



Integration von Heizkesseln in Wärmeverbundsysteme mit großen Solaranlagen

Vorstellung Kesselprüfstand
Dipl.-Ing. (FH) Jörn Deidert



Zugrunde liegenden Normen

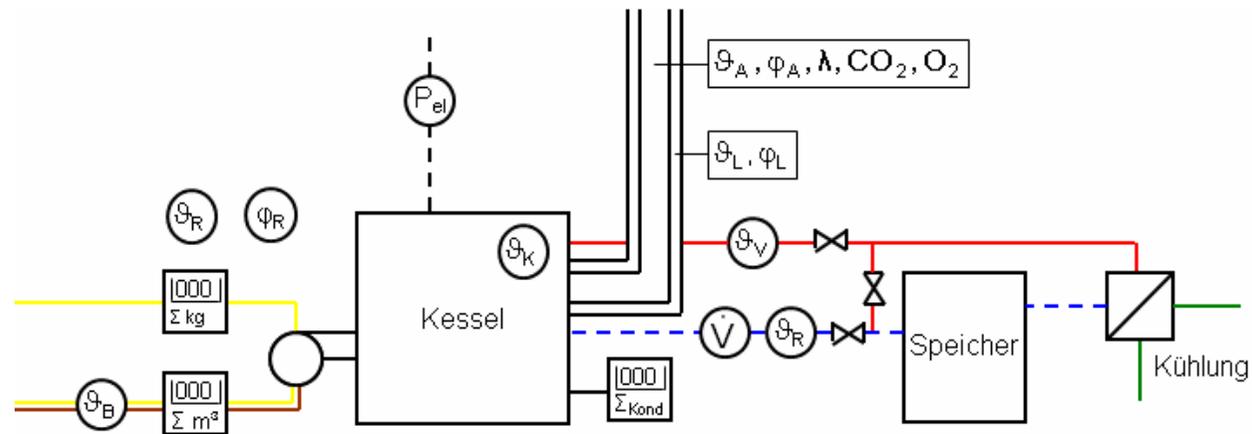
DIN EN 303-3

Heizkessel – Teil 3: Zentralheizkessel für gasförmige Brennstoffe – Zusammenbau aus Kessel und Gebläsebrenner

DIN EN 304

Heizkessel – Prüffregeln für Heizkessel mit Ölzerstäubungsbrennern

Schematische Darstellung Kesselprüfstand / Messpunkte



Brennstoff

- Verbrauch
- Temperatur und Druck
- Brennwert und Dichte

Wärmeerzeuger

- Verbrennungslufttemp.
- Kesseltemperatur
- Kondensat
- elektrische Leistung

Aufstellraum

- Luftfeuchtigkeit
- Lufttemperatur und -druck

Abgas

- Temperatur und Feuchte
- Luftverhältnis
- O_2 und CO_2 Gehalt
- Abgasgeschwindigkeit

Wasser

- Vor- und Rücklauftemperatur
- Volumenstrom

Eingesetzte Messgeräte

Brennstoff Gas

- für den Brennwert und die Dichte ein Prozessgaschromatographen
- für den Durchsatz einen Balgengaszähler
- ein Thermometer und ein Manometer in der Anschlussleitung

Brennstoff Öl

- Brennwertbestimmung durch das Institut für Verfahrensoptimierung und Entsorgung (IVE) an der Ostfalia
- Durchsatz mittels Waage

Temperaturen

- alle Temperaturen werden mittels pt-100 Messfühler gemessen

Abgas

- Abgasanalysegerät für O₂, CO₂, Luftverhältnis

Volumenstrom

- induktiver Durchflussmesser

Sonstiges

- für Luft- und Abgasfeuchte und Abgasgeschwindigkeit wird ein universal Messgerät eingesetzt
- Messwerterfassung



Durchgeführte Messungen und Prüfungen

Wirkungsgradmessung unter Prüfbedingungen im Vollastbetrieb (Eta 100)

Grundlage: EN 304 (Ölgebläsebrenner)
EN 303-3 (Gasgebläsebrenner)

