

HERZLICH WILLKOMMEN!

EFFIZIENTE PROZESSWÄRME

Online-Seminar mit Wolfgang Brettl











Gefördert durch:



VORSTELLUNG





- Beratungs- und Softwareunternehmen für Energie- und Ressourceneffizienz seit 1999
- Ein Unternehmen von Veolia seit 2016
- CO₂-Vermeidung und -Reduzierung durch technische und organisatorische Maßnahmen
- Erfahrung in allen relevanten Industriebranchen, Gewerbe und Gebäuden
- Interdisziplinäres Team mit 50 Mitarbeitern



Wolfgang Brettl

Principal

ÖKOTEC Energiemanagement
GmbH

AGENDA



- 1. Prozesswärme in der Ernährungsindustrie
- 2. Grundlagen Prozesswärme
- 3. Wärmeträger Dampf
- 4. Wärmeträger Wasser
- 5. Effizienzsteigerung / Einsparmaßnahmen
- 6. Zusammenfassung





PROZESSWÄRME IN DER ERNÄHRUNGSINDUSTRIE



TYPISCHE ANWENDUNGSGEBIETE VON WÄRME IN DER ERNÄHRUNGSINDUSTRIE

Kochen

Erhitzung in
Flüssigkeit auf
Siedetemperatur
zur Garung von
Speisen

Dämpfen

Garung von
Nahrungsmitteln
durch Dampf

Darren

Trocknung durch die Einwirkung von Hitze

Backen

Erhitzung durch
Ofenhitze zur
Garung von
Speisen und zum
haltbar machen

WÄRME IN DER ERNÄHRUNGSINDUSTRIE

RELEVANZ DES WÄRMEVERBRAUCHS IN DER ERNÄHRUNGSINDUSTRIE

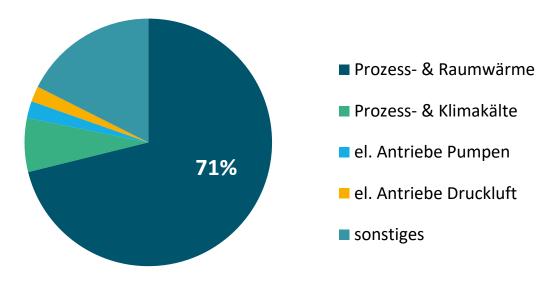
- Endenergieverbrauch zur Wärmeerzeugung
 - davon Prozesswärme
 - davon Raumwärme

ca. 42.000 GWh

90%

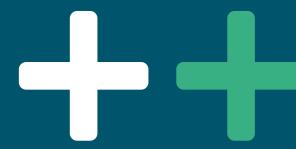
10%

Endenergieverbrauch in der Ernährungsindustrie 2018



Quellen: AG Energiebilanzen e.V., 2018





WÄRMEÜBERTRAGUNG DURCH WÄRMESTRAHLUNG



Grillen Backen Rösten

Oberflächen-Temperatur der Sonne: ca. 5.500°C

WÄRMEÜBERTRAGUNG DURCH WÄRMETRÄGERMEDIEN

Warm- / Heizwasser

Bis max. 100°C (Absicherung 110°C)

Wasserdampf

In der Industrie meist von 2bar,a = ca. 120°C **Sonderfall: elektrische Energie** bis 33 bar,a = 240°C

Druckheißwasser

- Druck ist höher als Verdampfungsdruck von Wasser bei entsprechenden Temperaturen → Wasser bleibt unter Druck flüssig und verdampft nicht
- Temperaturniveaus wie bei Dampf bis größer 33 bar,a = ca. 240° C

Organische Wärmeträger

Diphyl bis zu 400°C, Mineralöle (Thermalöle) üblicherweise bis ca. 280°C

Bis zu ca. 4.000°C möglich (Beispiel: Lichtbogenofen)

WÄRMEERZEUGUNG AUS BRENNSTOFFEN

Die meisten Brennstoffe bestehen im Wesentlichen aus den brennbaren Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff, sowie je nach Zusammensetzung auch Stickstoff und Schwefel.

