



Quelle: Ostfalia Hochschule für Angewandte Wissenschaften

TRNSYS-Type für Öl- und Gaskessel

J. Glembin

Institut für Solarenergieforschung Hameln

H.P. Wirth

FH Düsseldorf



Quelle: Ostfalia Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Inhalt

Einleitung

Vorhandene Modelle
Probleme

Modell

Stationäre Berechnung
Dynamik
Parametrierung

Modellvalidierung

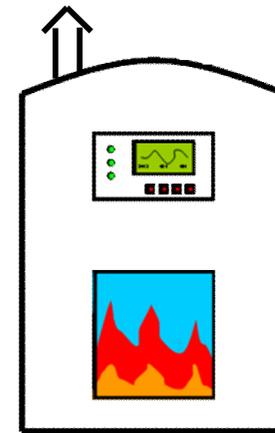
Prüfstand
Feldanlagen

Vorhandene Modelle



Drei detaillierte Kesselmodelle für Trnsys*, eine Vielzahl anderer Modelle#

- Aufwendige Parametrierung
- Umfangreiche Messungen für sinnvolle Parametrierung notwendig
- Ungenaue Berechnung der Kondensatmengen
- Dynamisches Verhalten stark vereinfacht
- Ohne Start-/Stoppautomatik
- Ohne Wärmeverluste beim Spülen
- Konstanter Brennstoff



* Koschak, A.: Ergänzung des Trnsys-Type 370 um einen Simulationsmodus zur realitätsnahen Simulation des Betriebsverhaltens von Gaskesseln mit Takten, Fachhochschule Zittau, 1998

* Persson, T.: Validation of a dynamic model for wood pellet boilers and stoves, In: Applied Energy 86(5), Elsevier Science Ltd., 2008

* Haller, M.Y., et al.: A unified model for the simulation of oil, gas, and biomass space heating boilers for energy estimating purposes – Part I: Model Development, In: Journal of Building Performance Simulation 4(1), Taylor and Francis Group, 2010

Lebrun, J., et al.: Testing and modeling of fuel oil space-heating boilers – Synthesis of available results, In: ASHRAE Transactions 99(2), 1993

André, P. et al.: From model validation to production of reference simulations: how to increase reliability and applicability of building and HVAC simulation models, In: Building Services Engineering Research and Technology 29(1), CIBSE Certification Ltd., 2008

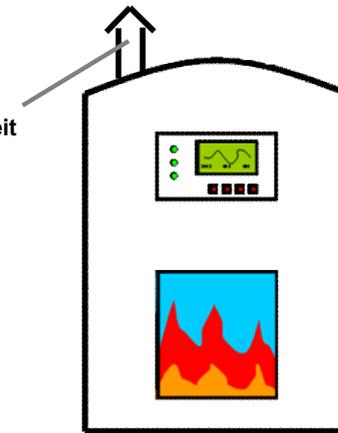
Vorhandene Modelle



Drei detaillierte Kesselmodelle für Trnsys*, eine Vielzahl anderer Modelle#

- Aufwendige Parametrierung
- Umfangreiche Messungen für sinnvolle Parametrierung notwendig
- Ungenaue Berechnung der Kondensatmengen
- Dynamisches Verhalten stark vereinfacht
- Ohne Start-/Stoppautomatik
- Ohne Wärmeverluste beim Spülen
- Konstanter Brennstoff

Massenstrom, Temperatur, Feuchtigkeit



* Koschak, A.: Ergänzung des Trnsys-Type 370 um einen Simulationsmodus zur realitätsnahen Simulation des Betriebsverhaltens von Gaskesseln mit Takten, Fachhochschule Zittau, 1998

* Persson, T.: Validation of a dynamic model for wood pellet boilers and stoves, In: Applied Energy 86(5), Elsevier Science Ltd., 2008

* Haller, M.Y., et al.: A unified model for the simulation of oil, gas, and biomass space heating boilers for energy estimating purposes – Part I: Model Development, In: Journal of Building Performance Simulation 4(1), Taylor and Francis Group, 2010

Lebrun, J., et al.: Testing and modeling of fuel oil space-heating boilers – Synthesis of available results, In: ASHRAE Transactions 99(2), 1993

André, P. et al.: From model validation to production of reference simulations: how to increase reliability and applicability of building and HVAC simulation models, In: Building Services Engineering Research and Technology 29(1), CIBSE Certification Ltd., 2008

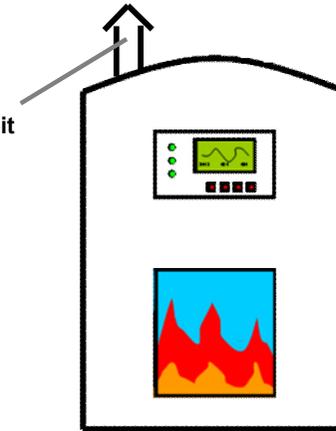
Vorhandene Modelle



Drei detaillierte Kesselmodelle für Trnsys*, eine Vielzahl anderer Modelle#

- Aufwendige Parametrierung
- Umfangreiche Messungen für sinnvolle Parametrierung notwendig
- Ungenaue Berechnung der Kondensatmengen
- Dynamisches Verhalten stark vereinfacht
- Ohne Start-/Stoppautomatik
- Ohne Wärmeverluste beim Spülen
- Konstanter Brennstoff

Massenstrom, Temperatur, Feuchtigkeit



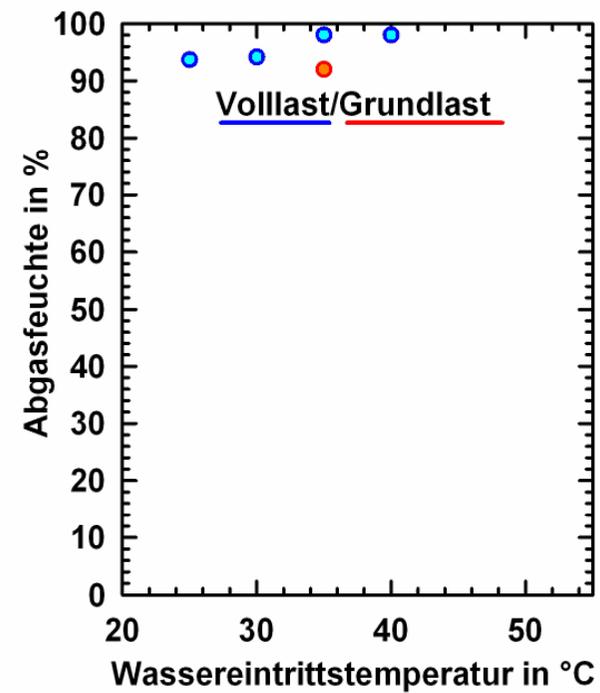
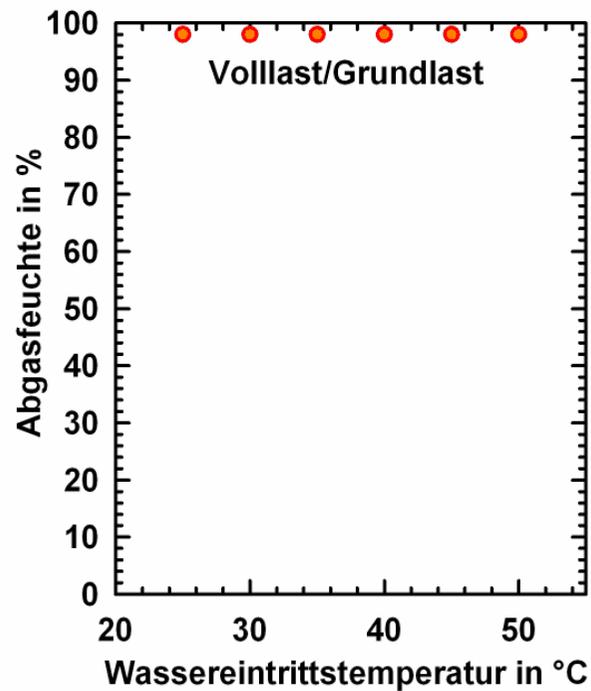
Kondensation wenn Abgastemperatur unterhalb der Sättigungstemperatur

Annahme: 100% Abgasfeuchte

Reale Abgasfeuchte



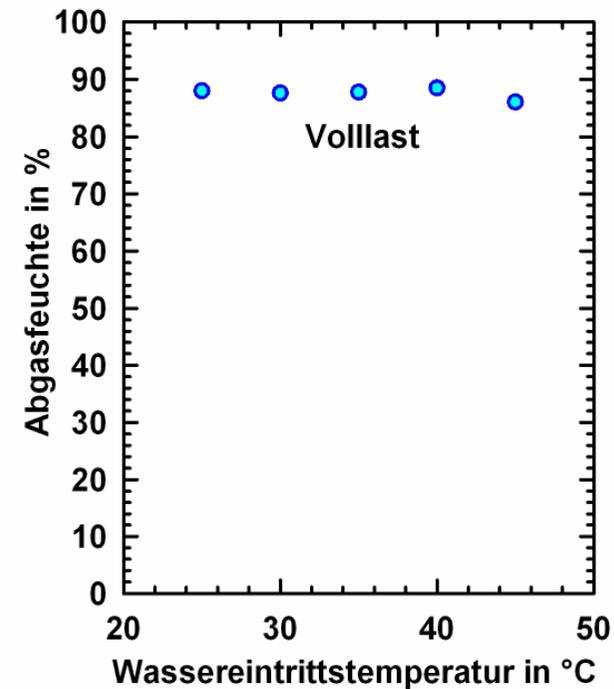
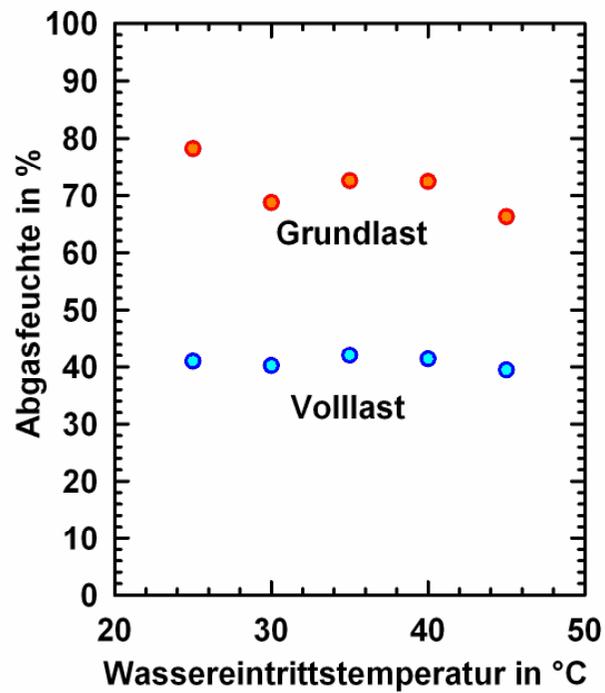
Beispiel: Zwei modulierende Gaskessel (Prüfstandsmessungen)



Reale Abgasfeuchte



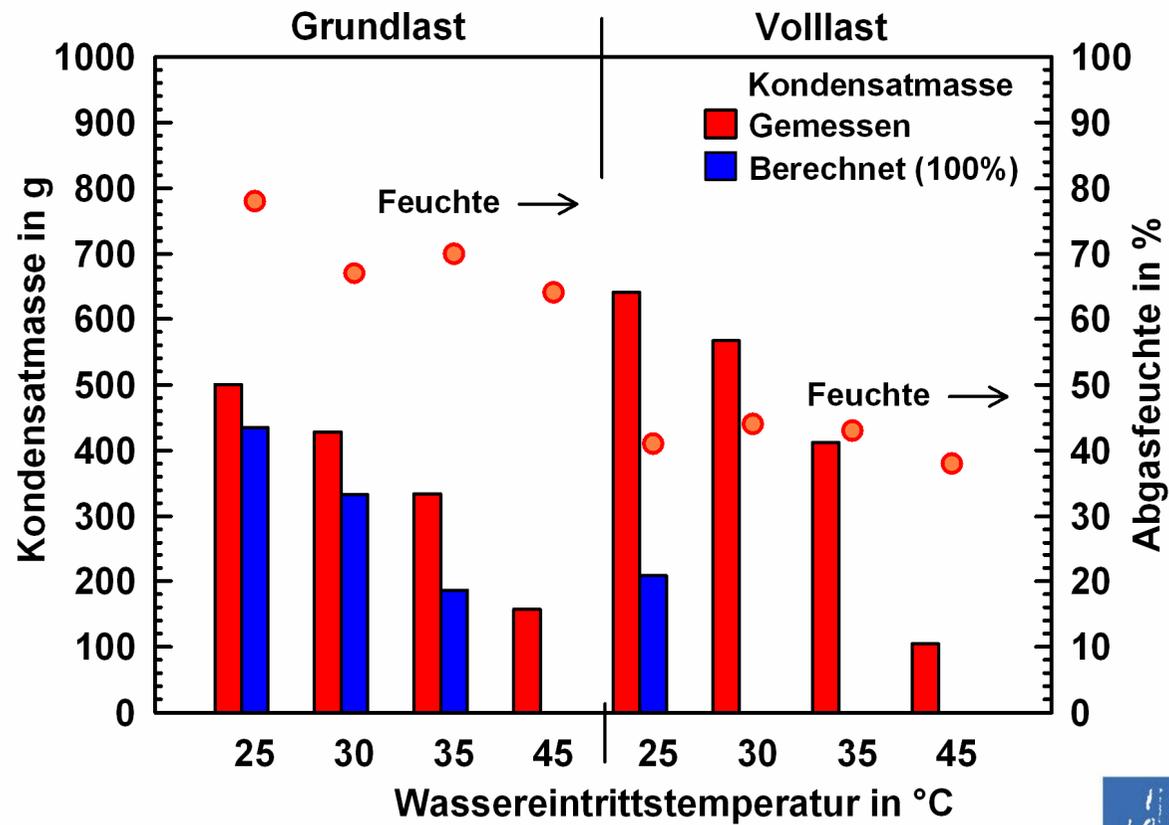
Beispiel: Zwei- und einstufiger Ölkessel (Prüfstandsmessungen)



Kondensatmengen



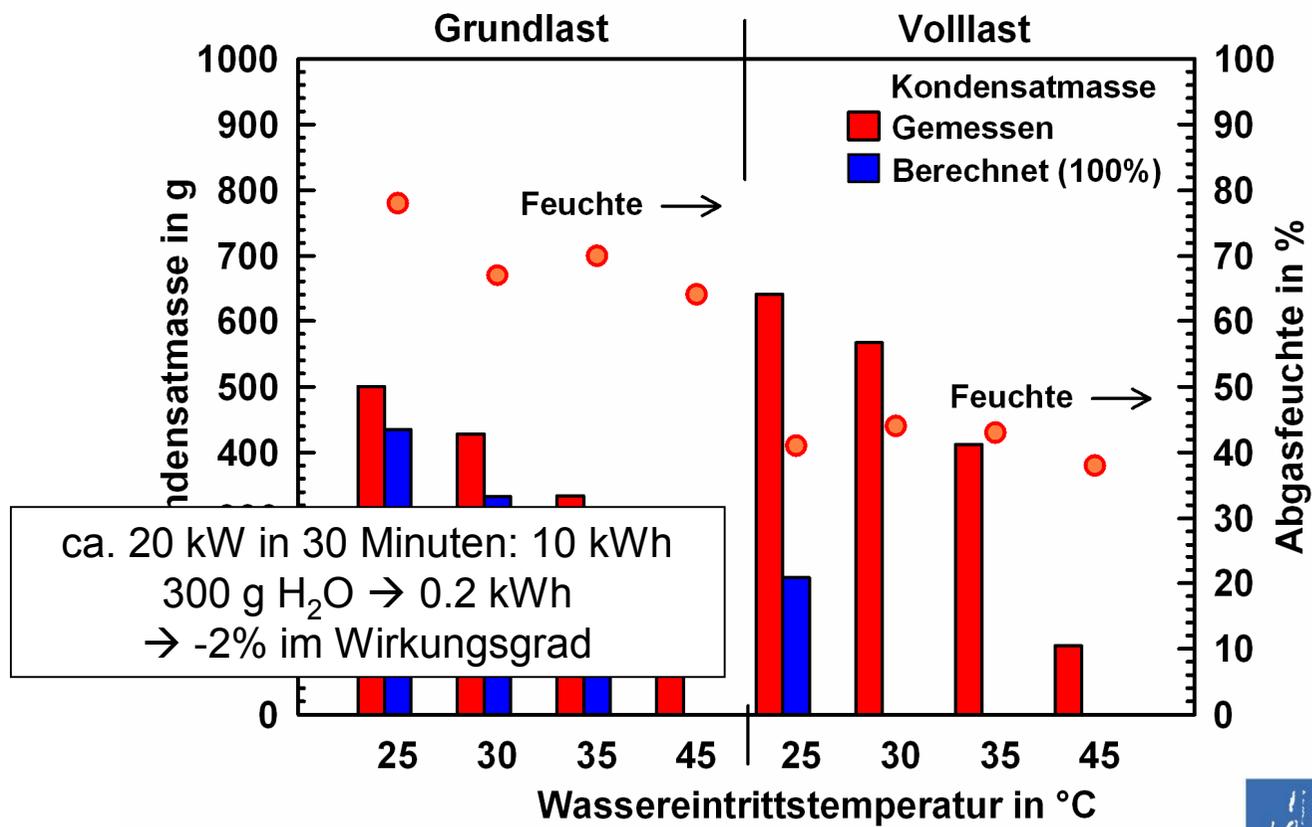
Beispiel: Zweistufiger Ölkessel (Prüfstandsmessung)



Kondensatmengen



Beispiel: Zweistufiger Ölkessel (Prüfstandsmessung)

