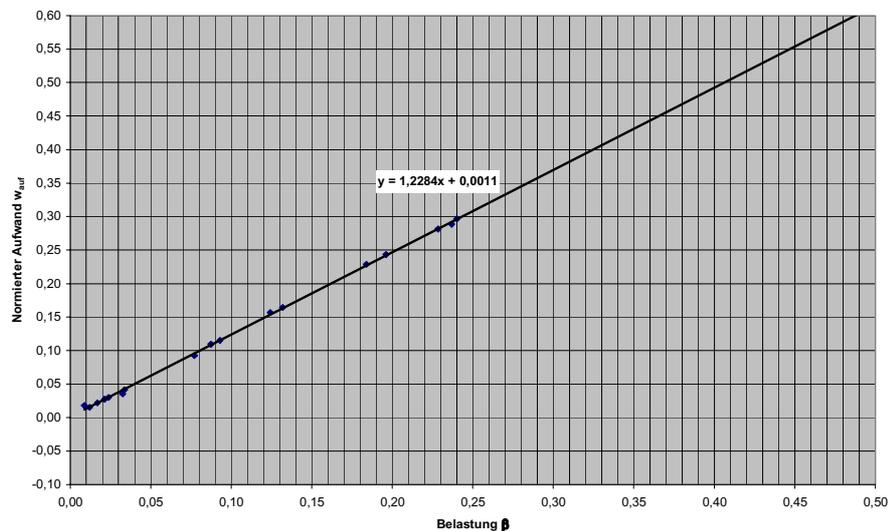
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

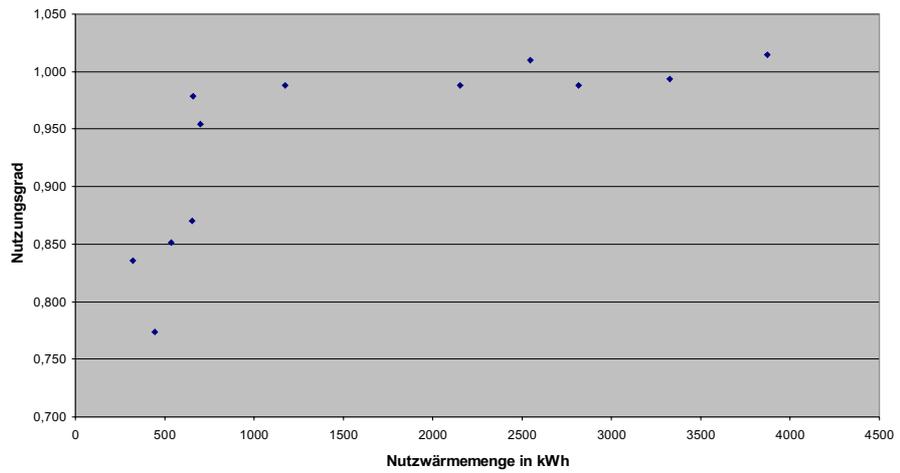


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

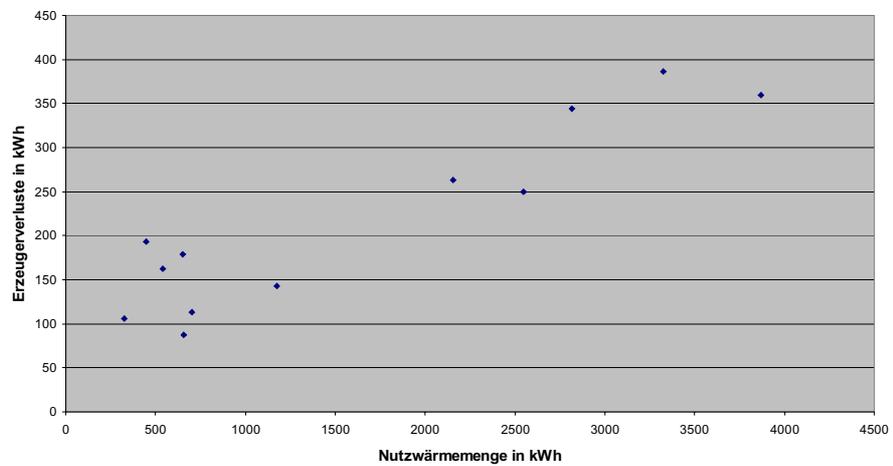


Anlage 24

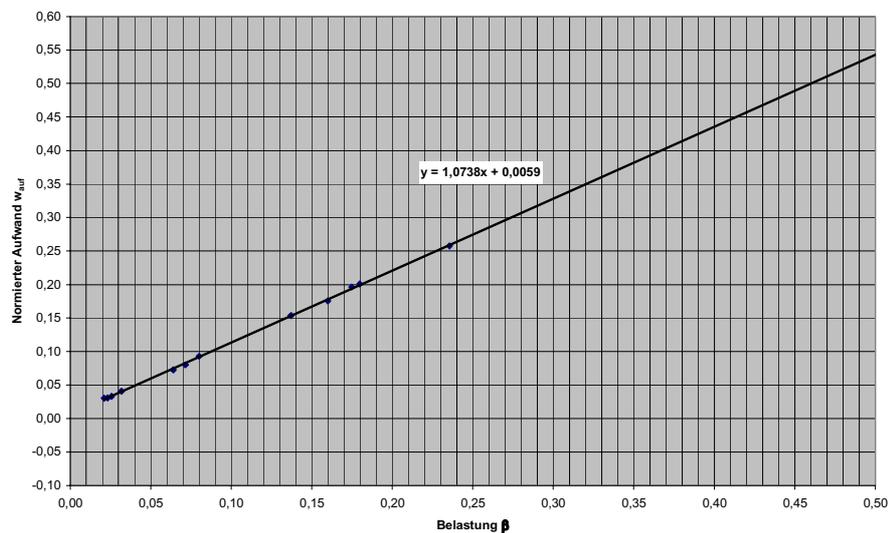
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

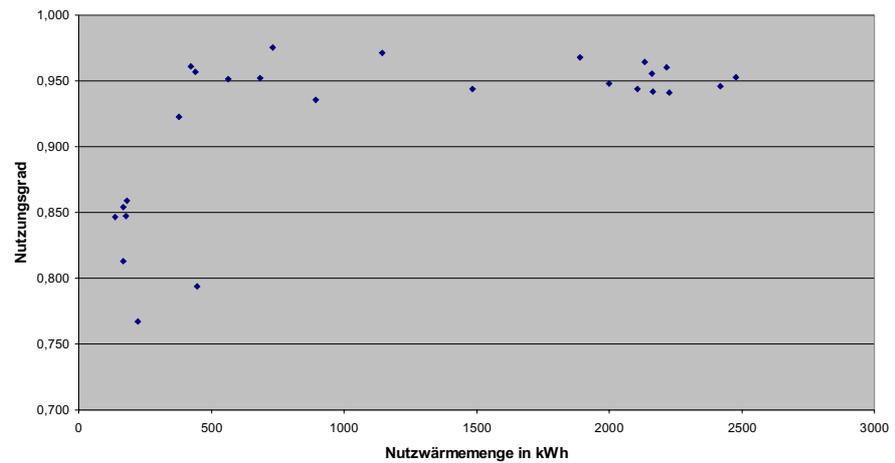


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

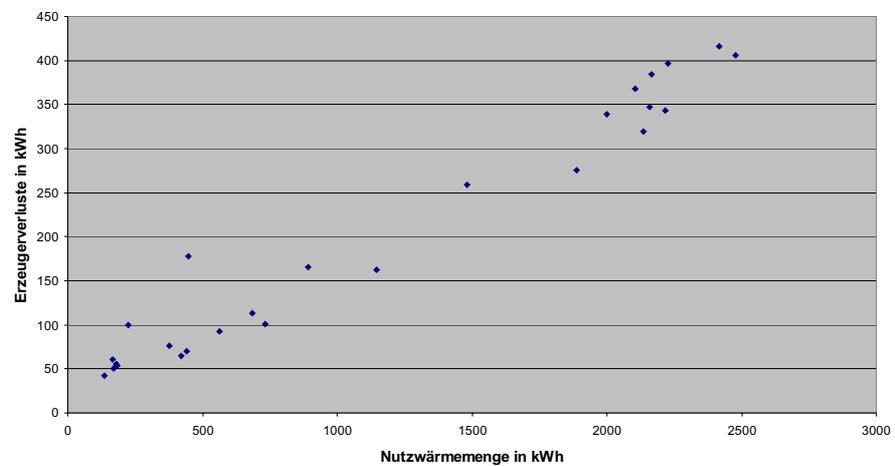


Anlage 25

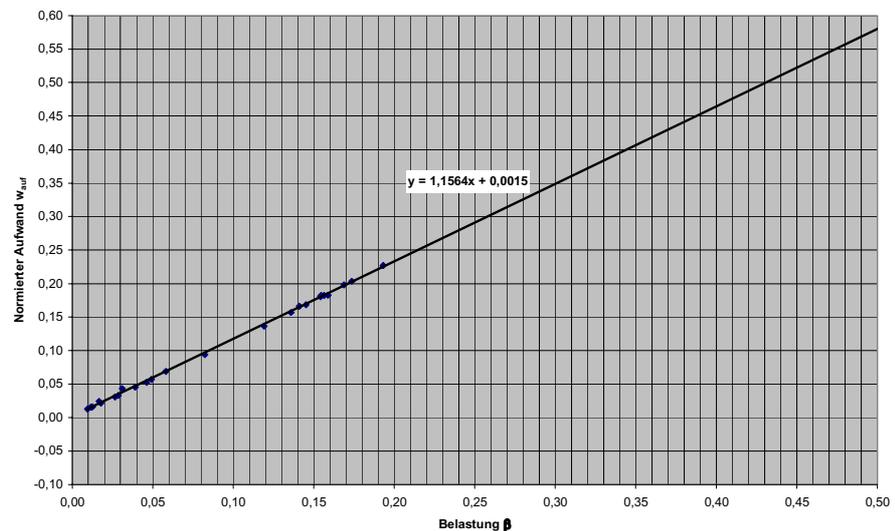
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

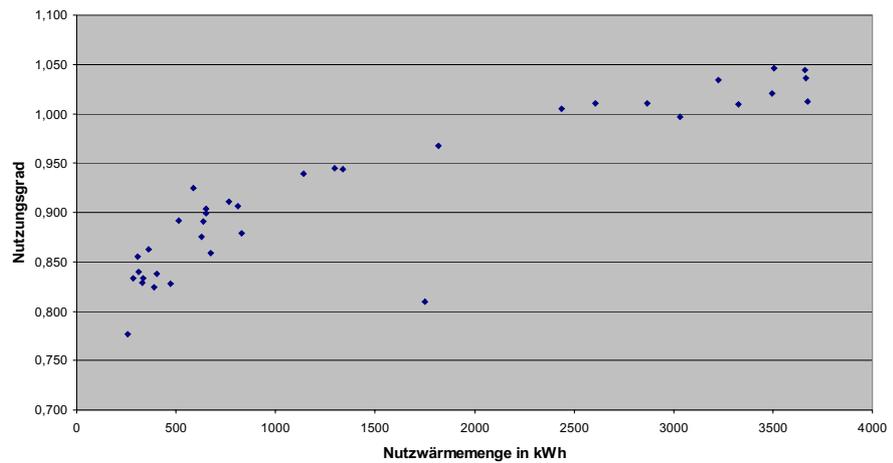


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

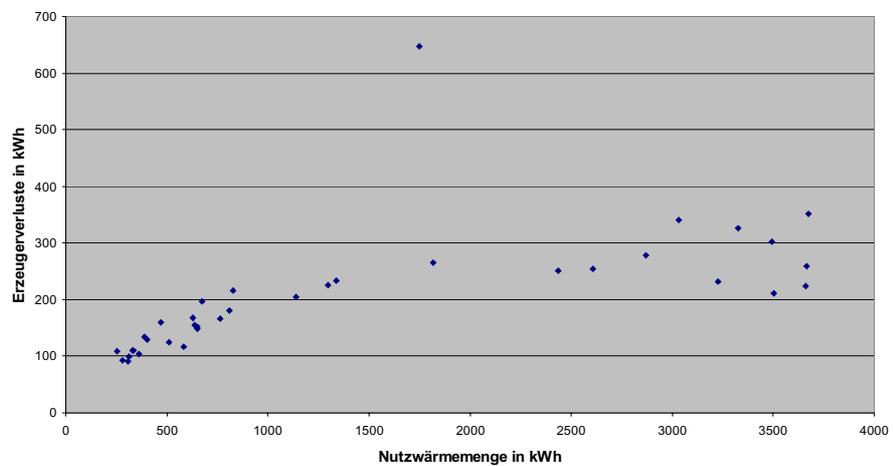


Anlage 26

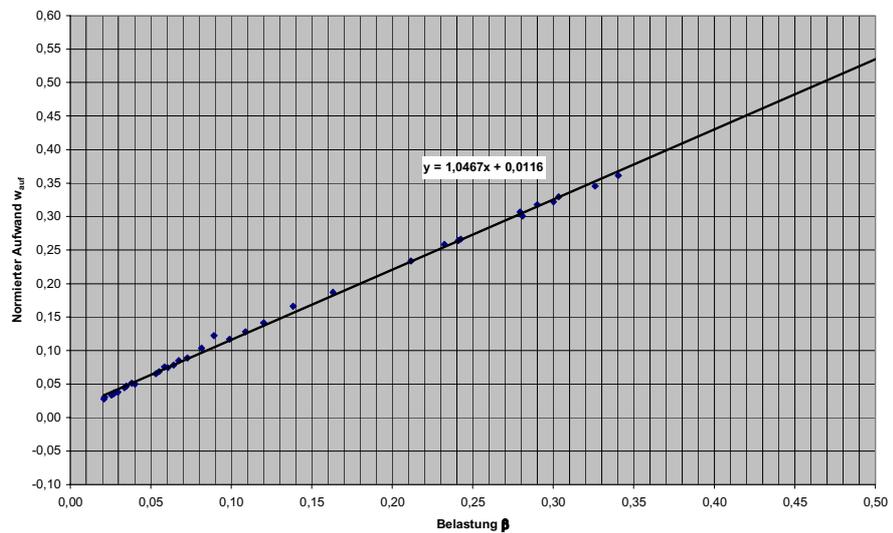
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

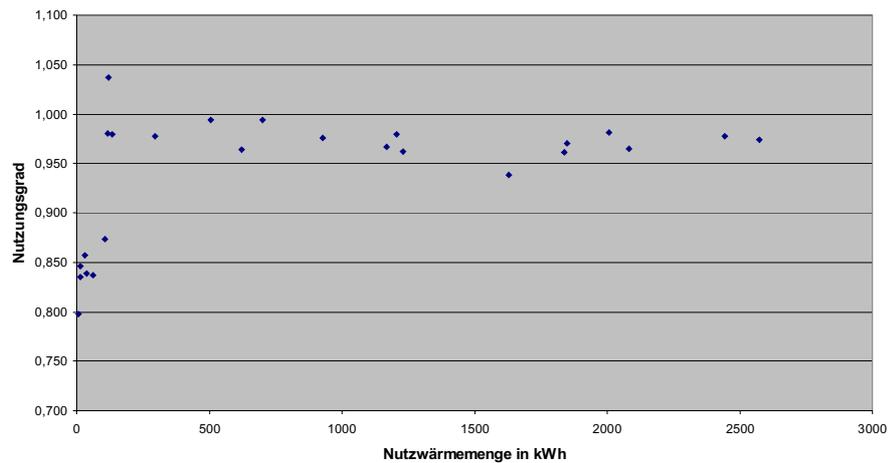


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

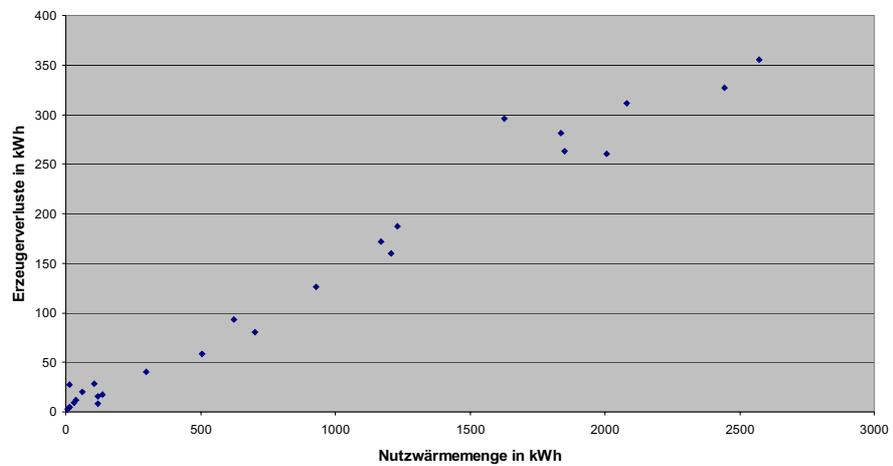


Anlage 27

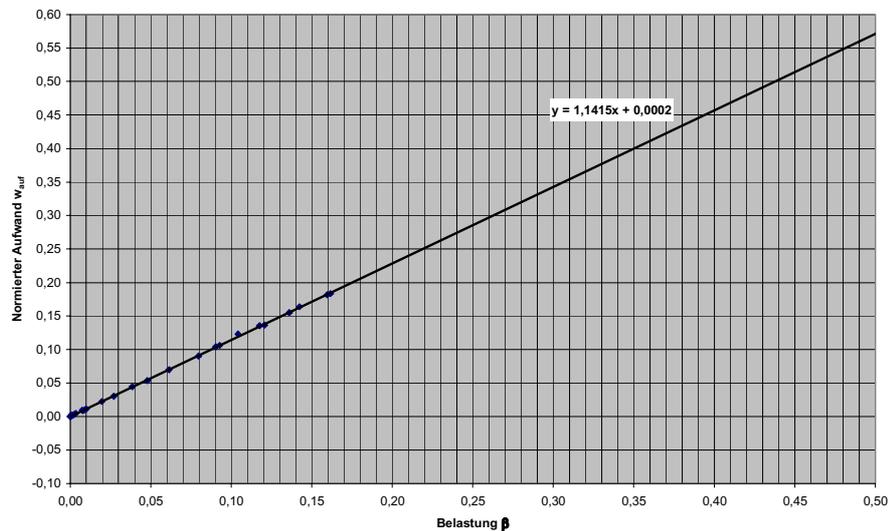
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

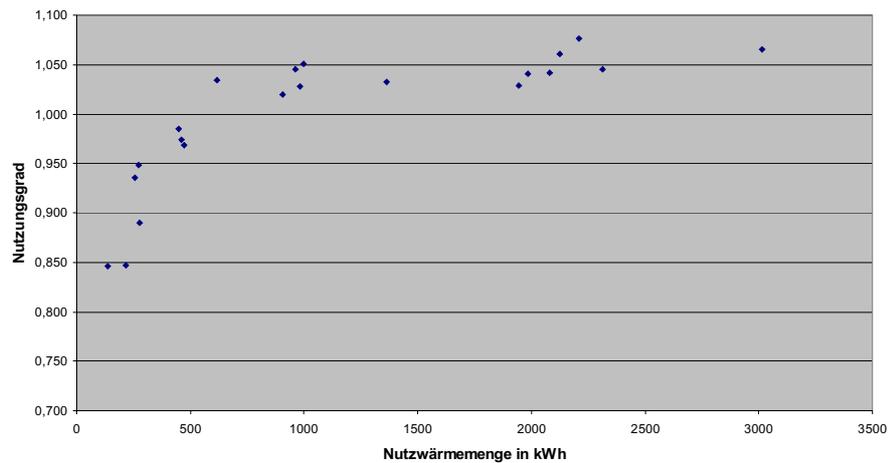


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

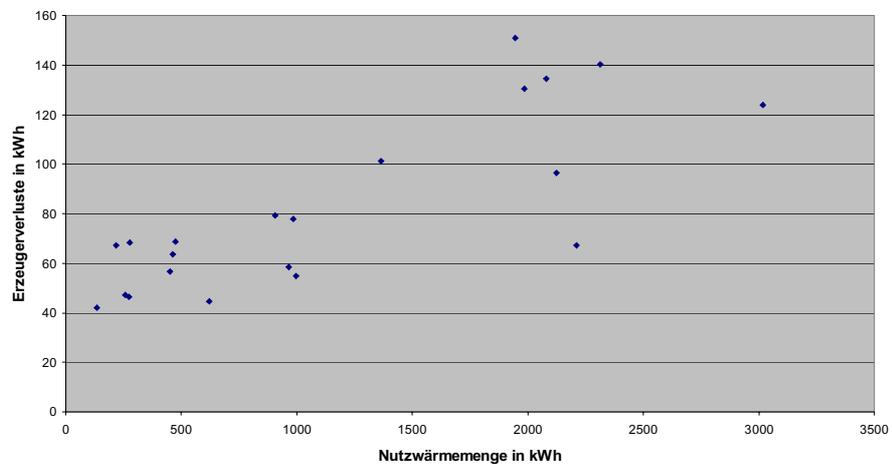


Anlage 29

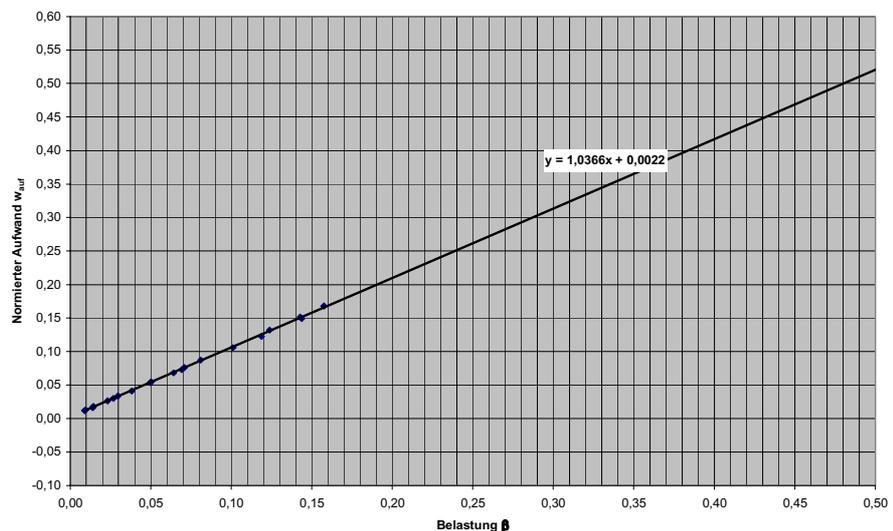
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

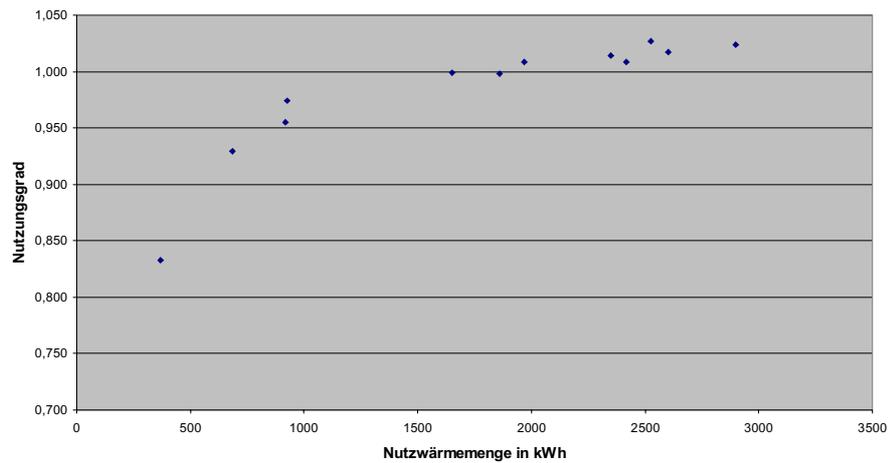


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

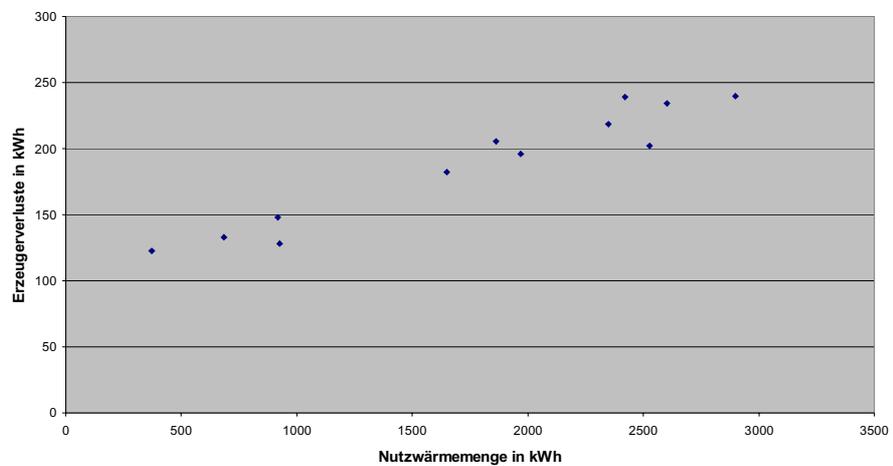


Anlage 30

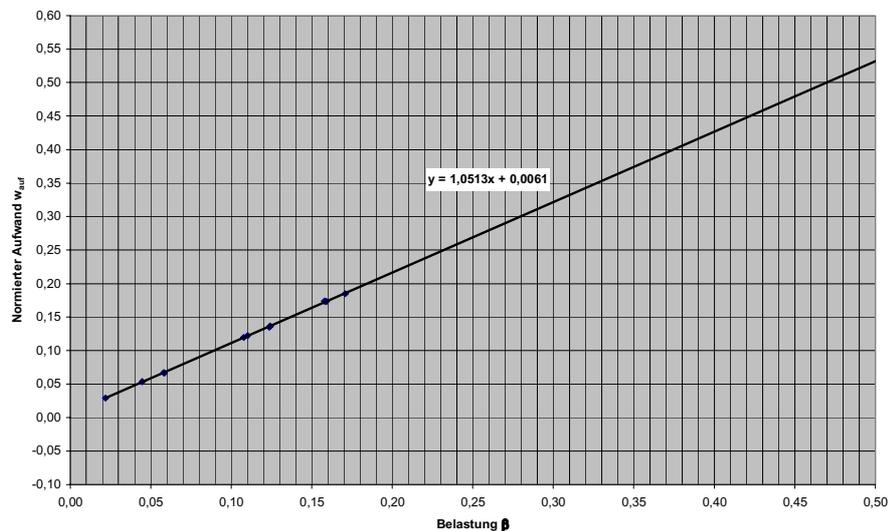
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