Diese Brennstoffe werden, da sie Kohlenstoff und Wasserstoff enthalten, als Kohlenwasserstoffe bezeichnet. Die Verbrennung von Kohlenwasserstoffen erfolgt als exotherme Oxidations-Reaktion nach folgender Grundgleichung:

Kohlenwasserstoff + Sauerstoff → Kohlenstoffdioxid und Wasser

Beispiel:

BrennstoffMethan

chemische Formel

 CH_{4}

Heizwert

802,69 MJ/kmol (15°C)

VERBRENNUNG | OXIDATION

Kohlenwasserstoffe bestehen aus den Elementen Kohlenstoff und Wasserstoff.

Bei der Oxidation von Wasserstoff entsteht Wasser (H₂O).

Bei der Oxidation von Kohlenstoff entsteht Kohlendioxid (CO₂) oder Kohlenmonoxid (CO).

CO₂ entsteht bei niedrigeren Verbrennungstemperaturen und bei ausreichend Sauerstoff.

CO entsteht bei höheren Verbrennungstemperaturen und bei Sauerstoffmangel (unvollständige Verbrennung).

VERLUSTE BEI DER WÄRME-ERZEUGUNG AUS BRENNSTOFFEN

Abgasverlust und feuerungstechnischer Wirkungsgrad

$$q_A = (T_A - T_L) \cdot (\frac{A1}{co_2} + B)$$

 $q_A = (T_A - T_L) \cdot (\frac{A2}{21\% - O_2} + B)$

Siegert'sche Formel zur Berechnung des Abgasverlustes

mit

q_A - Abgasverlust [%]

T_A - Abgastemperatur [°C]

T₁ - Verbrennungslufttemperatur [°C]

CO₂ - Kohlendioxidgehalt des Abgases [Vol.-%] bzw.

O₂ - Sauerstoffgehalt des Abgases [Vol.-%]

Werte für A1, A2 und B sind für verschiedene Brennstoffe tabelliert

Feuerungstechnischer Wirkungsgrad [%] = 100% – Abgasverlust [%]

Bsp.: 8% Abgasverlust entspricht 92% FTW

INTERPRETATION DER SIEGERT'SCHEN FORMEL

Der Abgas-Verlust steigt mit

steigender Abgas-Temperatur sinkender Verbrennungsluft-Temperatur steigendem Verbrennungsluft-Überschuss bzw. Sauerstoffgehalt des Abgases

Zur Senkung des Abgas-Verlustes muss also

die Abgas-Temperatur gesenkt werden

durch Abgas-Wärmetauscher,

z. B. Brennwert-Nutzung

die Verbrennungsluft-Temperatur angehoben werden

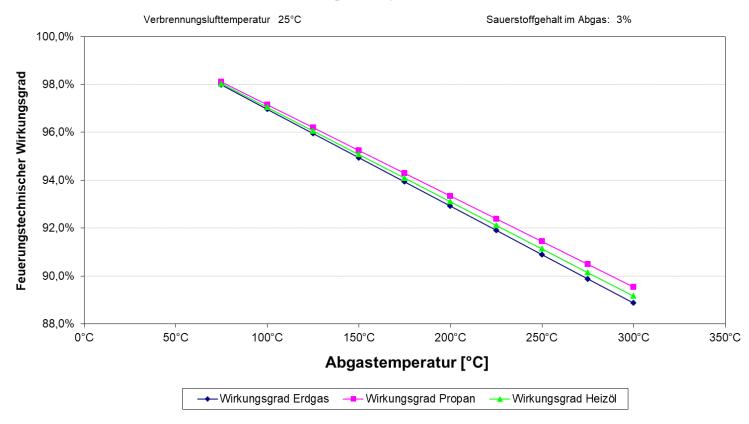
z. B. Luft-Vorwärmer (LuVo)