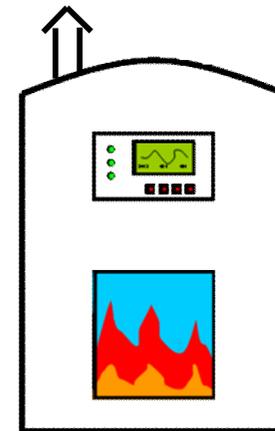


Vorhandene Modelle



Drei detaillierte Kesselmodelle für Trnsys*, eine Vielzahl anderer Modelle#

- Aufwendige Parametrierung
- Umfangreiche Messungen für sinnvolle Parametrierung notwendig
- Ungenaue Berechnung der Kondensatmengen
- Dynamisches Verhalten stark vereinfacht
- Ohne Start-/Stoppautomatik
- Ohne Wärmeverluste beim Spülen
- Konstanter Brennstoff



* Koschak, A.: Ergänzung des Trnsys-Type 370 um einen Simulationsmodus zur realitätsnahen Simulation des Betriebsverhaltens von Gaskesseln mit Takten, Fachhochschule Zittau, 1998

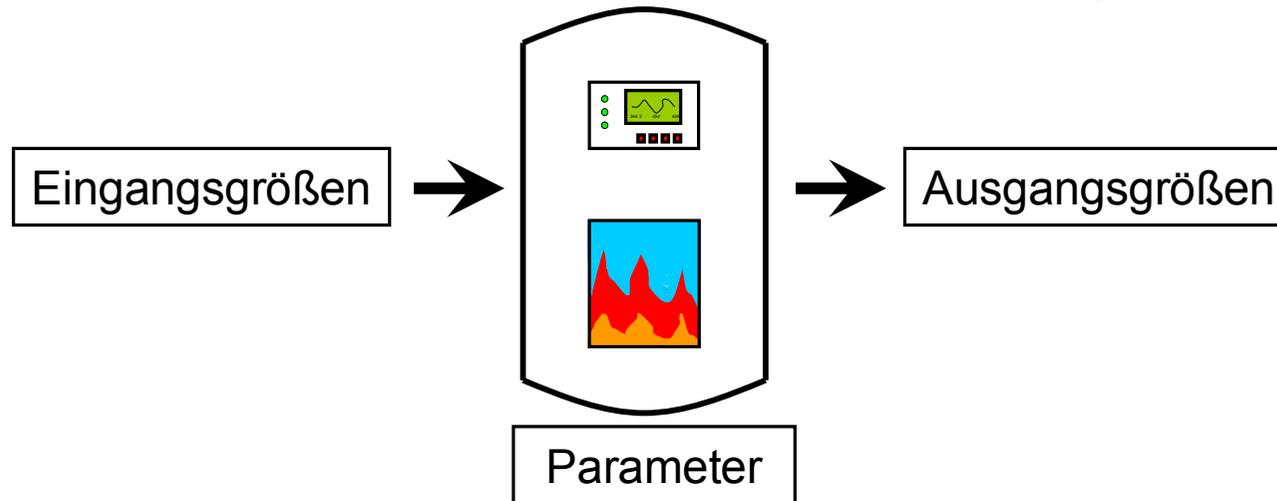
* Persson, T.: Validation of a dynamic model for wood pellet boilers and stoves, In: Applied Energy 86(5), Elsevier Science Ltd., 2008

* Haller, M.Y., et al.: A unified model for the simulation of oil, gas, and biomass space heating boilers for energy estimating purposes – Part I: Model Development, In: Journal of Building Performance Simulation 4(1), Taylor and Francis Group, 2010

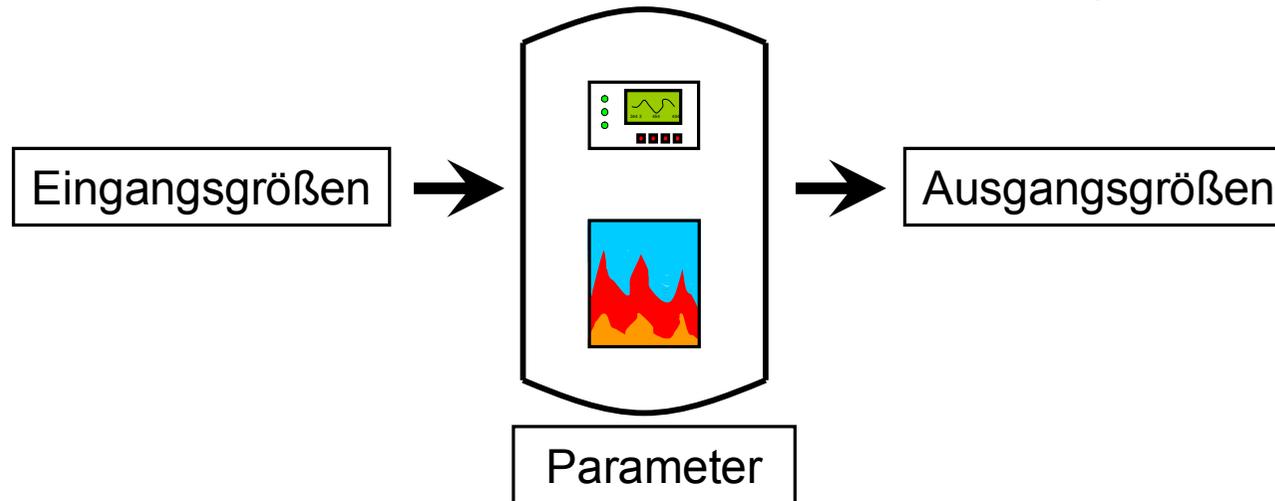
Lebrun, J., et al.: Testing and modeling of fuel oil space-heating boilers – Synthesis of available results, In: ASHRAE Transactions 99(2), 1993

André, P. et al.: From model validation to production of reference simulations: how to increase reliability and applicability of building and HVAC simulation models, In: Building Services Engineering Research and Technology 29(1), CIBSE Certification Ltd., 2008

Neues Kesselmodell



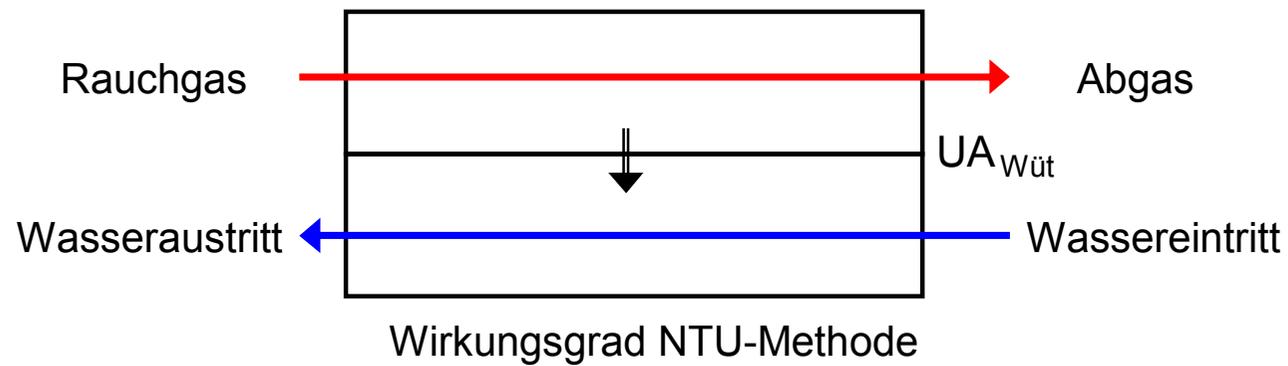
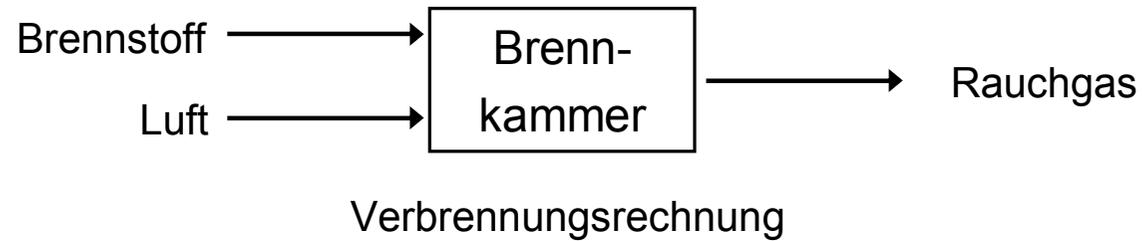
Neues Kesselmodell



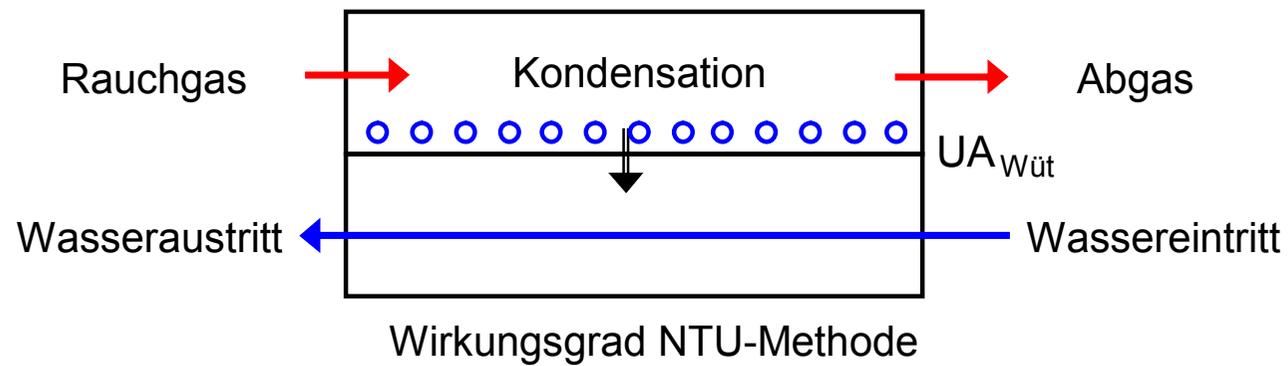
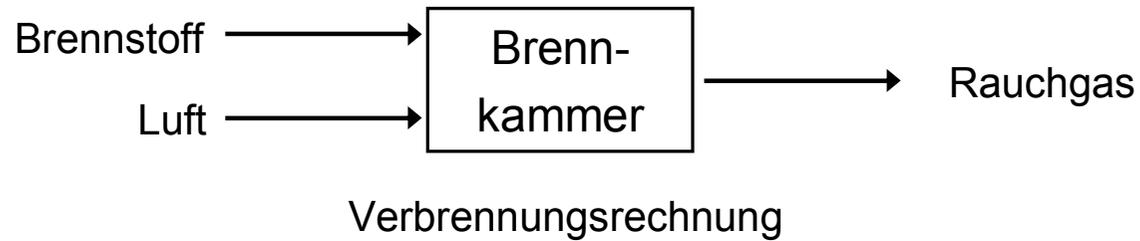
Kessel-
regelung

- Zweipunktregler
- Zwei alternative Regeltemperaturen
- Mindestein-/auschaltzeit
- Vorspülen/Nachspülen
- Startphase
- Modellinterne Zeitschrittlänge

Stationäre Werte



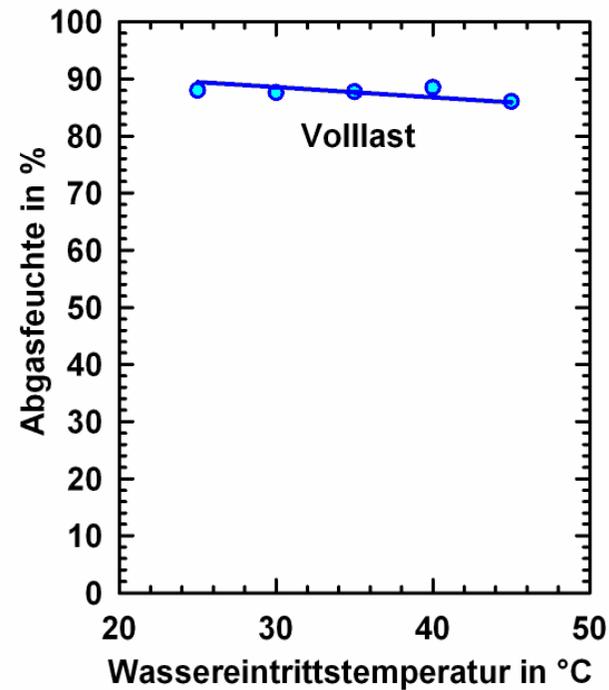
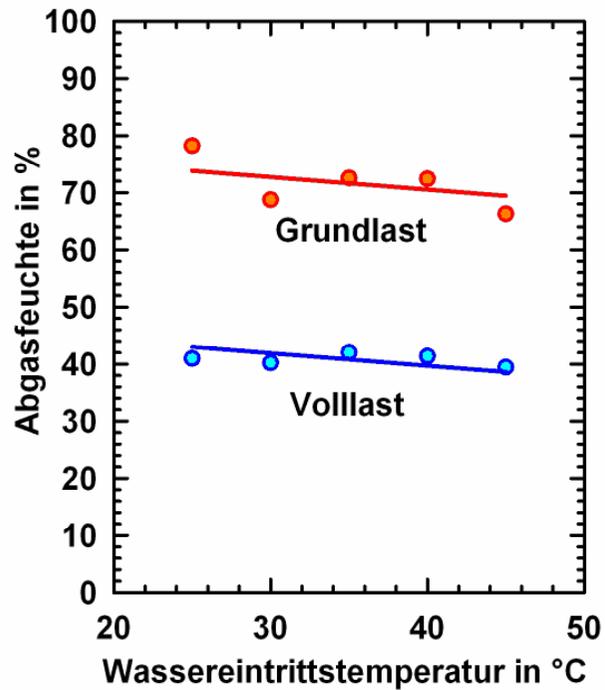
Stationäre Werte



Abgasfeuchte im Modell



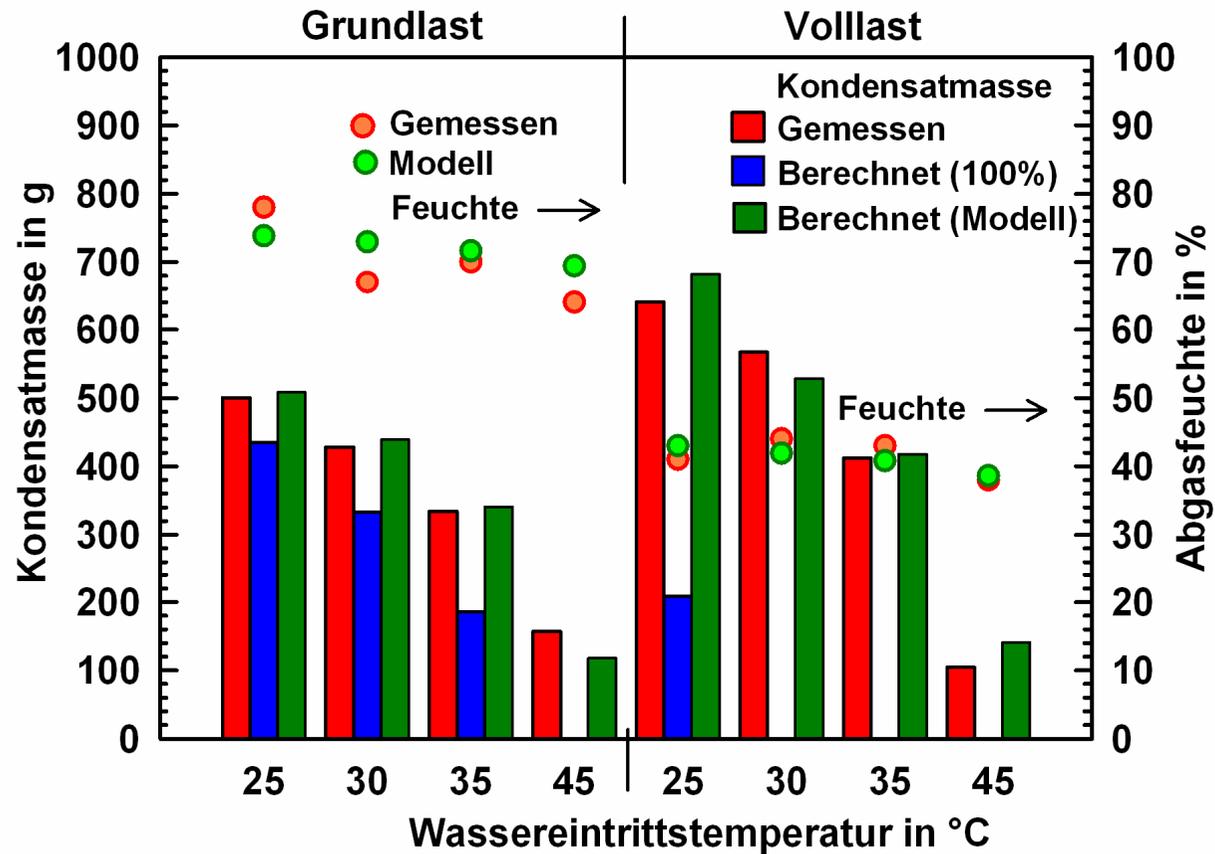
$$\varphi_{fg} = \varphi_{fg,0} + \Delta\varphi_{fg,Q} \cdot (1 - G) + \Delta\varphi_{fg,\vartheta} \cdot (\vartheta_{w,in} - 35)$$