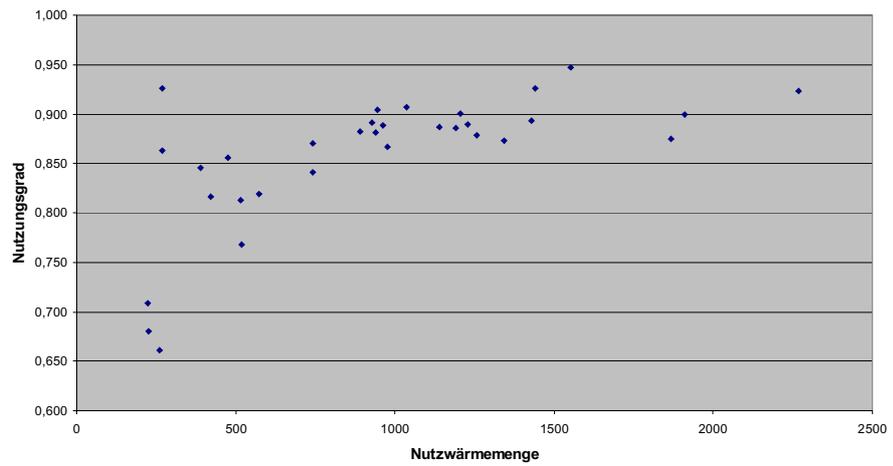


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

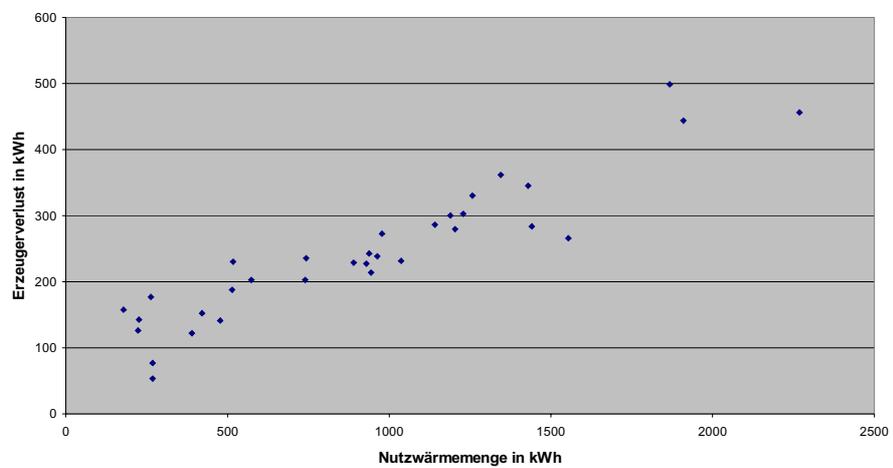


Anlage 31

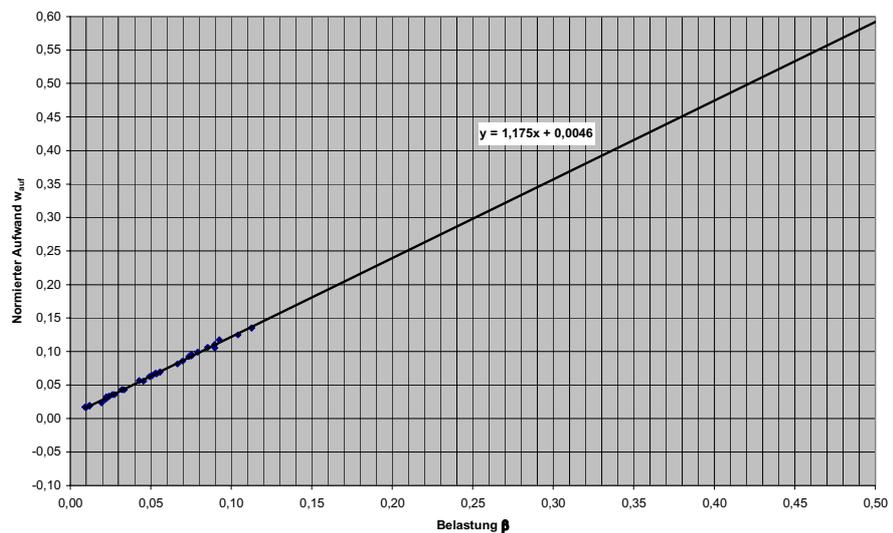
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

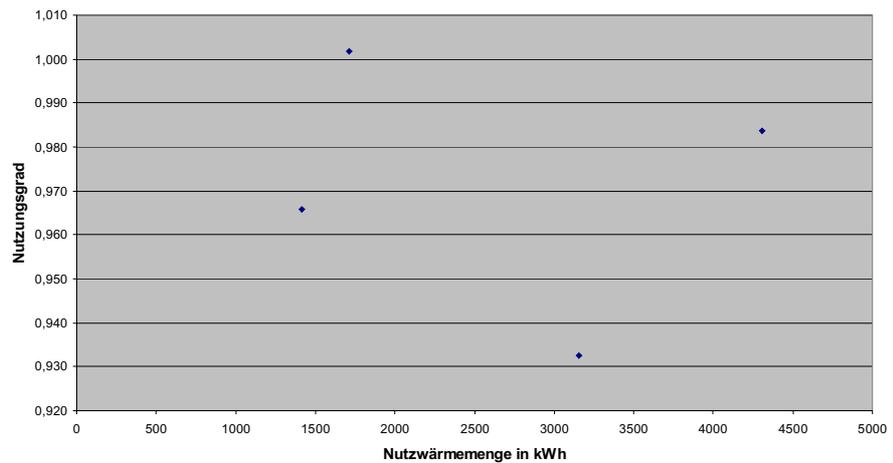


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

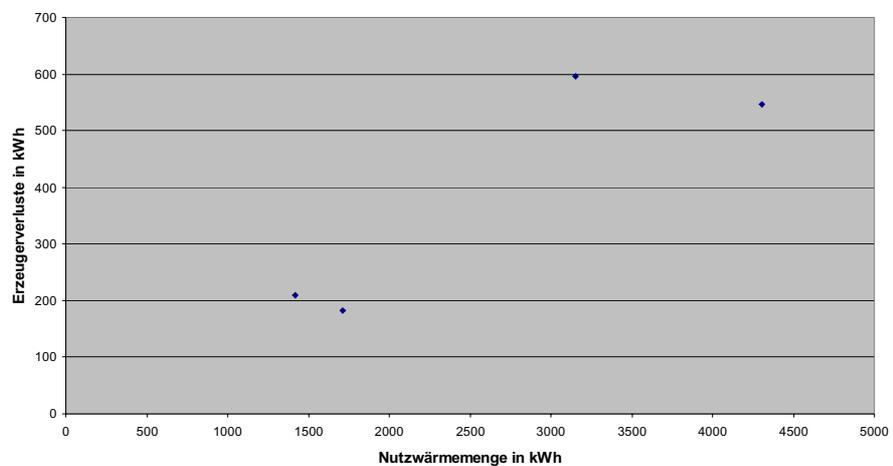


Anlage 32

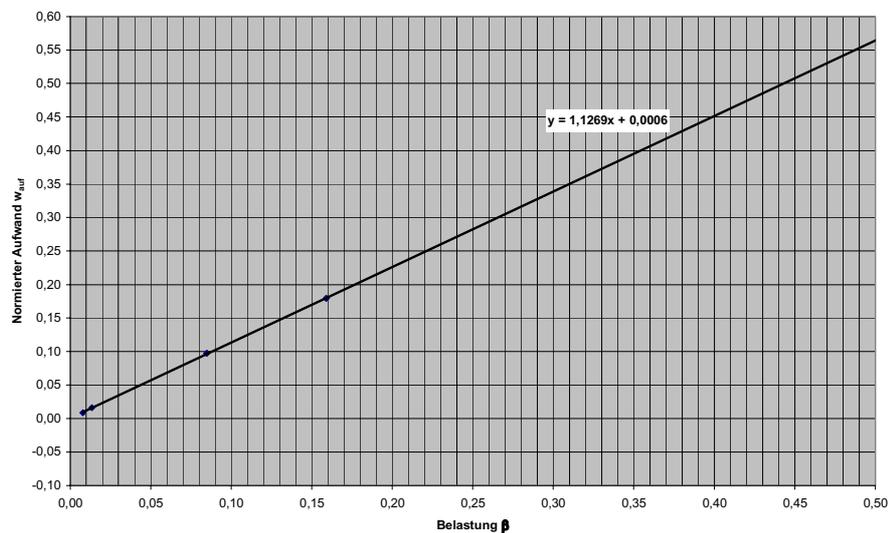
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

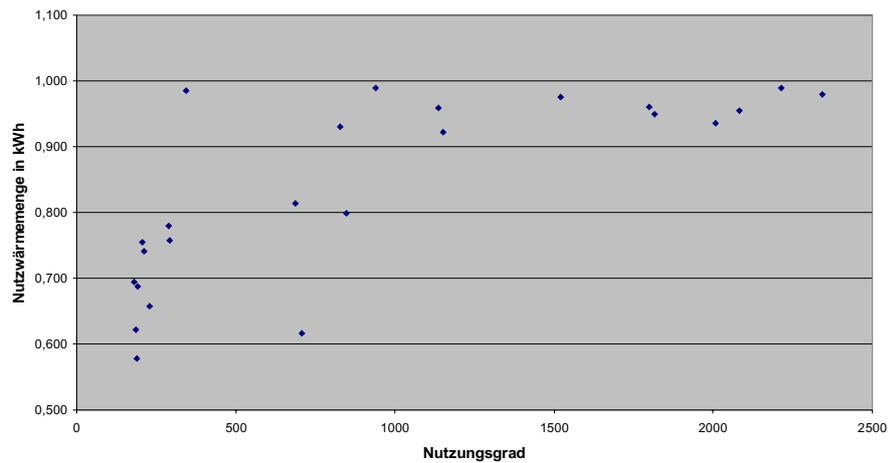


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

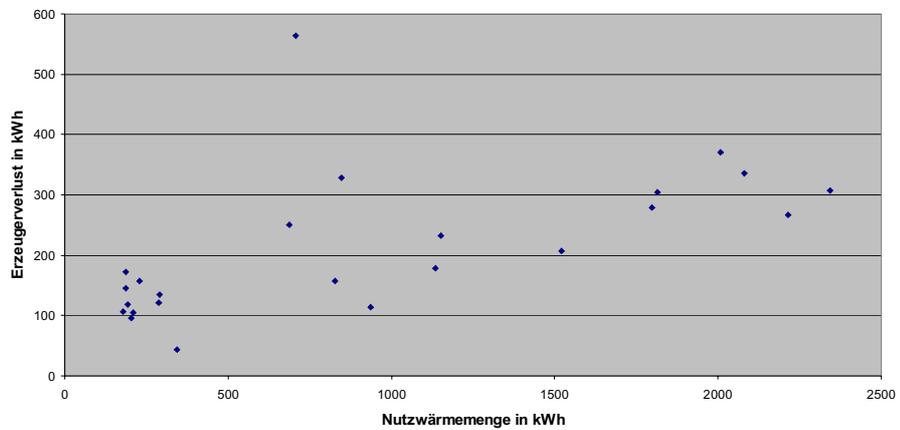


Anlage 33

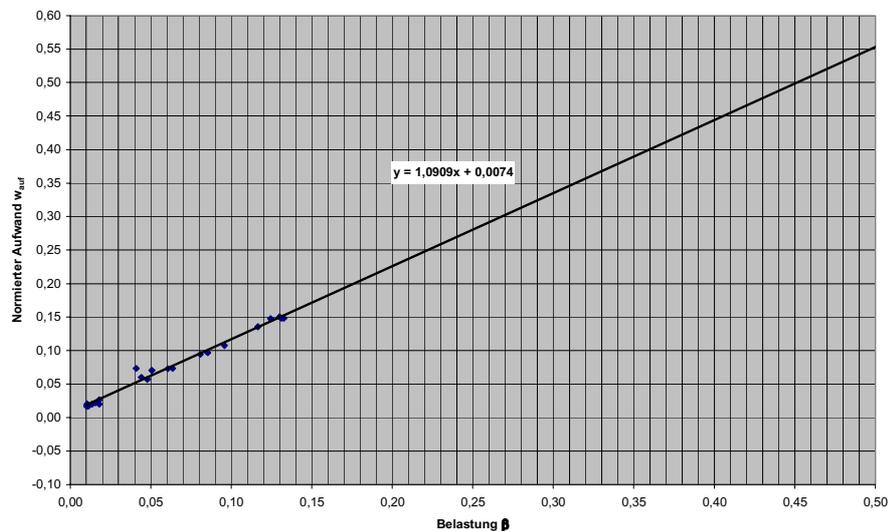
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

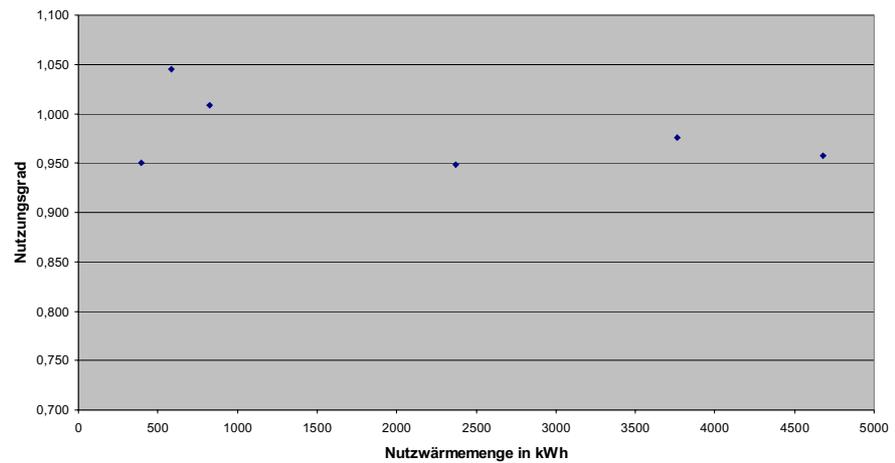


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

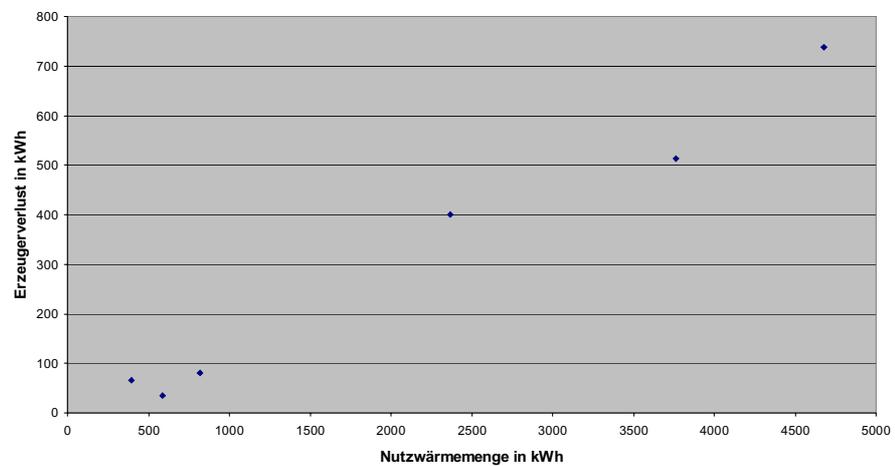


Anlage 35

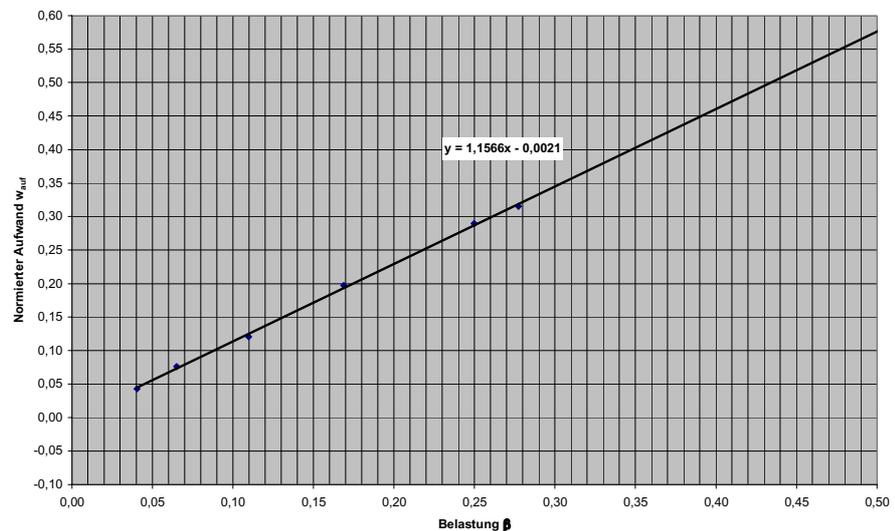
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

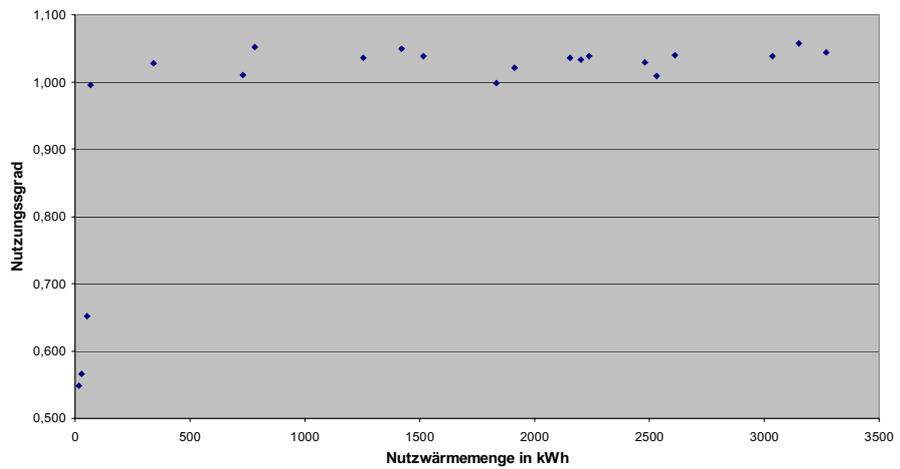


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

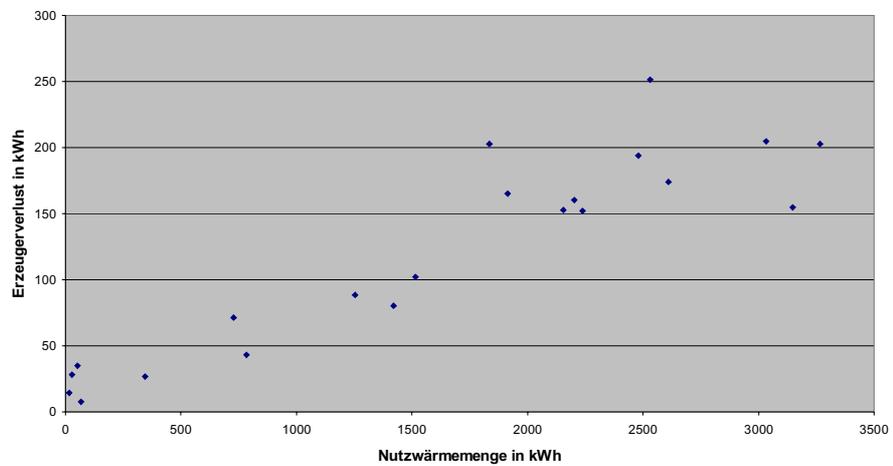


Anlage 37

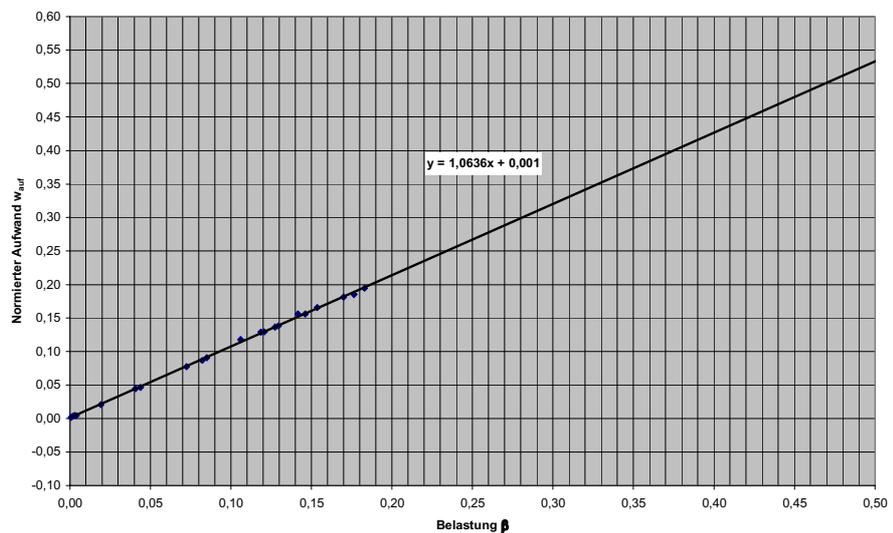
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

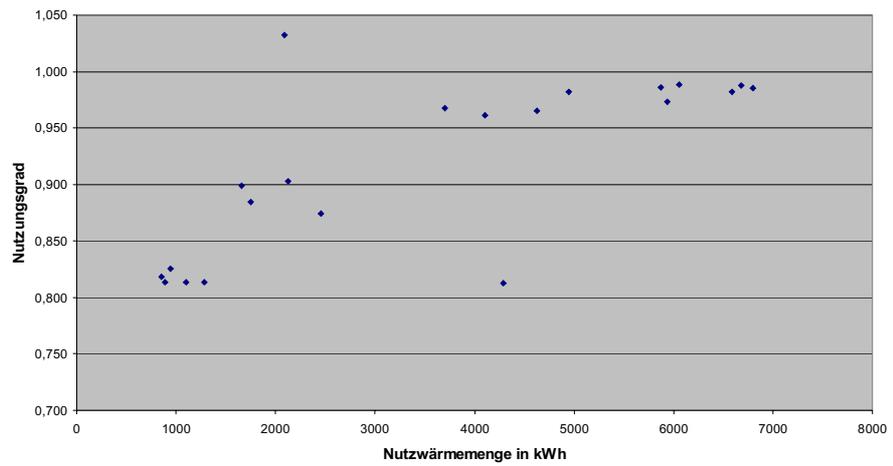


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_0)

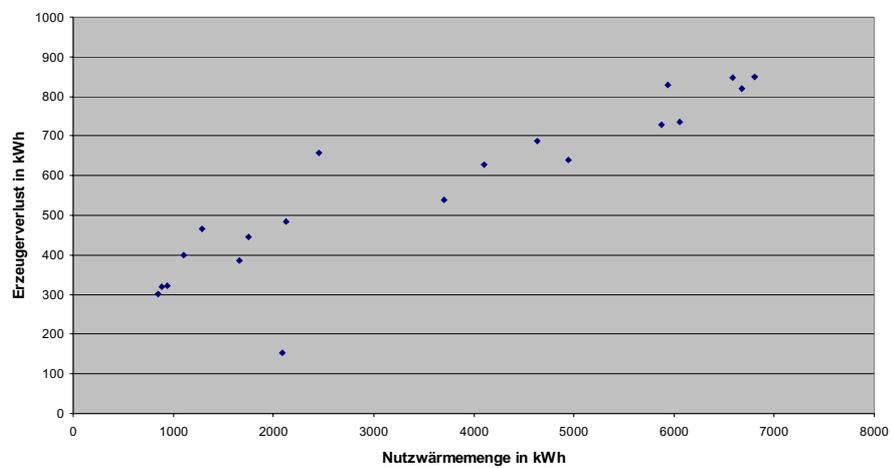


Anlage 39

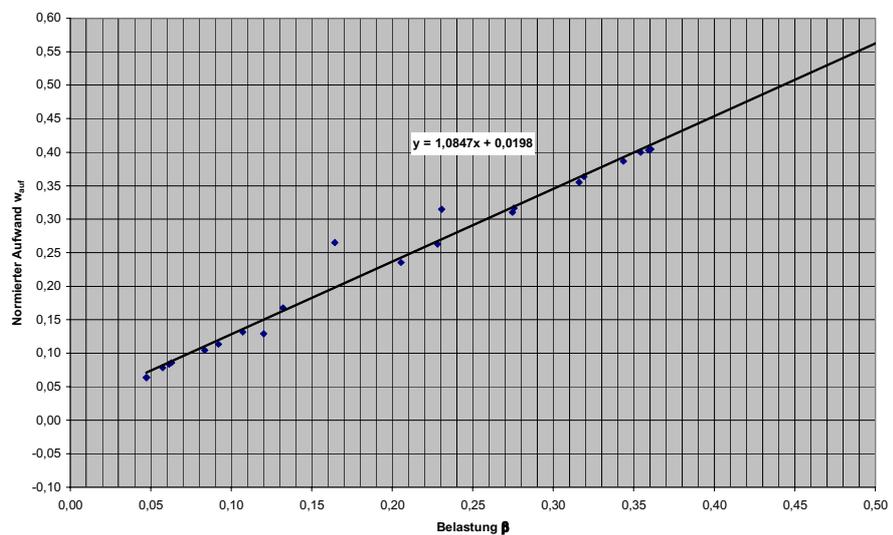
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

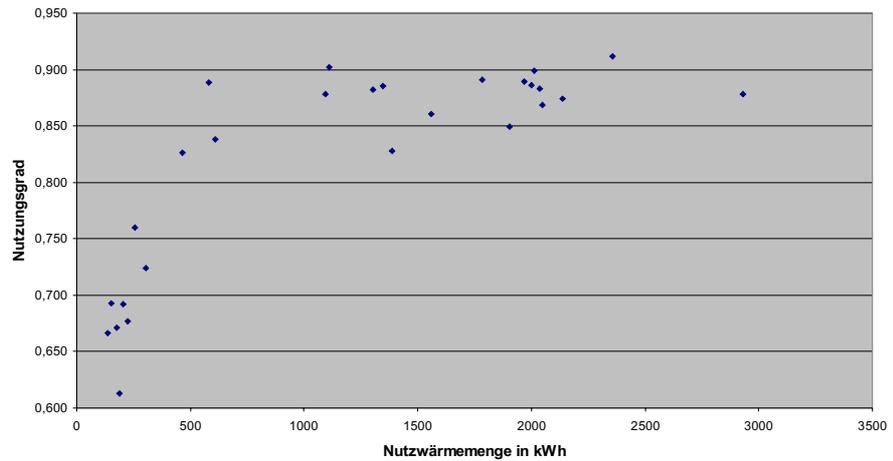


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

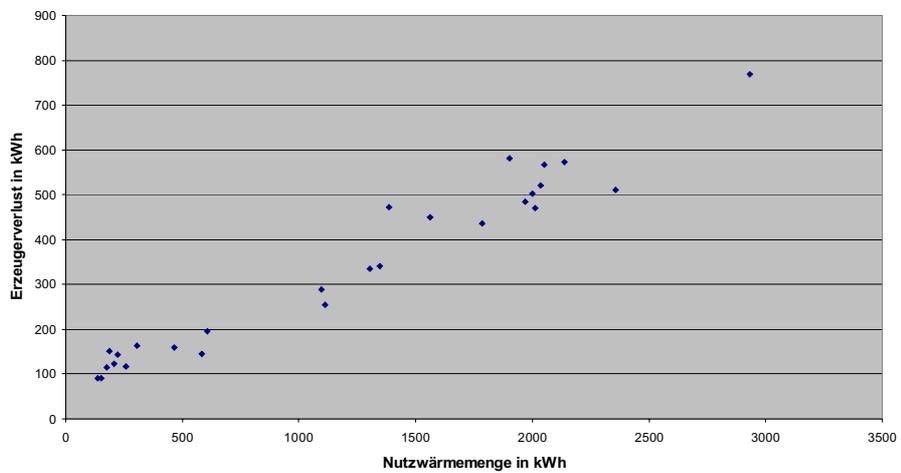


Anlage 40

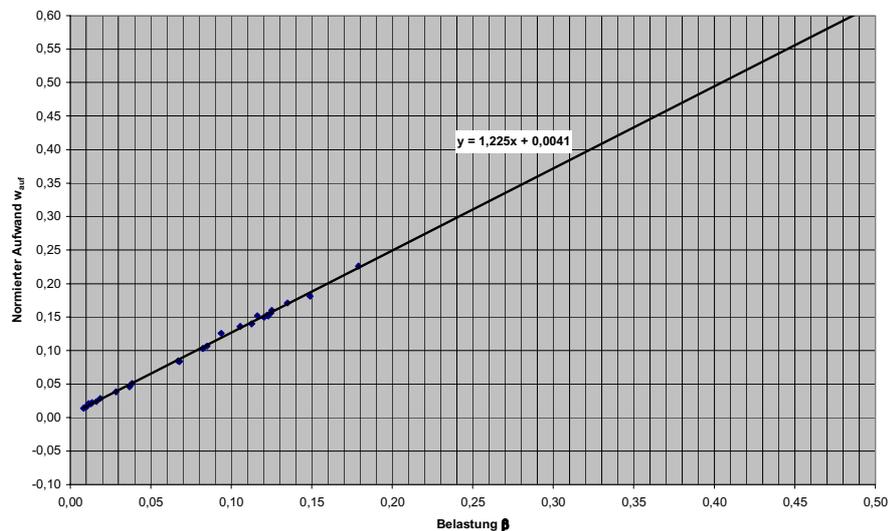
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