Wirkungsgradmessung unter Prüfbedingungen im Teillastbetrieb (Eta 30)

Grundlage: EN 304 (Ölgebläsebrenner)
Gewählte Methode: Direkte Methode
Grundlage: EN 303-3 (Gasgebläsebrenner)

Bereitschaftsverlustmessung unter Prüfbedingungen (QB)

Grundlage: EN 304 (Ölgebläsebrenner)
EN 304 (Gasgebläsebrenner)

Wirkungsgradbestimmung bei unterschiedlichen Rücklauftemperaturen, Temperaturspreizungen und Kesselleistungen

Grundlage: EN 304 (Ölgebläsebrenner)
EN 303-3 (Gasgebläsebrenner)

Übersicht der geprüften Heizkessel

Kessel	Kessel O1	Kessel O2	Kessel G1	Kessel G2
Brennstoff	Öl	Öl	Erdgas	Erdgas
Nennleistung	19,2 kW	18,6 kW	14,8 kW	14,4 kW
Modulation	2stufig 11,1 kW	Einstufig	mod. 2,7 kW	mod. 3,2 kW
Masse	115 kg	177 kg	41 kg	54 kg
Wasserinhalt	54,0 Liter	57,0 Liter	1,5 Liter	1,5 Liter
η_K	91,4 %	89,9 %	87,5 %	88,4 %
η_f	92,0 %	91,9 %	88,1 %	-
q_B	0,89 %	1,46 %	0,91 %	1,23 %
stat. Messpunkte	211	62	153	43
Nennleistungspunkte	12	9	9	7
Bereitschaftsverlust	9	4	3	-
Zeitkonstanten	27	18	150	24
dyn. Messung	12	12	-	-

Übersicht der Nachmessung der Herstellerdaten

Kessel	Kessel O1	Kessel O2	Kessel G1	Kessel G2
Nennleistung 80/60	19,2 kW	18,6 kW	14,8 kW	14,4 kW
Nennleistung 80/60	17,8 kW	18,0 kW	14,3 kW	15,2 kW
Minimalleistung 80/60	11,1 kW	-	2,7 kW	3,2 kW
Minimalleistung 80/60	11,3 kW	-	3,1 kW	3,7 kW
η_K Nennleistung 80/60	91,4 %	89,9 %	87,5 %	88,4 %
η_K Nennleistung 80/60	89,2 %	90,0 %	86,2 %	86,5 %
η_f Nennleistung 80/60	92,0 %	91,9 %	88,1 %	-
η_f Nennleistung 80/60	91,8 %	92,6 %	88,3 %	88,7 %
Bereitschaftsverlust	0,9 %	1,5 %	0,9 %	1,2 %
Bereitschaftsverlust	1,2 %	1,2 %	1,2 %	-

Grau hinterlegte Zeilen Herstellerangaben
Weiß hinterlegte Zeilen Messung an der Ostfalia