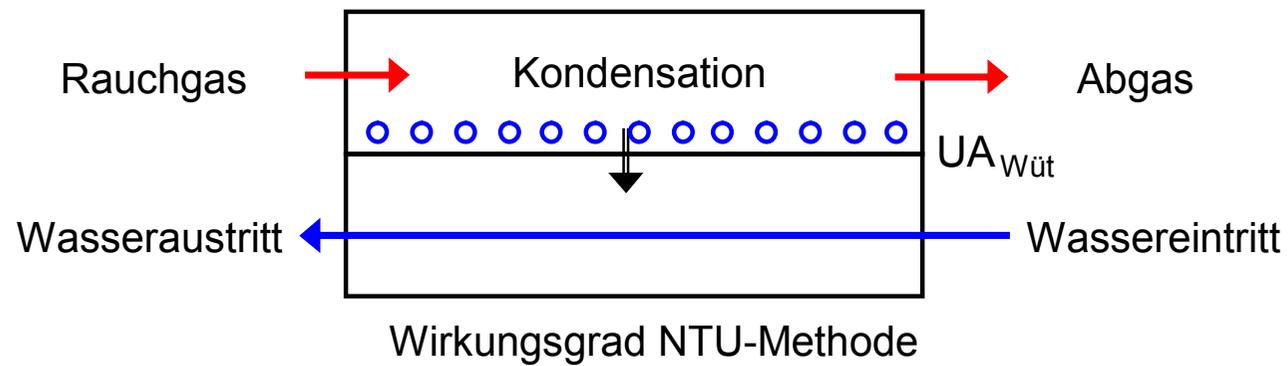
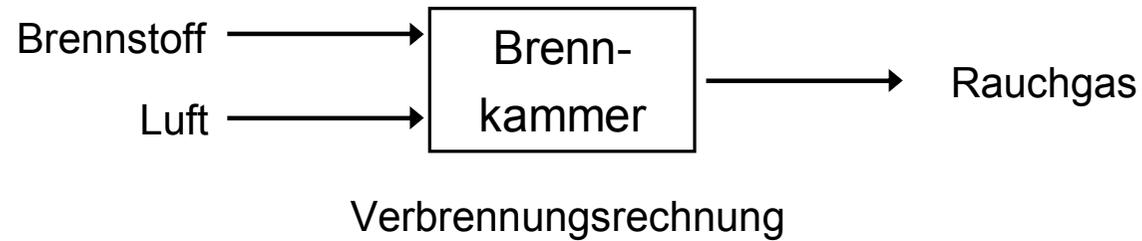
Kondensatmengen im Modell



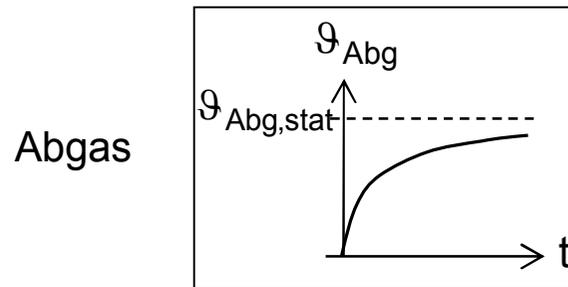
Beispiel: Zweistufiger Ölkessel (Prüfstandsmessung)



Stationäre Werte

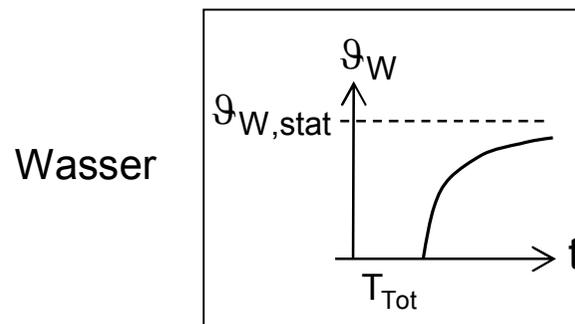


→ $\vartheta_{\text{Abg,stat}}, \vartheta_{\text{W,stat}}$



$$\Delta\vartheta_{\text{Abg,t}} = (\vartheta_{\text{Abg,0}} - \vartheta_{\text{Abg,stat}}) \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_{G1}}\right) + \vartheta_{\text{Abg,0}}$$

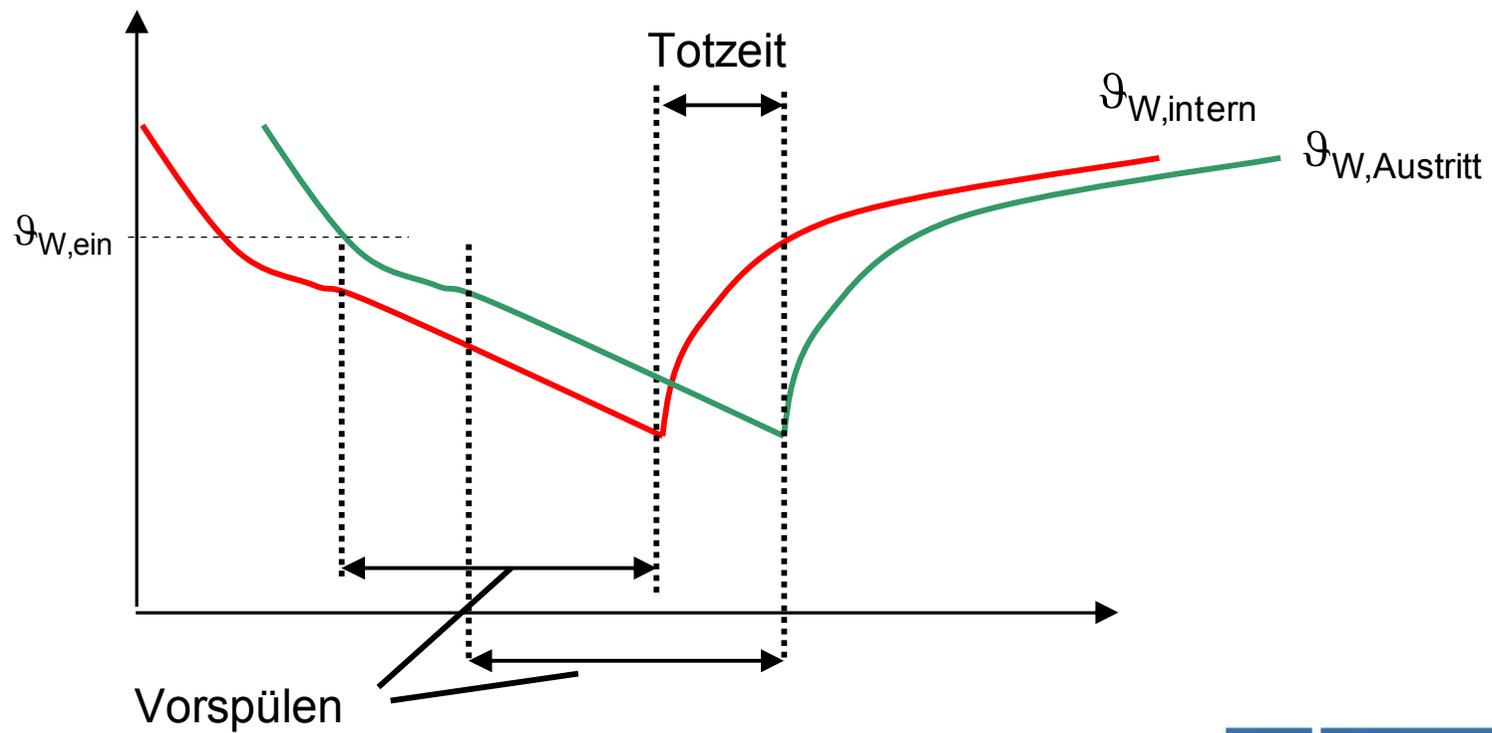
Zeitkonstante



$$\Delta\vartheta_{\text{W,t}} = (\vartheta_{\text{W,0}} - \vartheta_{\text{W,stat}}) \cdot \exp\left(-\frac{t - T_{\text{Tot}}}{T_{\text{W1}}}\right) + \vartheta_{\text{W,0}}$$

Zeitkonstante und Totzeit

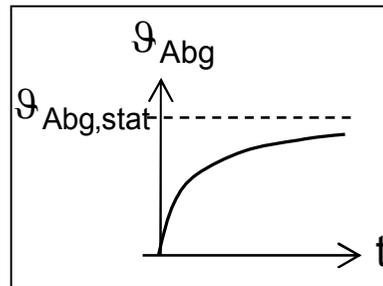
Wassertemperatur



Dynamik im Modell



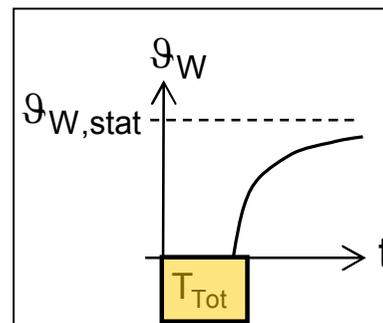
Abgas



$$\Delta\vartheta_{\text{Abg},t} = (\vartheta_{\text{Abg},0} - \vartheta_{\text{Abg,stat}}) \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_{G1}}\right) + \vartheta_{\text{Abg},0}$$

Zeitkonstante

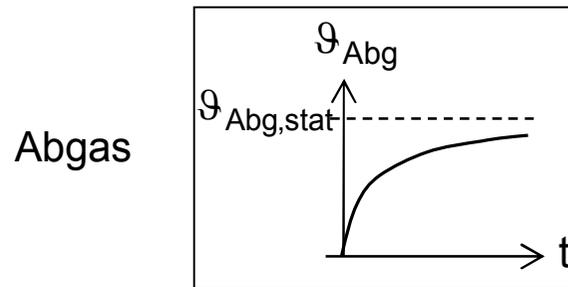
Wasser



$$\Delta\vartheta_{\text{W},t} = (\vartheta_{\text{W},0} - \vartheta_{\text{W,stat}}) \cdot \exp\left(-\frac{t - T_{\text{Tot}}}{T_{\text{W1}}}\right) + \vartheta_{\text{W},0}$$

Zeitkonstante und Totzeit

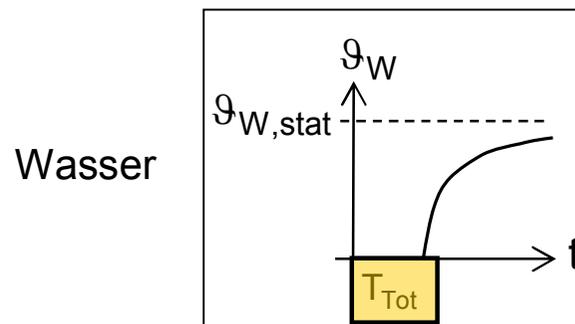
Dynamik im Modell



Zeitkonstante

$$\Delta \vartheta_{Abg,t} = (\vartheta_{Abg,0} - \vartheta_{Abg,stat}) \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_{G1}}\right) + \vartheta_{Abg,0}$$

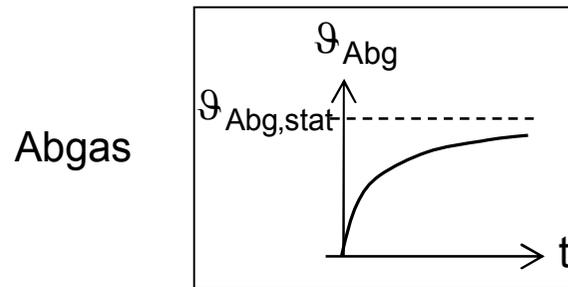
$T_{G1}, T_{W1}, T_{Tot} \neq \text{konst.}$



Zeitkonstante und Totzeit

$$\Delta \vartheta_{W,t} = (\vartheta_{W,0} - \vartheta_{W,stat}) \cdot \exp\left(-\frac{t - T_{Tot}}{T_{W1}}\right) + \vartheta_{W,0}$$

Dynamik im Modell



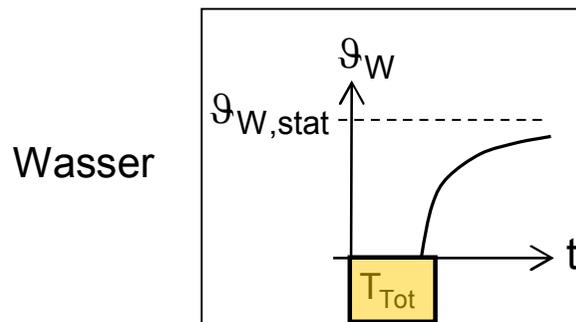
Zeitkonstante

$$\Delta \vartheta_{Abg,t} = (\vartheta_{Abg,0} - \vartheta_{Abg,stat}) \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_{G1}}\right) + \vartheta_{Abg,0}$$

$$T_{G1} = \frac{A_{C,G} \cdot c_{p,K} \cdot m_K}{\dot{m}_{Abg} \cdot c_{p,Abg}}$$

$$T_{W1} = \frac{A_{C,W} \cdot (c_{p,K} \cdot m_K + c_{p,W} \cdot V_W \cdot \rho_W)}{\dot{m}_W \cdot c_{p,W} + (UA)_V}$$

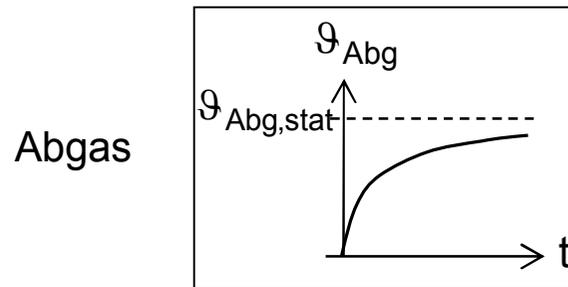
$$T_{Tot} = \frac{A_{Tot} \cdot V_W \cdot \rho_W}{\dot{m}_W}$$



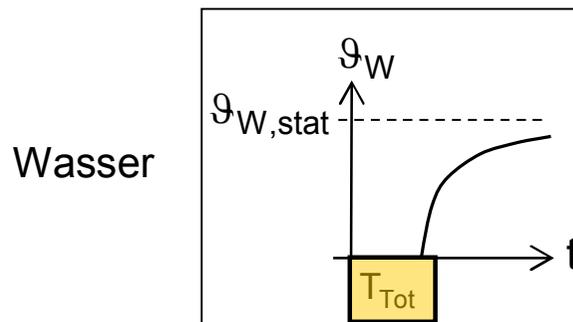
Zeitkonstante und Totzeit

$$\Delta \vartheta_{W,t} = (\vartheta_{W,0} - \vartheta_{W,stat}) \cdot \exp\left(-\frac{t - T_{Tot}}{T_{W1}}\right) + \vartheta_{W,0}$$

Dynamik im Modell



Zeitkonstante



Zeitkonstante und Totzeit

$$\Delta \vartheta_{Abg,t} = (\vartheta_{Abg,0} - \vartheta_{Abg,stat}) \cdot \exp\left(-\frac{t}{T_{G1}}\right) + \vartheta_{Abg,0}$$

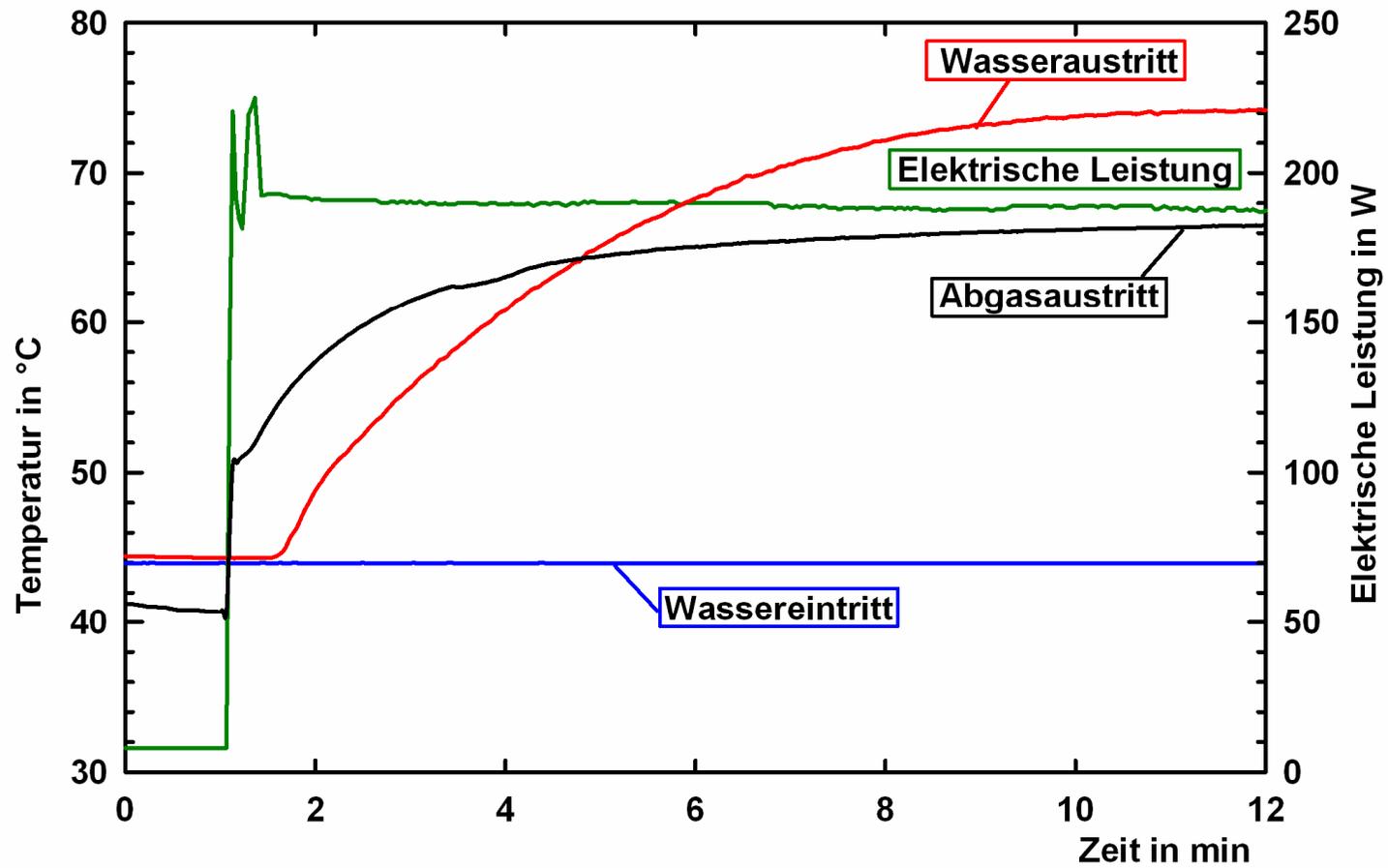
$$T_{G1} = \frac{A_{C,G} \cdot c_{p,K} \cdot m_K}{\dot{m}_{Abg} \cdot c_{p,Abg}}$$

$$T_{W1} = \frac{A_{C,W} \cdot (c_{p,K} \cdot m_K + c_{p,W} \cdot V_W \cdot \rho_W)}{\dot{m}_W \cdot c_{p,W} + (UA)_V}$$