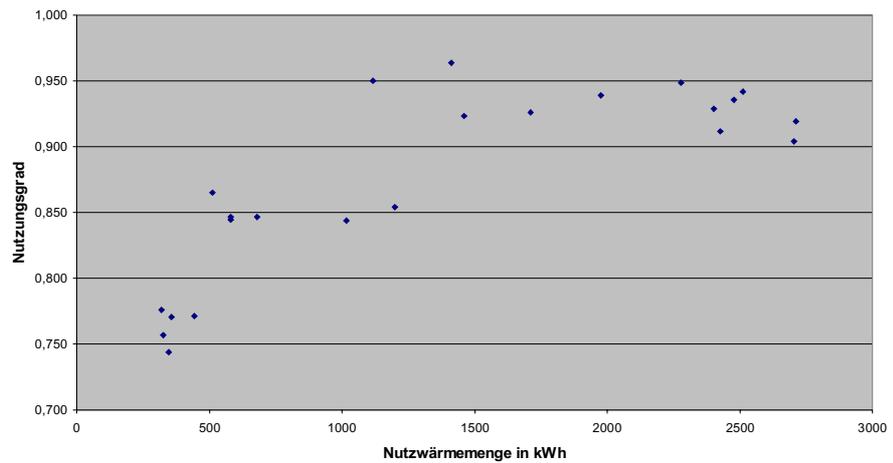


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

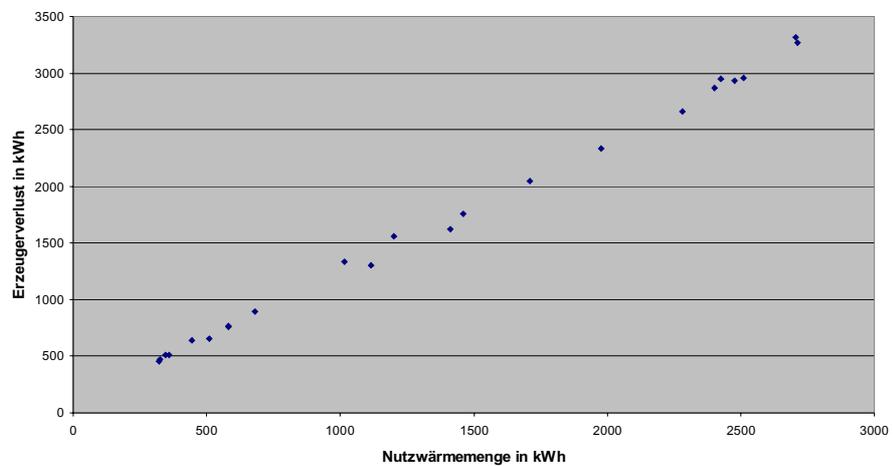


Anlage 43

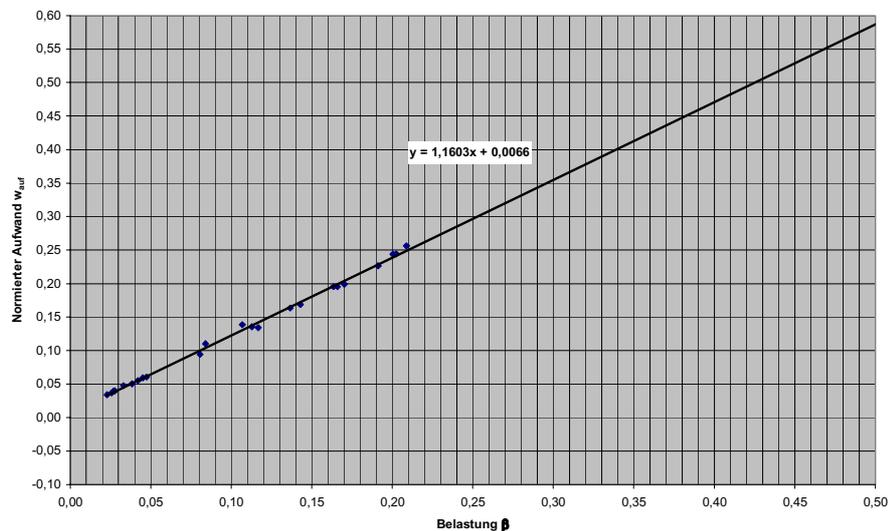
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

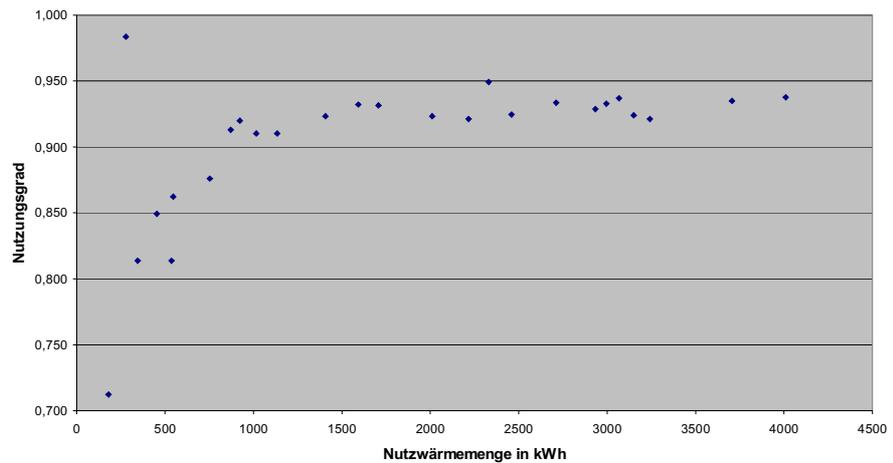


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

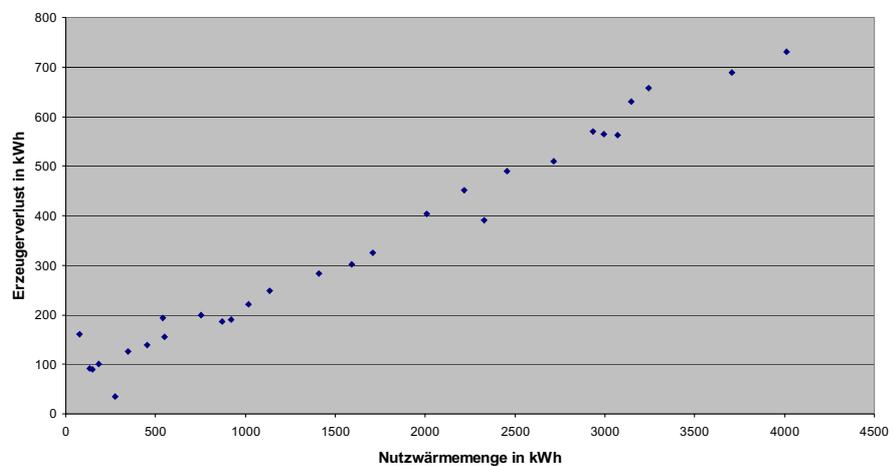


Anlage 44

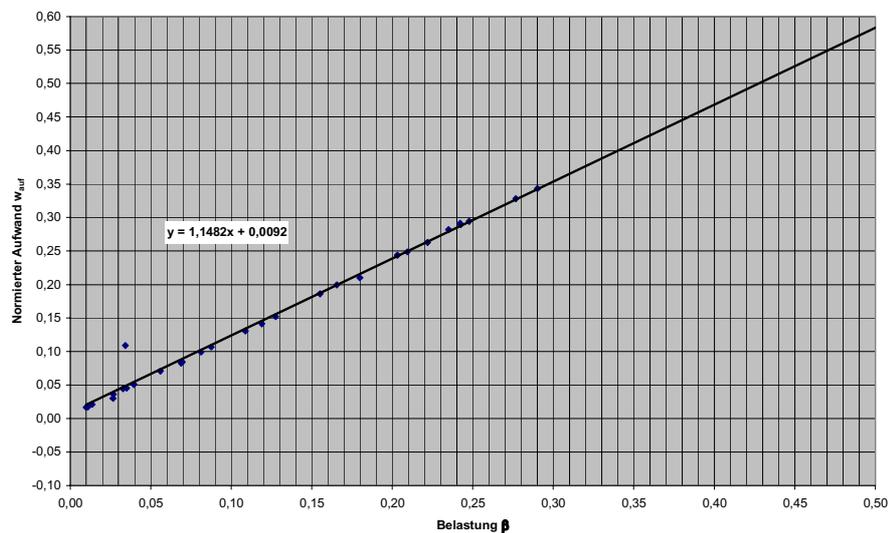
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

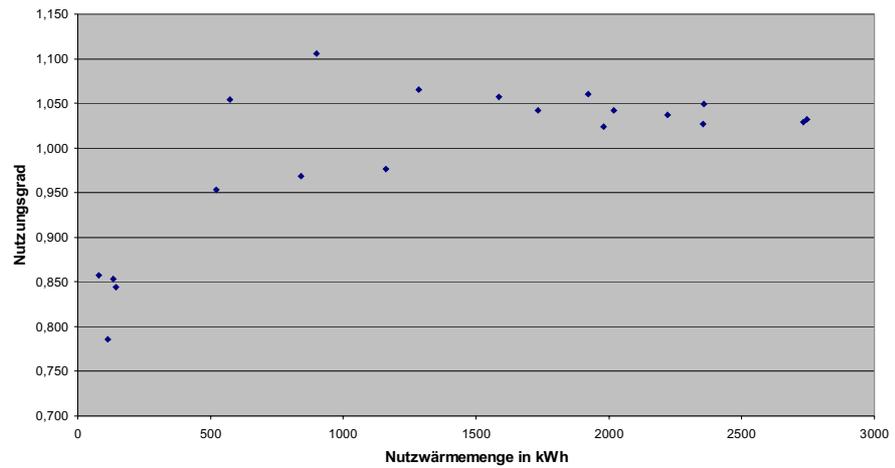


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

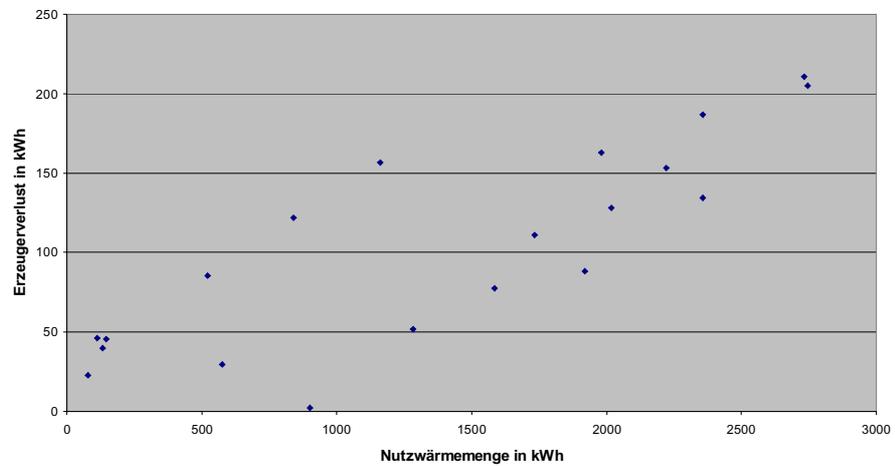


Anlage 45

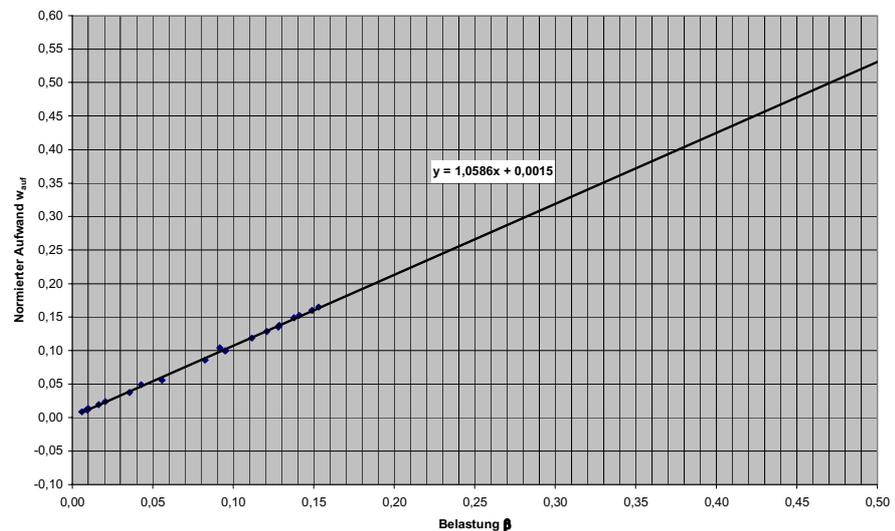
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

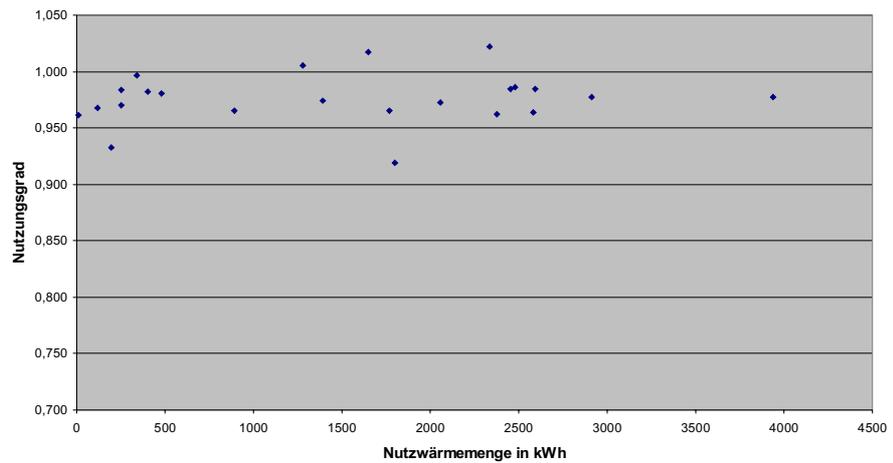


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

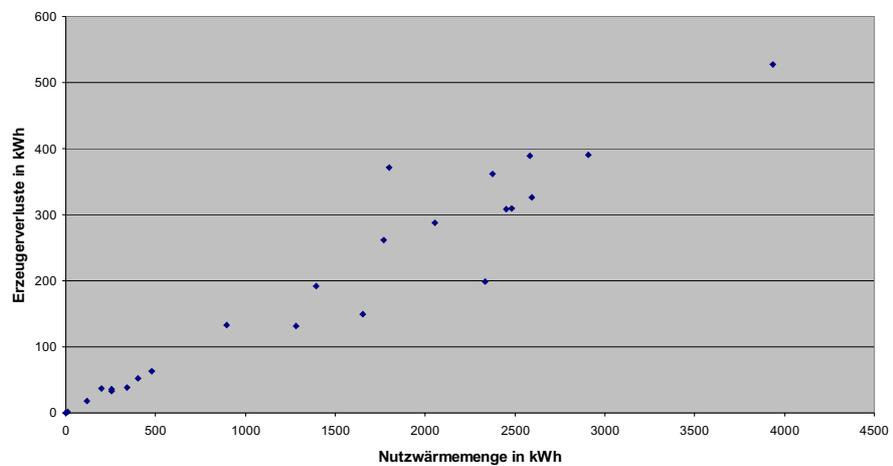


Anlage 47

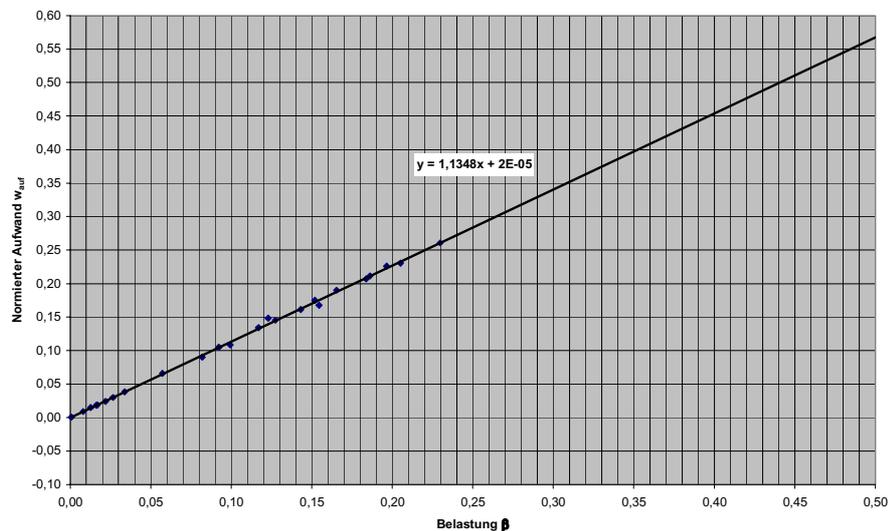
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

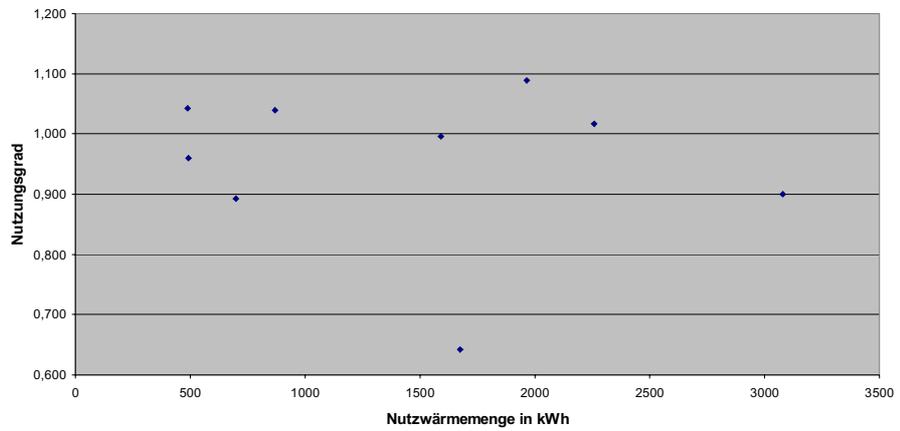


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

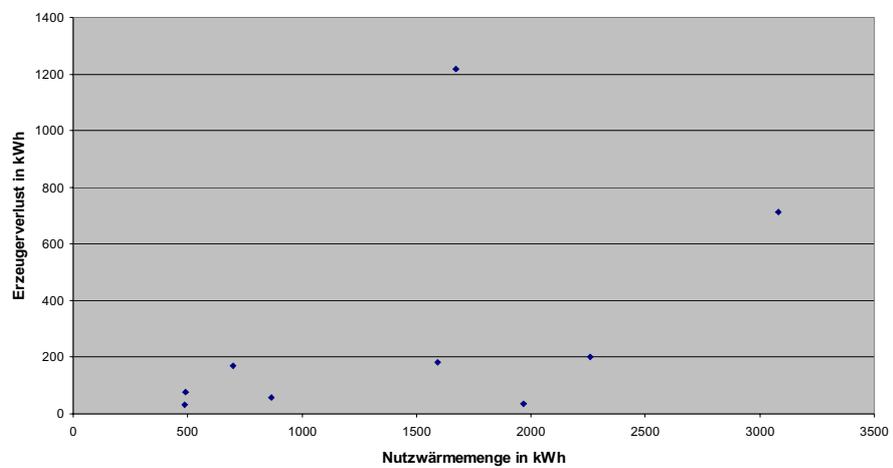


Anlage 48

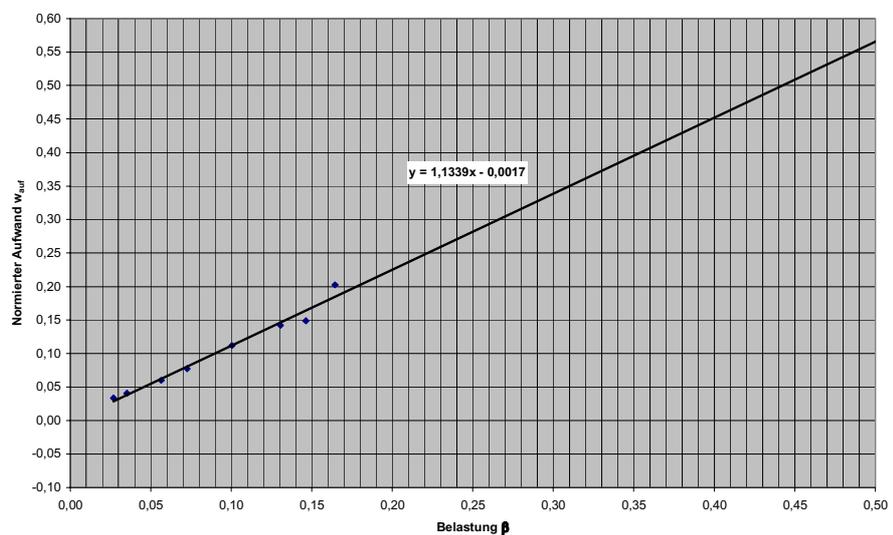
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

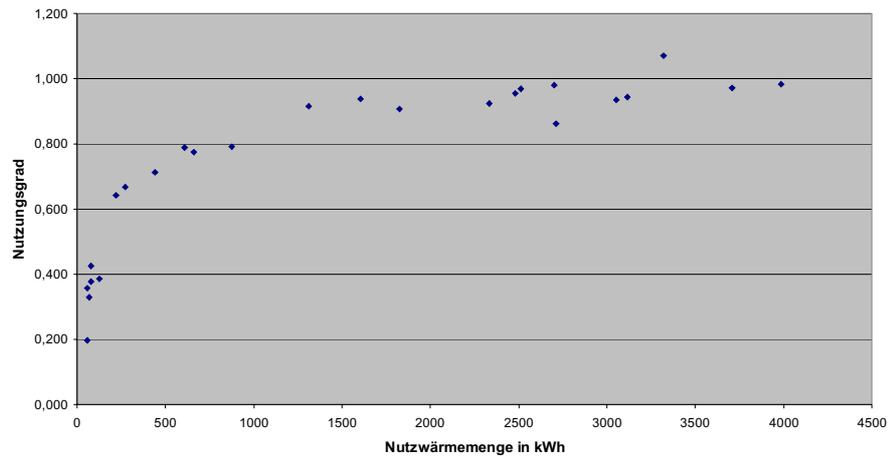


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

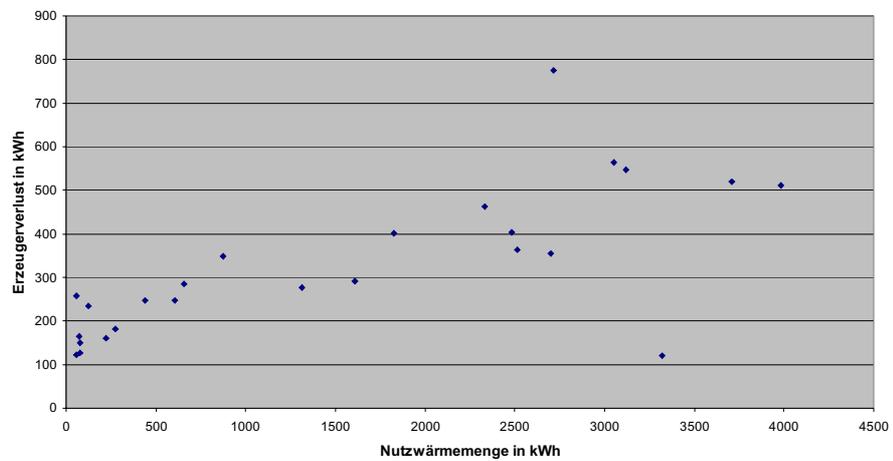


Anlage 49

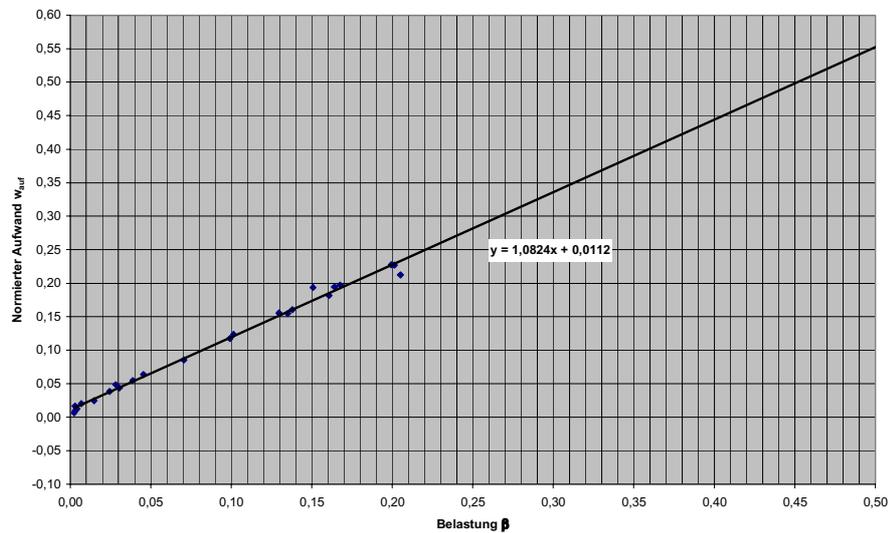
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