Durchgeführte Messungen und Prüfungen

Messung der elektrischen Leistung des Kessels während des Starts und im Betrieb

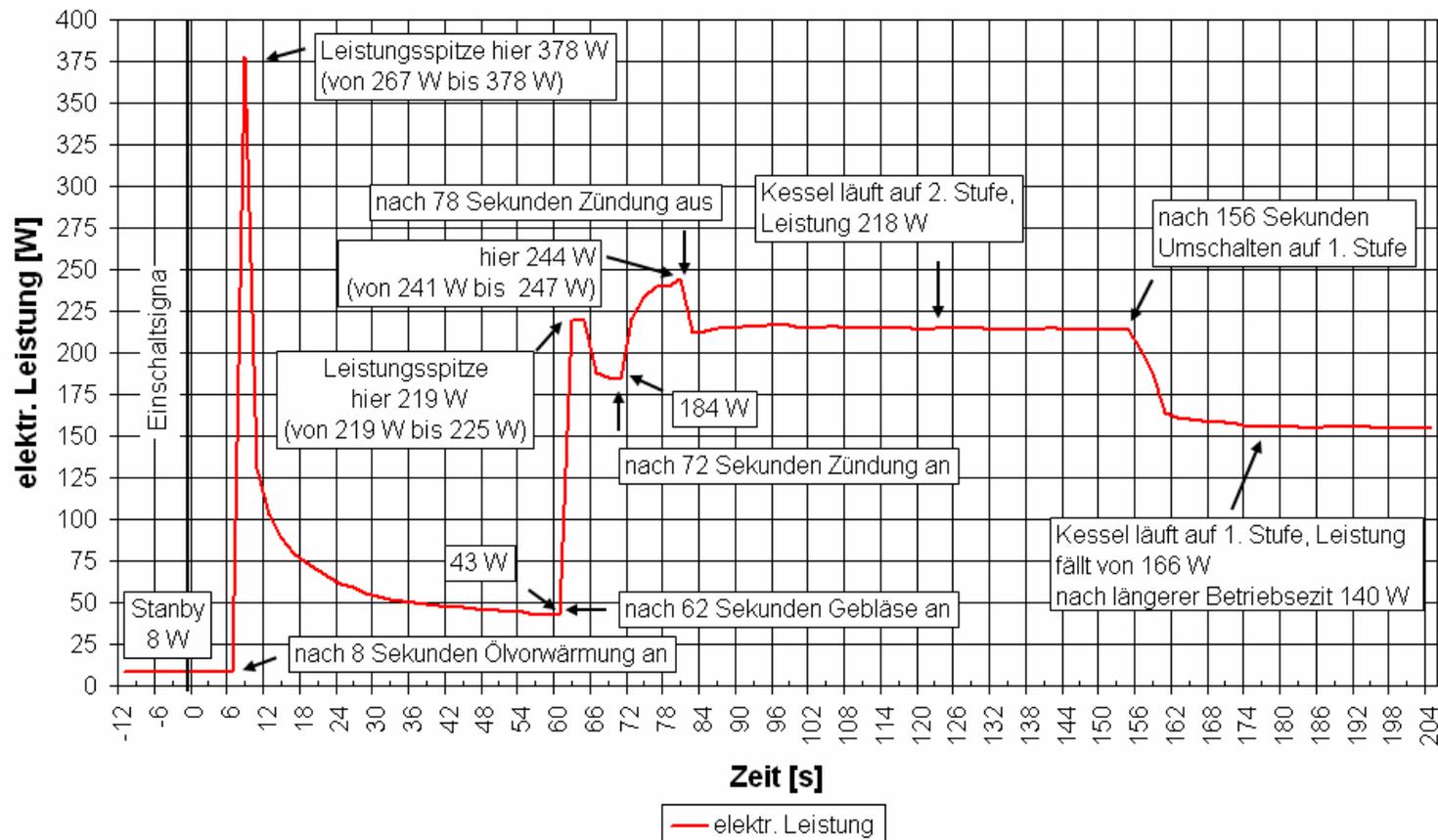
Kaltstart, Warmstart, Betrieb in 2. Stufe und 1. Stufe bzw. Modulationsstufen, Gebläsenachlaufzeit

Aufnahme des Startablaufes

- Wann werden die Ölvorwärmung, das Gebläse, die Ölpumpe und die Zündung eingeschaltet?
- Wie lange läuft die Vorspülzeit?
- Gibt es eine Mindestlaufzeit?
- Mit welcher Leistung startet der Kessel?
- Gibt es eine Nachspülzeit?

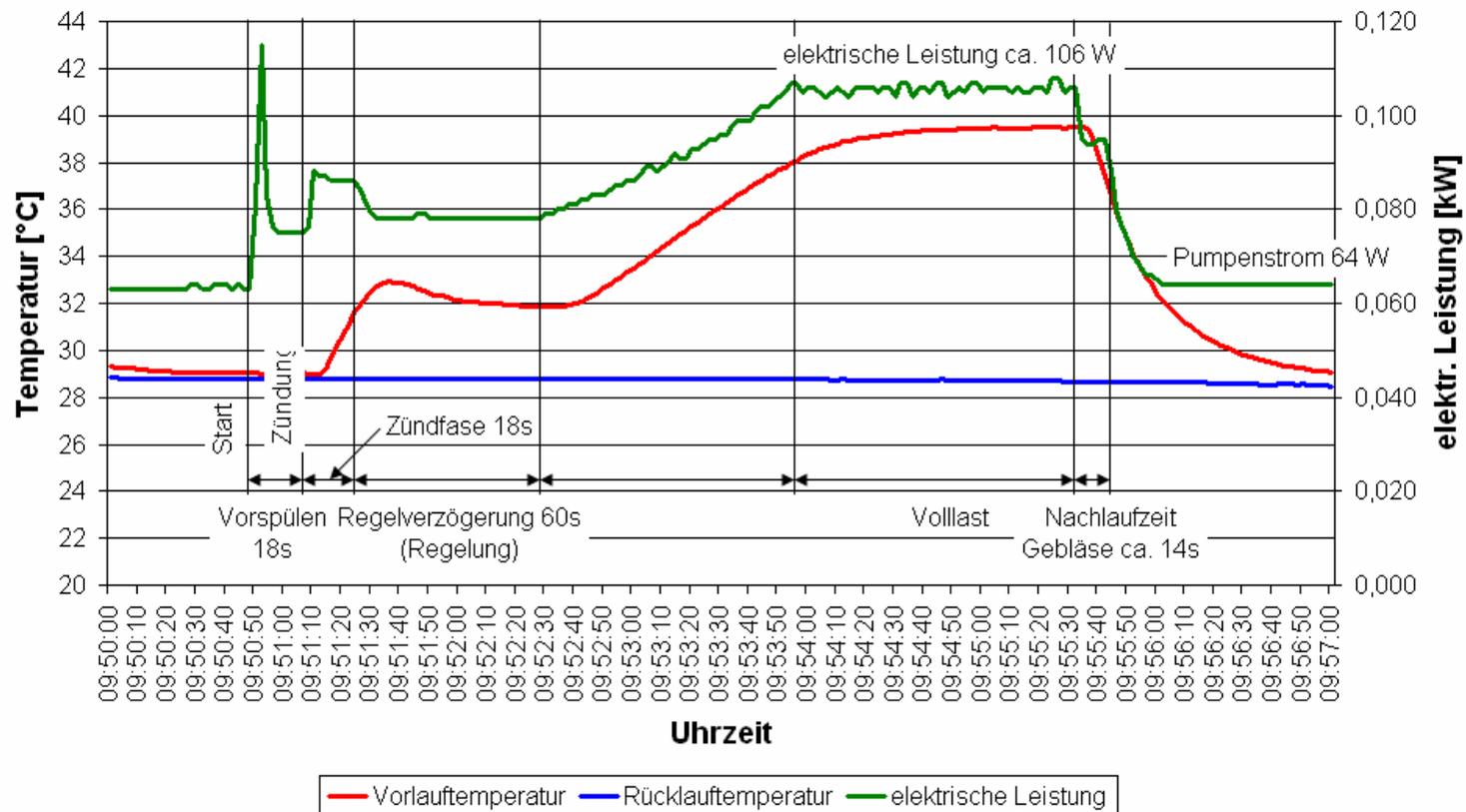
Startablauf eines zweistufigen Kessels

elektr. Leistung bei "Kaltstart" in 2. Stufe und Umschaltung in 1. Stufe



Startablauf eines modulierenden Wärmeerzeugers

Startautomatik eines modulierenden Wärmeerzeugers

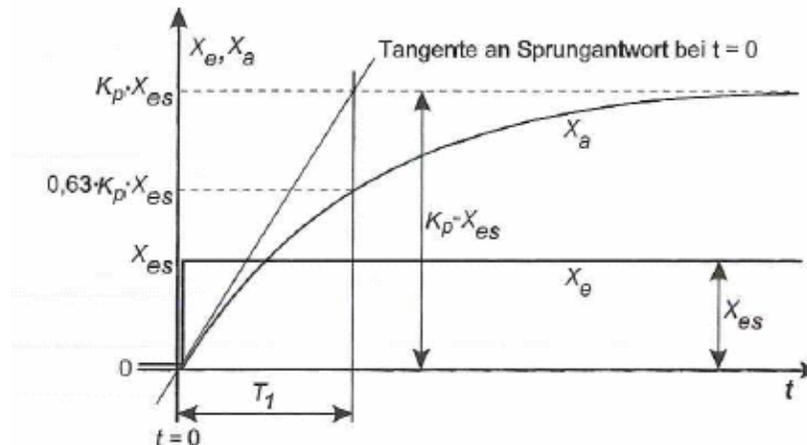


Durchgeführte Messungen und Prüfungen

Bestimmung der Totzeit (T_t) und der Verzögerungszeit (T_1)

Beide Werte sind zur Abbildung des Anfahrverhaltens des Kessels notwendig. Zur Vereinfachung wird hier eine e-Funktion vorausgesetzt.

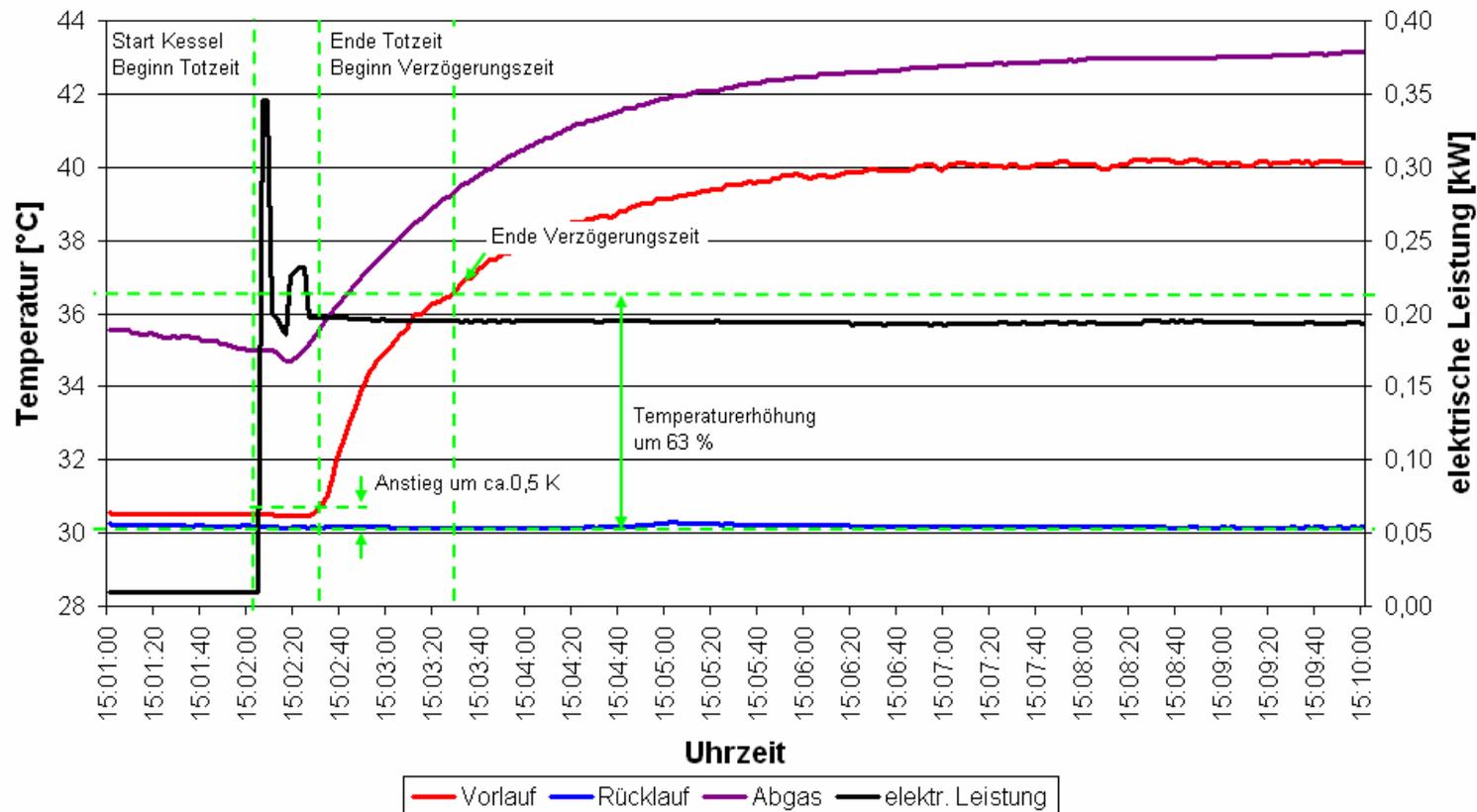
- Welche Zeit vergeht vom Anforderungssignal bis zur Temperaturerhöhung (+0,5 K) im Vorlauf (Totzeit).
- Wann sind 63 % der maximalen Vorlauftemperatur erreicht (Verzögerungszeit).