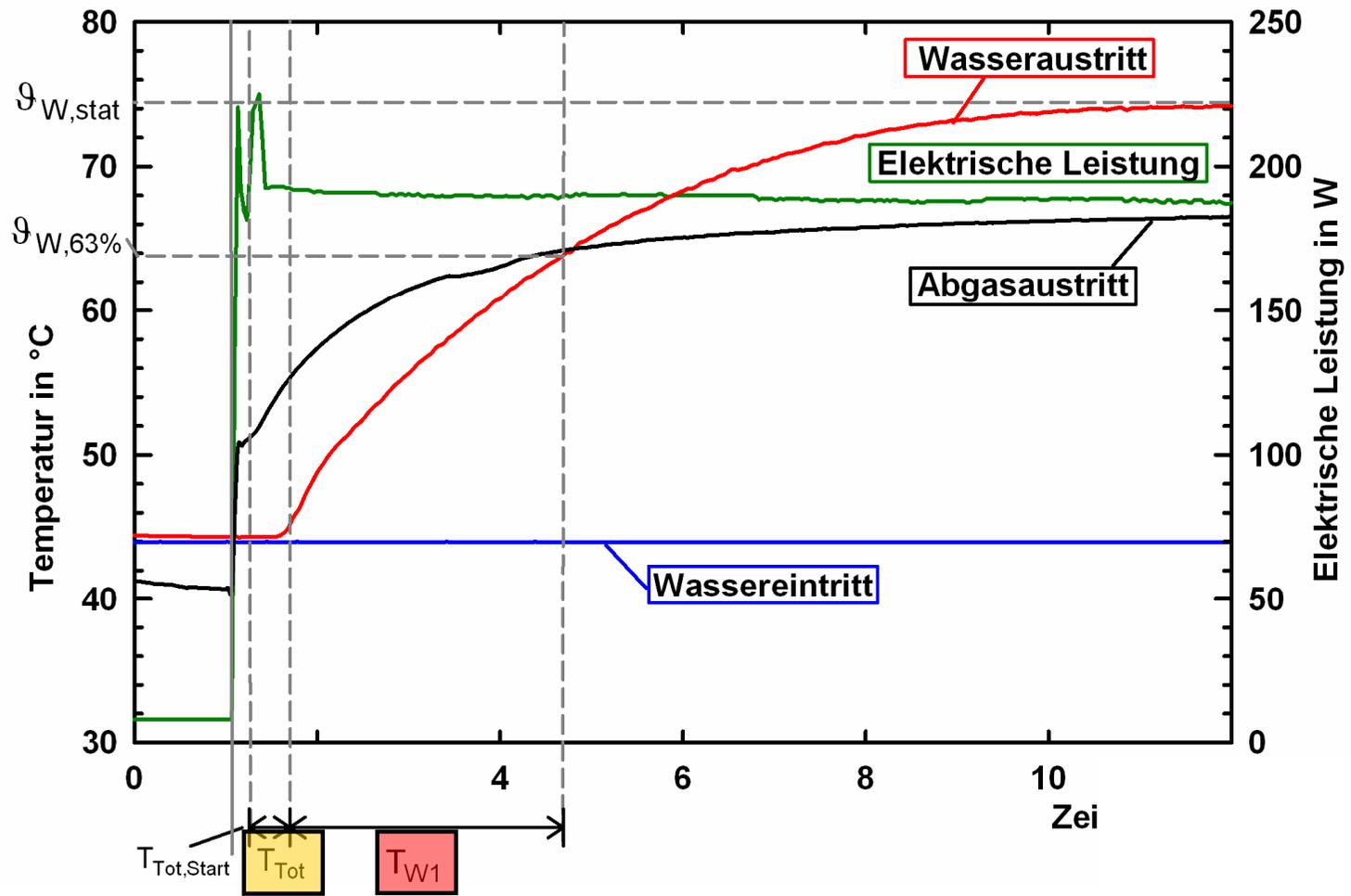
$$T_{Tot} = \frac{A_{Tot} \cdot V_W \cdot \rho_W}{\dot{m}_W}$$

$$\Delta \vartheta_{W,t} = (\vartheta_{W,0} - \vartheta_{W,stat}) \cdot \exp\left(-\frac{t - T_{Tot}}{T_{W1}}\right) + \vartheta_{W,0}$$

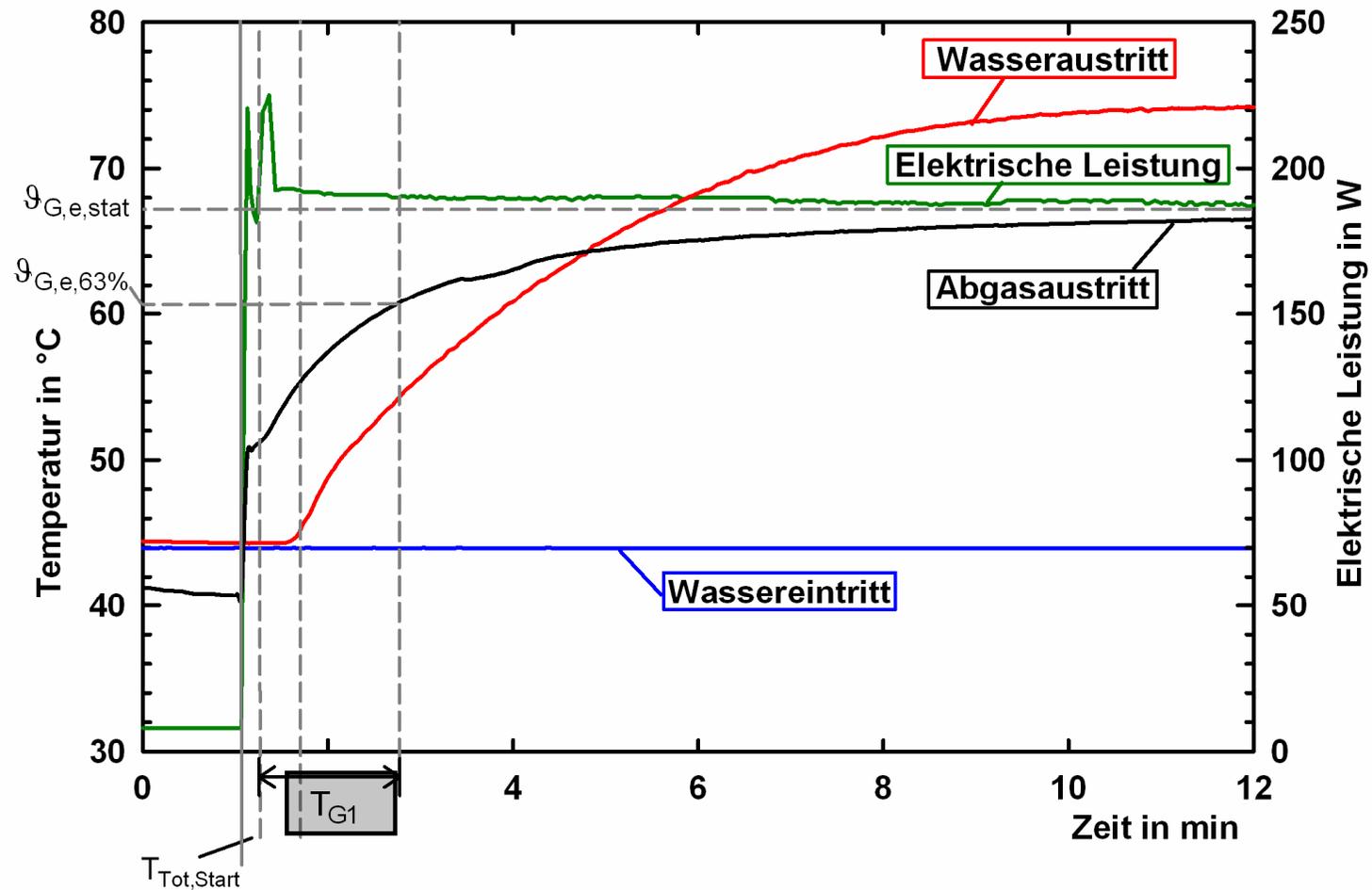
Aufheizversuch



Aufheizversuch: Dynamik Wasserseite



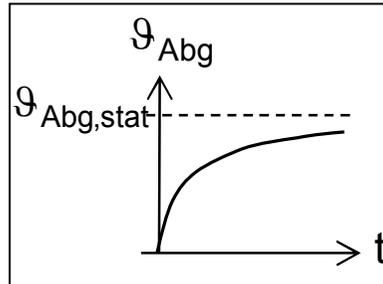
Aufheizversuch: Dynamik Gasseite



Dynamische Kennwerte



Abgas

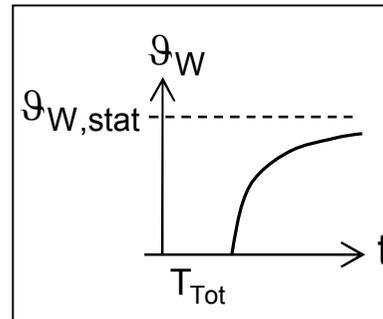


Zeitkonstante

$$A_{C,G} = \frac{T_{G1,Mess} \cdot \dot{m}_{Abg} \cdot c_{p,Abg}}{c_{p,K} \cdot m_K}$$

$$A_{C,W} = \frac{T_{W1,Mess} \cdot (\dot{m}_W \cdot c_{p,W} + (UA)_V)}{c_{p,K} \cdot m_K + c_{p,W} \cdot V_W \cdot \rho_W}$$

Wasser



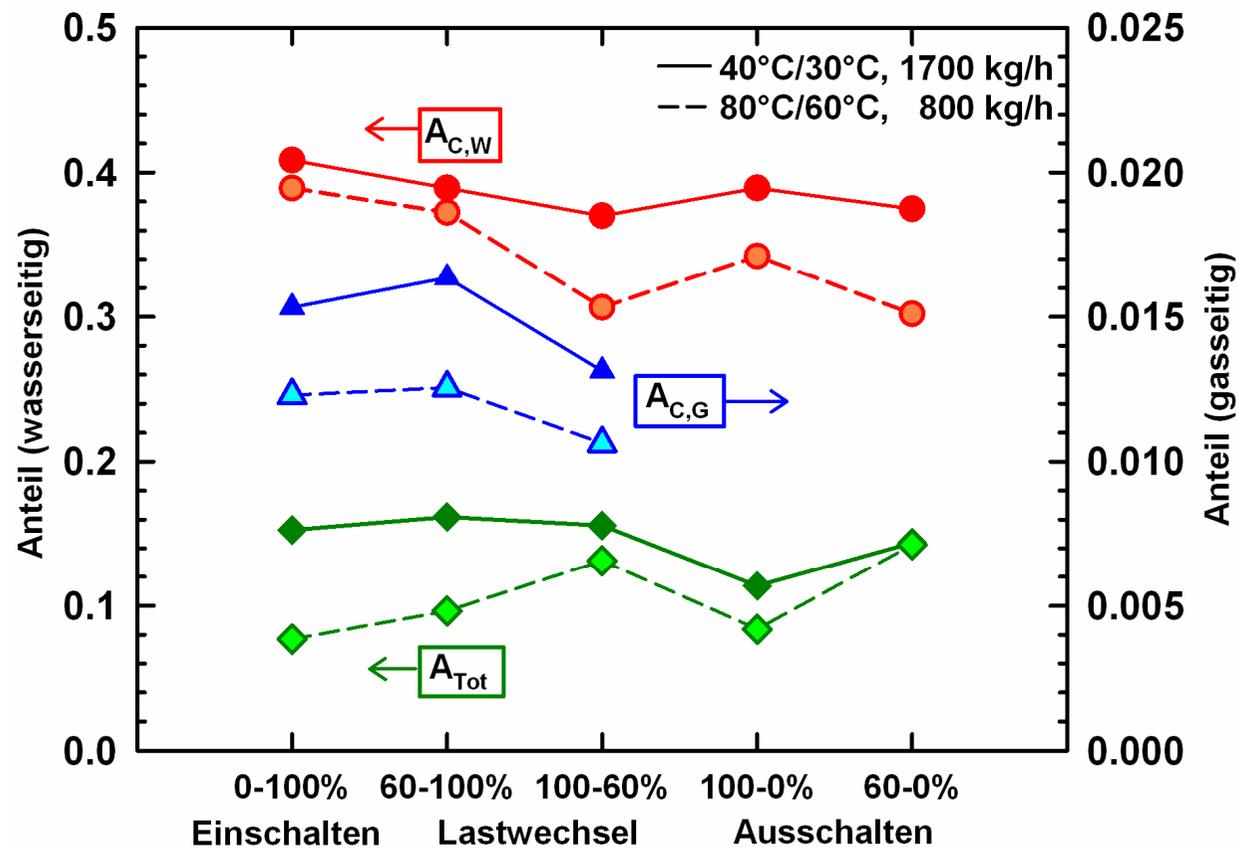
Zeitkonstante und Totzeit

$$A_{Tot} = \frac{T_{Tot,Mess} \cdot \dot{m}_W}{V_W \cdot \rho_W}$$

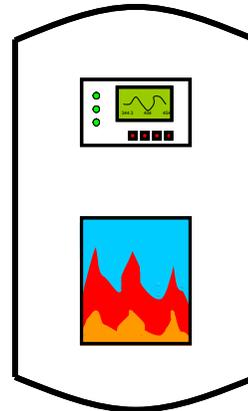
Dynamische Kennwerte



Beispiel: Zweistufiger Ölkessel (Prüfstandsmessungen)



- Brennstoff
- Nennleistung
- Brennertyp
- Grundleistung
- Minimale Modulation
- Masse
- Wasserinhalt
- Material

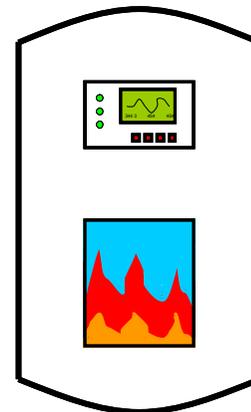


1. Kesseltyp

Kesselmodell: Parameter



- Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung
- Feuerungstechnischer Wirkungsgrad bei Nennleistung
- oder Betriebsbereitschaftsverlust
- Abgasfeuchte

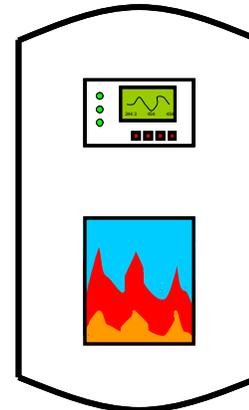


1. Kesseltyp
2. Energetische Charakterisierung

Kesselmodell: Parameter



- Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung
- Feuerungstechnischer Wirkungsgrad bei Nennleistung
- oder Betriebsbereitschaftsverlust
- Abgasfeuchte



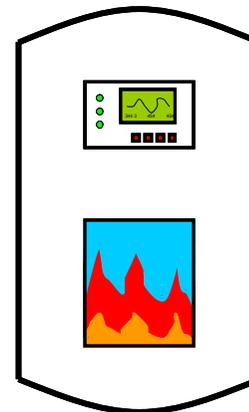
1. Kesseltyp
2. Energetische Charakterisierung

In der Regel vom Hersteller verfügbar

Kesselmodell: Parameter



- Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung
- Feuerungstechnischer Wirkungsgrad bei Nennleistung
- oder Betriebsbereitschaftsverlust
- Abgasfeuchte



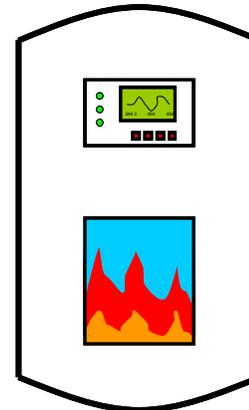
1. Kesseltyp
2. Energetische Charakterisierung

Eine Messung

Kesselmodell: Parameter



- Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung
- Feuerungstechnischer Wirkungsgrad bei Nennleistung
- oder Betriebsbereitschaftsverlust
- Abgasfeuchte



1. Kesseltyp
2. Energetische Charakterisierung

Eigene Messungen, Herstellerdaten, typische Werte

Kesselmodell: Parameter

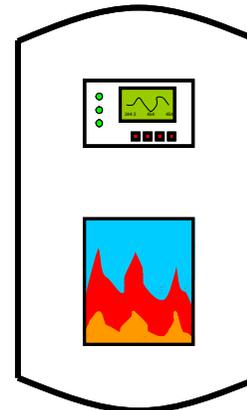


Bei Nennleistung

- Zeitkonstante Abgas
- Zeitkonstante Wasser
- Totzeit Wasser

oder

- Anteil Kesselmasse an gaseitiger Kapazität
- Anteil Kesselmasse + Wasserinhalt an wasserseitiger Kapazität
- Anteil Wasserinhalt an Totzeit



1. Kesseltyp
2. Energetische Charakterisierung
3. Dynamische Charakterisierung

Kesselmodell: Parameter

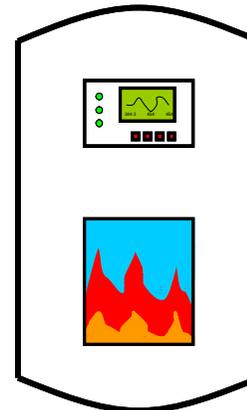


Bei Nennleistung

- Zeitkonstante Abgas
- Zeitkonstante Wasser
- Totzeit Wasser

oder

- Anteil Kesselmasse an gaseitiger Kapazität
- Anteil Kesselmasse + Wasserinhalt an wasserseitiger Kapazität
- Anteil Wasserinhalt an Totzeit



1. Kesseltyp
2. Energetische Charakterisierung
3. Dynamische Charakterisierung

Eigene Messung (Startversuch bei Nennleistung)

Kesselmodell: Parameter

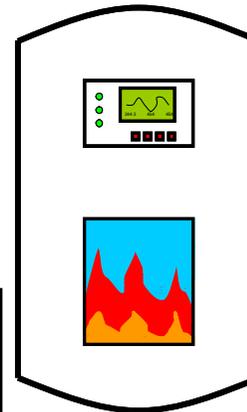


Bei Nennleistung

- Zeitkonstante Abgas
- Zeitkonstante Wasser
- Totzeit Wasser

oder

- Anteil Kesselmasse an gaseitiger Kapazität
- Anteil Kesselmasse + Wasserinhalt an wasserseitiger Kapazität
- Anteil Wasserinhalt an Totzeit



1. Kesseltyp
2. Energetische Charakterisierung
3. Dynamische Charakterisierung

Eigene Messung (Startversuch) und Umrechnung, typische Werte

Validierung



Quelle: Ostfalia Hochschule für Angewandte Wissenschaften

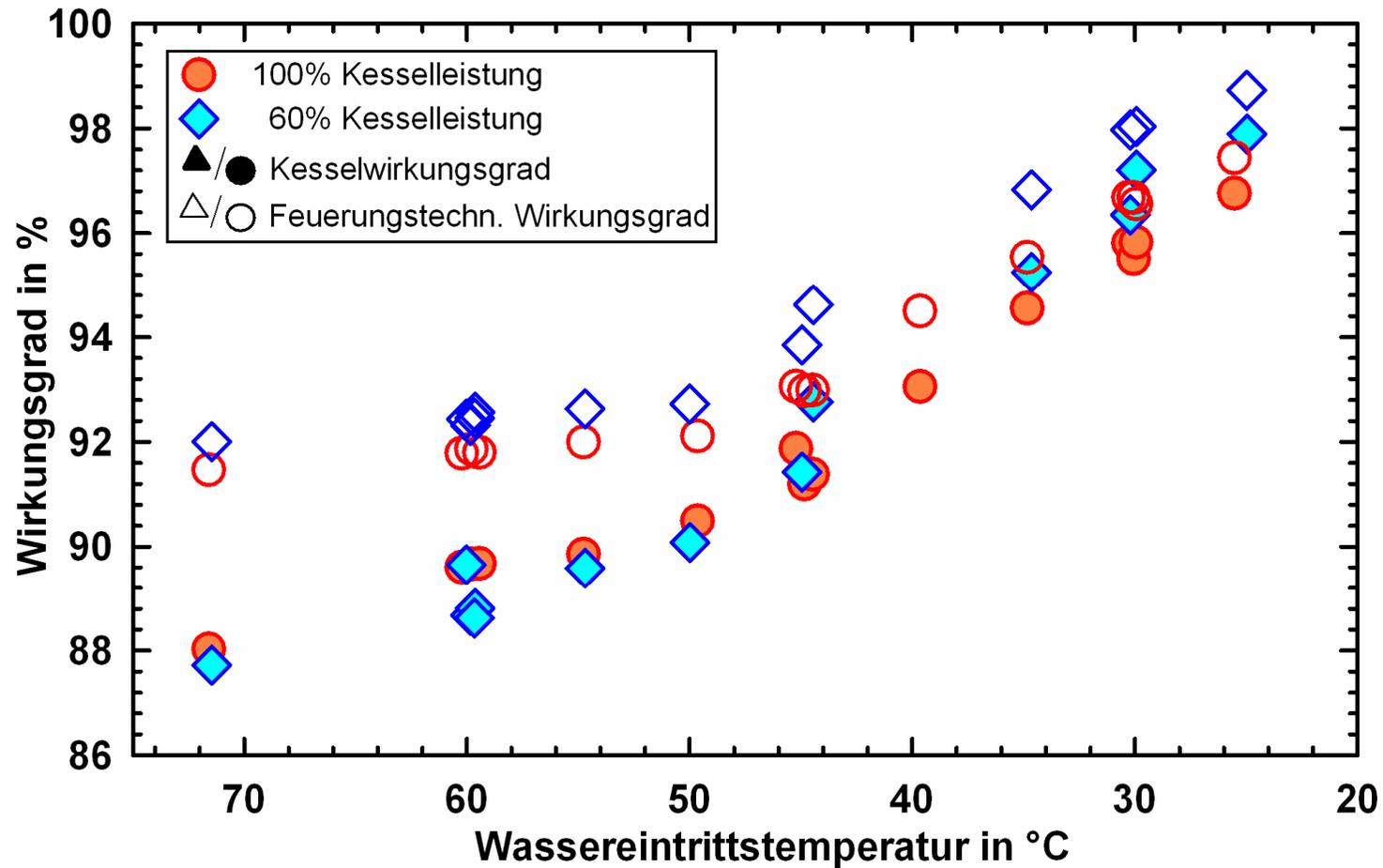


1. Prüfstand: Stationäre Wirkungsgradpunkte
2. Prüfstand: dynamische Messungen, manuelle Schaltung
3. Prüfstand: dynamische Messungen, Kesselregler an
4. Messungen in Feldanlagen

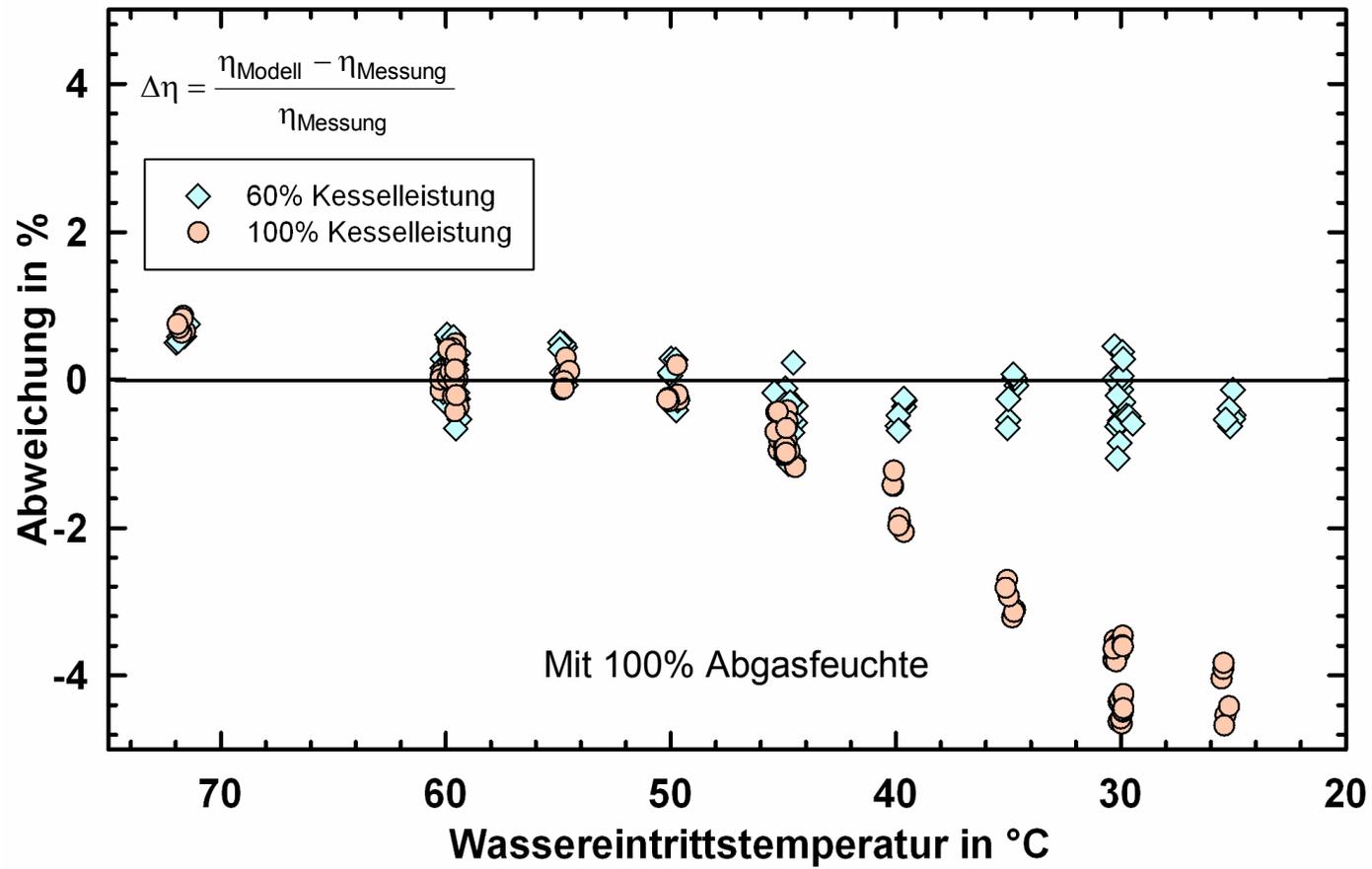
Stationäre Wirkungsgrade



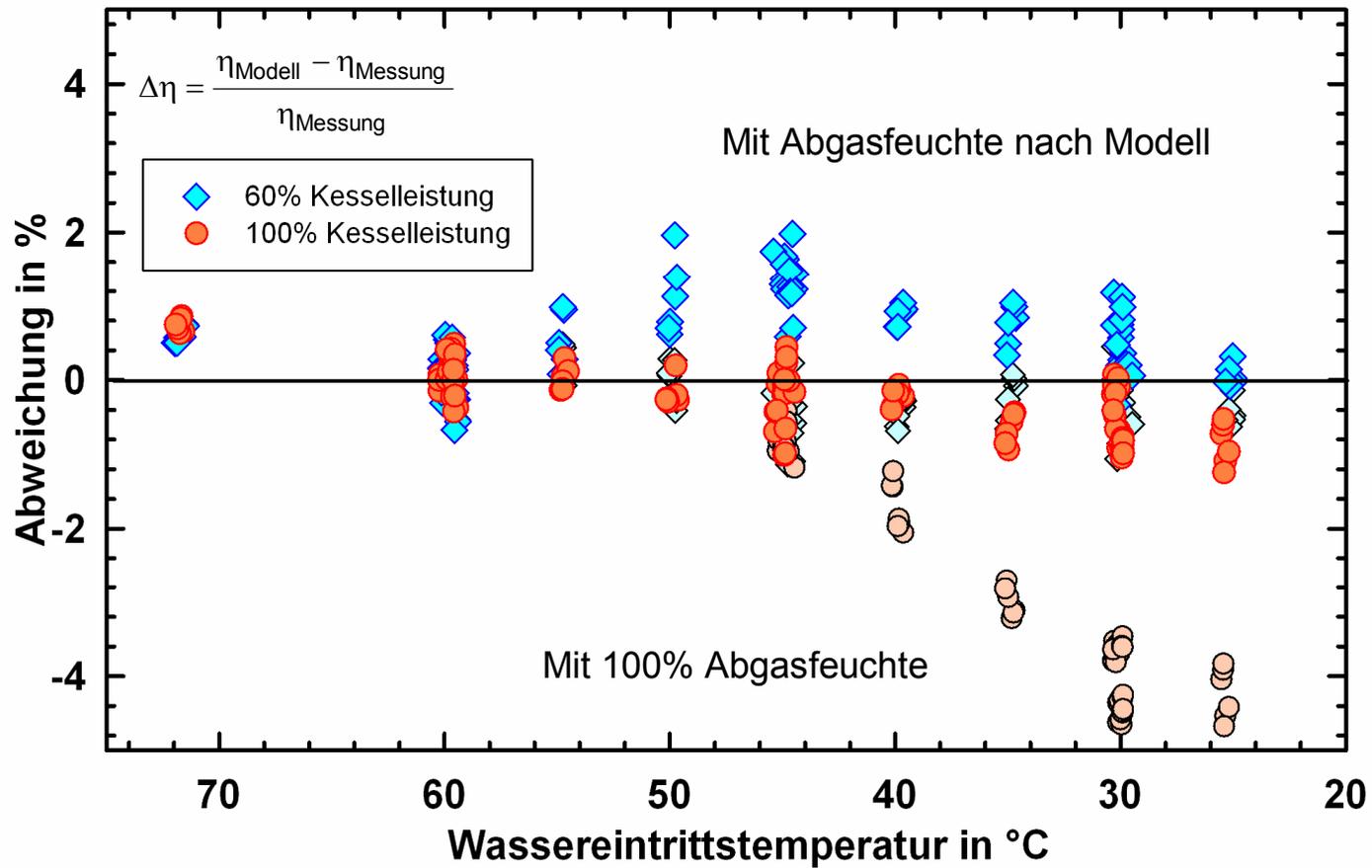
Beispiel: Zweistufiger Ölkessel (Prüfstandsmessung)



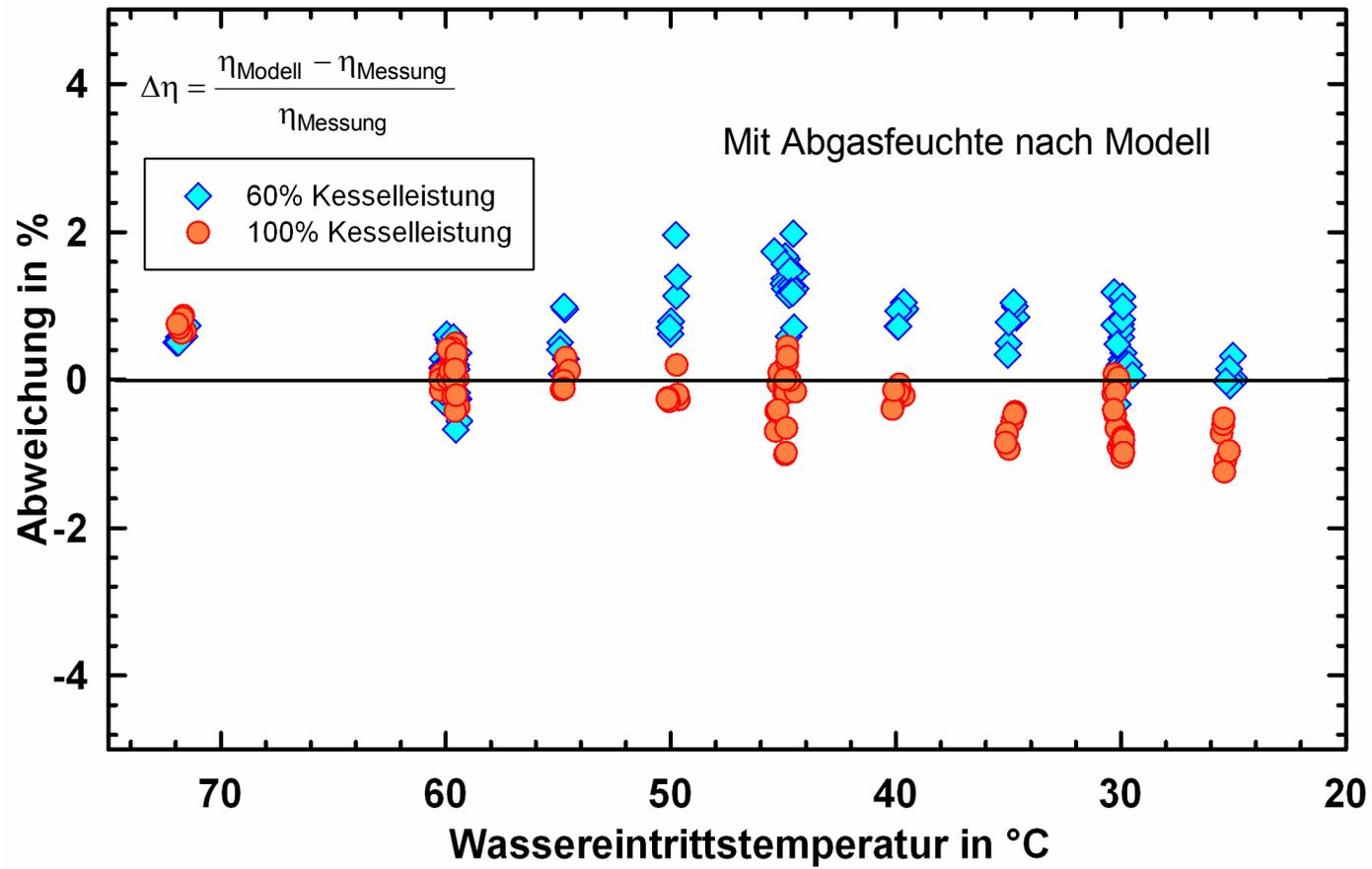
Stationäre Validierung



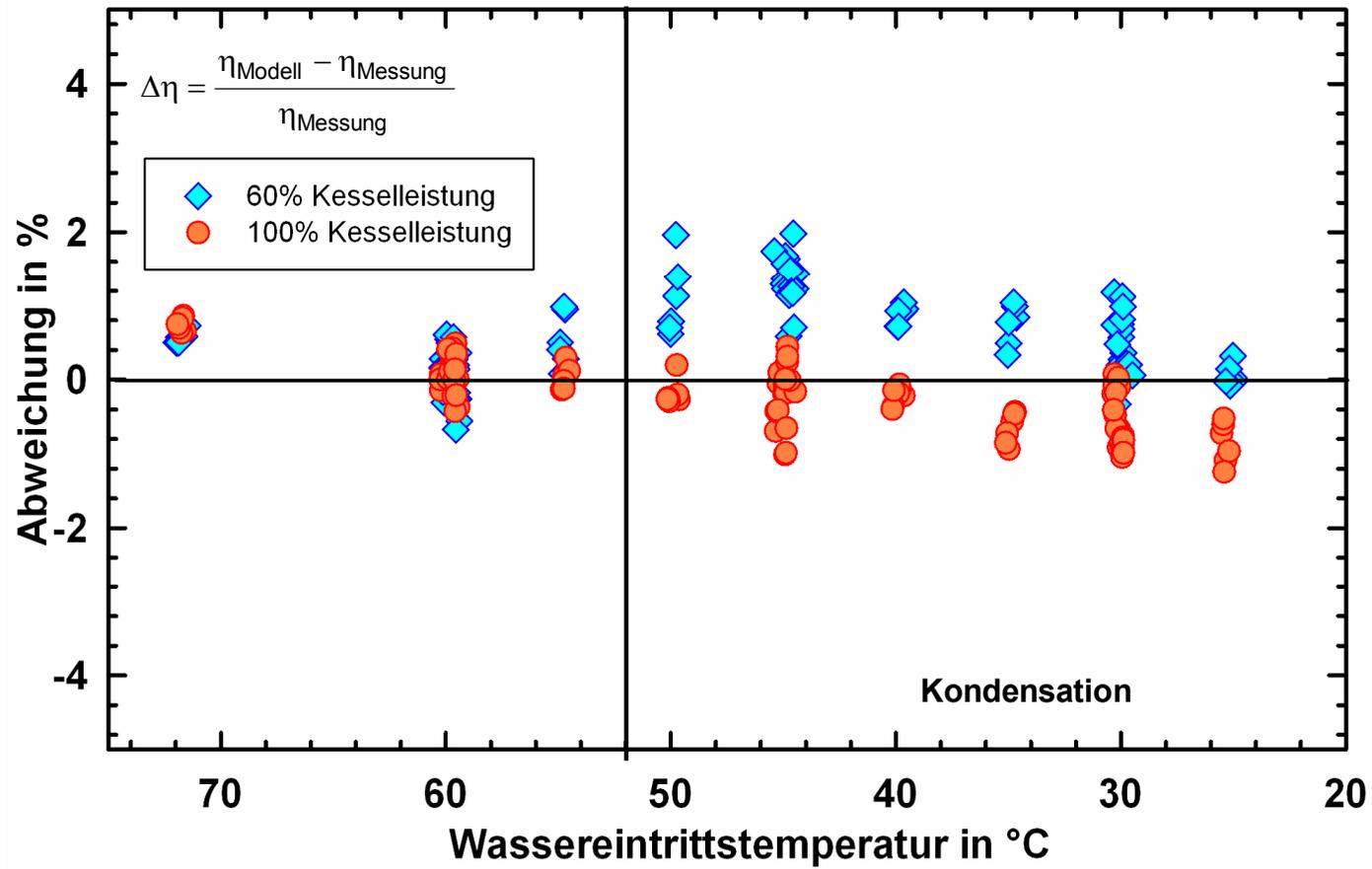
Stationäre Validierung



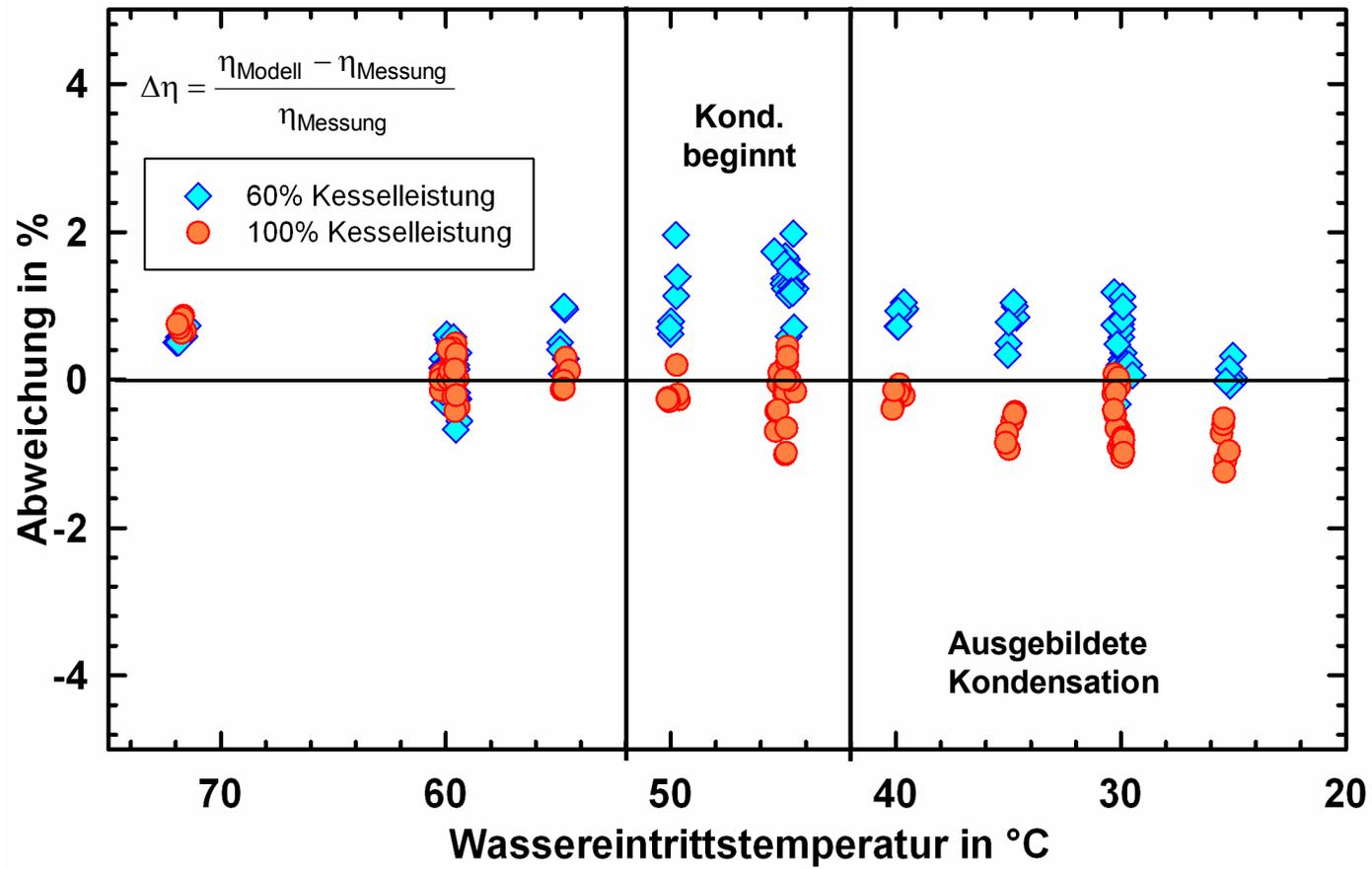
Stationäre Validierung



Stationäre Validierung



Stationäre Validierung



Validierung



Quelle: Ostfalia Hochschule für Angewandte Wissenschaften

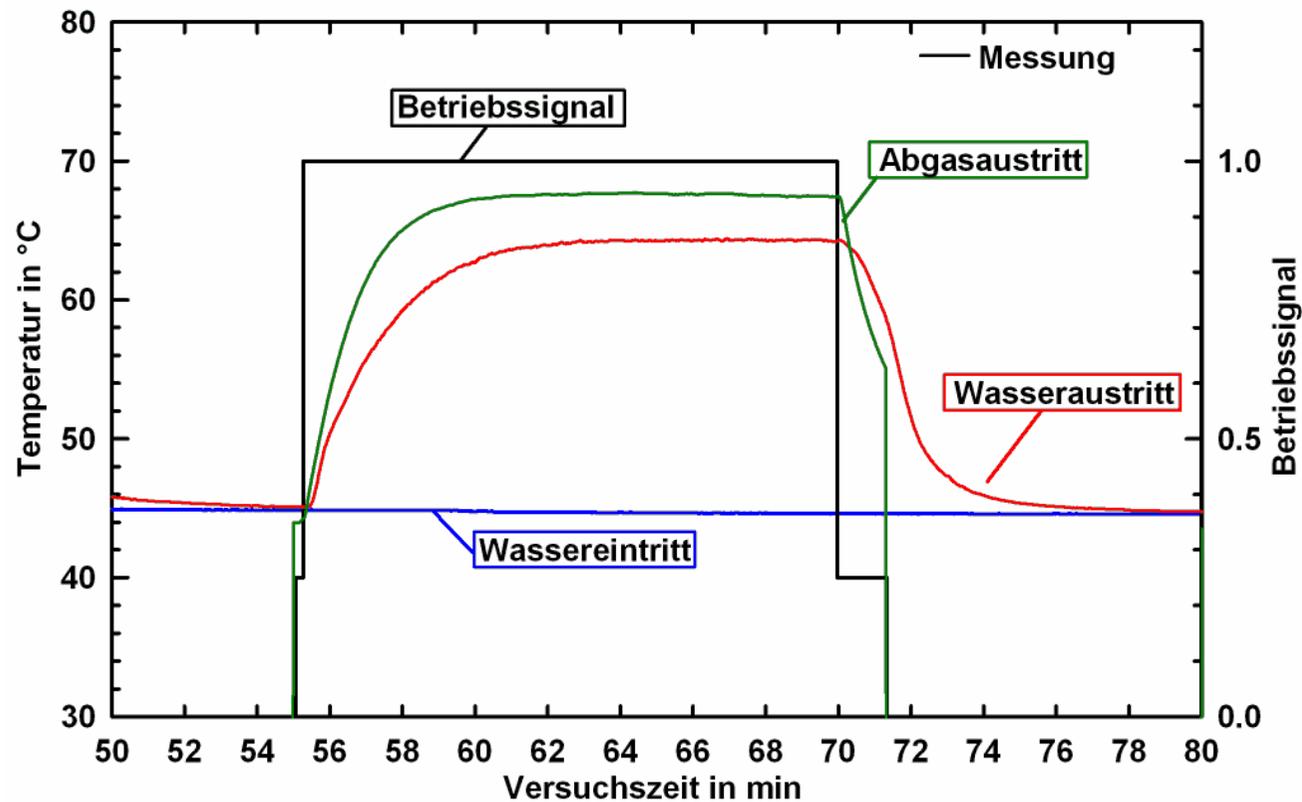


1. Prüfstand: Stationäre Wirkungsgradpunkte
2. Prüfstand: dynamische Messungen, manuelle Schaltung
3. Prüfstand: dynamische Messungen, Kesselregler an
4. Messungen in Feldanlagen

Versuch mit manueller Regelung



Beispiel: Zweistufiger Ölkessel

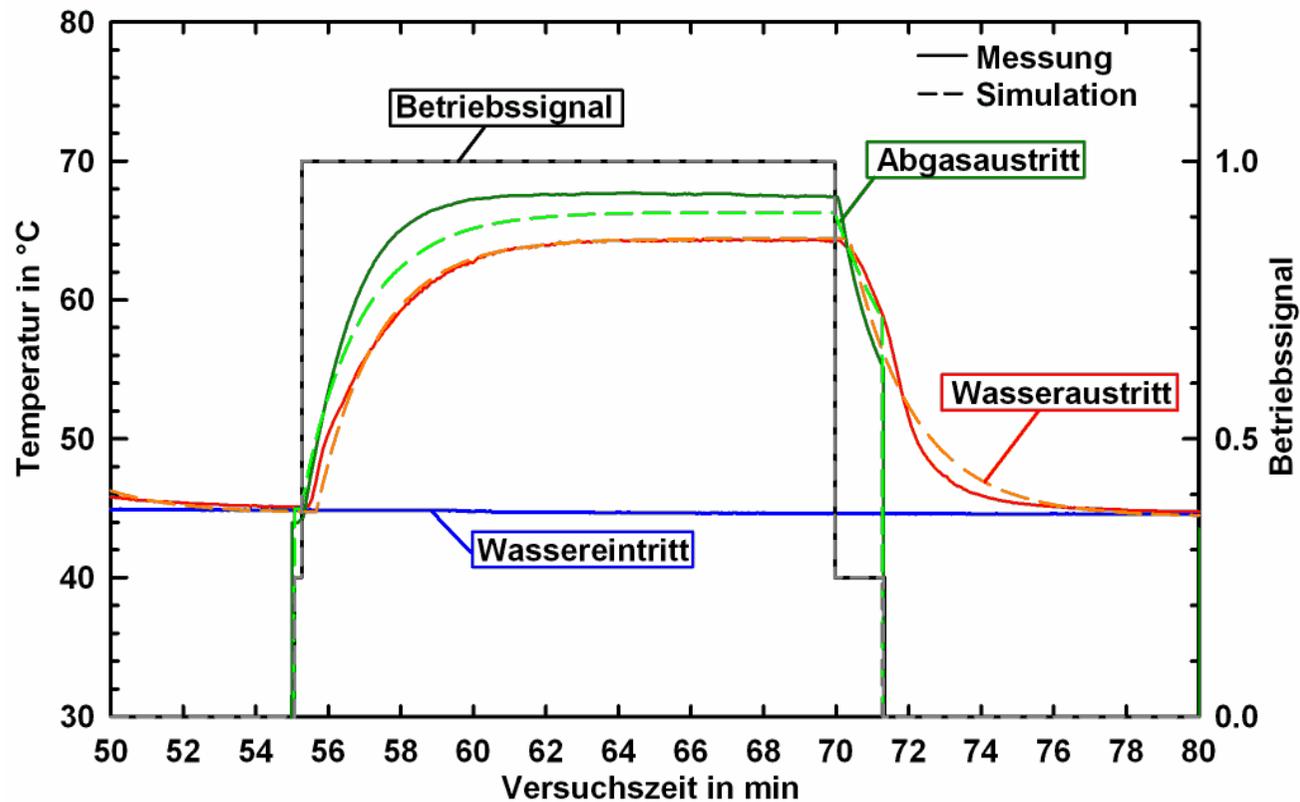


Betriebssignal: 1 = Volllast, 0.5 = Grundlast, 0.25 = Spülen

Versuch mit manueller Regelung



Beispiel: Zweistufiger Ölkessel



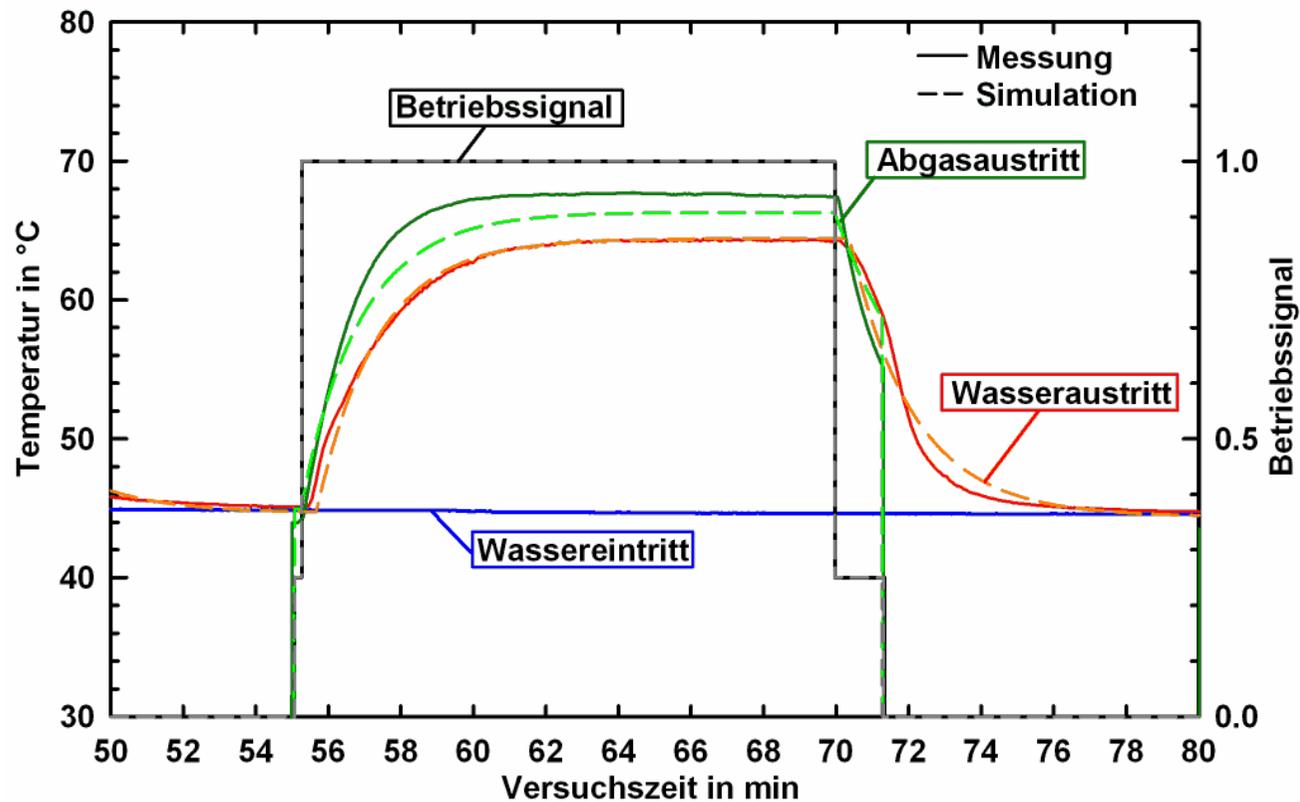
Betriebssignal: 1 = Volllast, 0.5 = Grundlast, 0.25 = Spülen

Versuch mit manueller Regelung



Beispiel: Zweistufiger Ölkessel

$$\text{Nutzungsgrad} = \frac{Q_N}{Q_{in}}$$

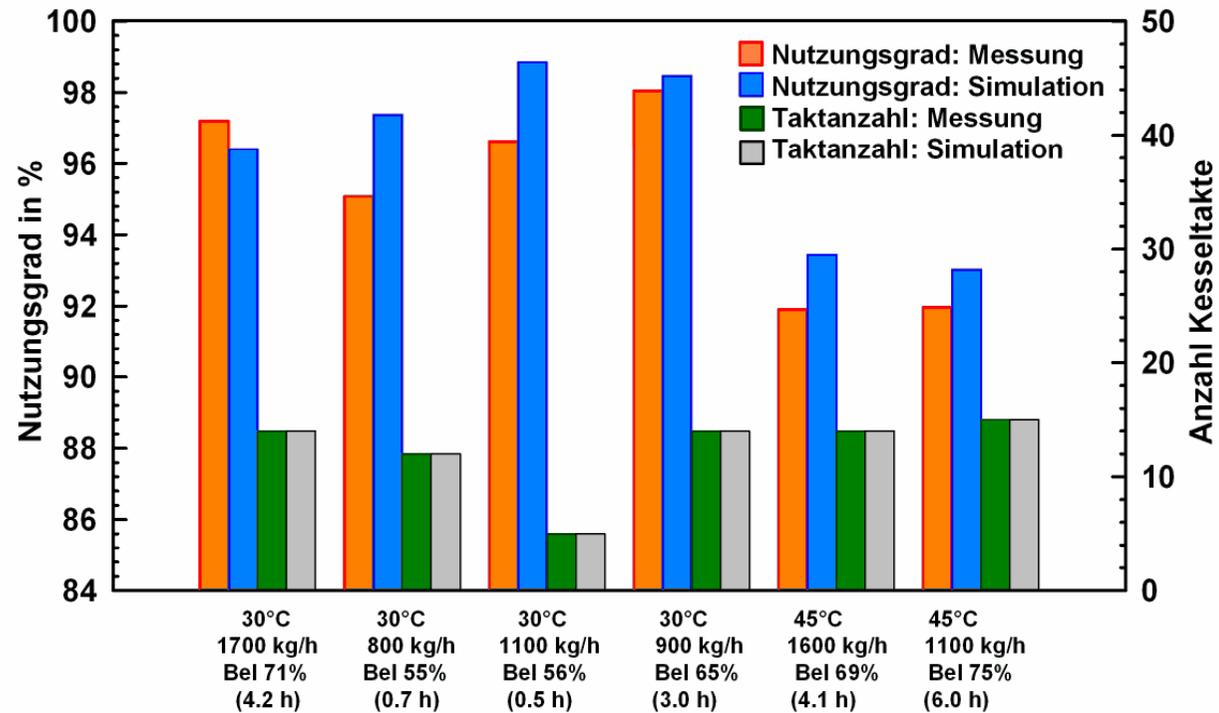


Betriebssignal: 1 = Volllast, 0.5 = Grundlast, 0.25 = Spülen

Versuch mit manueller Regelung



Beispiel: Zweistufiger Ölkessel



$$\text{Nutzungsgrad} = \frac{Q_N}{Q_{in}}$$

Validierung



Quelle: Ostfalia Hochschule für Angewandte Wissenschaften

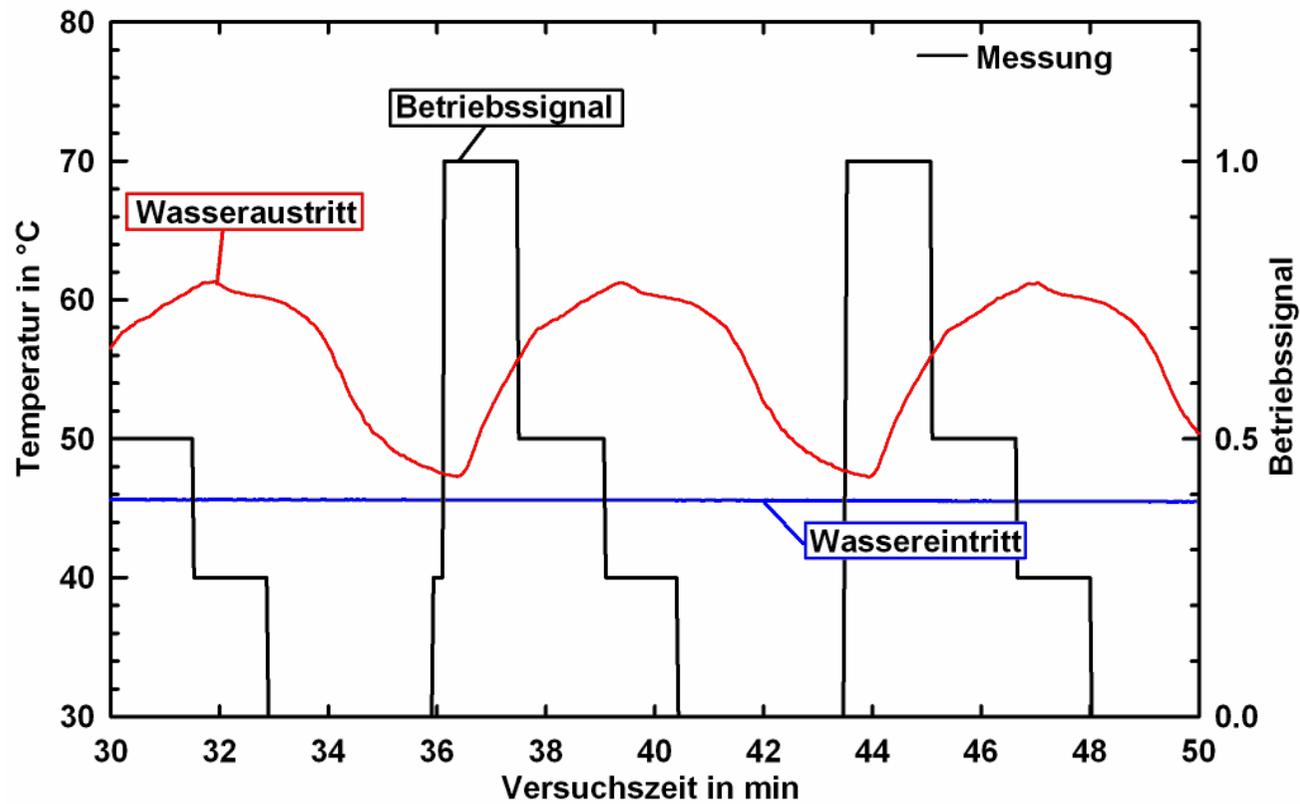


1. Prüfstand: Stationäre Wirkungsgradpunkte
2. Prüfstand: dynamische Messungen, manuelle Schaltung
3. Prüfstand: dynamische Messungen, Kesselregler an
4. Messungen in Feldanlagen

Versuch mit Kesselregelung



Beispiel: Zweistufiger Ölkessel

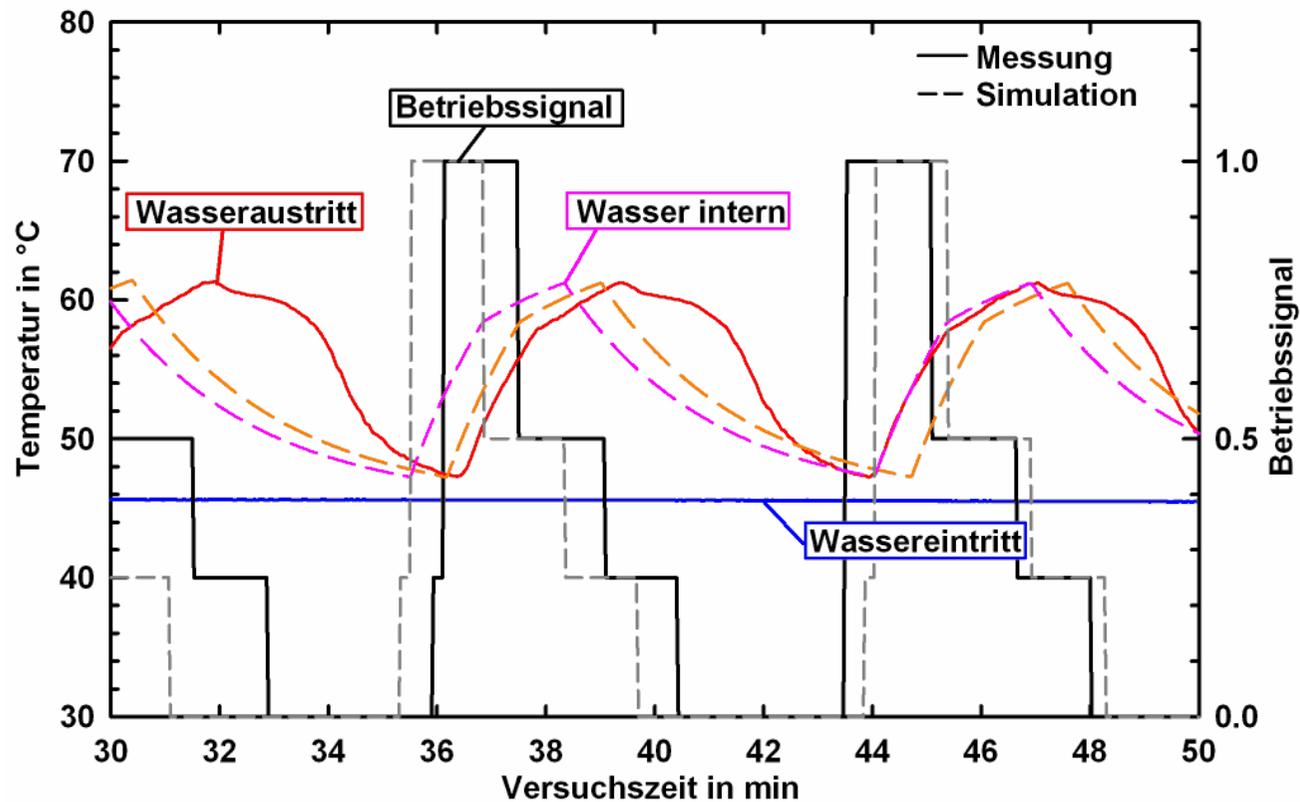


Betriebssignal: 1 = Volllast, 0.5 = Grundlast, 0.25 = Spülen

Versuch mit Kesselregelung



Beispiel: Zweistufiger Ölkessel

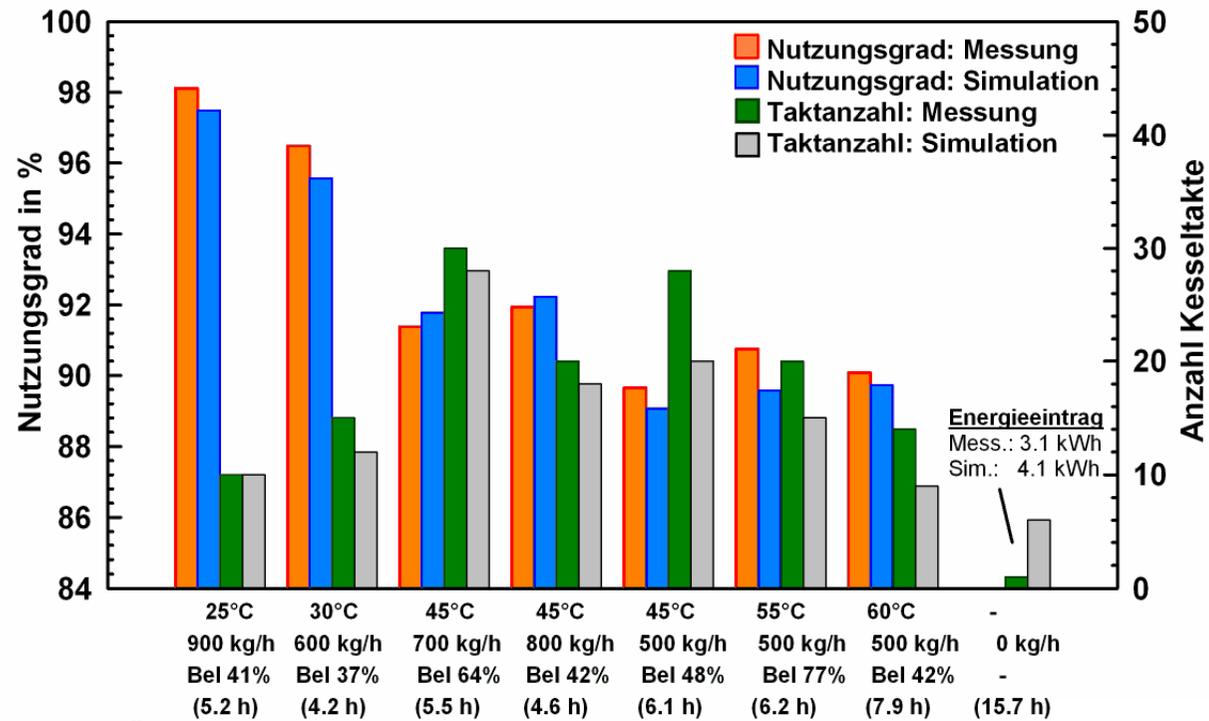


Betriebssignal: 1 = Volllast, 0.5 = Grundlast, 0.25 = Spülen

Versuch mit Kesselregelung



Beispiel: Zweistufiger Ölkessel



$$\text{Nutzungsgrad} = \frac{Q_N}{Q_{in}}$$

Validierung



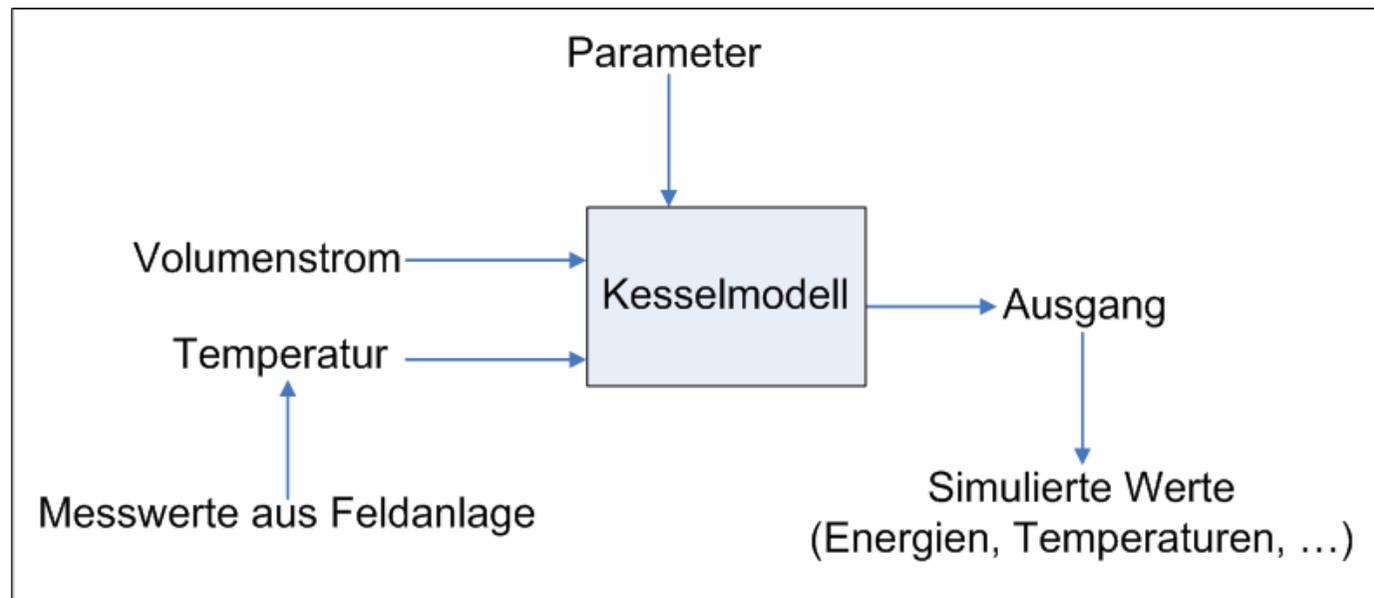
Quelle: Ostfalia Hochschule für Angewandte Wissenschaften



1. Prüfstand: Stationäre Wirkungsgradpunkte
2. Prüfstand: dynamische Messungen, manuelle Schaltung
3. Prüfstand: dynamische Messungen, Kesselregler an
4. Messungen in Feldanlagen

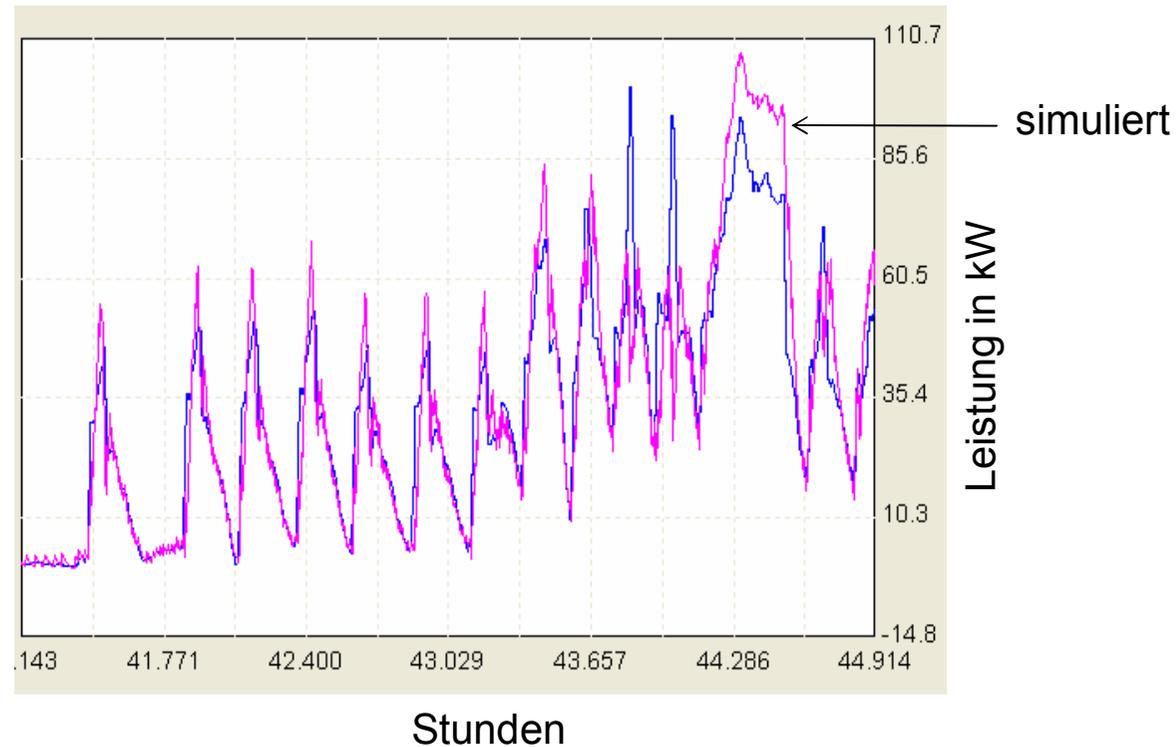


Validierung Kesselmodell mit Feldanlagenmesswerten





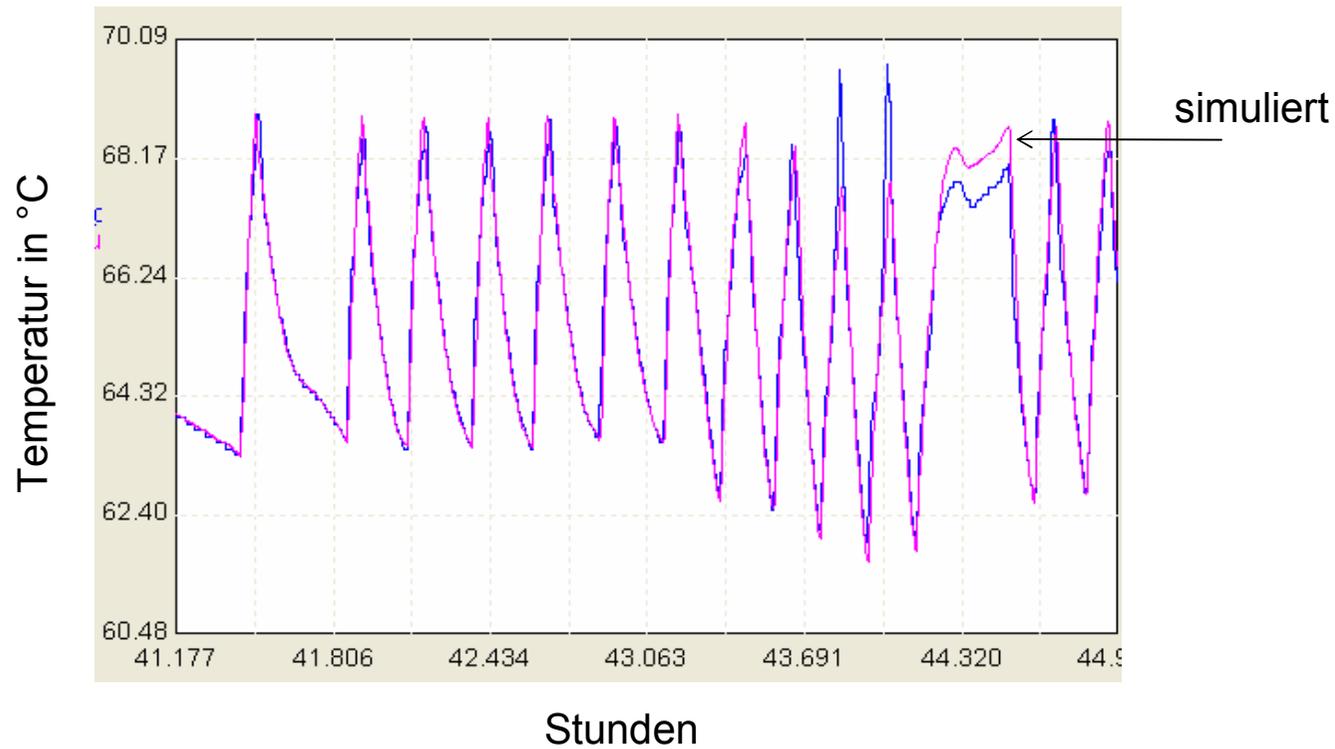
Simulationsergebnisse mit Kessel aus Norderney
Wärmeleistung Kessel: simuliert / gemessen





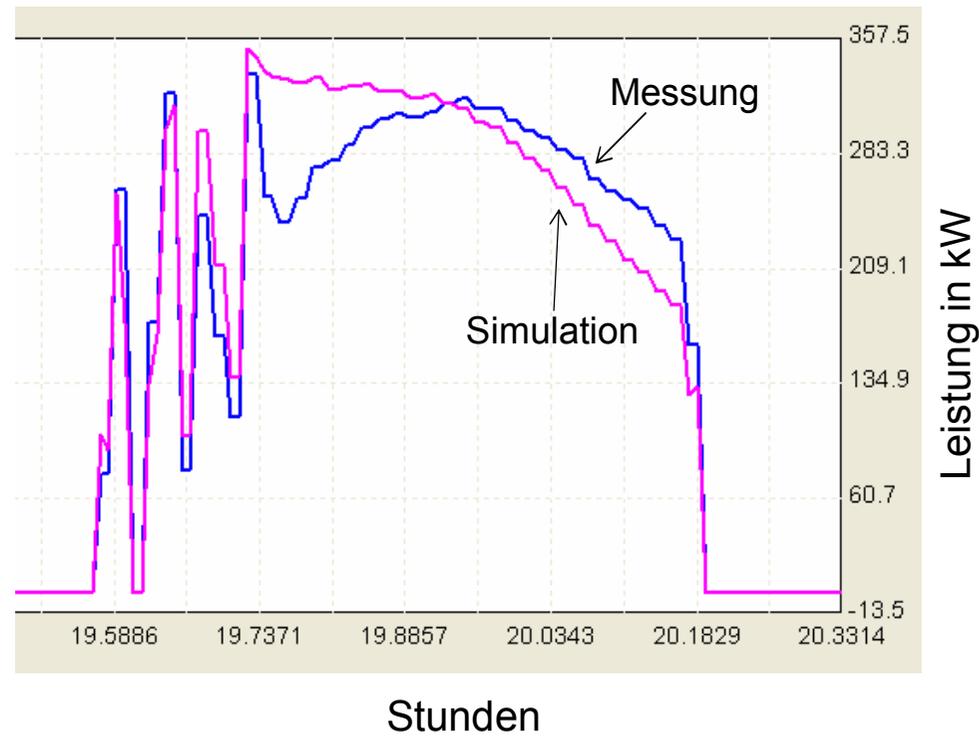
Simulationsergebnisse mit Kessel aus Norderney

Vorlauftemperatur: simuliert und gemessen



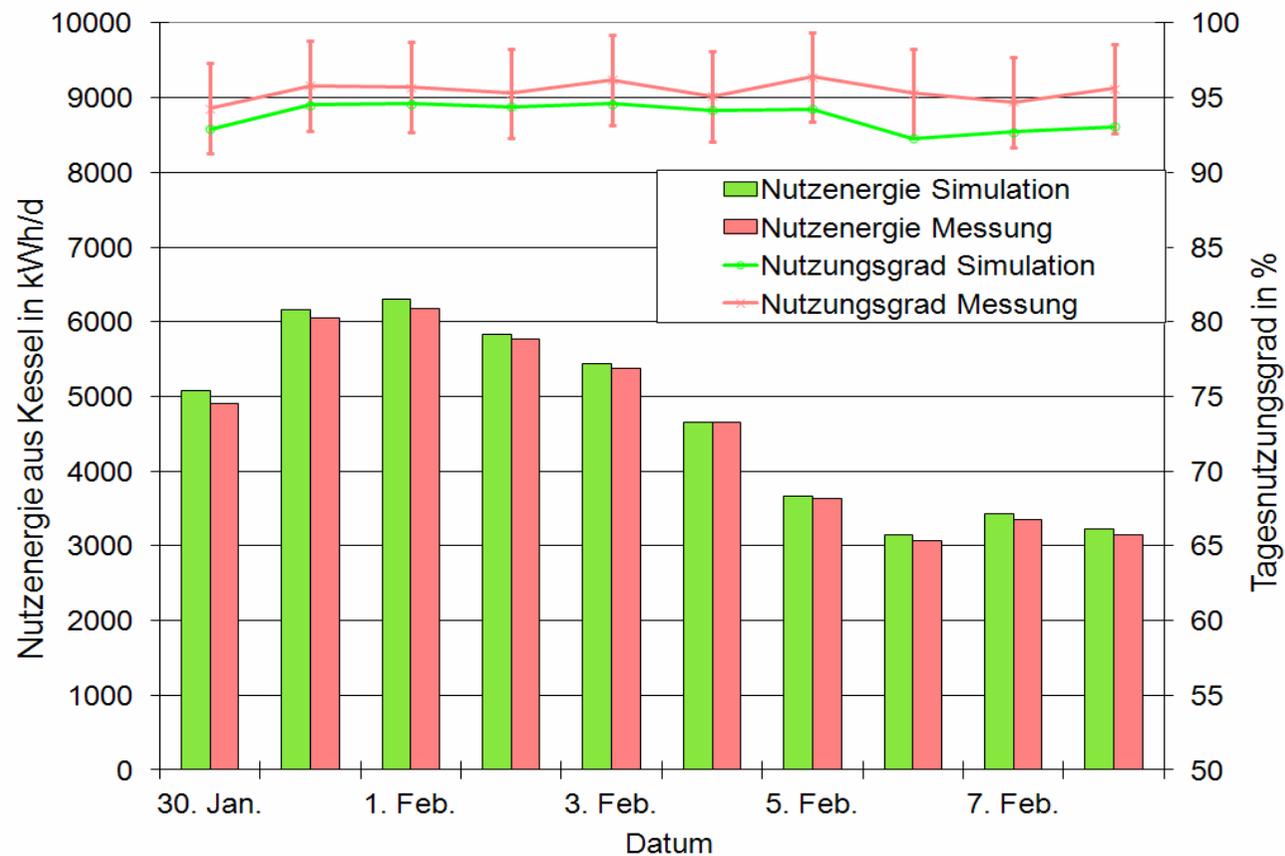


Simulationsergebnisse mit Kessel aus Speyer
Wärmeleistung Kessel: simuliert / gemessen



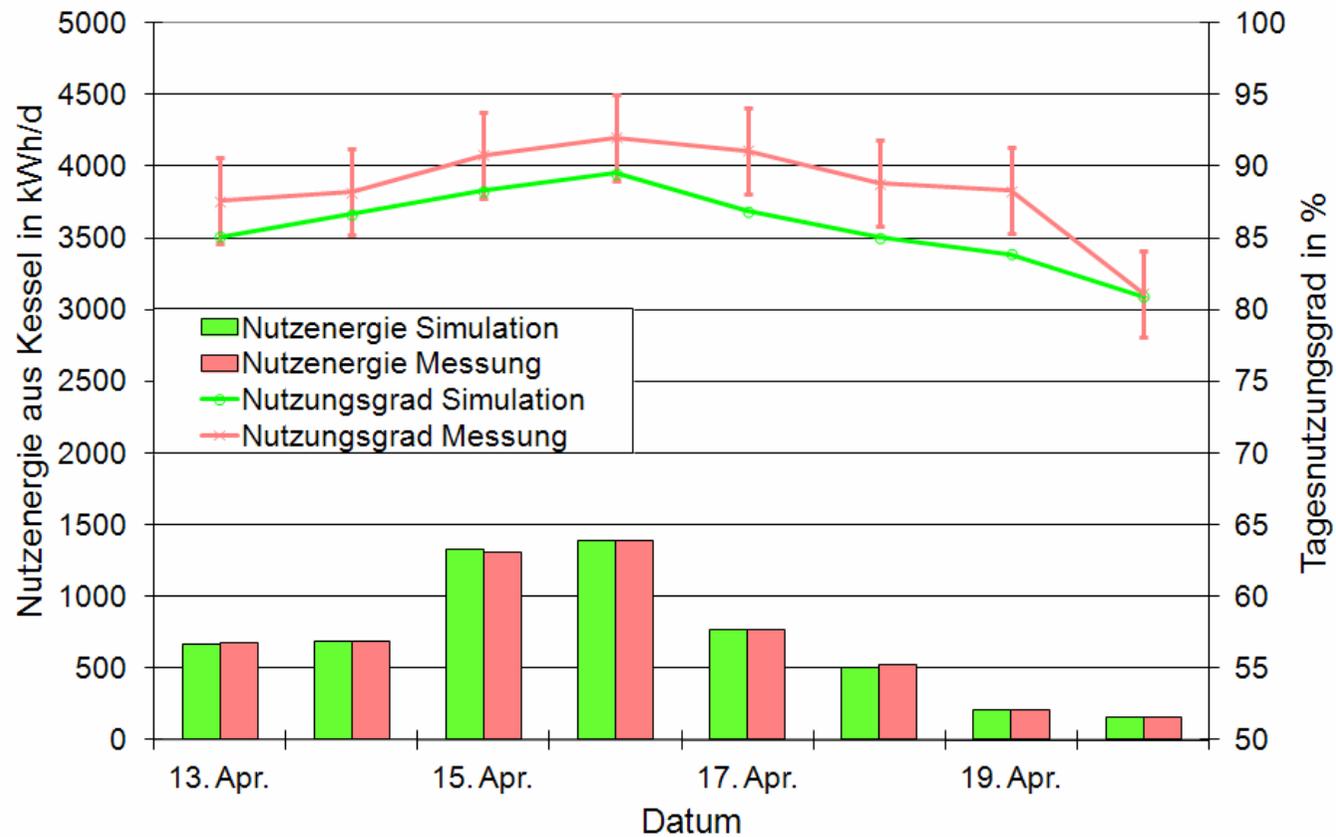


Vergleich Kesselnutzungsgrade: Simulation / Messung in Feldanlage Speyer (Winter)



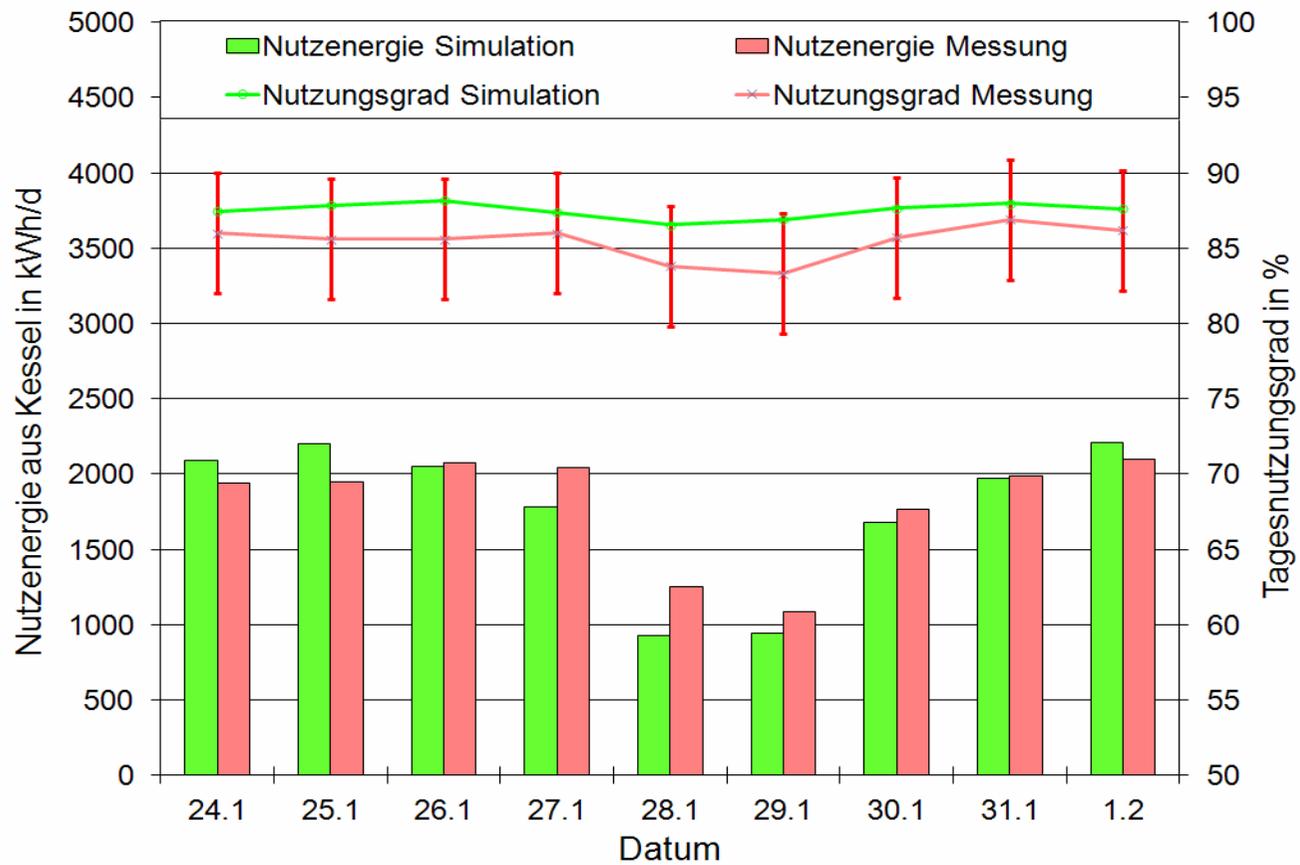


Vergleich Kesselnutzungsgrade: Simulation / Messung in Feldanlage Speyer (Frühjahr)





Vergleich Kesselnutzungsgrade: Simulation / Messung in Feldanlage Norderney



Fazit (1)



Projektziel: Entwicklung eines neuen Kesselmodells

- Realistisches Kondensations- und dynamisches Verhalten
- Parametrierung ohne eigene Messung möglich
- Validierung anhand von vier Kesseln am Prüfstand:
 - Stationärer Wirkungsgrad: Abweichung $\pm 1\%$ ohne Kondensation, $\pm 1.5\%$ mit Kondensation (höher im Übergangsbereich)
 - Dynamische Versuche: Abweichung Nutzungsgrad $\pm 1.5\%$, Taktrate gut wiedergegeben
 - Ausnahme: Dynamik ohne Durchströmung
- Zusätzlich Validierung durch Messung von Feldanlagen

Fazit (2)



Projektziel: Entwicklung eines neuen Kesselmodells

Aber: Herstellerdaten nicht ausreichend für gute Parametrierung

- Messungen nach Prüfnormen schwer interpretierbar (Betriebsbereitschaftsverlust)
- Abweichungen zwischen Herstellerangaben und Prüfstandsmessungen
- Keine Angaben zum dynamischen Verhalten

Daher: Messungen am Prüfstand empfohlen

- Wirkungsgradmessung bei Nennleistung (Kessel- und feuerungstechnischer Wirkungsgrad)
- Abgasfeuchtemessung in drei Betriebszuständen
- Temperaturverlauf von Abgas und Wasser nach Start

Zukunft: Neue Prüfnormen notwendig?

Fazit (3)



Projektziel: Entwicklung eines neuen Kesselmodells

Modell erlaubt Analyse des Kessels in unterschiedlichen Systemen

- Solarthermische Kombianlagen
- Alle Wärmeversorgungssysteme mit Heizkesseln

Mögliche Untersuchungen

- Optimierung der Verschaltung von Sonnenkollektoren und Heizkesseln
- Starthäufigkeit je nach Kessel und Verschaltung
- Optimierung des Kesselmassenstroms (z.B. zur Beladung eines Pufferspeichers)

Modell steht als Trnsys-Type zur Verfügung

- Vom ISFH kostenlos erhältlich (inkl. Dokumentation)
- Ergebnisse der Validierung im Abschlussbericht