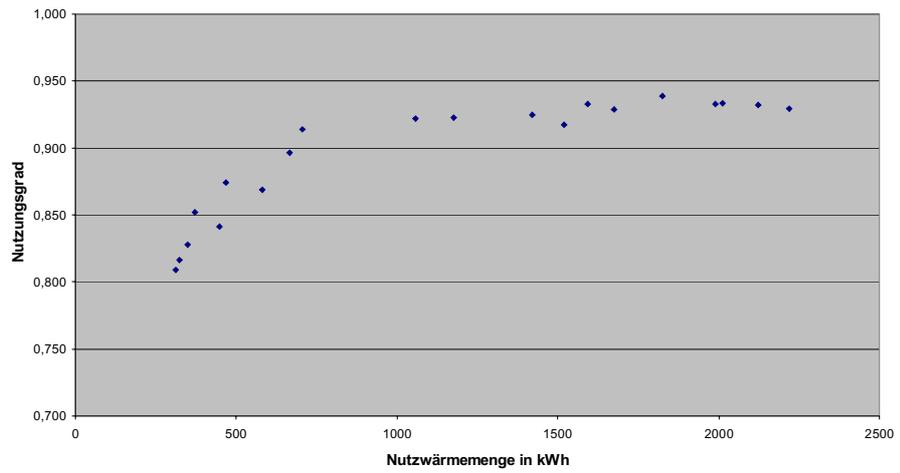


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

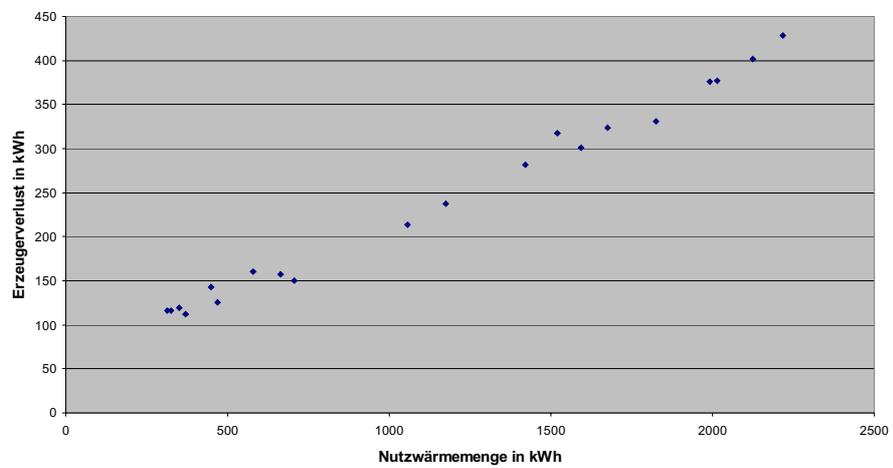


Anlage 50

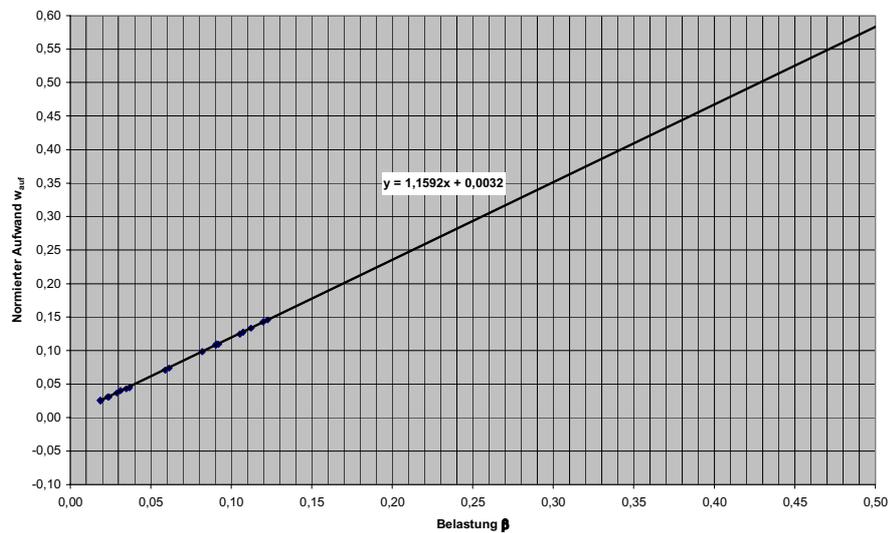
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

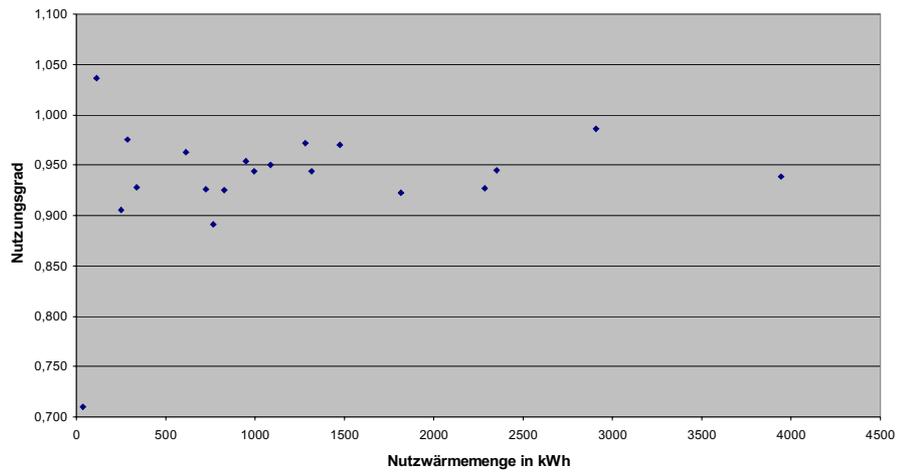


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

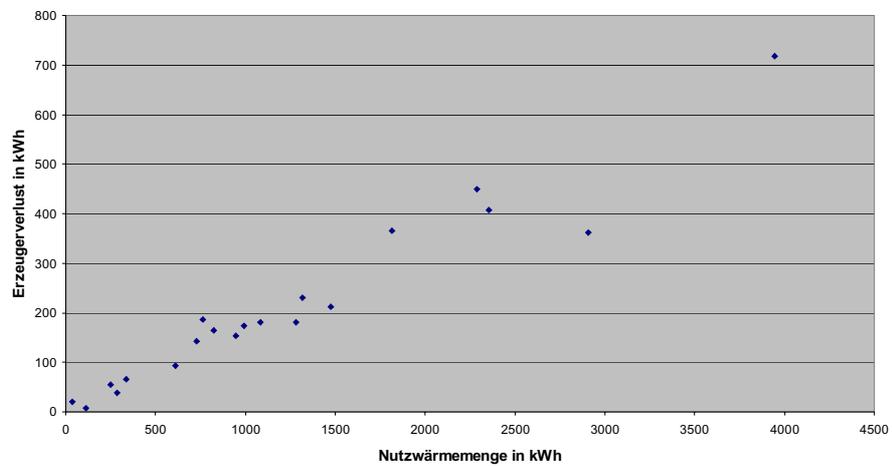


Anlage 51

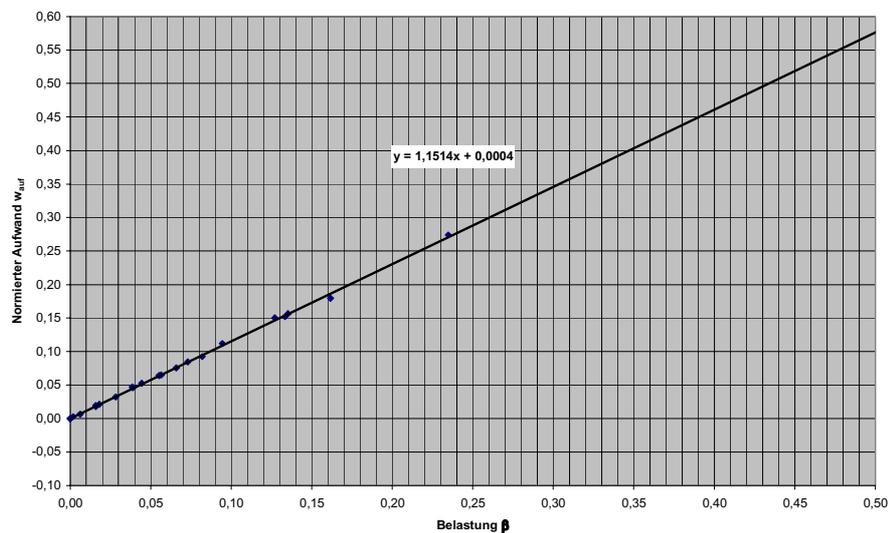
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

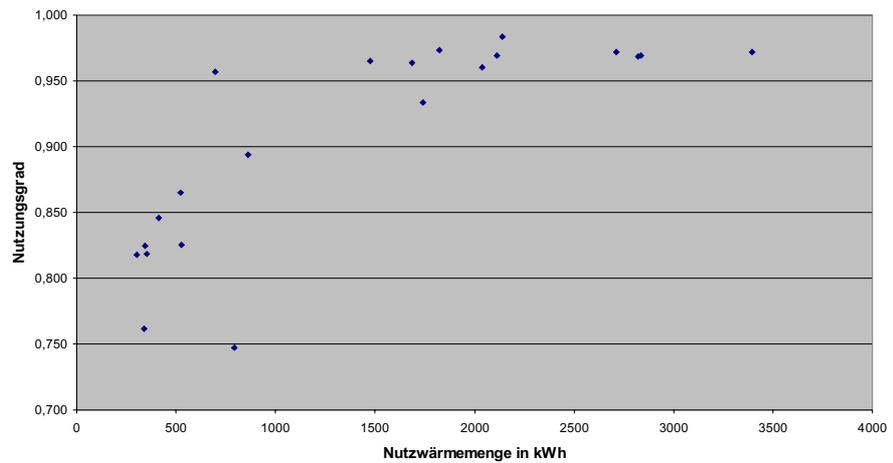


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

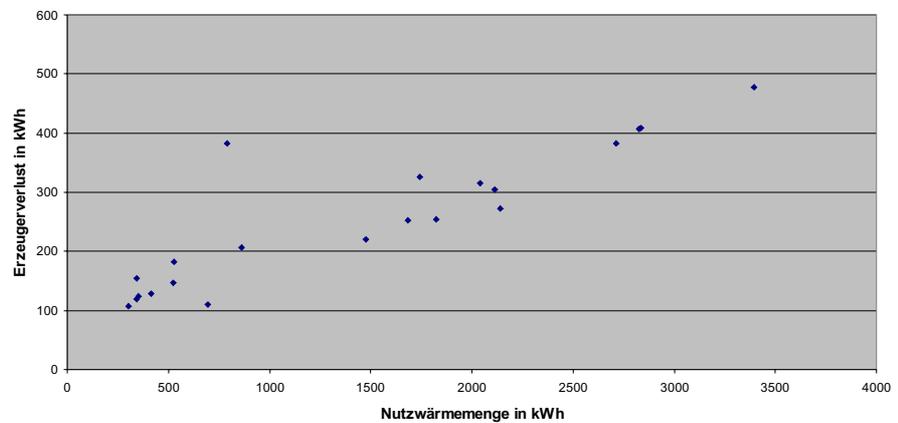


Anlage 52

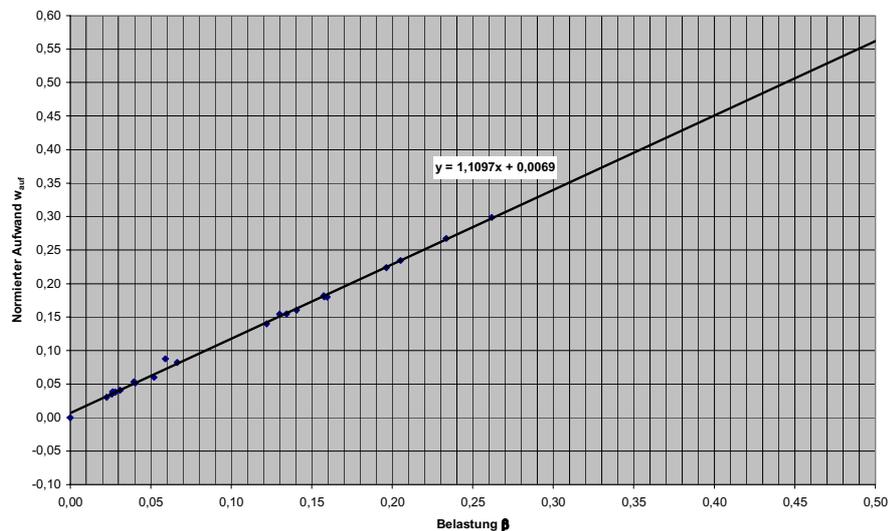
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

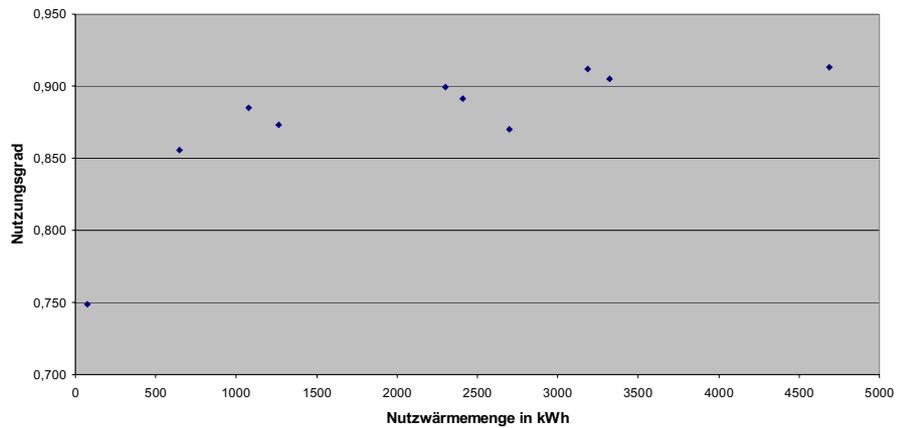


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

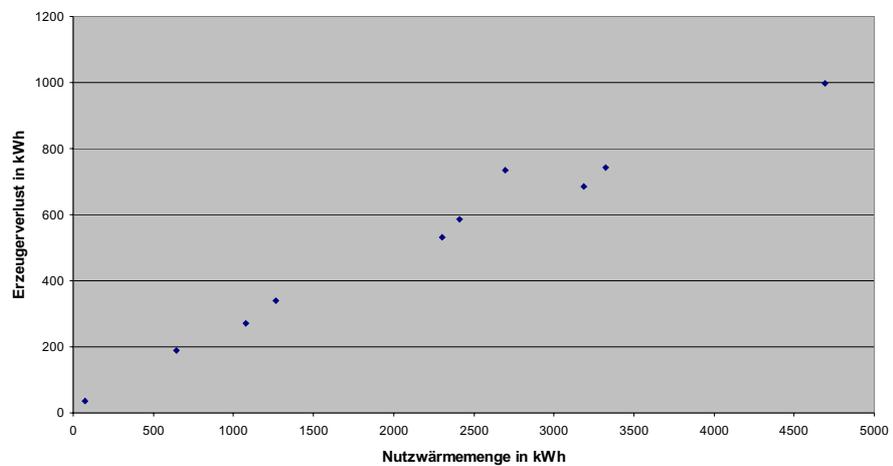


Anlage 53

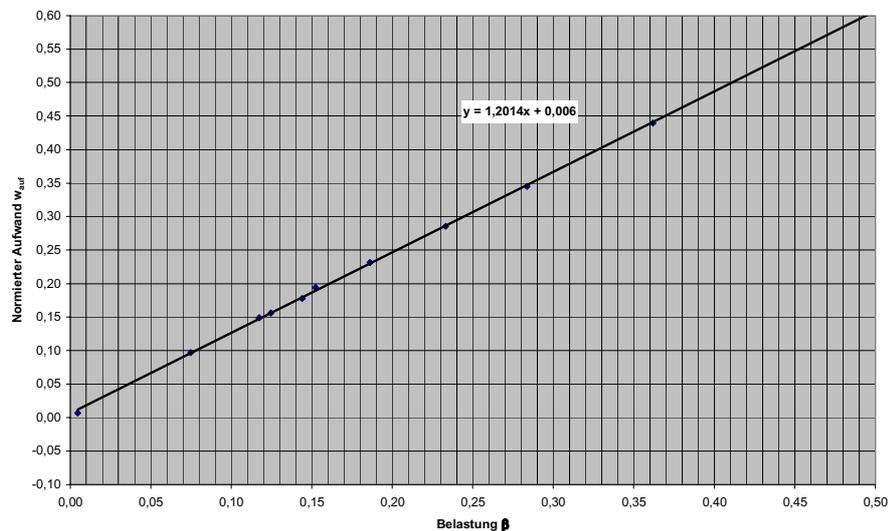
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

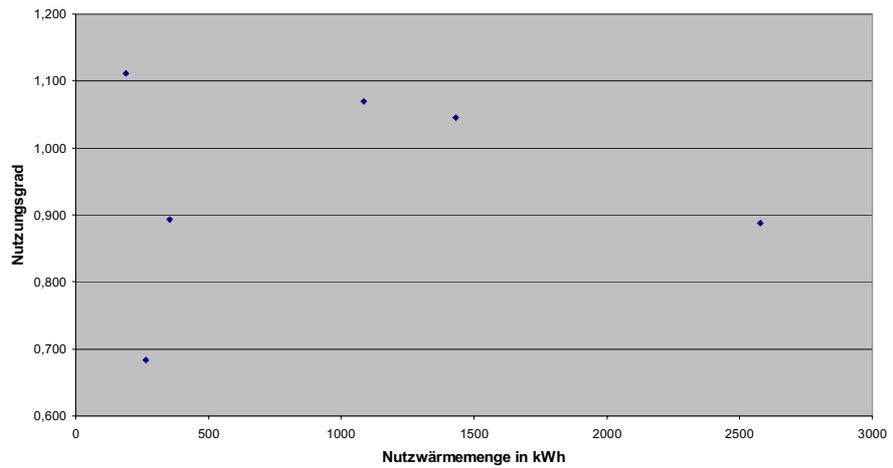


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

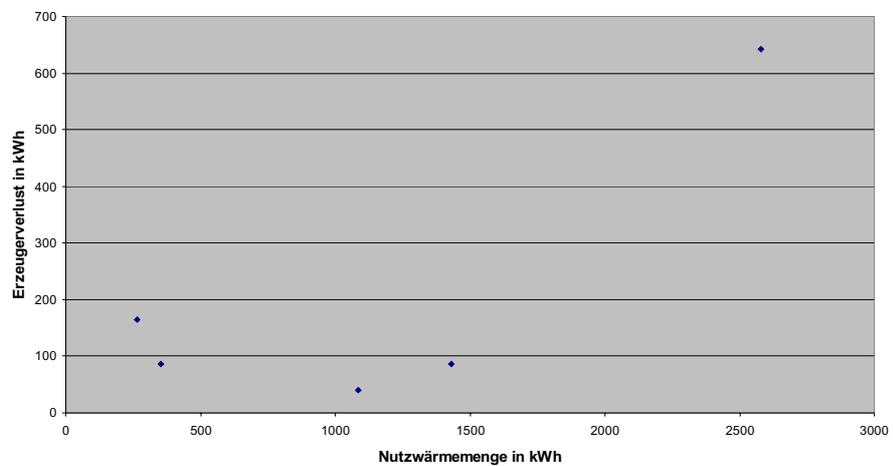


Anlage 57

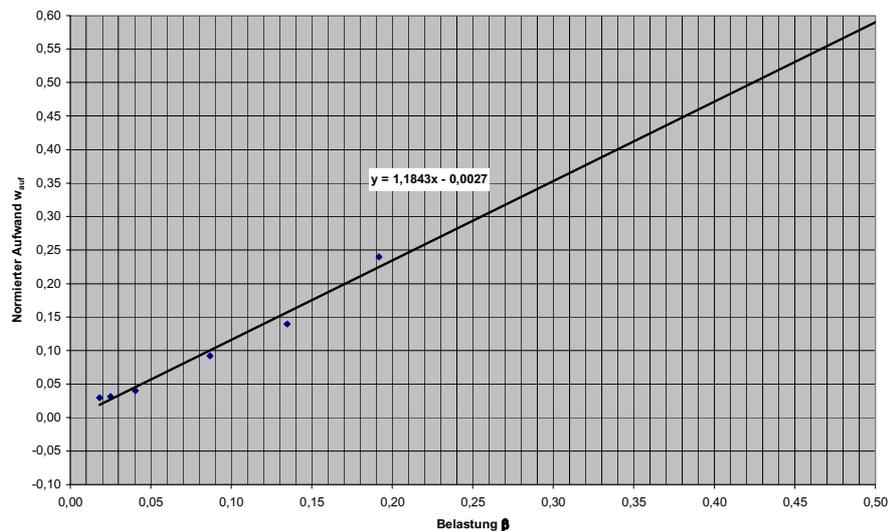
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

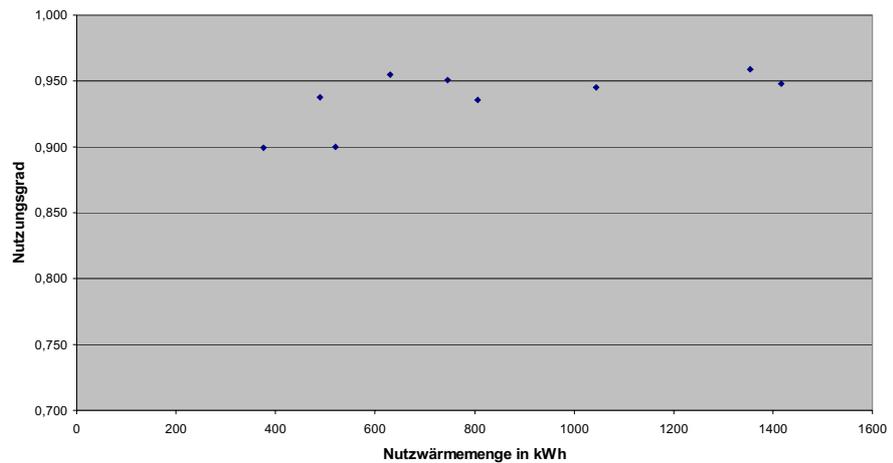


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

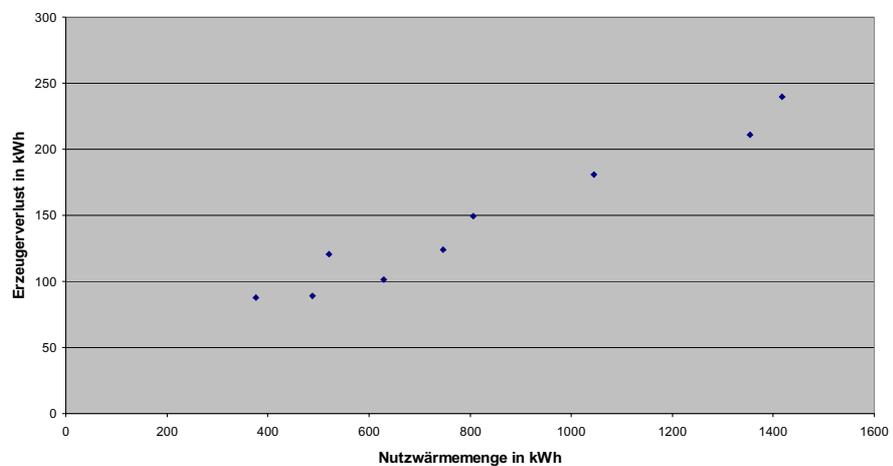


Anlage 58

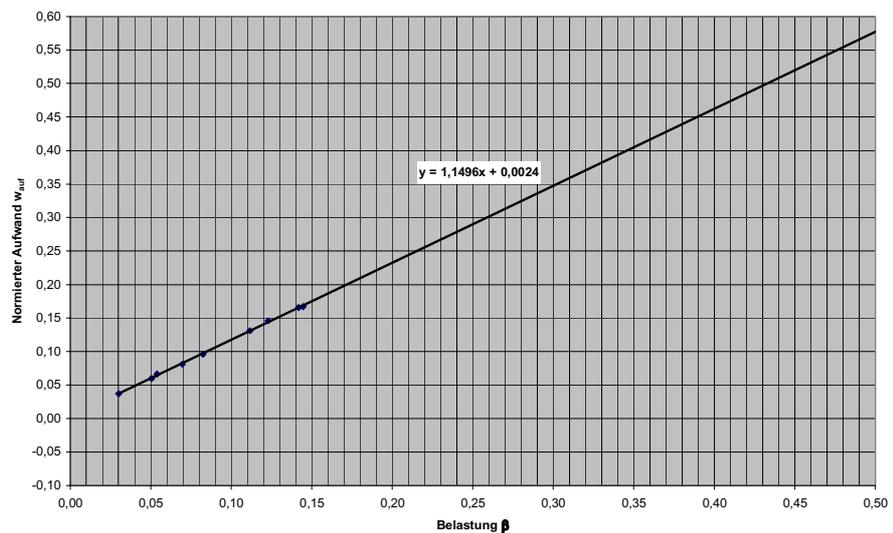
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

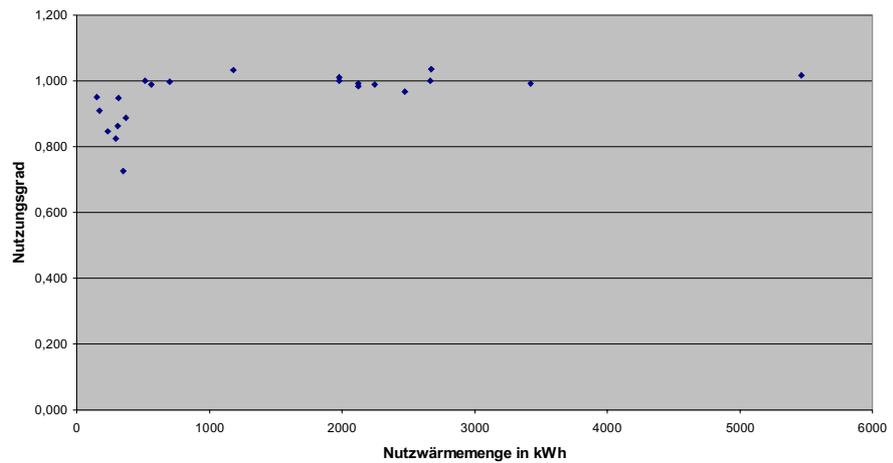


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

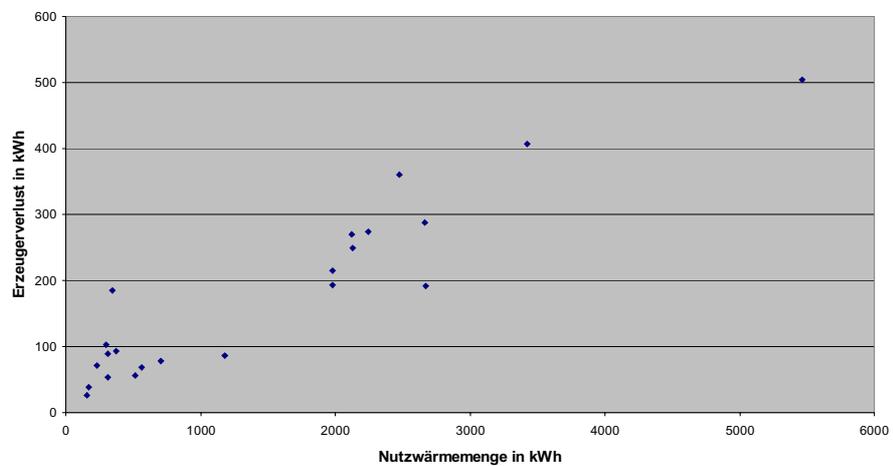


Anlage 61

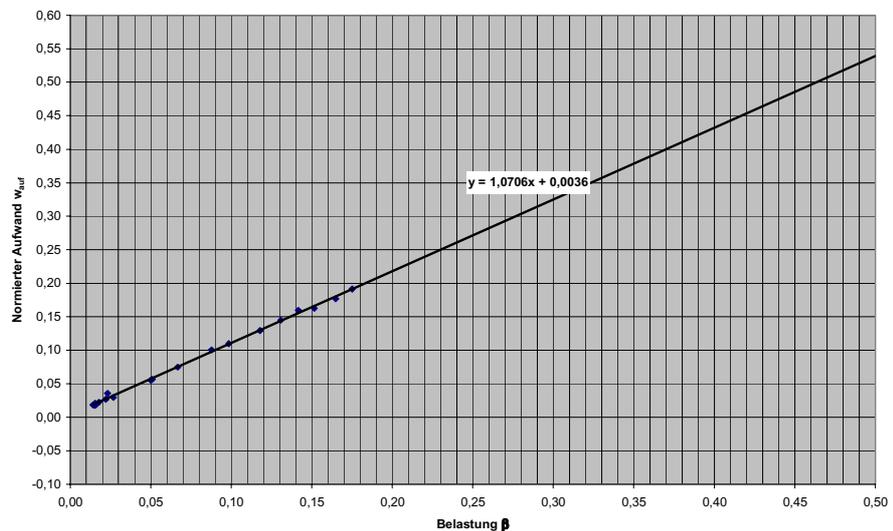
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