der Verbrennungsluft-Überschuss begrenzt werden

z. B. O₂-Regelung mit Lambda-Sonde

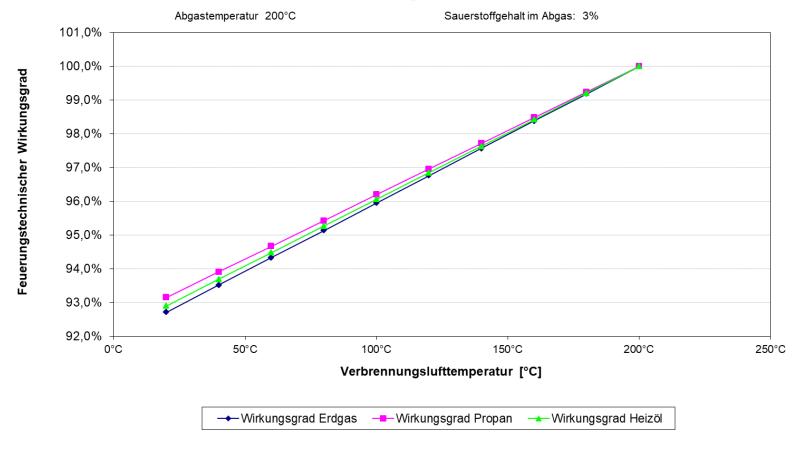
FEUERUNGSTECHNISCHER WIRKUNGSGRAD – ABGASTEMPERATUR

Feuerungstechnischer Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der Abgastemperatur



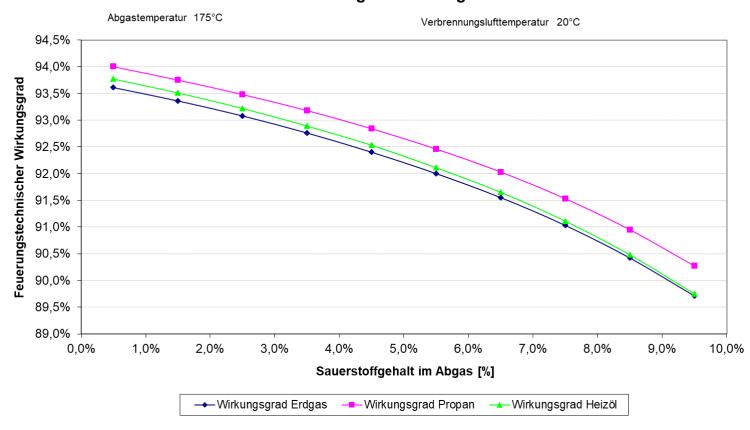
FEUERUNGSTECHNISCHER WIRKUNGSGRAD – LUFTTEMPERATUR

Feuerungstechnischer Wirkungsgrad in Abhängigkeit der Verbrennungslufttemperatur



FEUERUNGSTECHNISCHER WIRKUNGSGRAD – SAUERSTOFFGEHALT ABGAS

Feuerungstechnischer Wirkungsgrad in Abhängigkeit vom Sauerstoffgehalt im Abgas



BRENNWERT VS. HEIZWERT

Brennwert H_s

- Bei der Verbrennung maximal nutzbare Wärmemenge, wenn im Abgas enthaltender Wasserdampf vollständig kondensiert wird.
- Früher "oberer Heizwert" H_o

Heizwert H_I

- Bei der Verbrennung maximal nutzbare Wärmemenge, wenn im Abgas enthaltender Wasserdampf dampfförmig bleibt.
- Früher "unterer Heizwert" H_U

SENKUNG DES ABGASVERLUSTES UND FEUERUNGSTECHNISCHER WIRKUNGSGRAD

Ziel 1: Senkung der Abgastemperatur

Economizer (ECO) bei Dampf-Kesseln

Zusätzlicher Abgaswärmetauscher (AWT) für andere Prozesse

Verbrennungsluft-Vorwärmung (LuVo)