Sprungantwort eines P-T₁-Gliedes mit der Zeitkonstanten T_1 und dem Proportionalbeiwert K_p . x_e , x_a : Ein- und Ausgangsgröße; x_{es} : Eingangsgrößenprung

Aufnahme Zeitkonstanten

Aufnahme Zeitkonstanten (T1) bei 40/30 (0%-100%)



Übersicht Totzeit (T_t) und Zeitkonstanten (T_1)

Messpunkt	Kessel O1		Kessel O2		Kessel G1		Kessel G2	
	T_t	T_1	T_t	T_1	T_t	T_1	T_t	T_1
40/30	26,7 s	64,7 s	92,0 s	262,7 s	26,0 s	28,0 s	6,7 s	21,3 s
50/30	31,3 s	113,3 s	110,5 s	329,0 s	26,0 s	36,0 s	-	-
60/30	34,0 s	164,0 s	106,7 s	455,3 s	28,7 s	44,0 s	8,0 s	32,0 s
55/45	27,3 s	62,0 s	97,5 s	266,5 s	24,0 s	28,0 s	-	-
65/45	30,7 s	114,0 s	119,0 s	330,0 s	26,7 s	36,0 s	-	-
75/45	32,7 s	177,3 s	98,7 s	509,3 s	30,0 s	44,0 s	-	-
70/60	26,0 s	64,7 s	100,0 s	260,0 s	24,0 s	28,0 s	-	-
80/60	29,3 s	116,0 s	108,0 s	350,0 s	26,0 s	36,0 s	6,7 s	28,0 s
85/60	32,0 s	155,3 s	102,0 s	448,0 s	27,3 s	40,0 s	-	-

Fazit der Kesselmessungen

Normen

- Aussagekraft des Teillastwirkungsgrades (η_{30}) fraglich, da er mit drei unterschiedlichen Varianten bestimmt werden kann
- Bei der Bereitschaftsverlustmessung wird eine Kesseltemperatur von 50 K über der Umgebung angegeben, aber es fehlt die Angabe der Hysterese

Ergebnisse Wirkungsgradmessung

- Wirkungsgrad kann nur ungenau reproduziert werden
- Bei der Angabe von Nenn- und Minimalleistung gibt es Schwankungen

Gründe hierfür liegen vermutlich in den Messunsicherheiten und anderen Randbedingungen (Umgebung und eingestellte Betriebsparameter)

Aufnahme von zusätzlichen Parametern in die Normen

- Genau Festlegung aller Bedingungen für die stationäre Wirkungsgradprüfung
- Angabe des feuerungstechnischen Wirkungsgrades
- Teillastmessung bei minimaler Modulationsleistung
- Messungen bei Kondensation durchführen