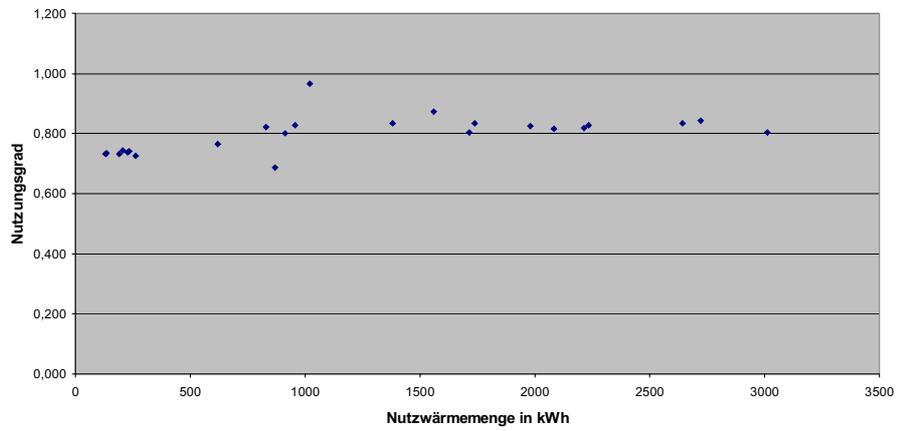


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

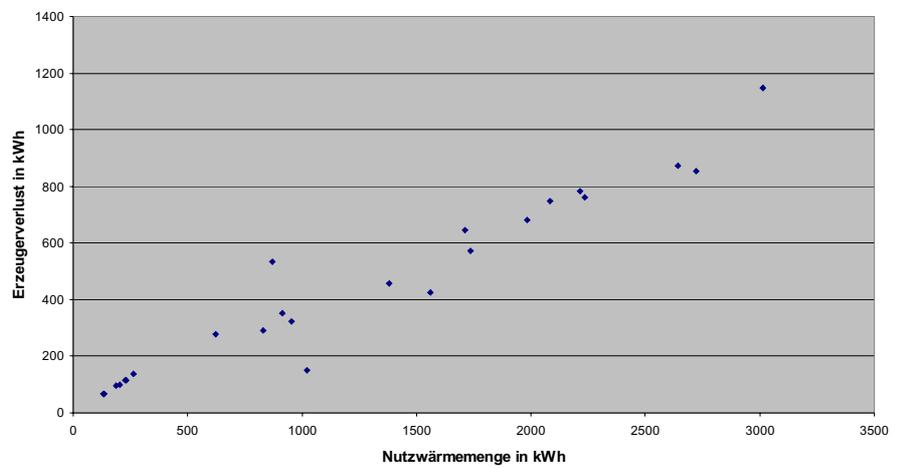


Anlage 63

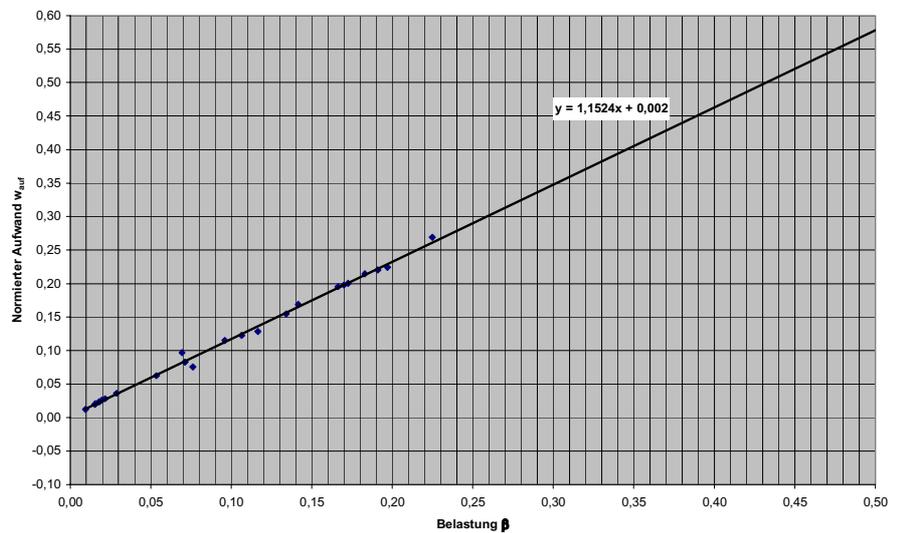
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

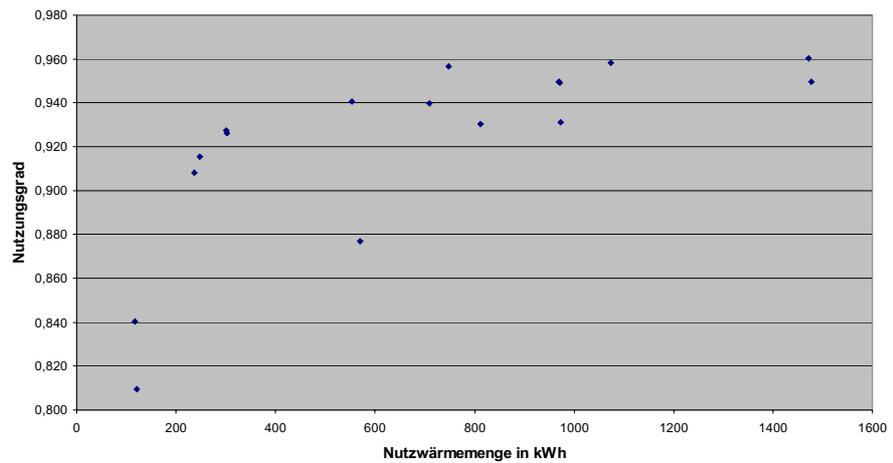


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

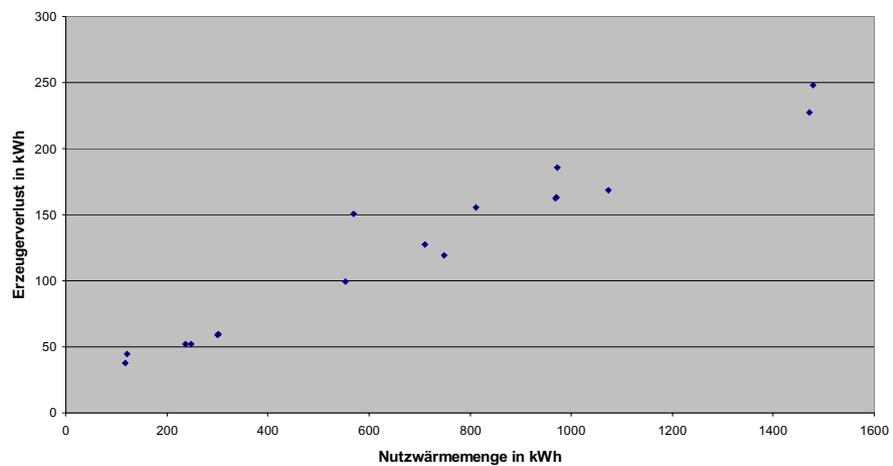


Anlage 64

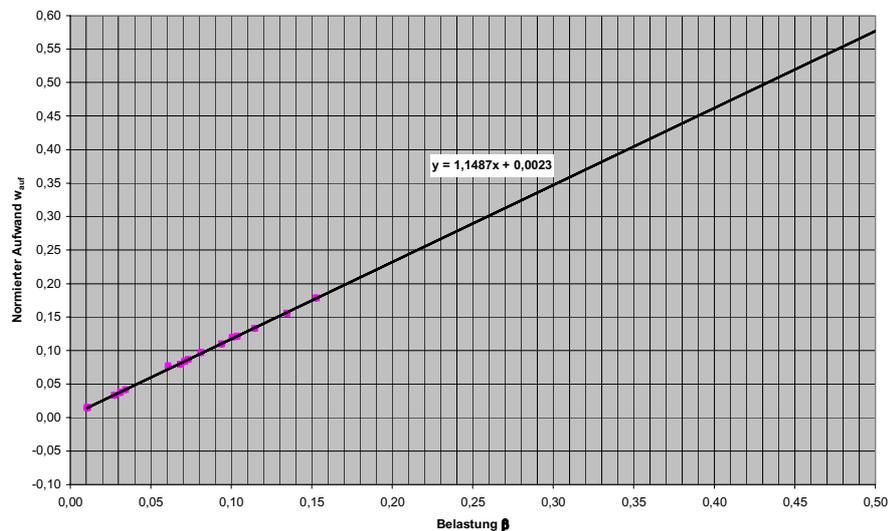
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

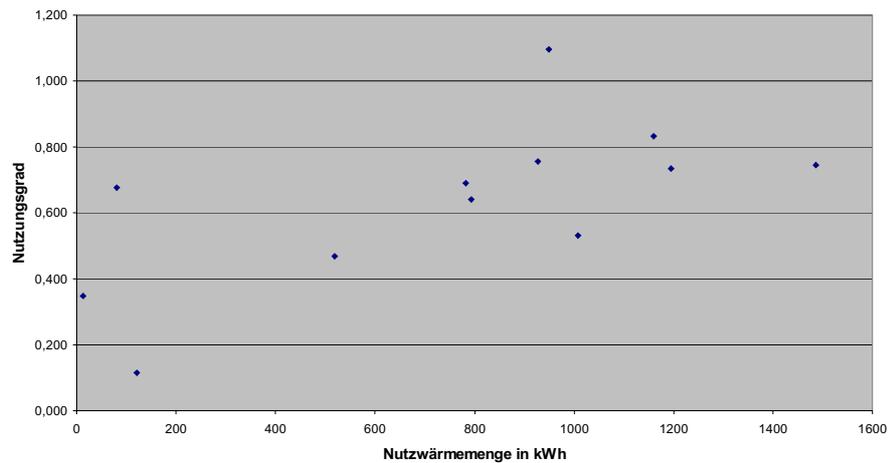


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

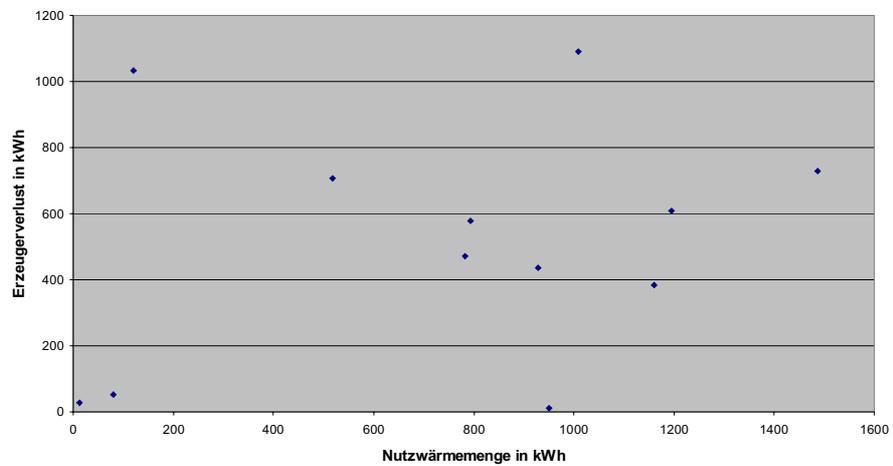


Anlage 65

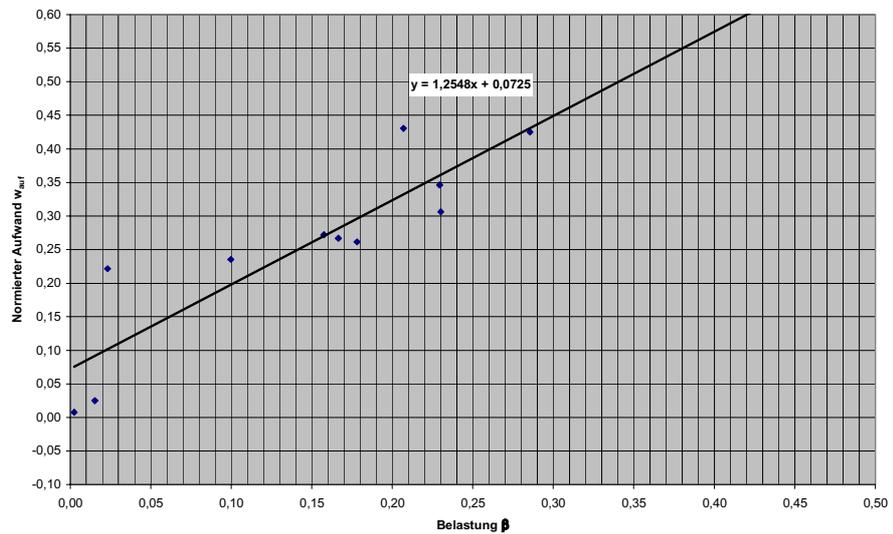
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

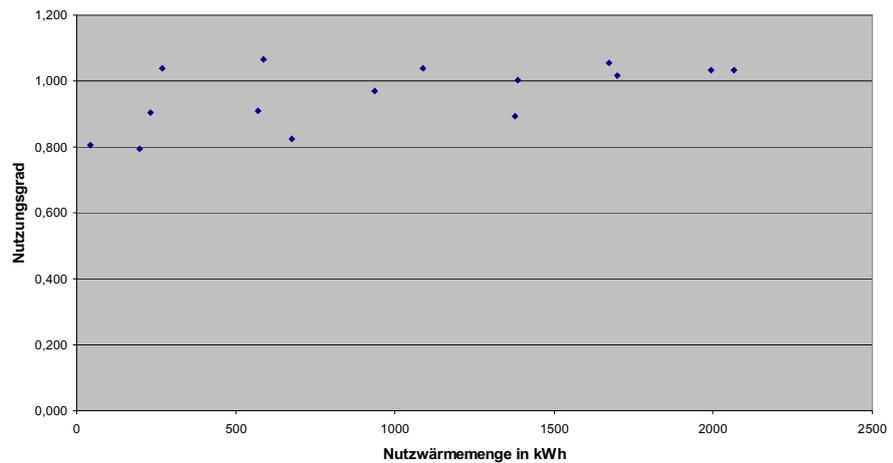


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

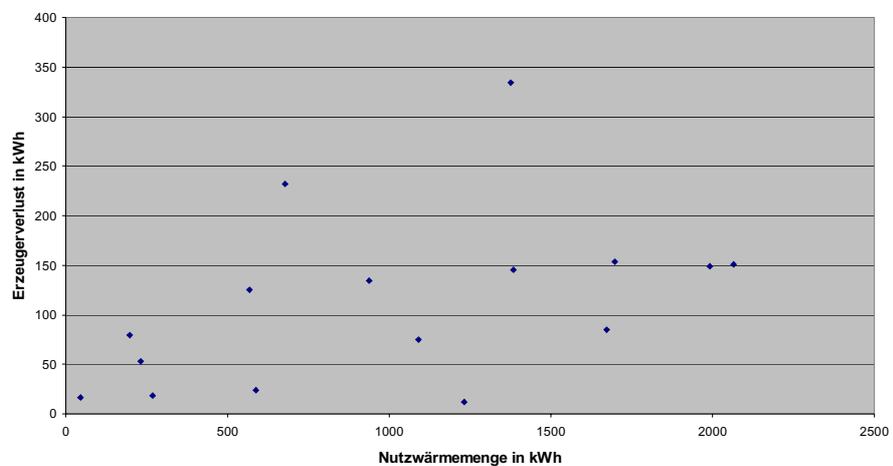


Anlage 66

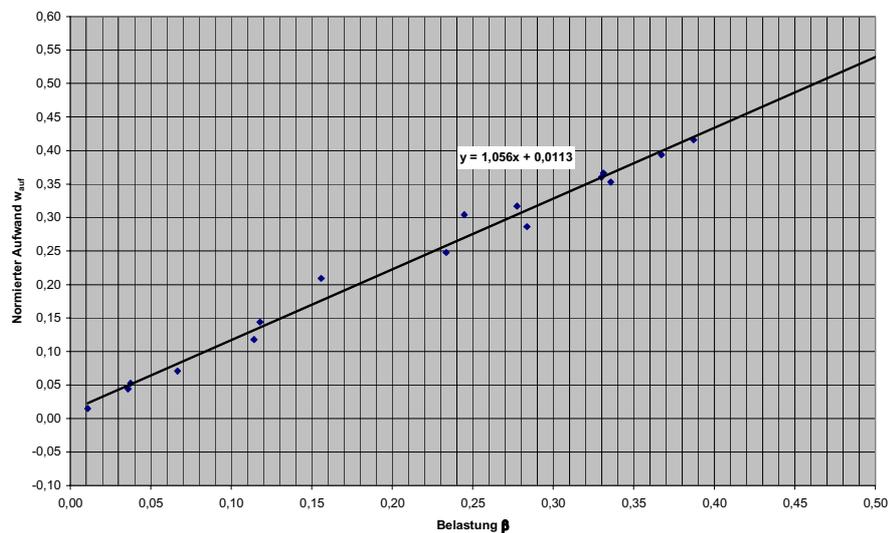
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

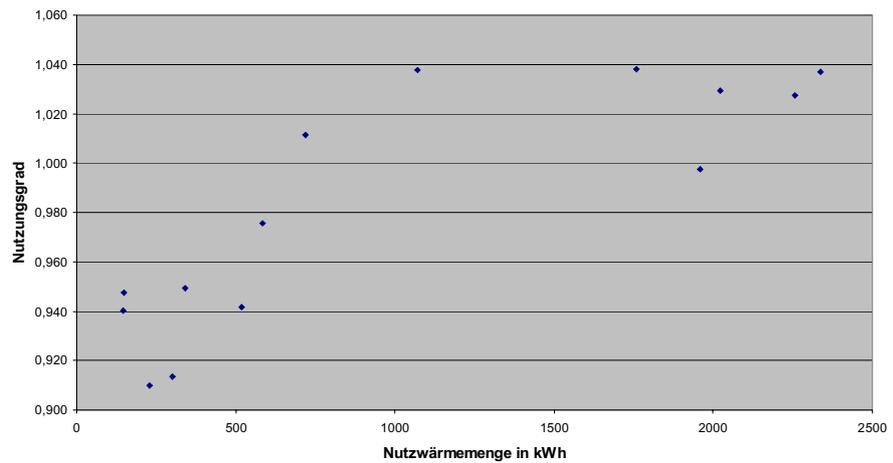


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

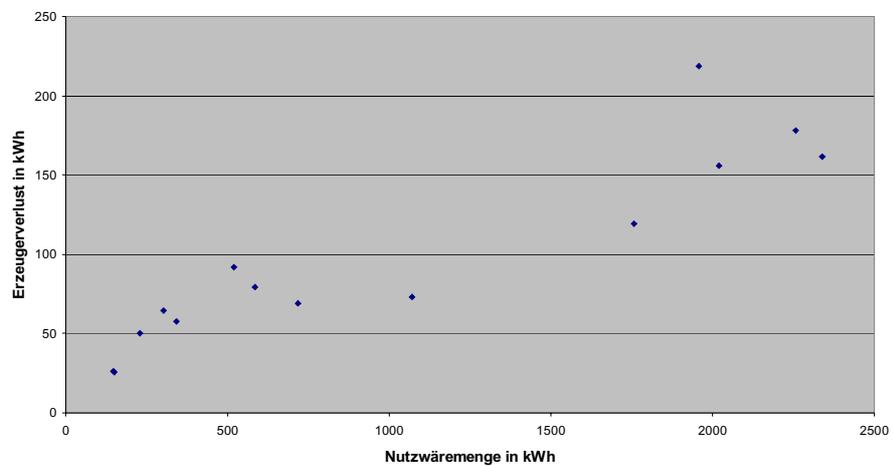


Anlage 67

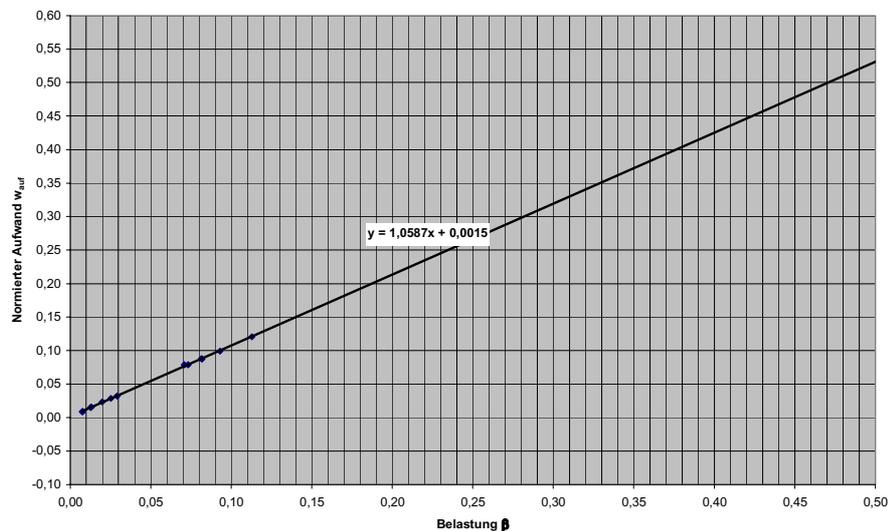
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

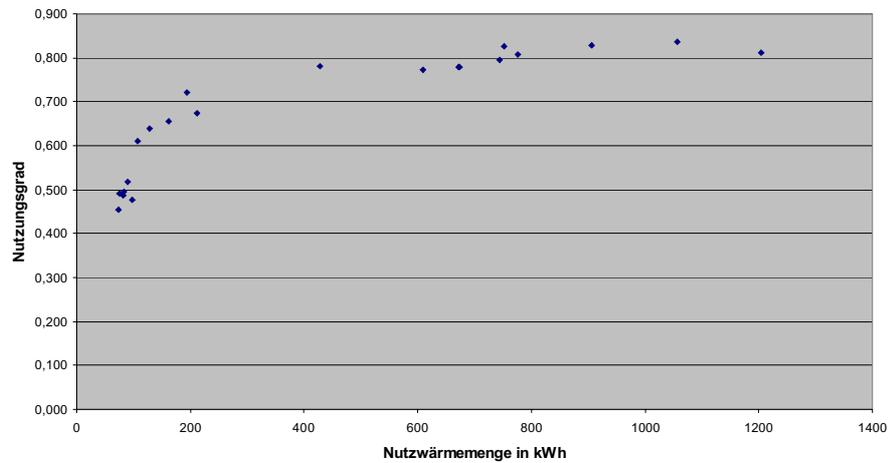


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)

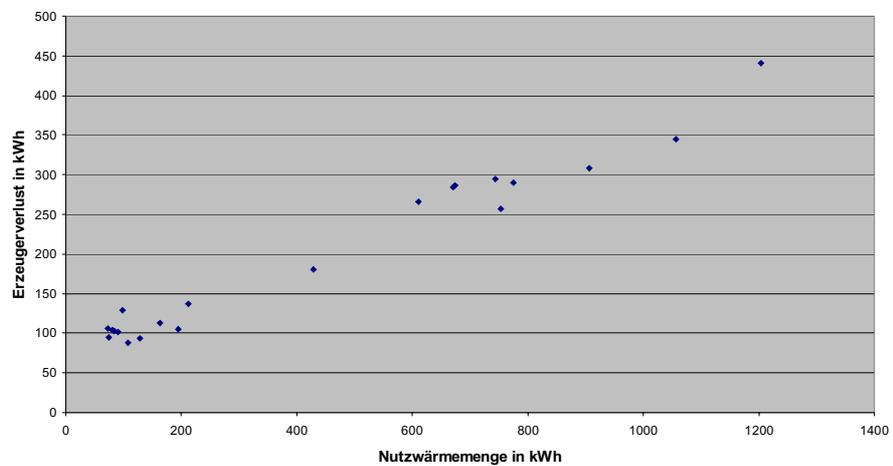


Anlage 70

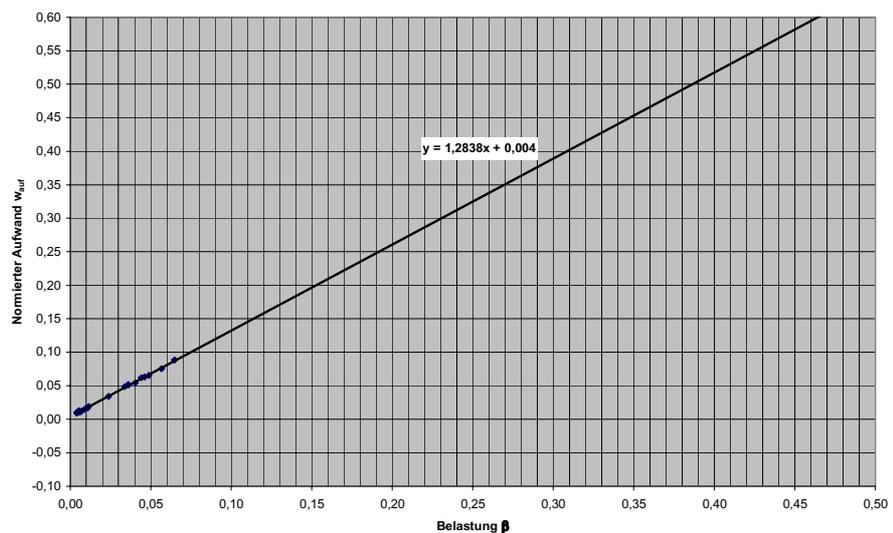
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge

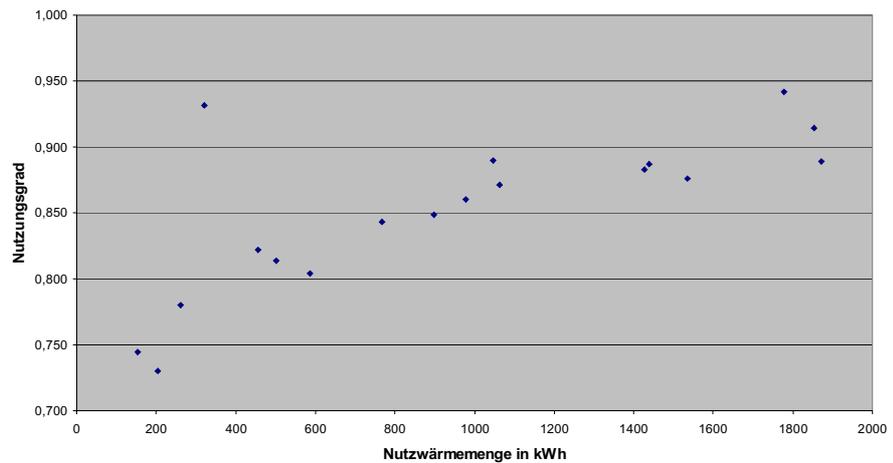


Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_0)

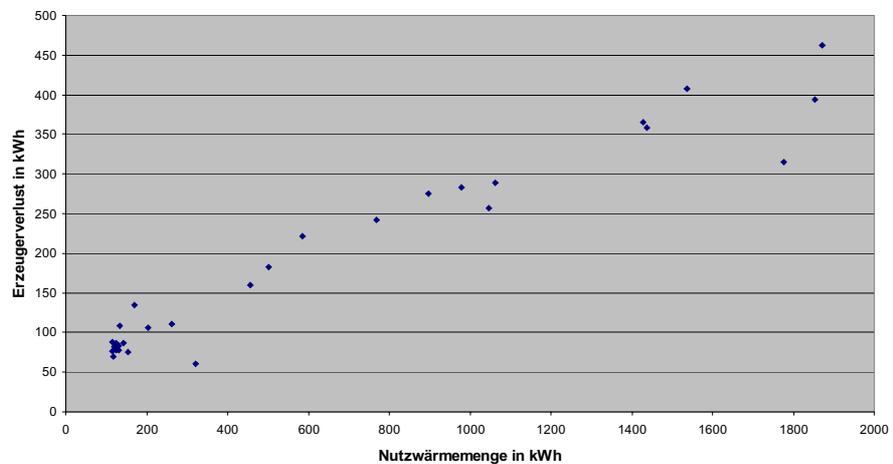


Anlage 71

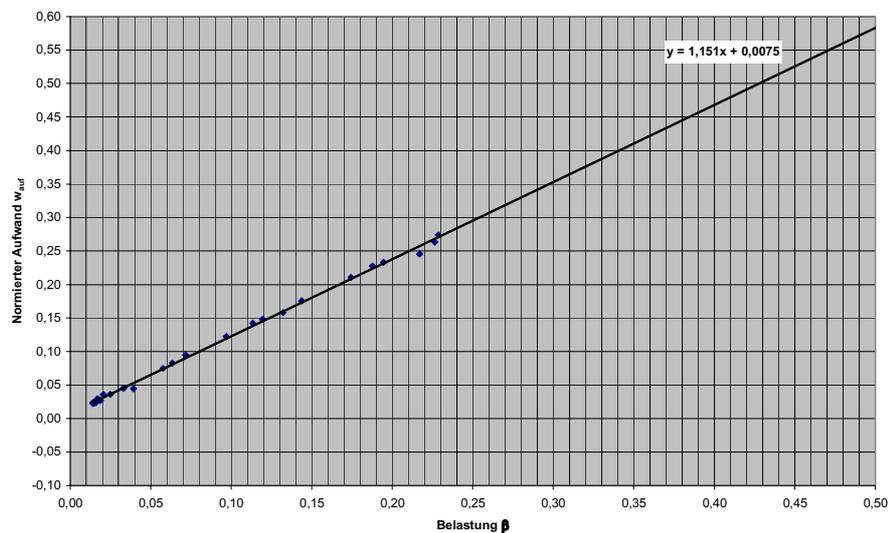
Nutzungsgrad (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



Erzeugerverlust (bezogen auf H_U) über abgegebener Nutzwärmemenge



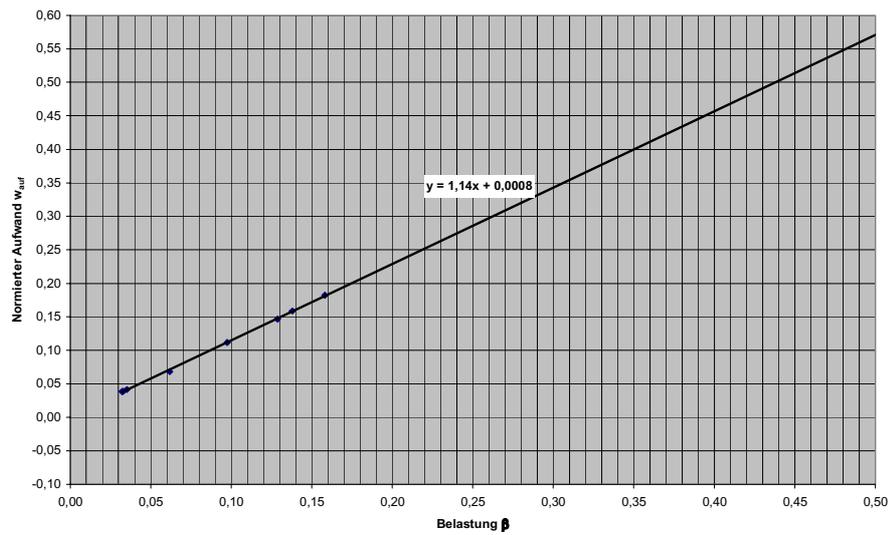
Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_o)



Für die nachfolgenden Anlagen werden wegen mangelnder Datenbasis nur die Diagramme für den normierten Aufwand erstellt.

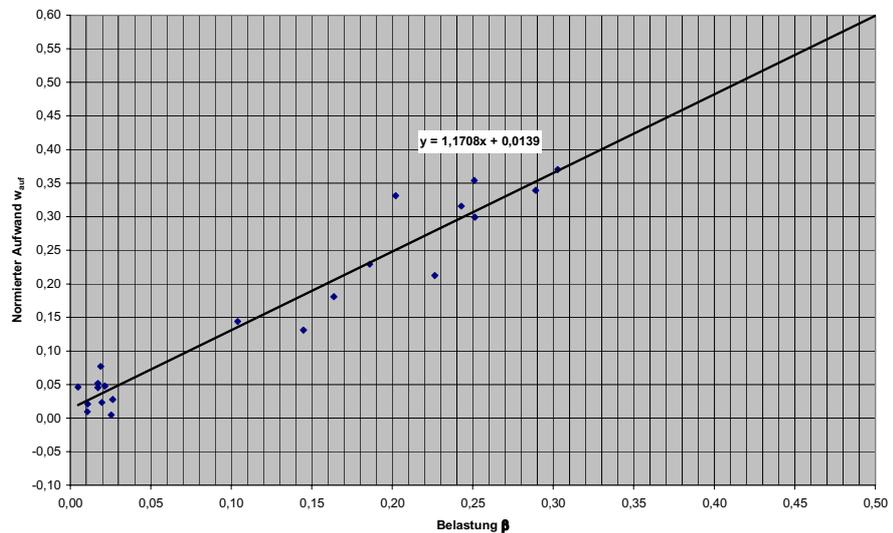
Anlage 6

Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_0)



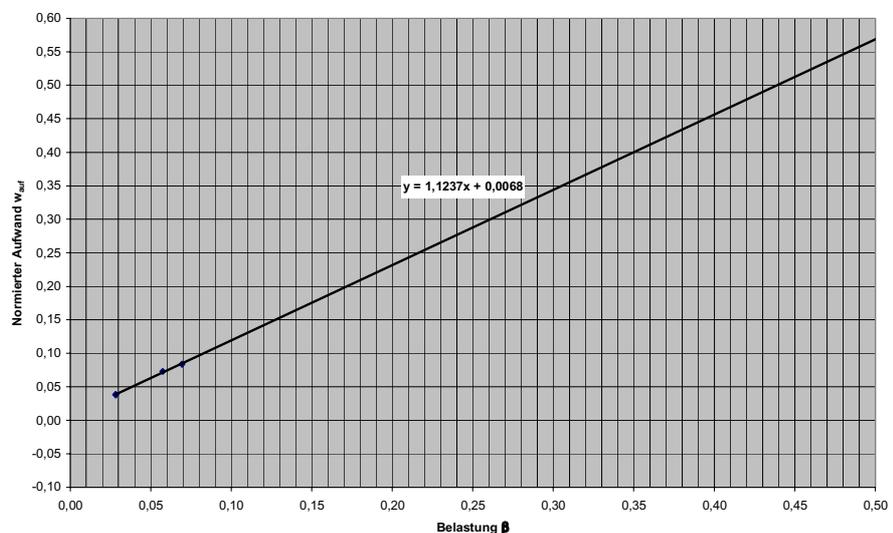
Anlage 9

Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_0)



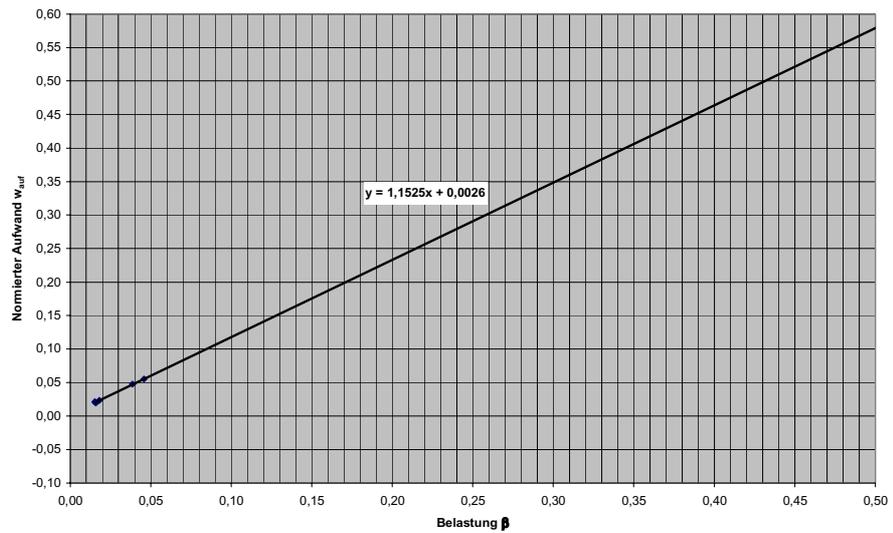
Anlage 21

Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_0)



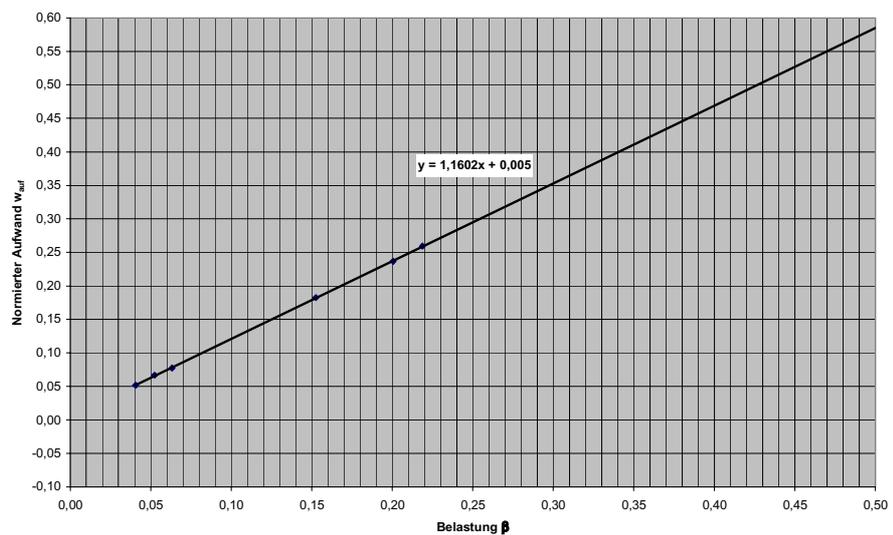
Anlage 34

Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_0)



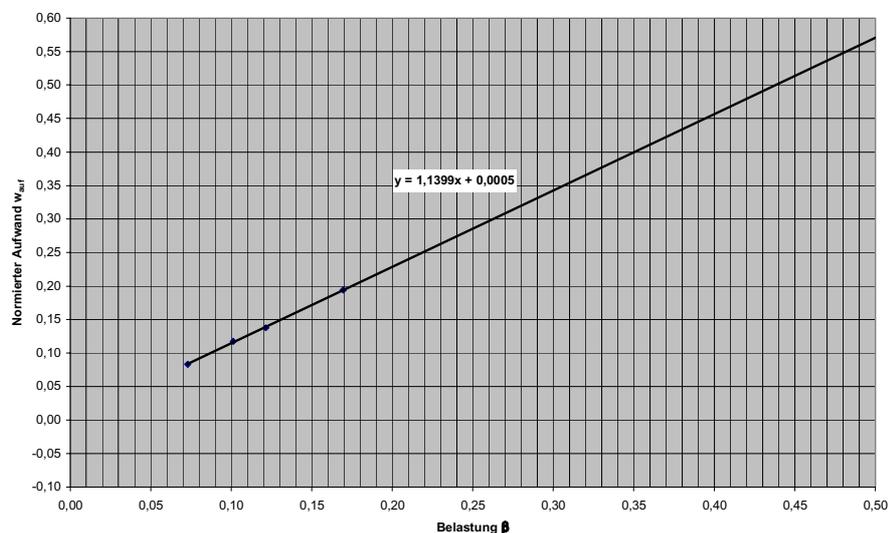
Anlage 36

Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_0)



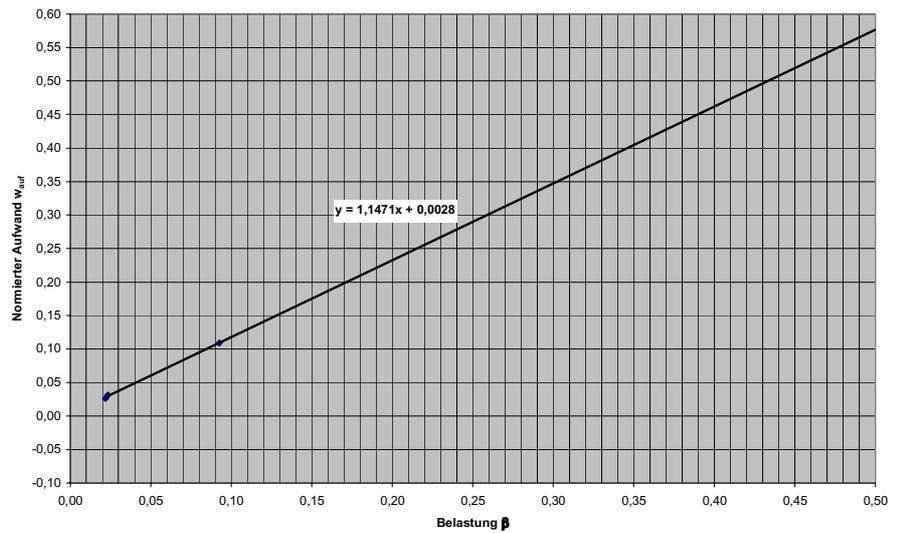
Anlage 38

Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_0)



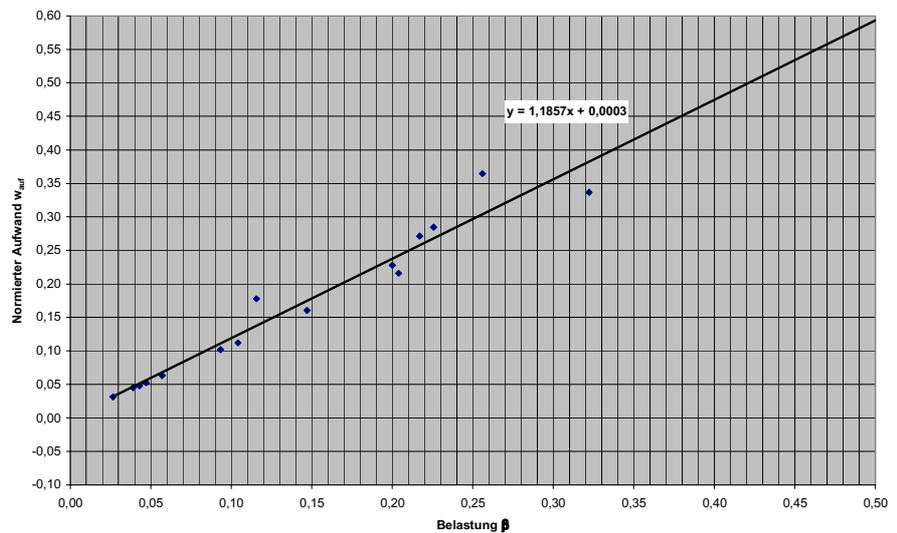
Anlage 59

Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_0)



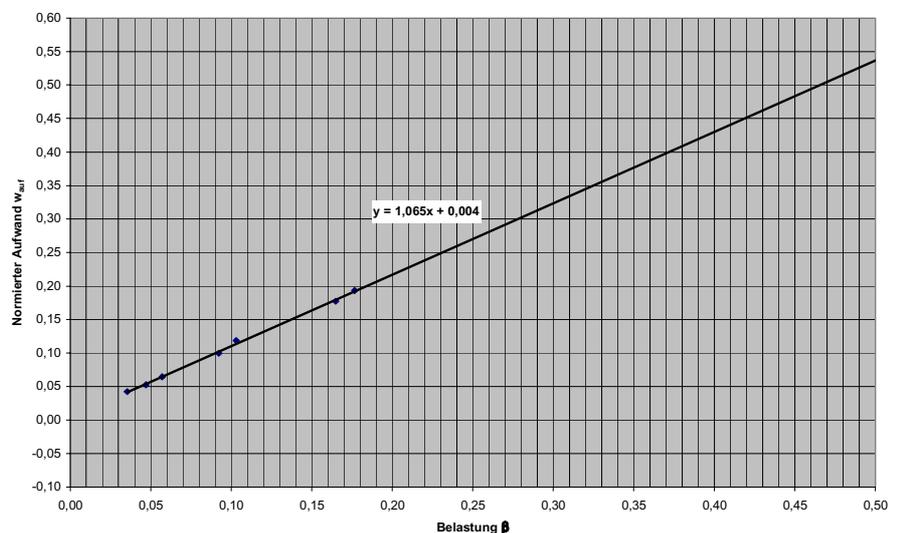
Anlage 62

Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_0)



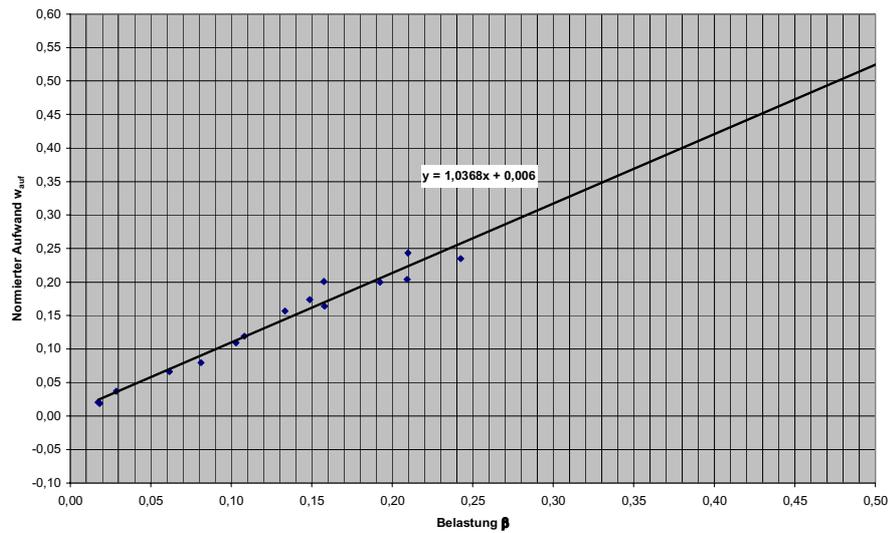
Anlage 68

Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_0)



Anlage 69

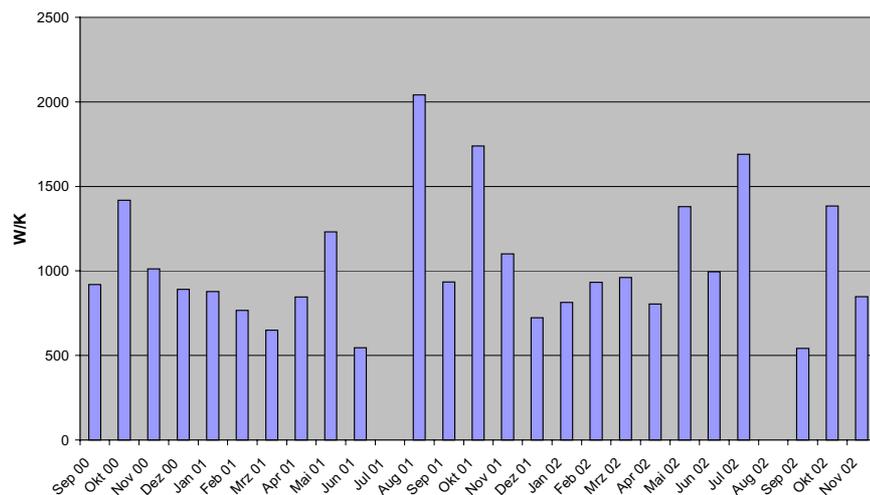
Normierter Aufwand w_{auf} über normierter Belastung β (normiert auf die Kesselleistung, Aufwand bezogen auf H_0)



10.10 Monatliche spezifische Heizlast ausgewählter Anlagen

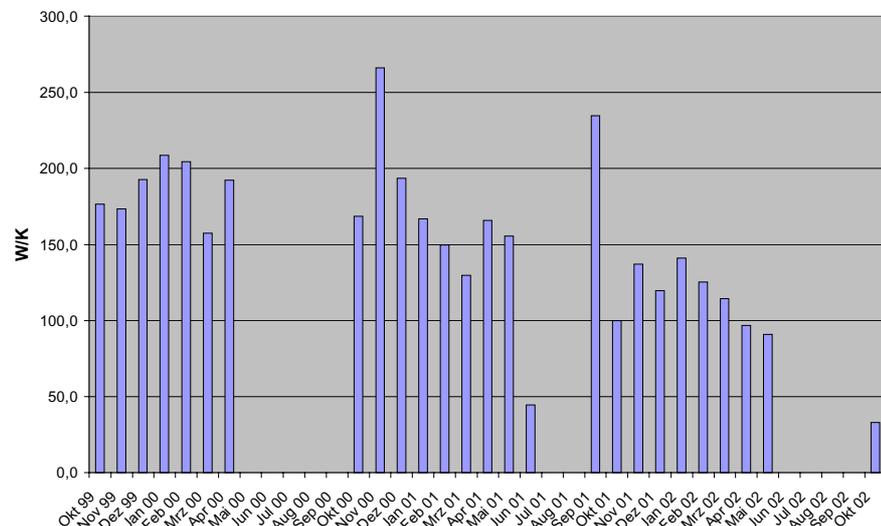
Anlage 1

Monatliche spezifische Heizlast aus Messwerten in W/K



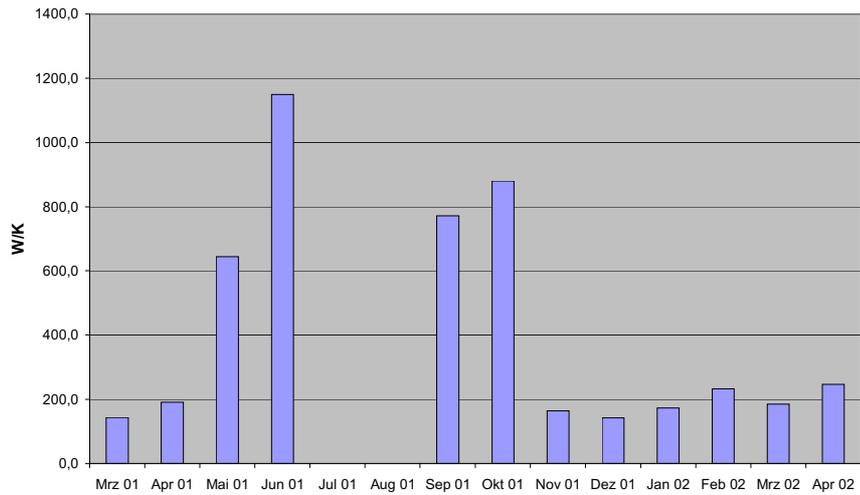
Anlage 2

Monatliche spezifische Heizlast aus Messwerten in W/K



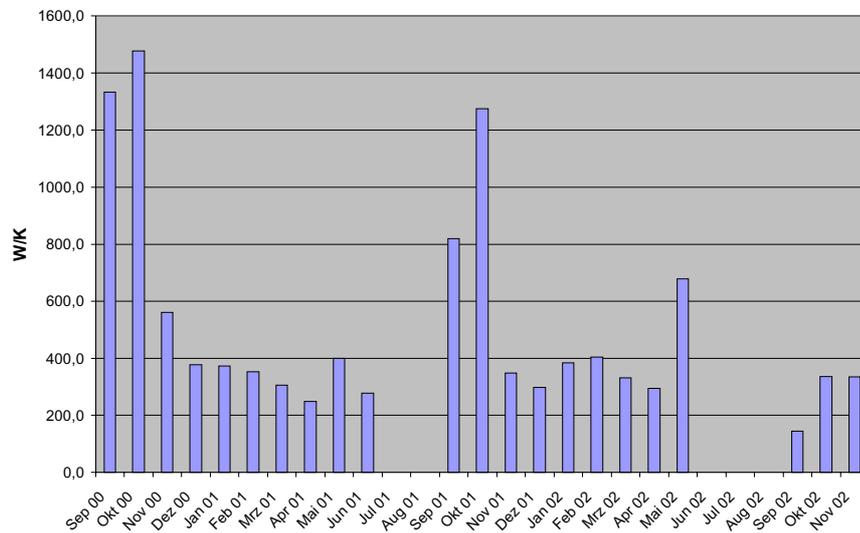
Anlage 4

Monatliche spezifische Heizlast aus Messwerten in W/K



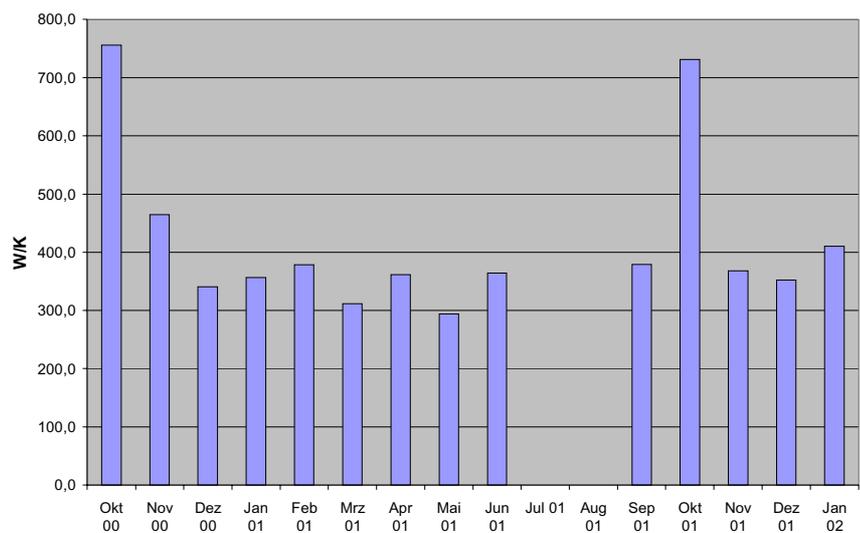
Anlage 7

Monatliche spezifische Heizlast aus Messwerten in W/K



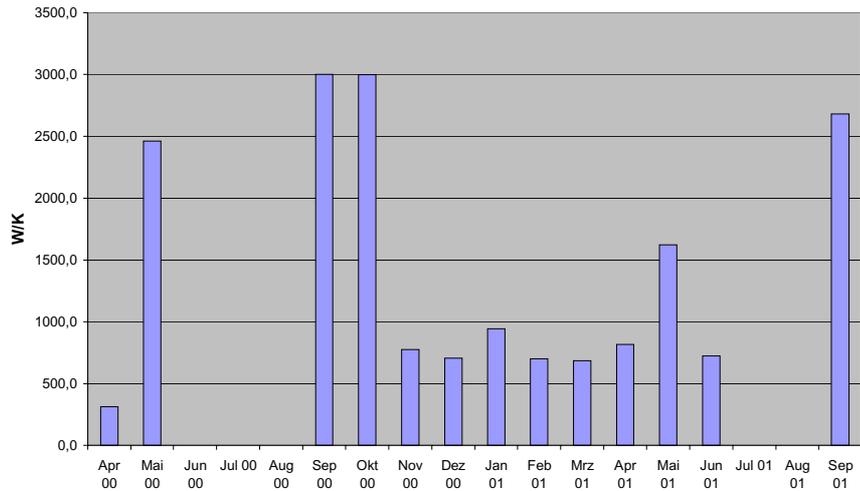
Anlage 8

Monatliche spezifische Heizlast aus Messwerten in W/K



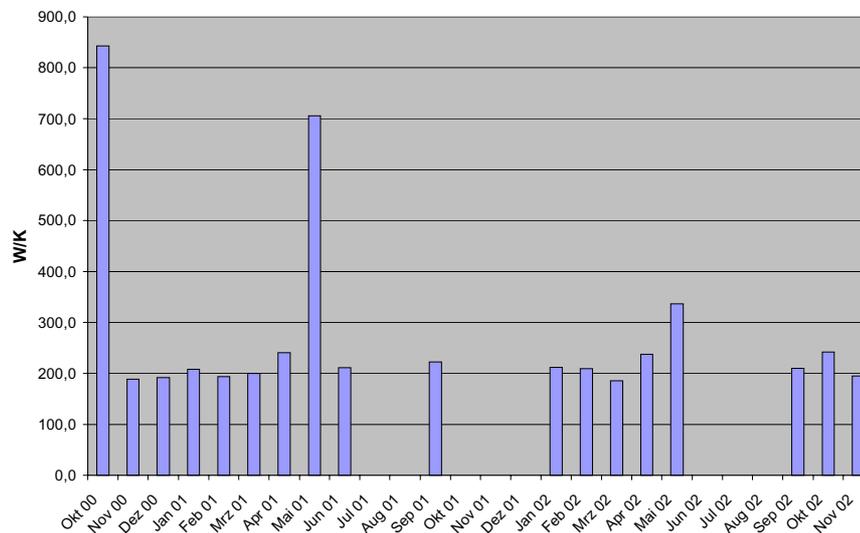
Anlage 10

Monatliche spezifische Heizlast aus Messwerten in W/K



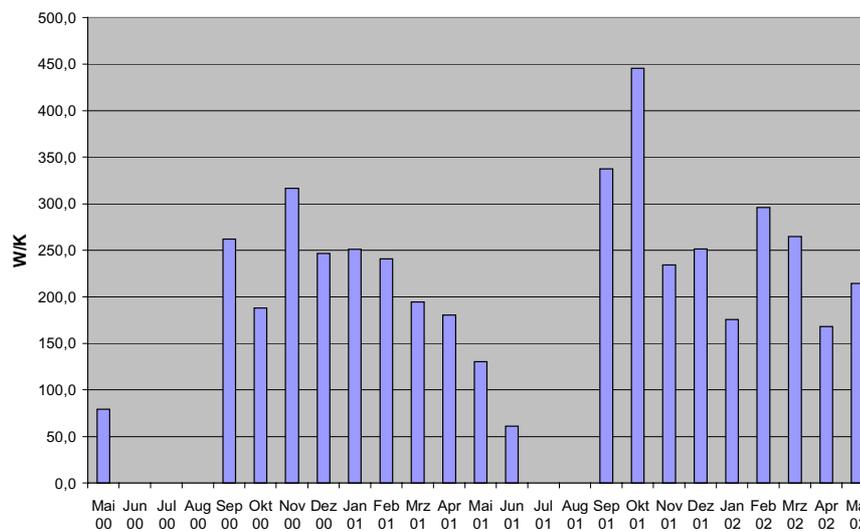
Anlage 12

Monatliche spezifische Heizlast aus Messwerten in W/K



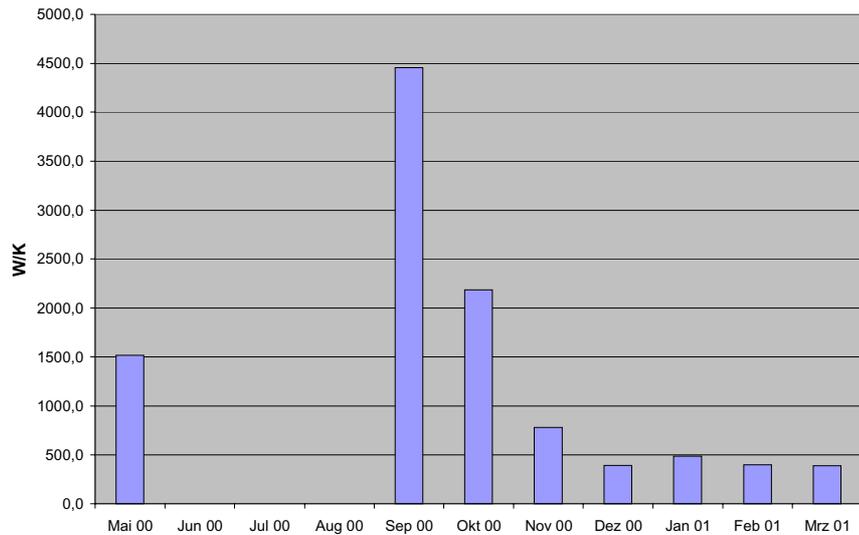
Anlage 13

Monatliche spezifische Heizlast aus Messwerten in W/K



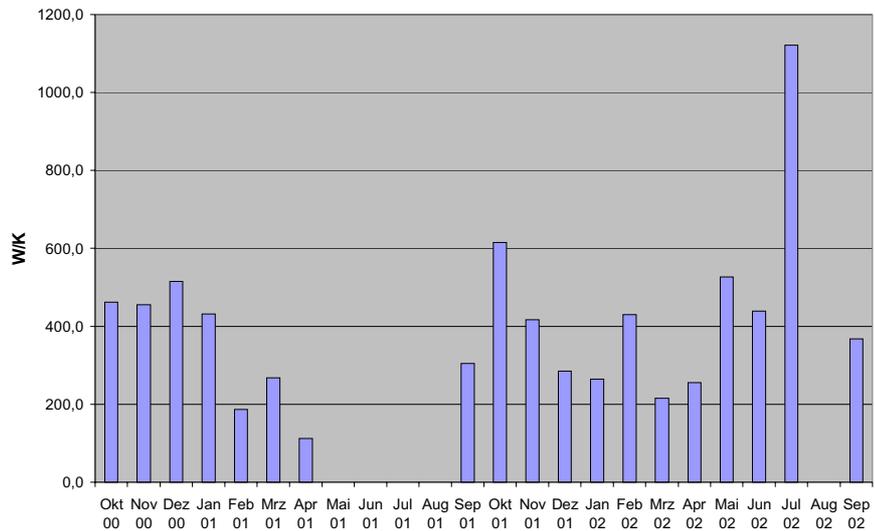
Anlage 16

Monatliche spezifische Heizlast aus Messwerten in W/K



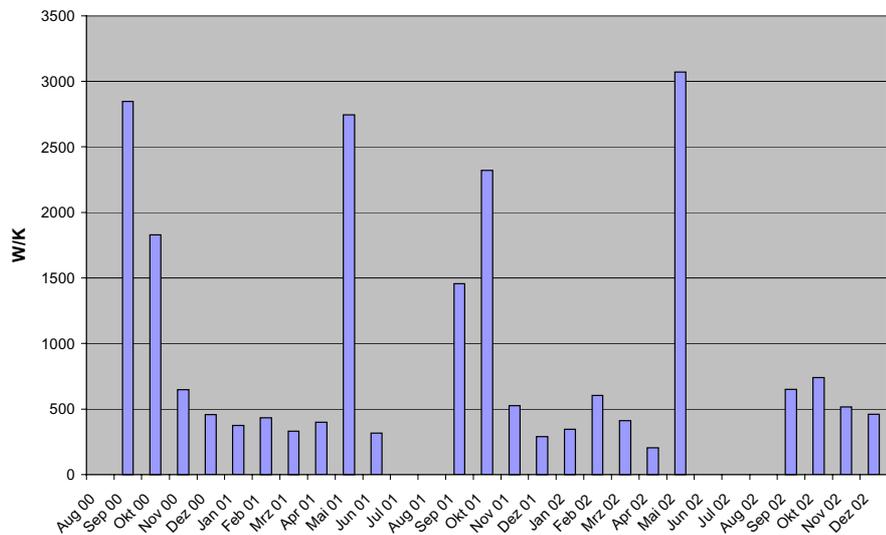
Anlage 17

Monatliche spezifische Heizlast aus Messwerten in W/K



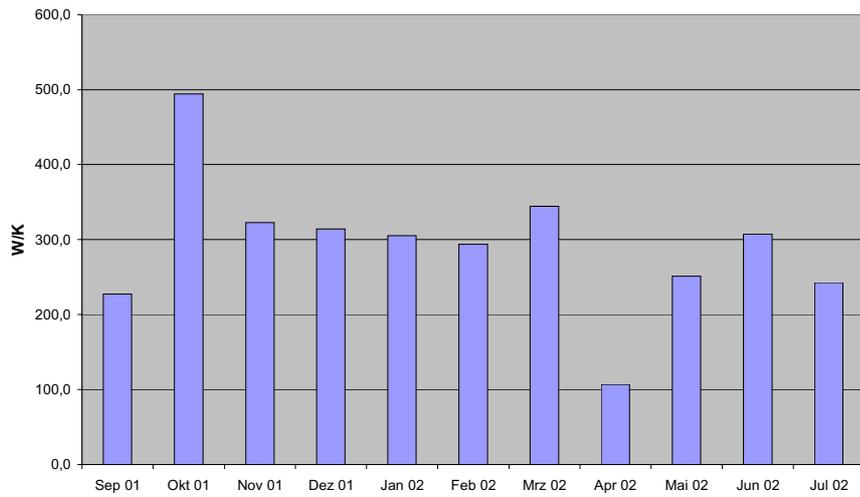
Anlage 18

Monatliche spezifische Heizlast aus Messwerten in W/K



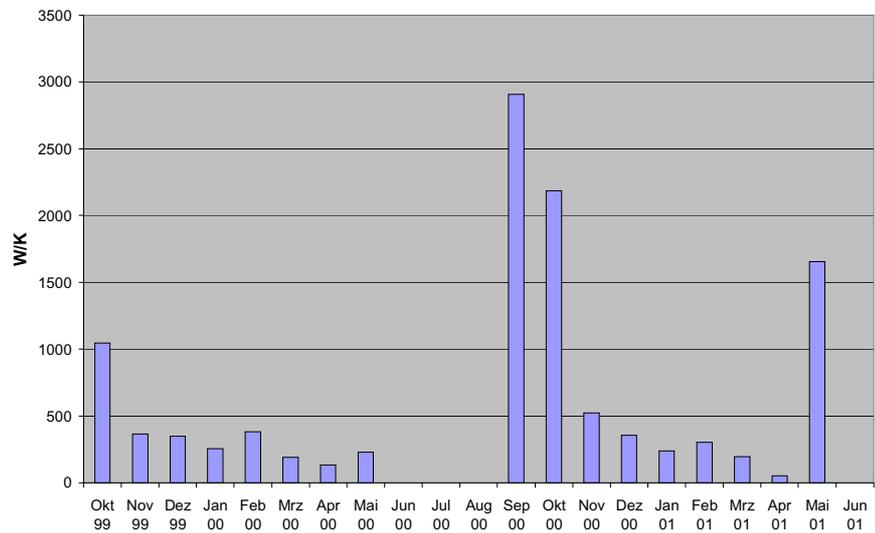
Anlage 24

Monatliche spezifische Heizlast aus Messwerten in W/K



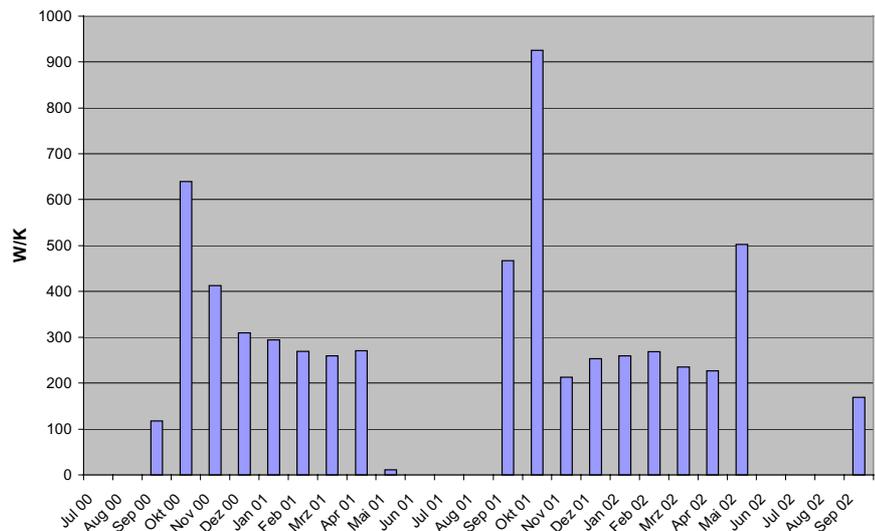
Anlage 25

Monatliche spezifische Heizlast aus Messwerten in W/K



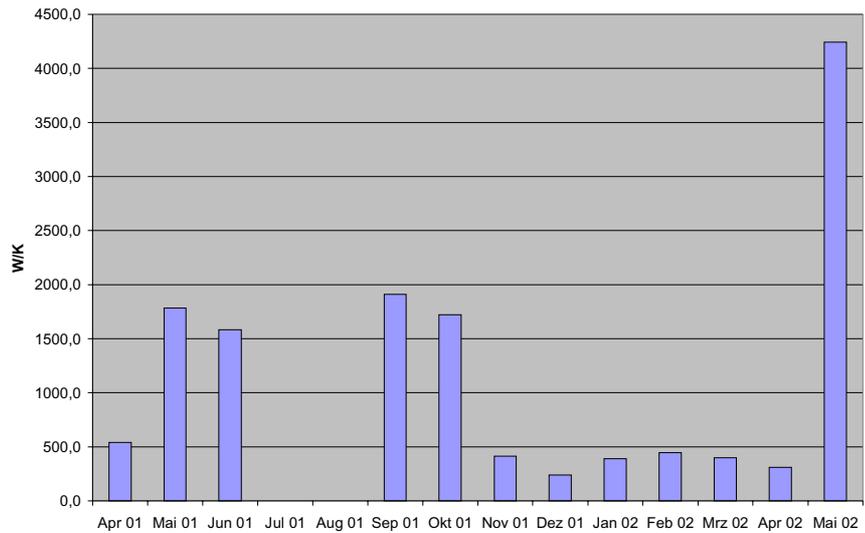
Anlage 27

Monatliche spezifische Heizlast aus Messwerten in W/K



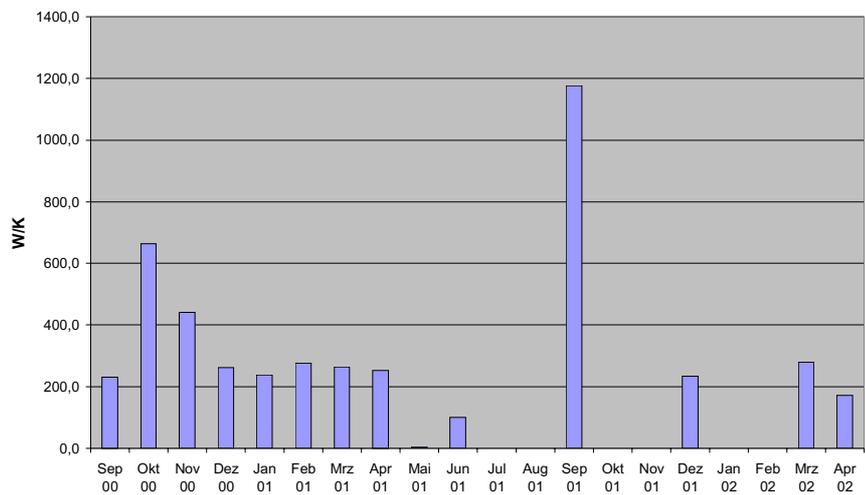
Anlage 29

Monatliche spezifische Heizlast aus Messwerten in W/K



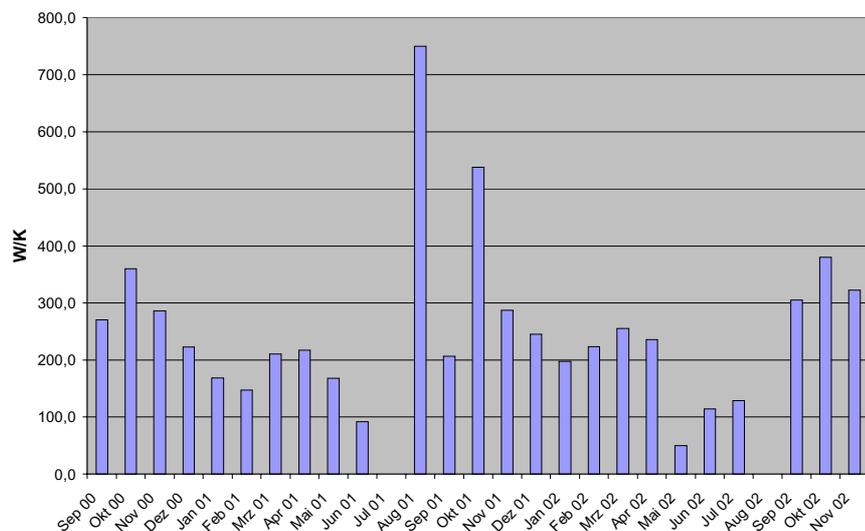
Anlage 33

Monatliche spezifische Heizlast aus Messwerten in W/K



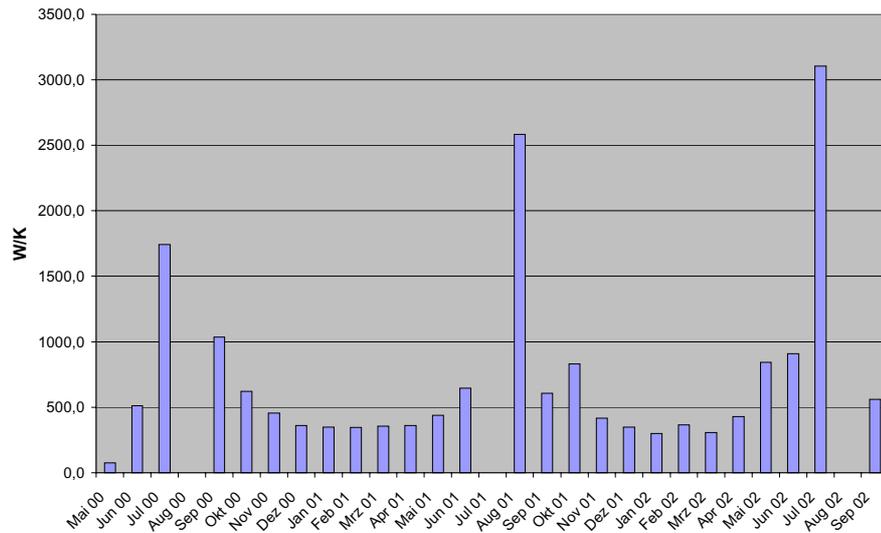
Anlage 40

Monatliche spezifische Heizlast aus Messwerten in W/K



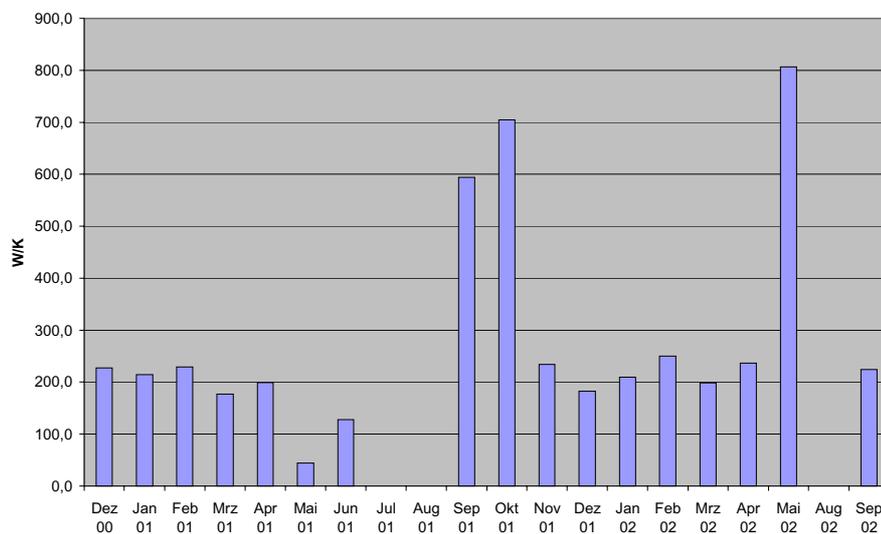
Anlage 44

Monatliche spezifische Heizlast aus Messwerten in W/K



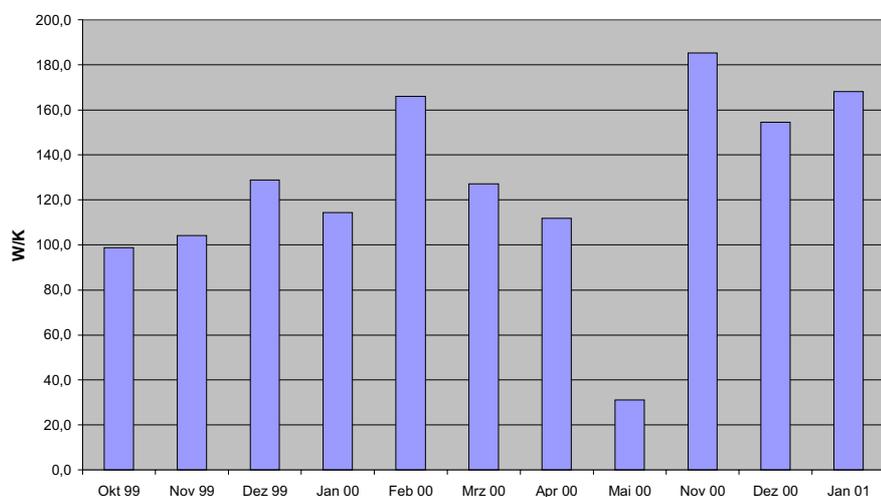
Anlage 50

Monatliche spezifische Heizlast aus Messwerten in W/K



Anlage 64

Monatliche spezifische Heizlast aus Messwerten in W/K



10.11 Einzelbetrachtung der Anlagen mit solarer Trinkwarmwasserbereitung

Anlage Nr.4:

Kesselfabrikat	Gebäudebaujahr	$Q_{B(Hu)}$	Q_H	Q_{TW}	q_H	q_{TW}	$q_{Verlust(Ho)}$	$\eta_{(Hu)}$
		kWh	kWh	kWh	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	
Buderus GB 112	1998	11867	6935	3297	58,3	27,7	24,6	0,862

Der Kessel muss trotz Einsatz der Solaranlage noch 27,7 kWh/(m²a) zur Trinkwarmwasserbereitung beitragen. Das ist mehr als der mittlere Bedarf für die Trinkwarmwasserbereitung aller Anlagen ohne Solartechnik. Wie der Jahresverlauf in Abbildung 50 zeigt, übernimmt der Kessel auch in den Sommermonaten einen erheblichen Anteil an der Trinkwarmwasserbereitung. Die Solaranlage erzielt praktisch keinen Einspareffekt.

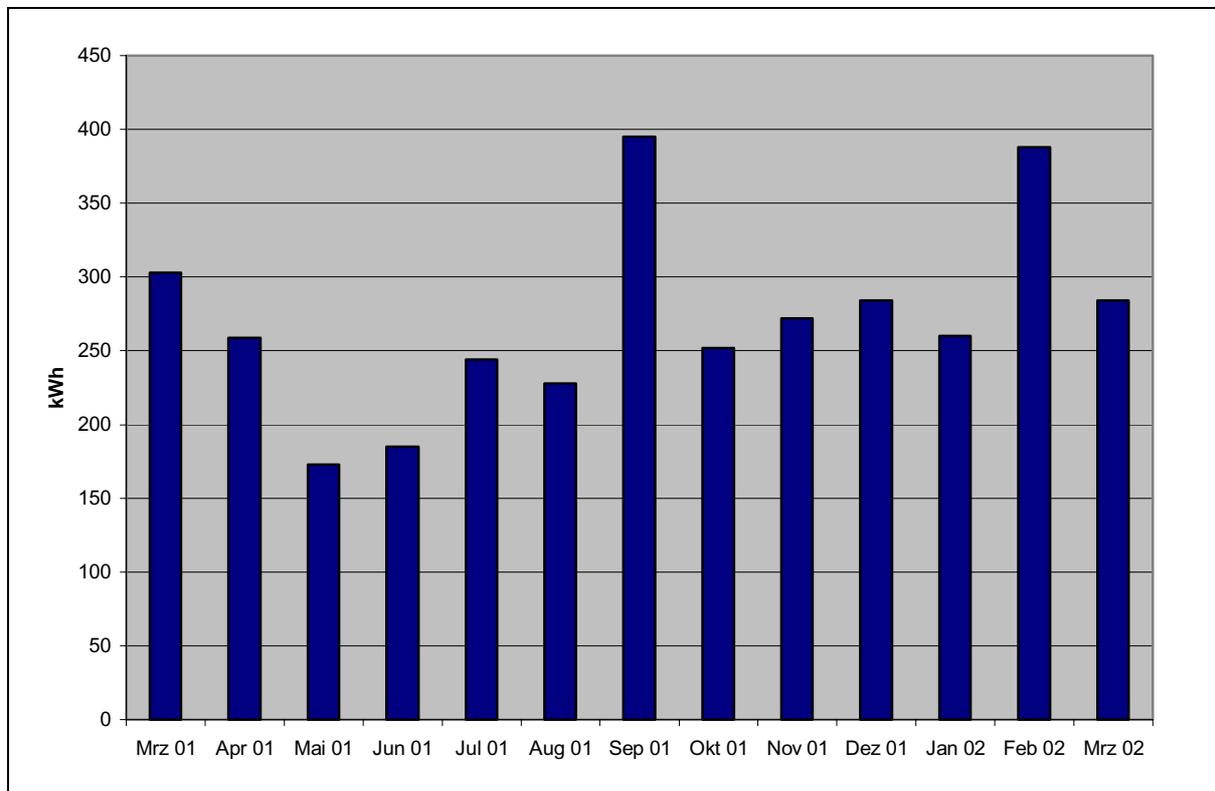


Abbildung 50: Wärmemenge des Kessels zur Trinkwarmwassererwärmung in Anlage 4

Weiterhin fallen die extrem hohen Verluste des Wärmeerzeugers auf [$q_{Verlust(Ho)} = 24,57 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$]. Bei einer Besichtigung der Anlage konnten weder an der Anlagenhydraulik noch an der Reglereinstellung des Wärmeerzeugers Gründe für diese erhöhten Verluste gefunden werden. Bei der Warmwasserbereitung wurde auf den Einsatz einer Zirkulation verzichtet, was sich grundsätzlich positiv auf die Temperaturschichtung im WW-Speicher auswirkt und zu einem verbesserten Nutzen der Solarenergie führen müsste. Die Reglereinstellung am Wärmeerzeuger entsprach einer Auslegungsvorlauftemperatur von 75 °C, was sicherlich nicht das Optimum für einen Brennwertkessel darstellt, aber dennoch eine Brennwertnutzung möglich macht.

Anlage 18:

Kesselfabrikat	Gebäudebaujahr	$Q_{B(Hu)}$	Q_H	Q_{TW}	q_H	q_{TW}	$q_{Verlust(Ho)}$	$\eta_{(Hu)}$
		kWh	kWh	kWh	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	
Buderus GB 112	2000	17729	14595	1456	73,0	7,3	18,0	0,905

Von dem Kessel müssen 7,3 kWh/(m²a) zur Trinkwarmwasserbereitung zur Verfügung gestellt werden. Gegenüber dem Mittelwert der Wärmemenge zur Warmwasserbereitung aller Brennwertanlagen [$q_{TW} = 19,8 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$] ergibt sich daraus eine solare Deckungsrate von ca. 63 % und damit eine wirtschaftliche Auslegung der Solaranlage. Wie Abbildung 51 zeigt, wird in den Sommermonaten nur wenig Wärme vom Kessel zur Trinkwarmwasserbereitung beigesteuert.

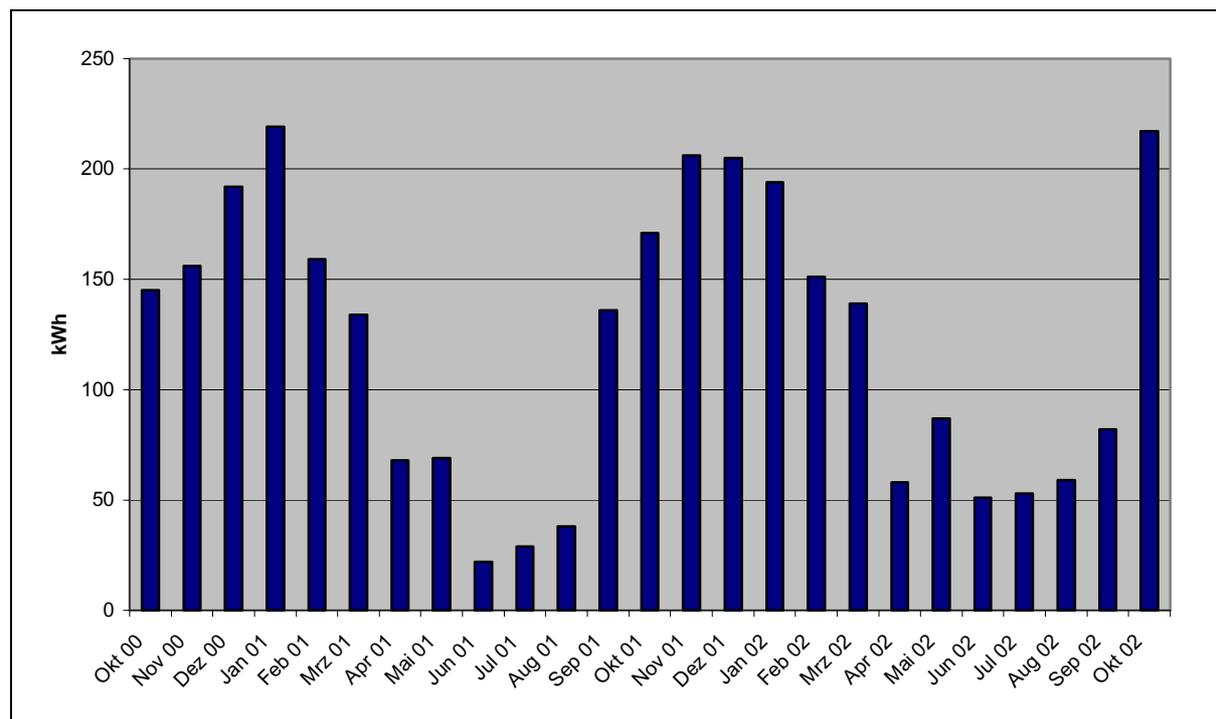


Abbildung 51: Wärmemenge des Kessels zur Trinkwarmwassererwärmung in Anlage 18

Der Erzeugerverlust liegt ca. 2 kWh/(m²a) über dem Mittelwert aller Anlagen. Ein Grund hierfür kann neben der geringen Nutzwärmeanforderung im Sommer in der hydraulischen Einbindung des Kessels liegen. Der Kessel ist über eine hydraulische Weiche an das Heiznetz angeschlossen; über diese Weiche kann es im Teillastbereich zu einer Überströmung vom Kesselvorlauf zum Kesselrücklauf kommen; dies führt zu einer Rücklauftemperaturerhöhung und zur Minderung des Brennwertnutzens. Besonders bei geringer Kesselauslastung, wie sie bei der betrachteten Anlage gegeben ist (es ergeben sich 669 Vollbenutzungsstunden für den Kessel), ist mit einer ständigen Überströmung zu rechnen.

Anlage 27:

Kesselfabrikat	Gebäudebaujahr	$Q_{B(Hu)}$	Q_H	Q_{TW}	q_H	q_{TW}	$q_{Verlust(Ho)}$	$\eta_{(Hu)}$
		kWh	kWh	kWh	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	
Paradigma Modula R 7-21	1977	9810	8498	1086	51,5	6,6	7,8	0,977

Über den Kessel werden 6,6 kWh/(m²a) zur Trinkwarmwasserbereitung beigetragen, dass entspricht einer Deckungsrate (siehe Anlage 18) von ca. 67%. In Abbildung 52 wird ersichtlich, dass die Trinkwarmwasserbereitung in den Sommermonaten fast vollständig von der Solaranlage geleistet wird.

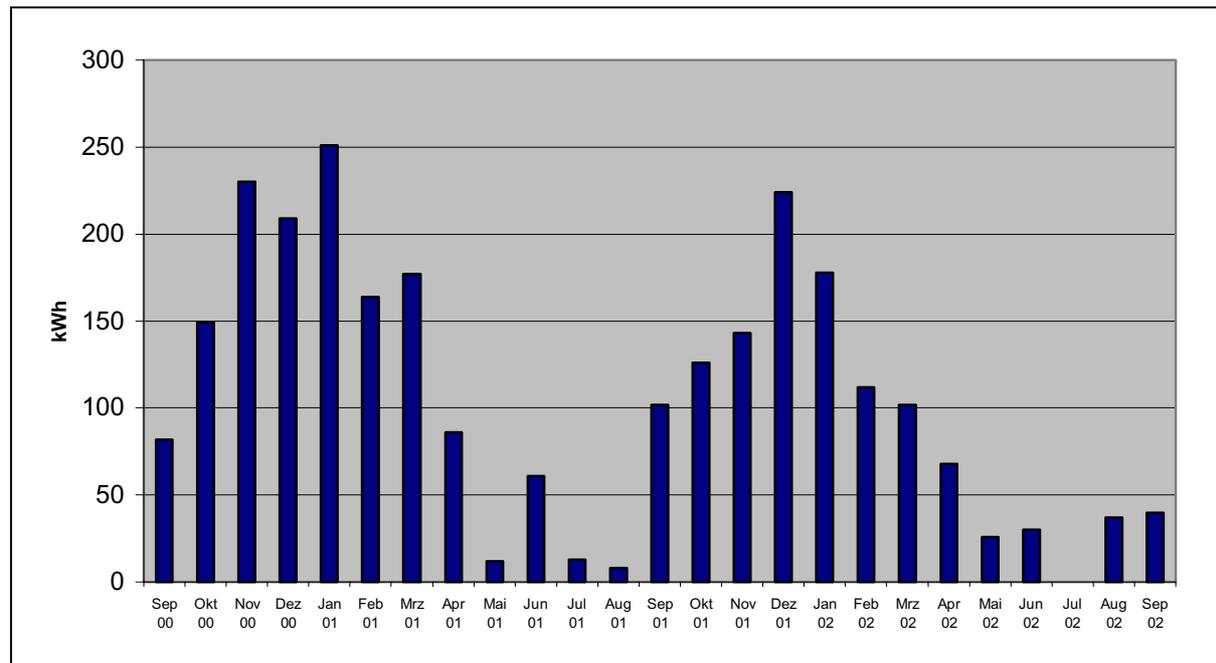


Abbildung 52: Wärmemenge des Kessels zur Trinkwarmwasserbereitung in Anlage 27

Auch der Kesselverlust liegt mit 7,8 kWh/(m²a) weit unter dem Durchschnittswert. Der Wärmeverbrauch für Raumheizung ist für ein Gebäude mit Baujahr 1977 sehr niedrig. Die Anlage erreicht eine überdurchschnittliche Energieausnutzung.

Anlage 37:

Kesselfabrikat	Gebäudebaujahr	$Q_{B(Hu)}$	Q_H	Q_{TW}	q_H	q_{TW}	$q_{Verlust(Ho)}$	$\eta_{(Hu)}$
		kWh	kWh	kWh	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	
Viessmann Eurola	1965	14675	14315	833	114,5	6,7	9,0	1,032

Der Nutzungsgrad mit 103% erreicht sehr hohe Werte. Der Anteil des Trinkwarmwasserbedarfs an der vom Kessel bereitgestellten Wärmemenge ist sehr gering. Dieses ist jedoch nicht allein auf die Solaranlage, sondern auf einen insgesamt niedrigen Trinkwarmwasserverbrauch zurückzuführen, da das Haus nur von 2 Personen bewohnt wird.

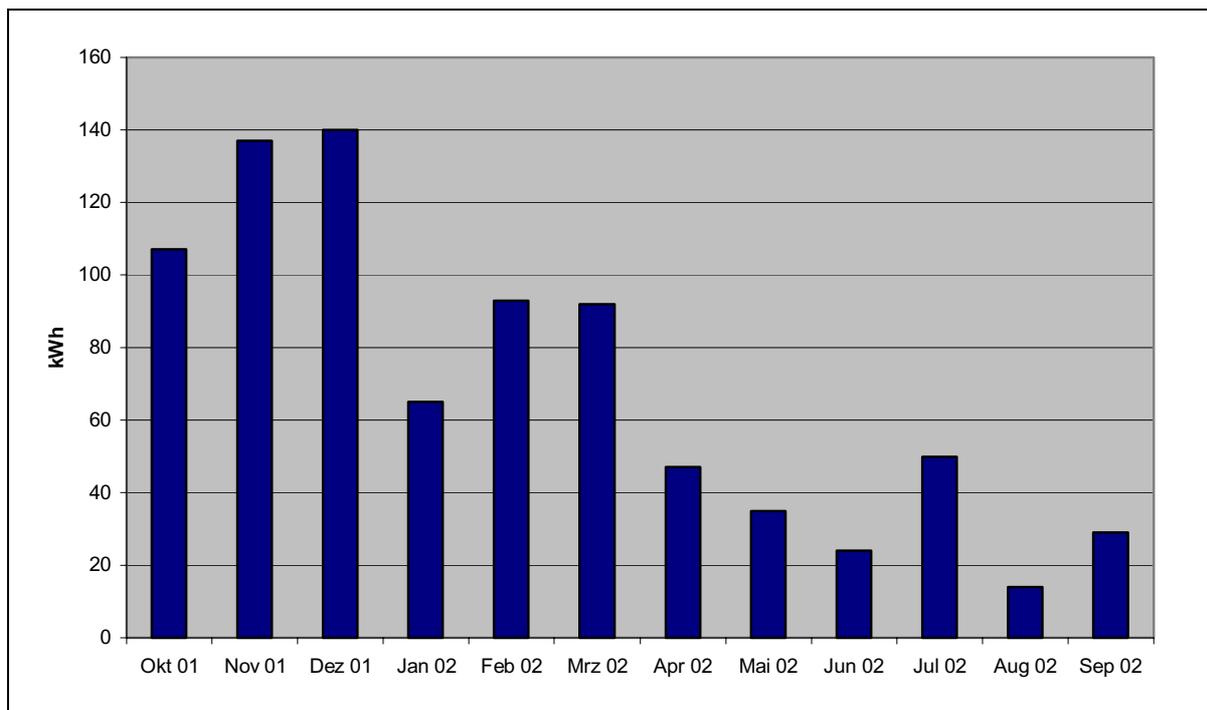


Abbildung 53: Wärmemenge des Kessels zur Trinkwarmwasserbereitung in Anlage 37

Weiterhin ist zu bemerken, dass die Anlage über eine Fußbodenheizung verfügt und mit niedrigen Systemtemperaturen betrieben wird. Der relativ hohe Wärmeverbrauch für die Raumheizung q_H , ist auf den schlechten Dämmstandard des Gebäudes zurückzuführen.

Anlage 47:

Kesselfabrikat	Gebäudebaujahr	$Q_{B(Hu)}$	Q_H	Q_{TW}	q_H	q_{TW}	$q_{Verlust(Ho)}$	$\eta_{(Hu)}$
		kWh	kWh	kWh	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	
Paradigma Modula R 7-21	1980	15881	14765	673	123,0	5,6	18,1	0,972

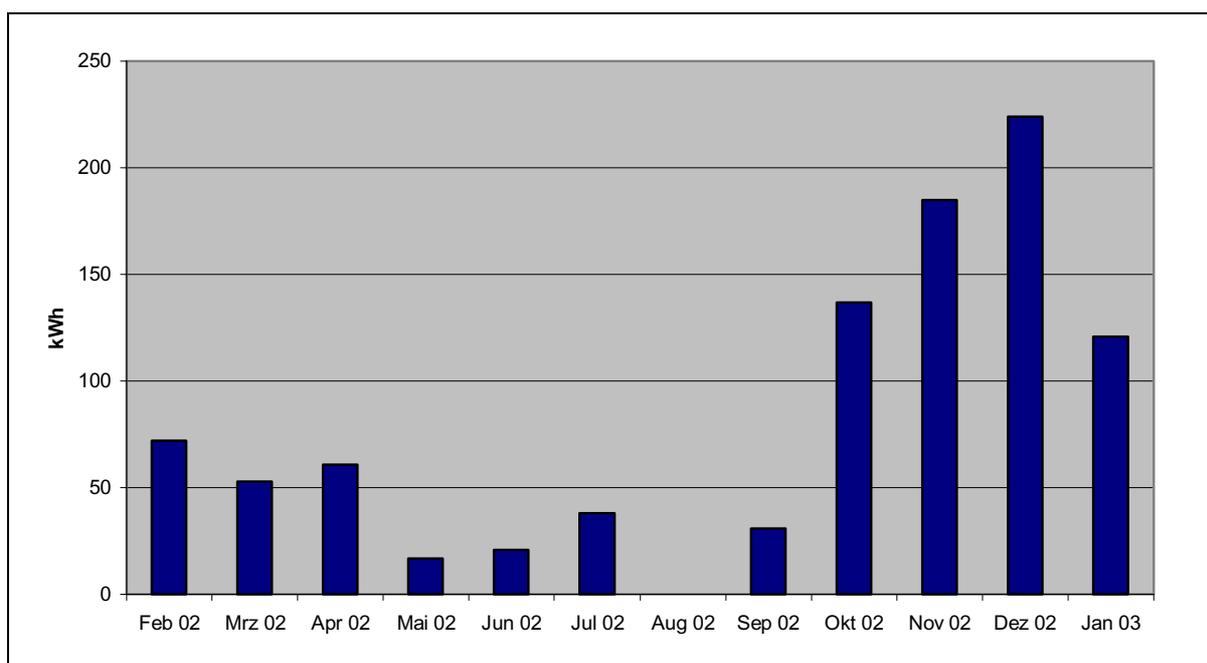


Abbildung 54: Wärmemenge des Kessels zur Trinkwarmwasserbereitung in Anlage 47

Bei dem betrachteten Kessel handelt es sich um das gleiche Modell wie bei Anlage 27. Auffällig sind die vergleichsweise hohen Erzeugerverluste. Der geringe Verbrauch für die Trinkwarmwasserbereitung im Februar und März 2002 lässt sich nur über das Nutzerverhalten erklären (evtl. weniger Personen anwesend). Der geringe WW-Verbrauch im Sommer lässt auf eine einwandfreie Funktion der Solaranlage schließen.

Anlage 49:

Kesselfabrikat	Gebäudebaujahr	$Q_{B(Hu)}$	Q_H	Q_{TW}	q_H	q_{TW}	$q_{Verlust(Ho)}$	$\eta_{(Hu)}$
		kWh	kWh	kWh	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	
Junkers Cerapur ZS BR 7-25	1998	19306	17297	496	77,9	2,2	16,3	0,922

Obwohl der Nutzungsgrad der Anlage unter dem durchschnittlichen Nutzungsgrad aller Anlagen liegt, entsprechen die spezifischen Kesselverluste dem Durchschnittswert. Der Aufwand für die Trinkwarmwasserbereitung ist über das gesamte Jahr extrem gering, was nicht nur auf den Betrieb der Solaranlage zurückgeführt werden kann, sondern auf ein sehr sparsames Nutzerverhalten schließen lässt.

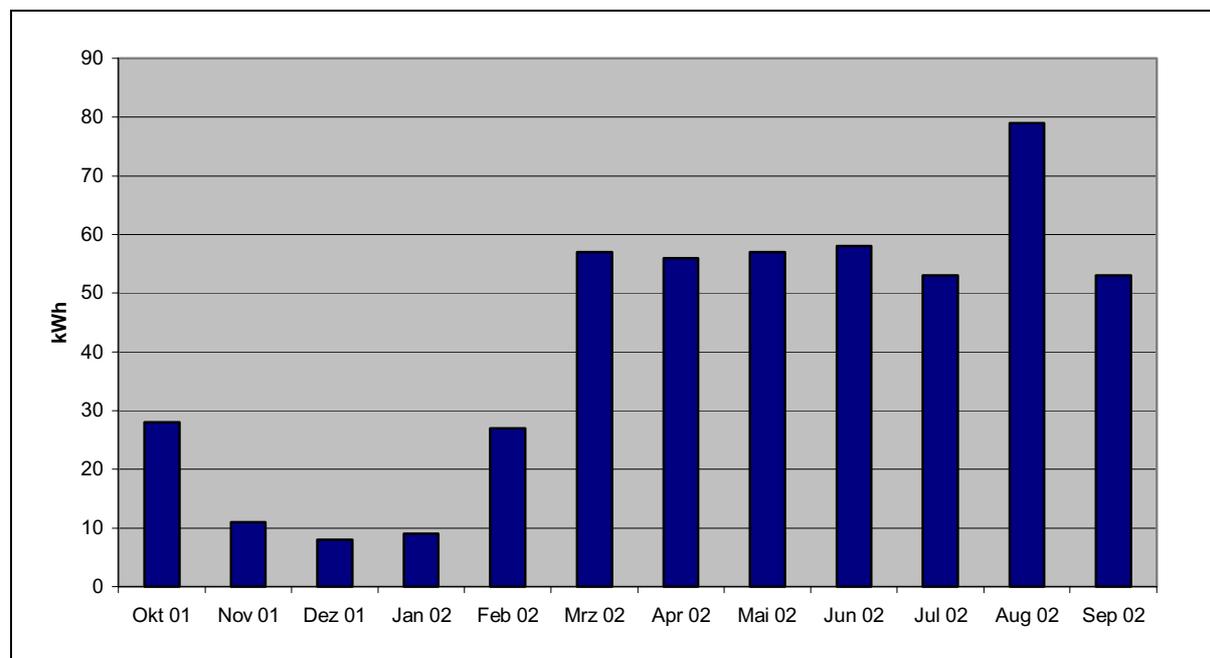


Abbildung 55: Wärmemenge des Kessels zur Trinkwarmwasserbereitung in Anlage 49

Anlage 51:

Kesselfabrikat	Gebäudebaujahr	$Q_{B(Hu)}$	$Q_H + Q_{TW}$	$q_H + q_{TW}$	$q_{Verlust(Ho)}$	$\eta_{(Hu)}$
		kWh	kWh	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	
Benrad HR 5003	1960	17101	16166	148,3	25,6	0,945

Bei dieser Anlage werden der Wärmeverbrauch für Trinkwarmwasser und der für Raumheizung gemeinsam erfasst. Es kann daher keine Aussage über den Wärmeverbrauch für Trinkwarmwasser und damit über den Nutzen der Solaranlage gemacht werden. Auffällig ist der hohe Verlust des Wärmeerzeugers.

Anlage 53:

Kesselfabrikat	Gebäudeba ujahr	$Q_{B(Hu)}$	Q_H	Q_{TW}	q_H	q_{TW}	$q_{Verlust(Ho)}$	$\eta_{(Hu)}$
		kWh	kWh	kWh	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	
Paradigma GB 120	1993	21573	18746	692	99,8	3,7	23,8	0,901

Bei dieser Anlage fällt auf, dass die Kesselverluste mit 23,8 kWh/(m²a) sehr hoch sind. Die Ursache hierfür ist wahrscheinlich in der hydraulischen Einbindung des Wärmeerzeugers zu suchen. Um die Schalthäufigkeit des Wärmeerzeugers zu minimieren, speist der Kessel seine abgegebene Wärme nicht direkt, sondern über einen Pufferspeicher ins Heiznetz ein. Die Wärmemengenmessung des Wärmeerzeugers erfolgt erst hinter dem Pufferspeicher, so dass die Speicherverluste zu Lasten des Kesselnutzungsgrades gehen.

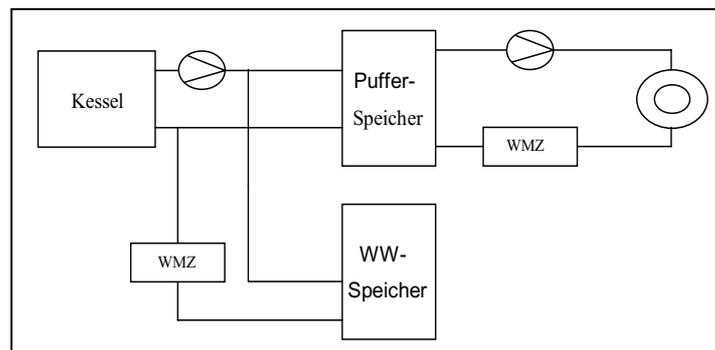


Abbildung 56: Schaltschema Anlage 53 (ohne Darstellung der Solaranlage)

Die hohen Kesselverluste sind also zum größten Teil auf den Pufferspeicher zurückzuführen. Der Zählereinbauort wurde jedoch bewusst hinter dem Pufferspeicher gesetzt, da der Speicher ausschließlich für den Betrieb des Kessels erforderlich ist und die Verluste diesem zugeschrieben werden müssen. Als Alternative zu einem Speicher zur Verminderung der Schalthäufigkeit könnte beispielsweise ein Kessel mit ausreichend großem Wasserinhalt gewählt werden. Der geringe Wärmeverbrauch für die Trinkwarmwasserbereitung lässt auf einen effizienten Betrieb der Solaranlage schließen.

Anlage 63:

Kesselfabrikat	Gebäudeba ujahr	$Q_{B(Hu)}$	Q_H	Q_{TW}	q_H	q_{TW}	$q_{Verlust(Ho)}$	$\eta_{(Hu)}$
		kWh	kWh	kWh	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	
Vaillant E- coTec	1998	16385	11875	3881	79,2	25,9	16,1	0,962

Bei dieser Anlage fällt auf, dass die vom Kessel für Trinkwarmwasserbereitung aufgebrauchte Wärmemenge extrem hoch ist und in etwa dem Bedarf für ein Einfamilienhaus ohne Solaranlage entspricht. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Solaranlage nicht einwandfrei arbeitet. Bestätigt wird diese Vermutung durch die Aussagen in Abbildung 57. Der vom Kessel zu deckende Bedarf an der Trinkwarmwasserbereitung ist auch im Sommer sehr hoch. Die Solaranlage erreicht nur eine sehr geringe Deckungsrate.

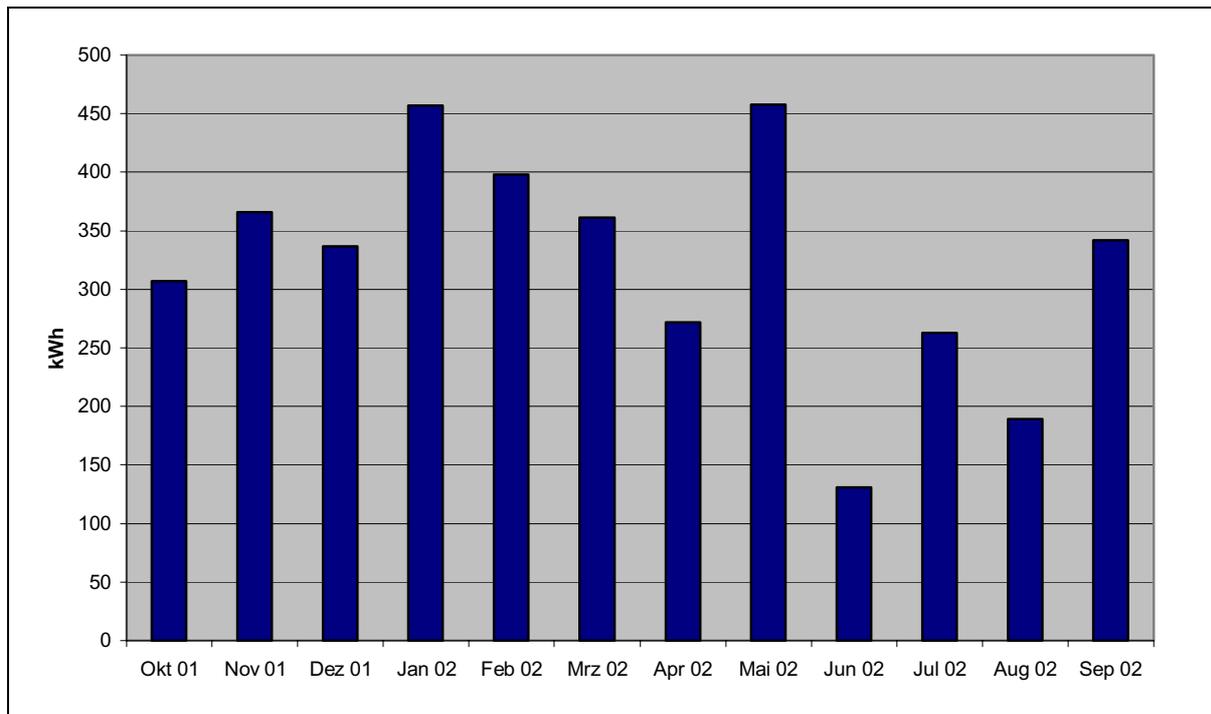


Abbildung 57: Wärmemenge des Kessels zur Trinkwarmwasserbereitung in Anlage 63

Der Nutzungsgrad des Wärmerzeugers sowie die spezifischen Kesselverluste entsprechen dem Durchschnitt aller Brennwertanlagen

Anlage 65:

Kesselfabrikat	Gebäudeba ujahr	$Q_{B(Hu)}$	$Q_H + Q_{TW}$	$q_H + q_{TW}$	$q_{Verlust(Ho)}$	$\eta_{(Hu)}$
		kWh	kWh	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	
EWFE Micromat MZ 11-25 C	1955	6911	6186	61,9	14,8	0,895

Der Nutzungsgrad der Anlage liegt unter dem Durchschnitt. Weiterhin ist die abgegebene Nutzenergiemenge sehr gering. Der Grund hierfür liegt im Betrieb eines Kaminofens. Bedingt durch den hohen Anteil der Bereitschaftsverluste im Verhältnis zur Nutzwärmemenge ergibt sich der geringe Kesselnutzungsgrad.

Anlage 66:

Kesselfabrikat	Gebäudeba ujahr	$Q_{B(Hu)}$	$Q_H + Q_{TW}$	$q_H + q_{TW}$	$q_{Verlust(Ho)}$	$\eta_{(Hu)}$
		kWh	kWh	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	
Buderus GB 112 W	1997	8767	9176	71,7	4,3	1,047

Der Nutzungsgrad dieser Anlage liegt weit über dem Durchschnitt und erreicht fast die Vorgaben für den Normnutzungsgrad. Auch der spezifische Kesselverlust ist sehr gering.