Senkung Feuerungsleistung durch Brennereinstellung (falls möglich)

Ziel 2: Reduktion des Luft-Überschusses

Lambda-Sonde und elektronischer "Luftverbund"

Geeignete Brennereinstellung durch Brenner-Wartungsdienst

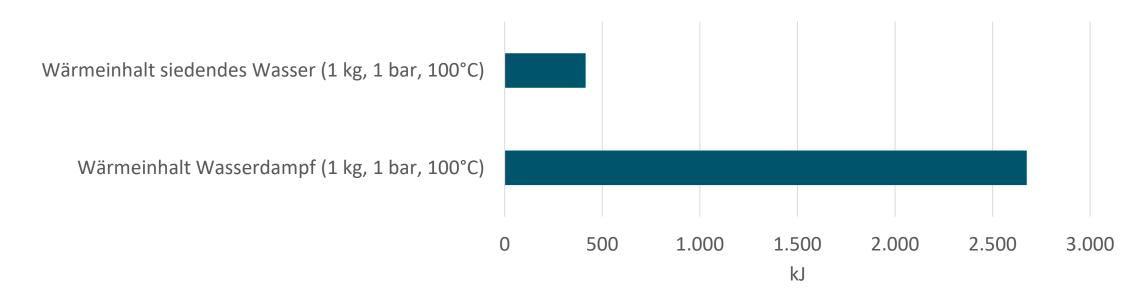


DAMPF IN DER ERNÄHRUNGSINDUSTRIE



WARUM DAMPF ALS WÄRMETRÄGERMEDIUM?

- Sehr hohe Energiedichte
 - Beispiel unten: zirka 6-fache Energiemenge je kg ggü. siedendem Wasser
- Temperaturen größer 100°C möglich
- Sehr guter Wärme-Übergang bei Kondensation
- Sehr genaue Temperatur-Regelung möglich



KENNZAHL KONDENSATRÜCKFÜHRUNGSRATE

Dampf

Energie aus der Dampf-Anlage ins Werk

Kondensat

Energie aus dem Werk zurück an die Dampf-Anlage

Differenz

An Verbraucher übertragene Energie + Verluste

Kondensat-Rückführungsrate und Kondensat-Enthalpie / Kondensat-Temperatur spielen eine wichtige Rolle!

KENNZAHL KONDENSATRÜCKFÜHRUNGSRATE

Ziele:

- Die Kondensat-Rückführungsrate sollte möglichst hoch sein.
- Die Kondensat-Wärme sollte im Wärmetauscher als Nutzwärme eingesetzt werden und nicht im Kondensat-Sammelsystem verloren gehen.
- Geschlossene Kondensat-Systeme sind energetisch günstiger als atmosphärisch-offene Kondensat-Systeme, wenn die Siede-Kondensate mit Temperaturen über 100°C anfallen.

Beispiel:

- 1000 kg/h Siedekondensat (11 bar,abs 184°C) wird entspannt zu 2 bar,abs 120°C
- 126 kg/h Entspannungsdampf (ca. 12,56 Massen-%) → Nutzung?

KENNZAHL "BLOWDOWN"

- Speisewasser wird in einem Dampfkessel nicht zu 100% in Dampf umgesetzt.
- Typische Wasser-Verluste entstehen durch Absalzen, Abschlämmen und mit dem Dampf mitgerissene Wassertröpfchen.
- Absalz-Verluste k\u00f6nnen durch die Wieder-Verwendung von Kondensat und eine bessere Wasseraufbereitung sowie Verwendung salzarmen Wassers minimiert werden.
- Abschlämmen ist ein eher geringer Verlust (überwiegend manuelles Abschlämmen).
- Mitgerissene Wassertröpfchen werden im Dampftrockner abgeschieden. Auch das ist ein eher geringer Verlust.

ABGAS-SPEISEWASSER-VORWÄRMER BZW. "ECONOMIZER"

Unter dem Begriff "Economizer", oder kurz "Eco", versteht man einen Abgas-Speisewasser-Vorwärmer, der in Dampfsystemen mittlerweile als Standard gilt.

Economizer ist aber nicht gleich Economizer.

Es gibt häufig mehrere Baugrößen und es lohnt sich bei Neuplanungen nach der Effektivität des Economizers zu fragen und sich die Leistungsdaten für einen Vergleich geben zu lassen.

DAMPFDRUCK

Provokative These:

60% aller Dampfanlagen werden mit dem Druck betrieben, der bei der Erst-Inbetriebnahme eingestellt wurde

Der Verdampfungs-Druck zieht die Verdampfungs-Temperatur nach oben.

Die Verdampfungs-Temperatur zieht die Abgas-Temperatur und damit die Abgas-Verluste nach oben.

"KOCH-REZEPT" DAMPF-SYSTEME

Ein für alle Fälle passendes Kochrezept kann es nicht geben.

Wichtige Eckpunkte sind:

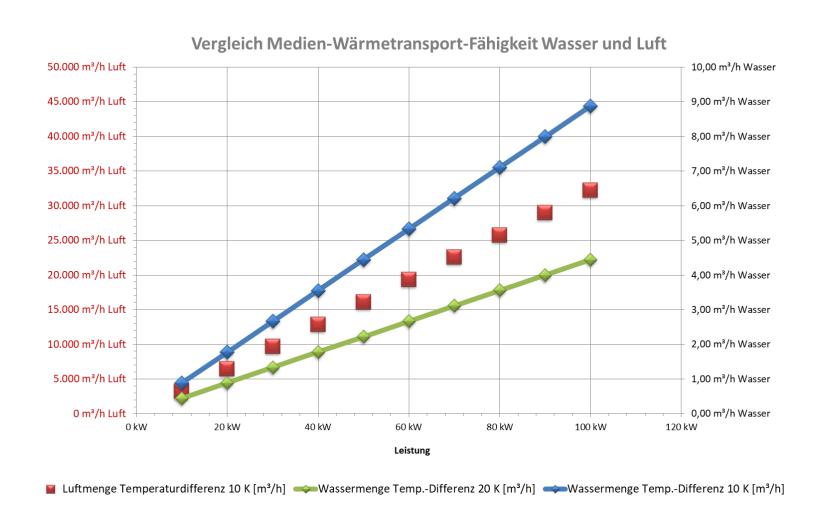
- Abwärme-Nutzung aus Abgaswärme Kessel (am besten ECO + AWT)
- Dampfdruck an Bedarf anpassen (auch zeitlich)
- Vermeidung von Verlusten (insbes. Kondensatsystem)
- Gute Wasserausbereitung (geringere Absalzraten u.ä.)
- Gute Feuerungstechnik (elektronischer Luftverbund, FU, Lambda-Regelung u.ä.)
- Gute Dämmung



WARM- / HEIZWASSER



WÄRMETRANSPORT-KAPAZITÄT – MEDIUM UND TEMPERATUR-DIFFERENZ



WÄRMETRÄGER-TEMPERATUREN

Je größer die Temperatur-Differenz, desto kleiner der Massenstrom und die Pumpen-Leistung.

Einspar-Potential Pumpen-Arbeit bzw. Pumpen-Strom im Betrieb

Kosten-Einspar-Potential bei der Erstausrüstung (kleinere Leitungs-Querschnitte und Pumpen)

Die Vorlauf-Temperatur zieht die Rücklauf-Temperatur mit nach unten. Je kälter der Rücklauf, desto besser werden die Möglichkeiten für die Nutzung von Nieder-Temperatur-Abwärme zur Rücklauf-Temperatur-Anhebung.

Einspar-Potential Brennstoff durch Abwärme-Nutzung

Bessere Brennstoff-Ausnutzung im Kessel, weil die Rücklauf-Temperatur die Abgas-Temperatur mit nach unten zieht

WÄRMETRÄGER WASSER

"KOCH-REZEPT" HEIZWASSER-ANLAGEN

- Optimierter Prozesswärmeverbrauch
 - Ausreichend niedrige Vorlauftemperatur
 - Heizkreise mit unterschiedlichen Temperaturniveaus prüfen
 - Ausreichende Abkühlung des Heizwassers am Verbraucher
- Optimierung Wärmeverteilung
 - Hydraulischer Abgleich
 - Druckverluste beachten

- Reduktion Energiebedarf Pumpen
 - Bedarfsgerechte Regelung, ggf. dezentrale
 Pumpen
 - Hoher Wirkungsgrad
 - ggf. Schlecht-Punkt-Regelung
- Reduktion Wärmeverluste
- Dämmung
- Effiziente Wärmeübertrager



WÄRMEVERTEILUNG



WÄRMEVERTEILUNG

WÄRMEVERTEILUNG – REDUKTION VERLUSTE

Dämmung Rohre und Armaturen

Dämmung heiße Oberflächen von Produktionsanlagen

Abdeckung heißer Bäder



EFFIZIENTE FEUERUNG



FEUERUNG

"KOCH-REZEPT" FEUERUNG

Abgas-Temperatur soweit wie möglich absenken

Vorwärmung Verbrennungsluft prüfen

Einsatz von Rekuperator- oder Regenerator-Brennern prüfen

Regeln oder Überwachen des Luft-Überschusses



EFFIZIENTE WÄRMEERZEUGUNG



WÄRMEERZEUGUNG

EFFIZIENTE WÄRMEERZEUGUNG

Dampfkessel- und Heizungsanlagen

Abgasverluste minimieren

z. B. Economizer, Luftvorwärmung Reduktion

Bereitschaftsverluste

z. B. Leistungsmodulation, Kesselfolgeschaltung **Niveauanpassung**

z. B. Dampftemperatur

Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung

Blockheizkraftwerke (BHKW)

Dampfturbinen / -motoren

Brennstoffauswahl (Gas, Biodiesel, Biomasse)

Abwärmenutzung

Druckluftanlagen

Kältemaschinen

Produktionsprozesse z. B. Trocknung



ZUSAMMENFASSUNG



ZUSAMMENFASSUNG

FAUSTFORMELN EINSPARPOTENTIALE

- Ca. 3-6 % der Brennstoffkosten durch Einsatz von Abgaswärmetauscher
- Ca. 4-6 % der Brennstoffkosten durch zusätzliche Brennwertnutzung
- Ca. 1-2 % Reduzierung der Brennstoffkosten bei Einsatz einer O₂/CO Regelung
- Ca. 30-50 % der el. Energiekosten durch Einsatz von Frequenzumformern
- Ca. 4-7 % der Brennstoffkosten durch Einsatz einer Luftvorwärmung

ZUSAMMENFASSUNG

Abwärme-Nutzung aus Abgaswärme Kessel (am besten ECO + AWT) Dampfdruck an Bedarf anpassen (auch zeitlich) Vermeidung von Verlusten (insbes. Kondensatsystem) Gute Wasseraufbereitung (geringe Absalzraten u.ä.) Gute Feuerungstechnik (elektronischer Luftverbund, FU, Lambda-Regelung u.ä.) Gute Dämmung Möglichst große Temperatur-Differenzen anstreben



VIELEN DANK

Das PlusPlus-Prinzip – Eine Klimaschutzkampagne der deutschen Ernährungsindustrie

www.plusplusprinzip.de

ÖKOTEC Energiemanagement GmbH

EUREF-Campus, Haus 13 Torgauer Straße 12-15

10829 Berlin

www.oekotec.de

Gefördert durch:











