



# Dampfleitfaden

Version 31.5.2011



AUSTRIAN ENERGY AGENCY



lebensministerium.at

## Haftungsausschluss

---

Das Projektmanagement von klima:aktiv energieeffiziente Betriebe hat im Rahmen der Beraterinformationen verschiedene Informationen zu ausgewählten Themenbereichen erstellt und den Teilnehmern als mögliche Hilfsmittel für die spätere Projektarbeit zur Verfügung gestellt.

Diese Informationen stellen lediglich Vorschläge für mögliche Maßnahmen dar, die vom Berater in Eigenverantwortung auf das jeweilige Projekt und den Kunden angepasst werden müssen.

Die Haftung für mögliche Schäden aus der Verwendung dieser Informationsunterlagen in der Praxis wird vom Projektmanagement hiermit ausdrücklich ausgeschlossen.

Die Verwendung dieser zur Verfügung gestellten Informationsunterlagen gilt als ausdrückliches Anerkenntnis dieser Haftungsregelung.

## Impressum

---

Herausgeberin und Hersteller: Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency,  
Mariahilfer Straße 136, A-1150 Wien; Tel. +43 (1) 586 15 24, Fax +43 (1) 586 15 24 - 40;  
E-Mail: [office@energyagency.at](mailto:office@energyagency.at), Internet: <http://www.energyagency.at>

Für den Inhalt verantwortlich: Dr. Fritz Unterpertinger

### **Autor:**

Mag. DI Konstantin Kulterer, Österreichische Energieagentur, Version 31.5.2011

Unter Mitarbeit von: Ing. Heinz Rieder, Loos Austria GmbH

# Inhalt

<b>Datenerhebung</b> .....	<b>1</b>
<b>Überblick Einsparmaßnahmen</b> .....	<b>2</b>
<b>Erhebung eines Dampfsystems</b> .....	<b>4</b>
Bewertung Nutzungsgrad .....	4
Bewertung Verluste - indirekte Methode .....	5
<b>Verringerung der Abgastemperatur</b> .....	<b>6</b>
Bewertung Abgasverlust .....	6
Reduktion der Abgasverluste über Economizer oder Brennwert-WT: .....	7
Einsparbewertung .....	7
Luftvorwärmung .....	8
Brennwert-Nutzung .....	8
<b>Reduktion des Sauerstoffgehaltes</b> .....	<b>10</b>
Einsparbewertung .....	10
Einsparmaßnahme .....	10
<b>Reduktion der Abschammverluste</b> .....	<b>11</b>
Bestimmung der Absalz- und Abschamm-Menge .....	12
Einsparbewertung .....	13
Einsparmaßnahme .....	14
<b>Verringerung der Abstrahlverluste</b> .....	<b>16</b>
<b>Verringerung der Durchlüftungsverluste</b> .....	<b>17</b>
Bewertung .....	17
Berechnungsbeispiel .....	17
Einsparmaßnahmen .....	17
<b>Verringerung der Abdampfverluste im Entgaser</b> .....	<b>18</b>
Einsparbewertung .....	18
Einsparmaßnahmen .....	18

<b>Isolierung von Rohrleitungen .....</b>	<b>20</b>
Einsparbewertung .....	21
Entwässerung von Dampfleitungen.....	21
<b>Schließen von Leckagen in Leitungen .....</b>	<b>22</b>
Einsparbewertung .....	22
<b>Reparatur von Kondensatableitern.....</b>	<b>23</b>
Richtiger Typ?.....	23
Korrekte Installation? .....	25
Funktionsweise?.....	26
Fehlererkennung.....	26
Einsparbewertung für Leckagenverluste bei Kondensatableitern .....	28
<b>Optimierung der Kondensat-Rückführung.....</b>	<b>30</b>
Bewertung .....	30
Einsparmaßnahmen .....	30
<b>Nutzung der Nachverdampfung.....</b>	<b>31</b>
Einsatzgebiete .....	31
Einsparbewertung .....	31
<b>Analyse der Verbraucher .....</b>	<b>33</b>
Wärmetauscher .....	35
<b>Quellen .....</b>	<b>36</b>



## Datenerhebung

Tabelle 1: Erhebungsblatt Dampfkessel

Parameter	
Jährlicher Brennstoffbedarf [MJ, MWh]	
Jährliche Brennstoffkosten [EUR]	
Spezifische Brennstoffkosten [EUR/MJ oder MWh]	
Kesselleistung [kW]	
Jährliche Betriebsstunden Dampfkessel [Stunden bzw. h]	
Dampf in [kg/h] [t/a]	
Spezifische Dampfkosten [EUR/kg]	
Dampfbetriebsüberdruck [bar] Temperatur [C°]	
Enthalpie $h''$ oder $h$ für überhitzten Dampf [kJ/kg] aus Dampftabelle	
Temperatur Zusatzwasser [°C] Enthalpie [kJ/kg] 12°C [42 kJ/kg], 13°C [53,5 kJ/kg]	
Verdampfungswärme, $r$ (Dampfenthalpie – Enthalpie Zusatzwasser) [kJ/kg] (errechnet)	
Speisewassertemperatur [°C] Enthalpie [kJ/kg] 102 °C [429kJ/kg], 105 °C [440 kJ/kg]	
Abgastemperatur [C°]	
O <sub>2</sub> -Gehalt [ %]	
Offener/geschlossenes Kondensatsystem	
Kondensatrücklauftemperatur [°C]	
Durchschnittliche Kondensatrückführung in [kg/h] und in % der Dampfmenge [ %]	
Dampfverbrauch für Direkteinspritzung in [kg/h] und in % der Dampfmenge [ %]	
Kondensat nicht weiter genutzt in [kg/h] und in % der Dampfmenge [ %] (optional)	
Leitungslänge [m]	
Länge ungedämmte Leitungen [m]	
Oberfläche von ungedämmten Flansch, Komponenten [m <sup>2</sup> ] bzw. entsprechend [m] Leitungslänge	

## Überblick Einsparmaßnahmen

Folgende Tabellen geben einen Überblick über mögliche Einsparmaßnahmen in Dampfsystemen und eine erste Abschätzung über mögliche Einsparungen

**Tabelle 2: Vorgeschlagene Energieeffizienzmaßnahmen in der Erzeugung an 77 Standorten (Carbon Trust 2003)**

Maßnahmen bei der Erzeugung	Anzahl der Unternehmen, für die die Maßnahme empfohlen wurde
Anpassung der Verbrennungsparameter (Brennstoff, Luftüberschuss etc.)	29
WRG aus der Abschlämmung	20
Installation automatischer O <sub>2</sub> -Regelung	17
Installation eines Economizers	17
Übergeordnete Steuerung bei mehreren Kesseln	14
Optimierung des Kesselbetriebs bei mehreren Kesseln	10
Absperrklappen für Rauchgaswege (um Abkühlung zu vermeiden) bei mehreren Kesseln	7
Ersatz des Kessels	7
Durchführung der Kesselwartung	6
Verbesserung der Kesselsteuerung*	5
Automatische Abschlämmsteuerung	5
Dämmung des Kessels	4
Vorwärmung des Kesselspeise- und/oder Zusatzwassers	2
Umstellung auf Gas	2
Gesamte Empfehlungen bei 77 Standorten	145

\*Zur Verbesserung der Kesselsteuerung gehört: Zeitschalter, modulierende Steuerung, Druckmanagement, digitale Verbrennungskontrolle

**Tabelle 3: Vorgeschlagene Energieeffizienzmaßnahmen in der Dampfverteilung an 107 Standorten (Carbon Trust 2004)**

Maßnahmen in der Verteilung	Anzahl der Unternehmen, für die die Maßnahme empfohlen wurde
Verbesserung der Isolierung	79
Verstärkte Rückführung von Kondensat	34
Abtrennung ungenutzter Rohre (Netzteile)	21
Verbesserte Kondensatableitung	18
Reparatur von Dampfleckagen	15
Änderung der Rohrverlegung	11
Wärmerückgewinnung aus Kondensat	8
Änderung des Druckniveaus	8
WRG aus Nachverdampfung	6
Andere	7
Gesamte Anzahl der Empfehlungen bei 107 Unternehmen	207

**Tabelle 4: Einsparmaßnahmen und Einsparpotential in der Dampferzeugung und durch geschlossenes Kondensatsystem (Loos International, 2010)**

Energiesparmaßnahme	Einsparungspotential
Economizer	bis 7 % Brennstoffeinsparung
Brennwertwärmetauscher	bis 5 % Brennstoffeinsparung
Laugenentspanner- und Wärmerückgewinnung	bis 2 % Brennstoffeinsparung, Frischwasserersparnis, Abwasserreduzierung
Sauerstoff- und/oder CO-Brennerregelung	bis 2 % Brennstoffeinsparung
Drehzahlsteuerung Gebläse	bis zu 75 % Stromkostensparnis
Brüdenwärmetauscher	bis 0,5 % Brennstoffeinsparung
Hochdruckkondensatsystem	bis 12 % Brennstoffeinsparung, Frischwasserersparnis
Automatisierte und kontinuierliche Wasseranalyse	bis 0,5 % Brennstoffeinsparung, Chemikalieneinsparung, Personalkosteneinsparung
Optimierung der Regelparameter, regelmäßiger Service, Wartung, Reinigung	bis 3 % Brennstoffeinsparung, verlängerte Lebensdauer, Prozesssicherheit



## Erhebung eines Dampfsystems

### Schritt 1: Erstellung einer Skizze

Erster Schritt bei der Beurteilung eines Dampfsystems sollte die Erstellung einer groben Skizze des Dampfsystems sein. Wichtig sind einerseits wesentliche Komponenten im Kesselhaus, das Netz nach Druckniveaus getrennt und die wichtigsten Dampfverbraucher.

### Schritt 2: Erstellung einer Massen- bzw. Energiebilanz

Für eine erste Beurteilung möglicher Optimierungsmaßnahmen ist eine Bilanz der Energieströme innerhalb des Dampfsystems notwendig, dazu sollen auch die größten Verbraucher dargestellt werden. Darüber hinaus sind die wichtigsten Abwärmeverluste (z.B. Abgasverluste) einzubeziehen.

## Bewertung Nutzungsgrad

Ein wesentlicher Einfluss auf die Effizienz eines Dampfsystems hat die effiziente Energieumwandlung im Kesselhaus. Der wichtigste Parameter ist neben dem Wirkungsgrad des Kessels der Jahresnutzungsgrad. Dieser ist abhängig von den Abgasverlusten über den Schornstein, den Absalz- und Abschlammverlusten, den Abstrahlverlusten über die Kesseloberfläche und der Anzahl der Taktungen des Kessels (Durchlüftungsverluste). Viele Dampfkessel verfügen bereits über Steuerungen, an denen die wichtigsten Parameter ablesbar sind.

### Erforderliche Daten:

- Energieinhalt Brennstoff (z.B. vorgewärmtes Öl)
- Temperatur Speisewasser
- Enthalpie Dampf und Speisewasser
- Erzeugte Dampfmenge/h

**Nutzungsgrad** = Produzierte Dampfmenge (kg/h) mal (Energieinhalt lt. Dampftabelle am Kesselausgang minus Enthalpie Speisepumpenausgang)/ Massenstrom Brennstoff mal Energieinhalt

$$\eta = \frac{\dot{m}_{\text{Dampf}} \times (h_{\text{Dampf}} - h_{\text{Speisewasser}})}{\dot{m}_{\text{Brennstoff}} \times Hi}$$

$\dot{m}_{\text{Dampf}}$  Erzeugte Dampfmenge pro Jahr (kann auch für Stundenwerte berechnet werden)

$\eta$  Diese Formel errechnet den Jahresnutzungsgrad, in diesem Leitfaden wird Eta für diesen Nutzungsgrad verwendet!

Der Nutzungsgrad sollte regelmäßig überprüft werden.

Zielwert für den Brennstoffnutzungsgrad sollte bei 80 % und darüber liegen.



**Folgende Faktoren beeinflussen diesen Nutzungsgrad:**

- Auslastung

Kontinuierliche, stabile Auslastung und kontinuierlicher Betrieb steigert den Nutzungsgrad. Kurzfristige Lastschwankungen, Zeiträume mit niedriger oder keiner Last verringern den Nutzungsgrad.

- Betriebsgröße

Größere Betriebe mit 24 h Betrieb, Betriebe mit kontinuierlichen Prozessen oder einer großen Anzahl von Batch-Prozessen haben höhere Nutzungsgrade.

**Bewertung Verluste - indirekte Methode**

Tatsächlich verfügen die meisten Betriebe nicht über die erforderlichen Messpunkte für die Beurteilung des Brennstoffnutzungsgrades. In diesem Fall werden die Einzelverluste der Dampferzeugung bewertet. Folgende Verluste treten auf: Abgasverluste, Abschammverluste, Abstrahlverluste und sonstige Verluste (z.B. Durchlüftungsverluste).

**Tabelle 5: Beispiel für Aufteilung der Verluste in einem Dampfsystem bei der Erzeugung**

	Aufteilung des Energieinhalts
Dampf	79-81 %
Abgasverluste	12-13 %
Abstrahlverluste	2-4 %
Abschlammverluste	3-4 %
Energieinhalt Brennstoff	100 %

**Der „Nutzungsgrad“ (bzw. eine Annäherung an den Nutzungsgrad) ergibt sich aus:**

$$100 \% - \text{Abgasverluste} - \text{Abschlammverluste} - \text{Abstrahlverluste}.$$

Die Bewertung dieser Verluste wird in den folgenden Kapiteln dargestellt.

Zu beachten ist, dass in der Kesseltechnik unterschiedliche Kennzahlen zur Effizienz (je nach Berücksichtigung der Verluste) Verwendung finden:

- **Feuerungstechnischer Wirkungsgrad:** Abgasverluste nach Siebert, ohne Stillstands-, Durchlüft-, Absalz-, Abschlammeverluste
- **Kesselwirkungsgrad:** Abgas- und Strahlungsverluste werden berücksichtigt, die Messung erfolgt bei stationärem Betrieb
- **Brennstoffnutzungsgrad (s.o.):** inkl. Abgas-, Strahlungs-, Absalz-, Abschlammeverluste



## Verringerung der Abgastemperatur

Der Abgasverlust ist im wesentlichen abhängig von der (Netto-)Abgastemperatur, also der Differenz zwischen Abgas- und Verbrennungslufttemperatur und dem Abgasstrom. Der Abgasstrom wird von der Brennstoffart und der Luftüberschusszahl (gemessen am Sauerstoffgehalt des Abgases) beeinflusst.

Die Messung der Abgastemperatur soll so nah wie möglich am Ausgang des letzten Wärmeübergangs erfolgen (z.B. bei Speisewasser-Economizer, nach dem Economizer). Sie sollte täglich gemessen und in Abhängigkeit der Kesselauslastung und Umgebungstemperatur dargestellt werden. Damit kann jährlich ein Vergleich der entsprechenden Temperaturen bei ähnlichen Betriebszuständen erfolgen.

### Die Abgastemperatur wird von folgenden Faktoren beeinflusst:

Die Abgastemperatur steigt mit der Last:

- Bei einer Last von über 100 % nimmt die Abgastemperatur überproportional zu, da die Fläche zum Wärmeübergang im Kessel konstant bleibt und sich daher der Wärmeübergang pro erzeugter Wärme mit der Last reduziert.
- Bei geringerer Last muss der Sauerstoffgehalt im Abgas zur Gewährleistung der Verbrennung steigen, was zu höheren Abgasverlusten führt. Abstrahlverluste steigen in der Teillast ebenfalls.

Durch **Verschmutzung** (Fouling) der Wärmeübertragungsflächen im Kessel wird der Wärmeübergang erschwert, die Abgastemperatur steigt:

- Wasserseitig geschieht dies durch lösliche Bestandteile im Wasser, insbesondere Silikat- und Kalkablagerungen stören den Wärmeübergang. (Verluste bis zu 2 % bei Wasserrohrkesseln, bis zu 5 % bei Flammrohrkesseln). Zur Vorbeugung sind entsprechende Wasseraufbereitung, Kondensatbehandlung, chemische Zusätze und Absalzung/Abschlammung notwendig.
- Feuerseitig sind besonders Festbrennstoff-Kessel durch Asche gefährdet. Daher sollte eine regelmäßige Reinigung z.B. mittels Hochdruck-Dampf erfolgen.

## Bewertung Abgasverlust

Zur Bewertung können unterschiedliche Rechenmethoden verwendet werden, hier dargestellt ist die Bewertung der Abgasverluste nach Siegert (Siegertsche Formel). Diese rechnet mit unterem Heizwert, gilt also NICHT für Brennwerttechnik, d.h. nicht für Anwendungen, in denen der Energiegehalt des Wasserdampfes rückgewonnen wird:

$$q_A = (T_A - T_b) \times \left( \frac{A_2}{21 - O_2} + B \right)$$

$q_A$  Abgasverlust [%]

$T_A$  Abgastemperatur [°C]

$T_b$  Zulufttemperatur/Verbrennungslufttemperatur [°C]

$O_2$  Sauerstoff-Gehalt des Abgases [Vol %]

$A_2, B$  Brennstoffspezifische Werte



Tabelle 6: Brennstoffparameter für Brennstoffe nach Siegert, Konstanten

	Heizöl	Erdgas	Flüssiggas	Hackgut trocken (25 % Wassergeh.)	Hackgut feucht (40 % Wassergeh.)
A2	0,68	0,66	0,60	0,69	0,73
B	0,007	0,009	0,011	0,014	0,018

## Reduktion der Abgasverluste über Economizer oder Brennwert-WT:

Insbesondere ist diese Maßnahme zu prüfen:

- Bei Abgastemperatur über 130°C für Gaskessel (z.B. 150°C, bzw. über 100°C, falls Niedertemperaturverbraucher in ausreichendem Maß vorhanden)
- Bei 24 h Betrieb des Kessels und hoher Auslastung (auch unter 500 kW)
- Bei Einschicht-Betrieb, Systemlast über 50 %, 2 MW
- Wenn genügend Platz vorhanden ist

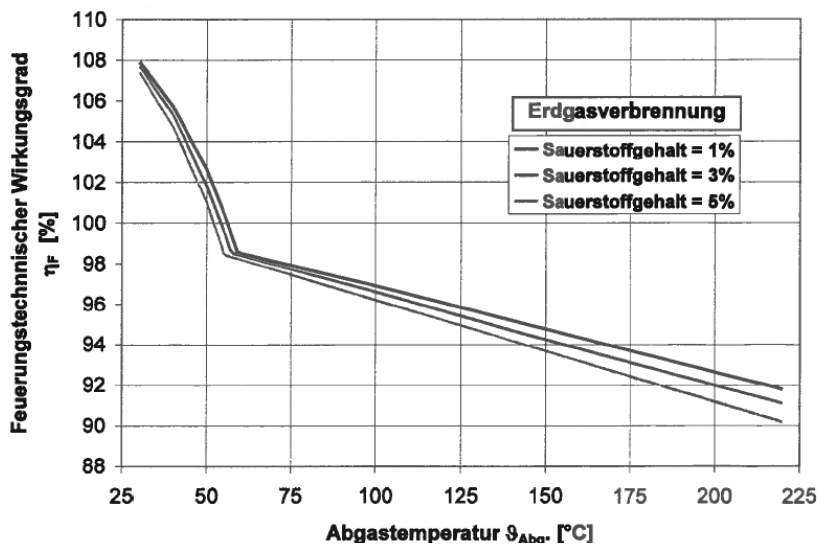


Abbildung 1: Feuerungstechnischer Wirkungsgrad in Abhängigkeit der Abgastemperatur (SAACKE, 2011)

## Einsparbewertung

Mit Economizer kann die Abgastemperatur (von Gaskessel) auf ca. 120° bis 130°C gesenkt werden, bei Biomassekesseln auf ca. 160°C.

Die Bewertung der Einsparung erfolgt über die Berechnung des Abgasverlustes vor und nach Absenkung der Abgastemperatur lt. Siegertschen Formel. Der Kesselwirkungsgrad erhöht sich dann um die Differenz in Prozent (eigentlich gilt diese Berechnung nur für den feuerungstechnischen Wirkungsgrad).



Die Brennstoffeinsparung ergibt sich dann aus:

$$[\text{Einsp. EUR}] = \text{Kosten}_{\text{Alt}} * (1 - \eta_{\text{Alt}} / \eta_{\text{Neu}})$$

Faustformel: 20°K Temperaturabsenkung ergibt eine „Wirkungsgradsteigerung“ von ca. 1 %

## Luftvorwärmung

Aus der Bewertung der Reduktion der Abgastemperatur ist ersichtlich, dass es auch möglich ist, Effizienzsteigerung durch Luftvorwärmung zu erreichen. Empfohlen werden Temperaturen bis max. ca. 80-90°C. Diese Temperatursteigerung der angesaugten Brennerluft kann z.B. durch Ansaugung der Luft aus dem oberen Teil des Kesselhauses erfolgen (ca. 50°C).

Luftvorwärmung aus einem Abgas-WT ist nur sinnvoll falls kein Economizer (z.B. zur Speisewasservorwärmung) möglich ist, also z.B. kein Platz vorhanden ist, eine geringe Gleichzeitigkeit mit möglichen Niedertemperaturverbrauchern als Abnehmer für den WT gegeben ist, oder kaum Frischwasser notwendig ist (aufgrund hoher Kondensatrücklaufmenge).

In diesem Fall sind Einsparungen bis ca. 2 % möglich, die Kosten sind jedoch ungefähr gleich hoch wie beim Economizer.

## Brennwert-Nutzung

Mit einem Brennwert-WT kann die Abgastemperatur noch weiter reduziert werden. Sobald das Abgas kondensiert, wird zusätzlich zur sensiblen Wärme auch die latente bzw. Verdampfungswärme des im Abgas enthaltenen Wasserdampfes rückgewonnen. Im Kondensationsfall gewinnt man allerdings nur jene Menge Wasserdampf, die über 100 % Restfeuchte liegt. Dazu muss aber das aufzuwärmende Medium (d.h. der Rücklauf z.B. aus einer Heizschlange) ganzjährig unter dem Taupunkt des Abgases sein.

Dieser Taupunkt ist einerseits abhängig vom Wasserstoffgehalt des Brennstoffes. Desto höher liegt grundsätzlich die Wasserdampftaupunkttemperatur. Dadurch eignen sich insbesondere Gaskessel für diese Anwendung.

Außerdem hängt dieser Taupunkt auch von der Luftüberschusszahl  $\lambda$  ab:

Bei einer Luftüberschusszahl von 1,15 liegt die Taupunkttemperatur bei ca. 58°C (für Gas) bzw. 48°C (für Öl), (Recknagel, 07/08, S 694), bei einer Luftzahl von 1,2 bis 1,3 bei ca. 55°C für Erdgas. (IBS, o.J.)

Die rückgewonnene Wärme ergibt sich dann daraus, wie weit die Rücklauftemperatur unter diesem Wert liegt. Theoretisch sind bei Erdgasanlagen 11 % des Energieinhalts des Brennstoffs nutzbar (Verhältnis  $H_s/H_i$ ), bei Erdgas fällt 1,63 kg Kondensatanfall pro m<sup>3</sup> Erdgas an. Bei Heizöl ist ca. 6 % des Energieinhalts nutzbar, bei einem Kondensatanfall von ca. 0,88 kg/m<sup>3</sup> Heizöl. (IBS, o.J.)

Bei 50° C Rücklauftemperatur aus dem Heizsystem ist beispielsweise kaum Kondensation möglich, erst darunter ist das System sinnvoll. Bei 45 °C fallen ca. 45 g an, was ca. 30 % der theoretisch möglichen Kondensationswärme entspricht. (IBS, o.J.) D.h. ca. 3,3 % „zusätzlicher Wirkungsgradgewinn“ für den Kessel.

Bei 40°C, fallen ca. 70 g Kondensat an, d.h. ca. 6 % „zusätzlicher Wirkungsgradgewinn“! Bei 30°C können diese Werte 8 % und mehr betragen.

Dabei ist zu beachten, dass dieser zusätzliche Wirkungsgradgewinn nicht 1:1 im Kessel nutzbar ist: Zunächst muss ein evt. vorhandener Economizer rückgebaut werden, um genügend Leistung am Brennwert-WT zu erhalten. Andererseits gilt der



Wirkungsgradgewinn nur, wenn der Economizer für Speisewasservorwärmung genutzt wird!  
Die Bewertung erfolgt daher am besten über untenstehenden Ansatz.

### Vorhandenen Wärmeabnehmer prüfen

Zu beachten ist, dass jedenfalls ein entsprechender Wärmeabnehmer auf niedrigem Temperaturniveau mit entsprechendem Wärmebedarf und entsprechender Gleichzeitigkeit vorhanden sein muss. Bei zu kleiner Entnahmeleistung würde das Temperaturniveau im Rücklauf steigen, was zu einer Verringerung der Kondensation führt.

Folgende Niedertemperaturverbraucher kommen beispielsweise als Abnehmer in Frage:

- Erwärmung des Zusatzwassers (d.h. bei geringer Kondensatrückführrate)
- Vorwärmung
- Erwärmung von Brauch- und Prozesswasser
- Spülwasser-, Reinigungswassertanks

### Einsparbewertung

Die Einsparbewertung ist aufgrund oben stehender Thematik nicht durch simplifizierte Annahmen exakt abzubilden. Eine grobe Annäherung kann durch folgenden Ansatz erfolgen:

Eingesparte Wärmemenge (die nicht produziert werden muss) =

Gesamter Energieinhalt des eingesetzten Brennstoffs \* Prozentsatz (z.B. 3-8 %)  
„zusätzlicher Wirkungsgradgewinn“ durch Brennwert-WT

Zu beachten ist, dass sich außerdem eine Temperaturabsenkung lt. der Siegertschen Formel ergibt.

## Reduktion des Sauerstoffgehaltes

Diese Maßnahme ist zu prüfen wenn:

- Sauerstoffgehalt über 5 %
- Insbesondere bei schwankender Last

Eine Reduktion des Sauerstoffgehaltes kann z.B. über einen Brennertausch oder Optimierung der Einstellung erfolgen. Als Zielwert kann bei stufengeregelten Systemen ein Sauerstoffgehalt von 5 % angesehen werden, bei entsprechender Brennerumstellung (Oxygen Trim System) kann dieser sogar auf 2,5 % bei Erdgas oder HEL reduziert werden. Die Messung des Sauerstoffgehalts sollte so nahe wie möglich an der Brennkammer erfolgen. Insbesondere Kessel mit Unterdruck ziehen Luft in den Abgasstrom (Falschluff), die den Verbrennungsvorgang nicht beeinflusst, dadurch verfälscht sich das Ergebnis.

Tabelle 7: Reduktion Sauerstoffgehalt (Harrel, 2002, Wipp, 2011)

	Automatische O <sub>2</sub> Regelung		O <sub>2</sub> Regelung über Stufeneinstellung	
	Min. [ %]	Max. [ %]	Min. [ %]	Max. [ %]
<b>Erdgas</b>	1,5	3	3	7
<b>Heizöl Leicht</b>	2	3	3	7
<b>Heizöl Schwer</b>	2,5	3,5	3,5	8
<b>Biomasse</b>	6	7	7	8

## Einsparbewertung

Die Bewertung der Einsparung erfolgt über die Berechnung des Abgasverlustes über die Siegertsche Formel mit dem Ist-O<sub>2</sub> Gehalt und dem entsprechenden optimierten O<sub>2</sub> Gehalt. Der Kesselwirkungsgrad erhöht sich (bei Annahme gleich bleibender Abgastemperatur) um die entsprechende Differenz. Tatsächlich wird sich die Abgastemperatur bei geringerem Luftüberschuss normalerweise reduzieren (allerdings nicht immer).

$$[\text{Einsp. EUR}] = \text{Kosten}_{\text{Alt}} * (1 - \eta_{\text{Alt}} / \eta_{\text{Neu}})$$

Faustformel: -1 % O<sub>2</sub> im Abgas = +0,5 % Wirkungsgrad

## Einsparmaßnahme

Grundsätzlich kann die Optimierung des Sauerstoffgehalts manuell durch periodisches Messen im Rauchgasstrom erfolgen. Es gibt dazu sehr kostengünstige Testverfahren.

Etwas teurer sind „hand held“ computer-basierte Analysegeräte. Diese zeigen Sauerstoffgehalt, Rauchgastemperatur und damit den feuerungstechnischen Wirkungsgrad an. Kosten (500 -1.000 EUR)

Die Kosten für ein automatisches Sauerstoffregelsystem betragen ab ca. 6.000 bis über 10.000 EUR in Abhängigkeit der Kesselleistung, insbesondere zahlt es sich bei Kesseln mit einer Leistung von über 200 kW aus.



## Reduktion der Abschlammverluste

Tabelle 8: Wichtige Begriffe in der Speisewasserversorgung von Dampfkesseln

<b>Rohwasser (Frischwasser)</b>	Vor der Aufbereitung vorhandenes Wasser (z.B. Brunnen- oder Leitungswasser)
<b>Zusatzwasser</b>	Wird zur Ergänzung der Wasserverluste im Dampfsystem verwendet. Unterschied je nach Aufbereitung.
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weichwasser</li> </ul>	Ionentausch
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teilentsalztes Wasser</li> </ul>	Entkarbonisierung, Ionentausch, Umkehrosmose
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vollentsalztes Wasser</li> </ul>	Ionentausch, Leitfähigkeit kleiner $0,2 \mu\text{S/cm}$ , $< 0,02 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$
<b>Speisewasser</b>	Zur Speisung des Dampferzeugers, Zusatzwasser und Kondensat nach vollständiger Aufbereitung und Konditionierung
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Salzhaltiges Speisewasser</li> </ul>	Leitfähigkeit $> 0,2 \mu\text{S/cm}$
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Salzfrees Speisewasser</li> </ul>	Leitfähigkeit $< 0,2 \mu\text{S/cm}$
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kesselwasser</li> </ul>	Wasser im Kessel: Durch Temperaturerhöhung und damit Lösung der Inhaltsstoffe eingedicktes Wasser

Im Zuge des Verdampfungsvorganges erhöht sich der Salzgehalt und der Gehalt an weiteren Wasserinhaltsstoffen im Kesselwasser. Zur Vermeidung von Ablagerungen oder Schäumen in anderen Anlagenteilen wird der zulässige Grenzwert durch sog. Absalzung gehalten. Diese erfolgt insbesondere bei großen Kesseln unter der Wasseroberfläche (wo sich das Wasser zunächst anreichert). Am Kesselboden entsteht außerdem eine Schlammschicht aus Härtebildnern (chem. Zusätzen aus der Wasseraufbereitung), die u.a. zur Vermeidung von schlechterem Wärmeübergang ausgeschleust wird. Hierfür hat sich das periodische Abschlammen bewährt. Diese beiden Vorgänge (Absalzen und Abschlammen) ergänzen sich bzw. kann die Absalzung auch gemeinsam mit dem (dann häufigeren) Abschlammen erfolgen.

Grundsätzlich kann z.B. eine Verringerung der thermischen Leistung des Kessels auf Probleme bei der Abschlammlung hinweisen, z.B. muss das Abschlammventil laufend nachgestellt werden.

Die Abschlammverluste können je nach Rohwasserqualität und der Art der Aufbereitung bis zu 15 % und mehr betragen, sollten kleiner als 5 % sein und können auf 1 % reduziert werden!

Die Abschlamm-/Absalzverluste werden normalerweise als Prozent des Speisewasserbedarfs ausgedrückt. Der Energieinhalt in Bezug zum Brennstoffeinsatz ergibt den Wirkungsgradverlust des Kessels aufgrund der Abschlammlung.



## Bestimmung der Absalz- und Abschlamm-Menge

Diese Bewertung ist insbesondere bei hohem Zusatzwasserbedarf (also geringer Kondensatrückführmenge) zielführend!

- **Absalzung, Bestimmung über Verhältnis Leitfähigkeit**

Die Absalzung kann automatisch geregelt oder manuell eingestellt sein: Die Steuerung über Messung der Leitfähigkeit eignet sich sehr gut für kontinuierliche Absalzung, der Massenstrom wird dabei aber nicht gemessen.

Die Leitfähigkeit des Speisewassers muss dazu zur Leitfähigkeit des für den Kesselbetrieb vorgegebenen Maximalwerts in Verhältnis gesetzt werden und mit dem Speisewasservolumen multipliziert werden (um den Absolutwert zu erhalten).

$$\% \text{Absalzung} = \frac{\delta_{\text{Speisewasser}}}{\delta_{\text{Kessel}} - \delta_{\text{Speisewasser}}} * 100$$

$\delta$ : Leitfähigkeit in  $\mu\text{S}/\text{cm}$

**Kennzahl:** Dieser Wert sollte nicht über 5 % liegen!

Falls über 5 % sind Wasseraufbereitungsmaßnahmen zu setzen!

Um den Absolutwert zu erhalten, wird dieser Wert mit dem Speisewasservolumen multipliziert.

Bei durchschnittlichen Wasserqualitäten (z.B. 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) Speisewasser und einem geforderten Maximalwert für den Kessel von z.B. 5000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , müssen für 10 t Speisewasser ca. 1 t heißes Kesselwasser ausgespeist werden.

- **Diskontinuierliche Abschlämmung, Bestimmung über Ventilstellung**

Diese erfolgt über eine Zeitschaltung (bis zu 10 Sekunden einstellbar, jedoch eher geringer halten, z.B. 3 Sekunden), 1-3 mal täglich (8-10h) oder stündlich (typischerweise alle 8 h, 3 Sekunden). Hier kann der Durchfluss des Ventils (über Druck und Querschnitt) und damit die Abschlammmenge bestimmt werden und mit der Häufigkeit des Abschlammens multipliziert werden.



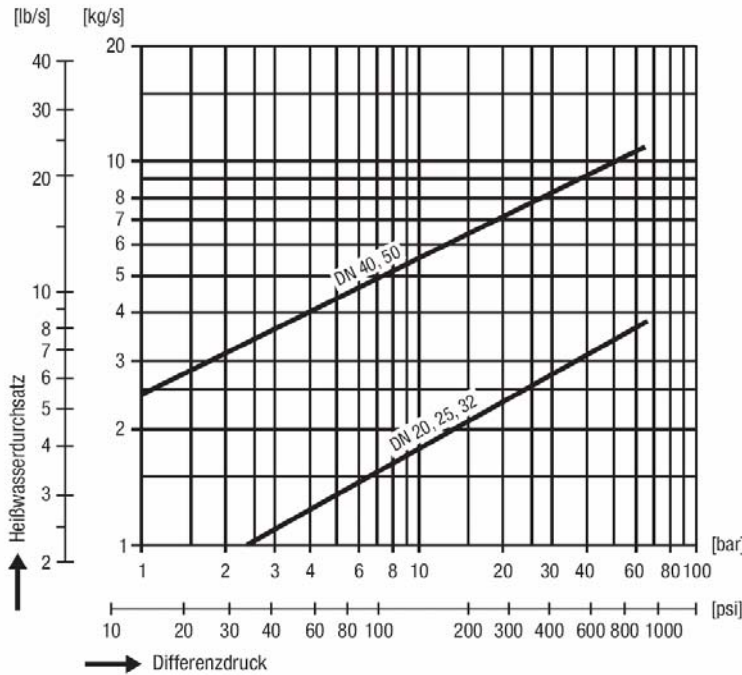


Abbildung 2: Beispiel für Durchflussdiagramm für automatische und händische Abschammventile (PA 46, 47, MPA 46, 47), Gestra (o.J. a)

Abschlammstrom [m<sup>3</sup>/h]=Volumenstrom Ventil [m<sup>3</sup>/h]\*(Öffnungsdauer [s]/3600)\*(Anzahl pro 24 h)/24

Ventilabflussleistungen werden in kg/s angegeben! (Umrechnung: m<sup>3</sup>/h=3,6 \* kg/s)

ODER Abschammstrom in kg/s berechnen.

- **Bestimmung über Wasserstand im Kessel**

Außerdem kann der Abschammstrom über die Absenkung des Wasserspiegels im Kessel über die Absenkung (in cm) und die Fläche (Breite mal Länge) abgeschätzt werden.

## Einsparbewertung

Die **Bewertung der Abschammverluste** erfolgt über den Energieinhalt und ist im wesentlichen vom Druck im Kessel abhängig. (Beachte: Enthalpie des Wassers beim entsprechenden Druck, nicht Enthalpie des Dampfes!)

$$\dot{Q}_{\text{Abschlammverlust}} [kJ/a] = \dot{m}_{\text{Abschlammung}} [kg/h] \times (h'_{\text{Abschlammung bei Kessel Druck}} - h'_{\text{Zusatzwasser}}) \times t [h/a]$$

Oder falls Abschammstrom in [kg/s]

$$\dot{Q}_{\text{Abschlammverlust}} [kJ/h] = \dot{m}_{\text{Abschlammung}} [kg/s] \times (h'_{\text{Abschlammung bei Kessel Druck}} - h'_{\text{Zusatzwasser}}) \times t [s/h]$$

t [s/h] bezieht sich auf die durchschnittliche Öffnungszeit des Abschammventils pro Stunde. z.B. in 10 Stunden 8 Sekunden: 0,8

**Tabelle 9: Stündliche Wärmeeinsparung bei Verringerung der Absalzmenge um die entsprechende Menge (Speisewasser 10°C) (Gestra, o.J.b)**

	8 bar	16 bar	32 bar
20 kg/h	14.853 kJ/h	17.437 kJ/h	18.832 kJ/h
50 kg/h	37.132 kJ/h	43.592 kJ/h	47.080 kJ/h
100 kg/h	20.629 kJ/h	24.218 kJ/h	26.156 kJ/h

Dieser Abwärmeverlust über das Abschlammen ist zur Bestimmung des Kesselnutzungsgrades im Verhältnis zur gesamten eingesetzten Brennstoffmenge zu setzen. [in %]

### Einsparmaßnahme

Eine mögliche Einsparung ergibt sich aus der Verringerung der Abschlammmenge aufgrund besserer Wasseraufbereitung. Für die ökonomische Bewertung sind neben dem verminderten Abschlammwärmeverlust auch die reduzierten Wasseraufbereitungs- und Entsorgungskosten zu berücksichtigen.

#### Wärmerückgewinnung aus Abschlammlung/Absalzung über Entspanner:

Die Wärmerückgewinnung ist nur bei kontinuierlicher Abschlammlung und Absalzung sinnvoll und bei entsprechend hohem Zusatz- (Frisch)wasserbedarf. Rund 50-75 % der Wärme können rückgewonnen werden. Dazu entspannt man den aus dem Kessel kontinuierlich austretenden Abschlam-/Absalzungsstrom.

$$m_{\text{Entspannungsdampfmenge}} = m_{\text{Absalzmenge}} \times \frac{(h'_{HD, \text{Absalzung}} - h'_{ND, \text{Absalzung}})}{r_{ND}}$$

$m_{\text{Absalzmenge}}$  Die Bewertung der Absalzmenge kann entweder nach oben beschriebenen Verfahren erfolgen, oder vereinfacht grob mit ca. 3 % der erzeugten Dampfmenge (5 % bei älteren Kessel) in [kg/h] angenommen werden.

$h'_{ND}$  Enthalpie des Absalzstroms (Druck vor Entspannung)

$h'_{ND}$  Enthalpie des Absalzstroms (Druck nach Entspannung)

$r_{ND}$  Verdampfungsenthalpie für Wasser bei Niederdruck

Ein Rechenbeispiel ist unter Kapitel Nachverdampfung angeführt.

**Die Bewertung [in EUR] der rückgewonnenen Entspannungsdampfmenge erfolgt über den Dampfkosten pro kg.**

Die genauere Bewertung erfolgt mit folgender Formel:

$$\dot{Q}_{\text{Entspannungsdampf}} [kJ / kg] = m_{\text{Entspannungsdampfmenge}} \times (h''_{ND, \text{Kondensat}} - h'_{\text{Zusatzwasser}})$$

$$\text{Einsparung [EUR]} = \frac{\dot{Q}_{\text{Entspannungsdampf}} \times t \times K_{\text{Brennstoff}}}{\eta_{\text{Kessel}}}$$

$t$  Betriebszeit Kessel

$K_{\text{Brennstoff}}$  Brennstoffkosten EUR/kJ

$\eta_{\text{Kessel}}$  Brennstoffnutzungsgrad Kessel

Diesen Einsparungen sind untenstehende Kosten gegenzurechnen (ca. 10.000 EUR inkl. Installation und Verrohrung).

Tabelle 10: Kosten Absalzlaugenentspanner, (Klackl, 2008a)

	Ungefähre Kosten
Kondensatentspanner 300 kg- 1.000 kg/h 13-32 bar, Zul. Betriebstemp. 200-250 °C	1.800 bis 3.000 EUR
Installation	Ca. 2.000 EUR
Verrohrung	Ca. 5.000 EUR

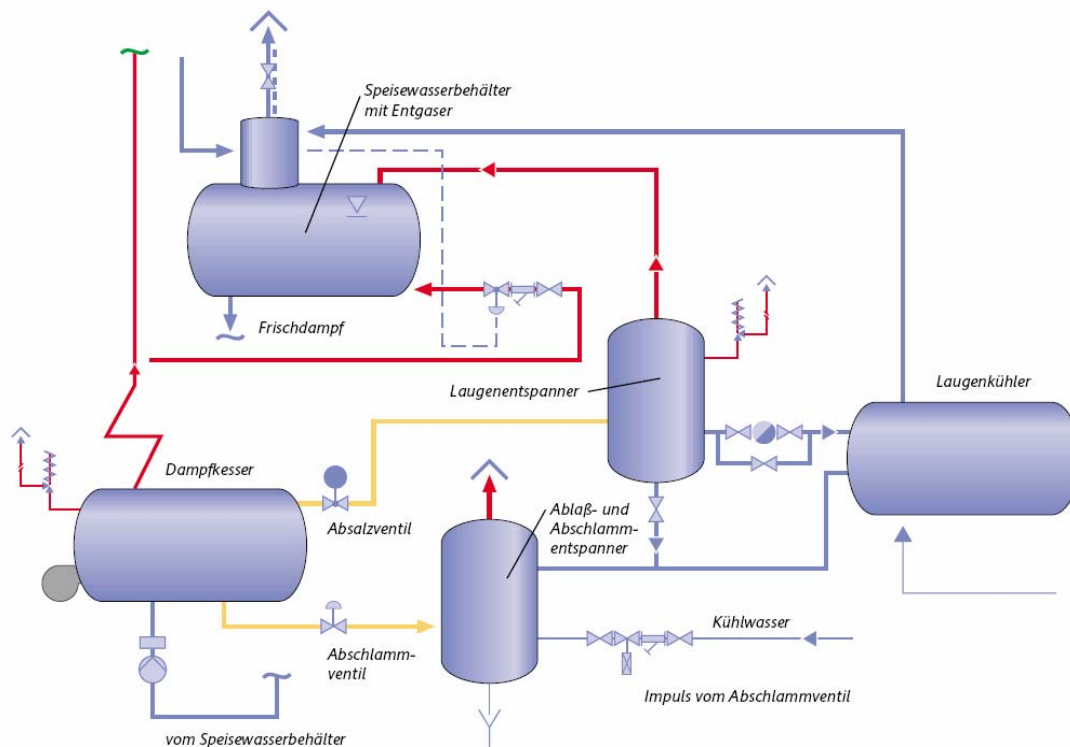


Abbildung 3: Einbindung eines Laugenkühlers in die Dampfzentrale, Gestra (o.J.b), S 38



## Verringerung der Abstrahlverluste

Abstrahlverluste sind normalerweise relativ „klein“ (weniger als 1 %). Flammrohrkessel haben im Vergleich zu Wasserrohrkesseln geringere Verluste.

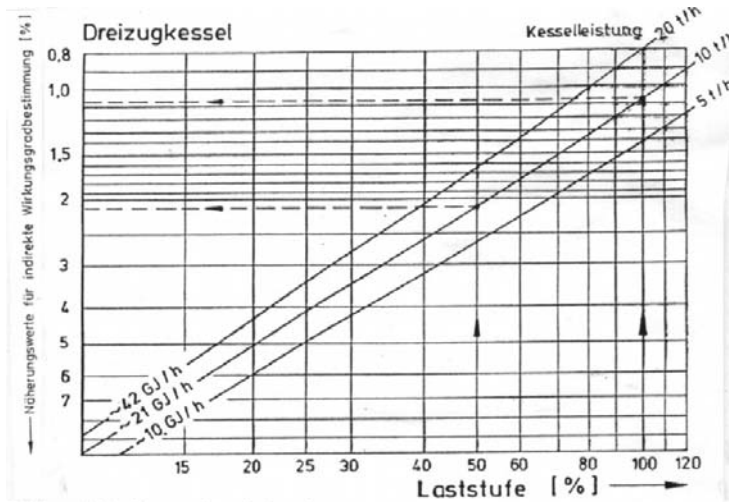


Abbildung 4: Strahlungsverluste für Dampferzeuger (Sattler, et.al., 2009, S22, Original konnte noch nicht erhoben werden!)

Die Verluste durch Abstrahlung sind insbesondere bei neuen Kesselanlagen sehr gering (0,2-0,4 %). Allerdings sind diese Verluste zu einem großen Teil unabhängig von der Last und nur abhängig von der Betriebstemperatur (absolut also konstant). D.h bei geringerer Auslastung nehmen diese Verluste gemessen in Prozent am Energieeinsatz zu, bei halber Last verdoppeln sich daher relativ die Verluste. Folgende Formel kann zur Korrektur der Herstellerangaben über den Abstrahlverlust dienen (Sattler, et.al. 2009):

$$\text{Abstrahlverlust [\%]} = \frac{Q_{\max}}{Q_{\text{Teillast}}} \times \text{Abstrahlverlust\_bei max. Leistung}$$

Insbesondere markante Mängel sollten geprüft werden, beispielsweise Dämmung vorderer und hinterer Wendekammer, der Revisions- und Reinigungsöffnungen am Kesselkörper oder der Abgassammelkammer. Stellen mit hoher Wärmeabstrahlung, sog. „hot spots“, können z.B. mit Infrarotthermometer (100 bis 700 EUR), Thermobildkamera oder einfachem „Hand auflegen“ identifiziert werden. Grundsätzlich sollte die Oberflächentemperatur eines gedämmten Kessels nicht höher als 15 K über der Raumtemperatur liegen. (also z.B. bei Temperaturen im Kesselhaus von 25-30°C bei ca. 45°C).

Die Bewertung der Verluste kann über die Formel für die Gesamtstrahlungsenergie einer Oberfläche mit dem jeweiligen Emissionsgrad erfolgen (Stefan-Boltzmannsche Gesetz):

Die Strahlungsenergie ergibt sich dann für Eisen und Stahl, hochglanzpoliert (Emissionsgrad bei einer Temperatur von 177°C: 0,066), (Recknagel et.al., 2007):

$$E_s [W] = 0,066 \times \sigma \times T^4 \times A$$

$E_s [W]$ : Gesamtstrahlungsenergie in Watt

Strahlungskonstante:  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

T [K]: Oberflächentemperatur in Kelvin

A [m<sup>2</sup>]: Fläche in Quadratmeter



## Verringerung der Durchlüftungsverluste

Aufgrund einer schlechten Regelung bzw. Überdimensionierung des Dampfkessels kann es zu einer hohen Schalzhäufigkeit (Taktung) des Brenners kommen. Im Idealfall sollte der Kessel nicht öfters als ein bis zwei mal pro Stunde takten. Vor dem Einschalten des Brenners soll der Kessel mit Frischluft gespült werden, um die Verpuffung zündfähiger Gemische zu verhindern. Bei jedem Einschaltvorgang entstehen daher Verluste, die im wesentlichen von der Feuerungsleistung des Kessels, dem Dampfüberdruck im Kessel und den Zeiten für die Vorbelüftung und den Öffnungs- und Schließzeiten des Ventils abhängen.

### Bewertung

$$Q_{\text{Einschalverlust}} = 1,26 \times Q_{\text{Brennerleistung}} \times \Delta T \times t_{\text{Gesamt}} \times 10^{-7}$$

$Q_{\text{Brennerleistung}}$  [kW]: Feuerungsleistung des Kessels (ohne Economizer)

$\Delta T$  [K]: Temperaturdifferenz zwischen Ansaugluft und Temperatur im Kessel

$t_{\text{Gesamt}}$  [s]: Mittelwert aus Öffnungs- und Schließzeit des Stellantriebs plus Vorbelüftungszeit:

$$t_{\text{Gesamt}} [\text{s}] = [(t_{\text{ö}} + t_{\text{s}}) / 2] + t_{\text{l}}$$

$t_{\text{ö}}$ ,  $t_{\text{s}}$ : Öffnungs-, Schließzeit des Stellantriebes, normalerweise jeweils ca. 40 bis 60 Sekunden, abhängig von der Kesselgröße

$t_{\text{l}}$ : Vorbelüftungszeit, bis zu 120 s

### Berechnungsbeispiel

Öffnungszeit Stellantrieb  $t_{\text{ö}}$ : 40 s

Vorbelüftungszeit  $t_{\text{l}}$ : 30 s

Schließzeit Stellantrieb  $t_{\text{s}}$ : 30 s

Feuerungsleistung ohne Economizer: 3.642 kW

Mediumstemperatur ca. 184°C (10 bar Dampfdruck)

Aufwärmung der Luft ca.  $\Delta t = 184 - 24 = 160^\circ\text{K}$

Ergebnis: ca. 4,77 kWh pro Anlauf

(Loos International, 2010)

### Einsparmaßnahmen

Als Einsparmaßnahmen kommen eine Vielzahl von Maßnahmen in Frage:

Mehrboilersysteme, modulierender Brenner, Brennerdrehzahlregelung, Dampfspeicher etc.



## Verringerung der Abdampfverluste im Entgaser

Im Entgaser erfolgt die Austreibung verschiedener Gase (gelöster Sauerstoff und Kohlendioxid) aus dem Speisewasser durch Erhitzen. Die Entgasung erfolgt unter Überdruck und daher bei Temperaturen von 102 bis 108 °C (Druckniveaus 1,3 bis 1,5 bar). Dieses Erhitzen erfolgt über Zugabe von Dampf über eine Dampfzange.

Auf dem Speisewasserbehälter befindet sich der Entgaserdom. Das kalte Zusatzwasser und das heiße Kondensat strömen über Verteiler- und Rieselbleche in den Speisewasserbehälter. Im Gegenstrom erwärmt Dampf das eingeleitete Wasser. Die gebundenen Gase werden freigesetzt und steigen mit dem Dampf nach oben. Die aufsteigenden Brüden entweichen aus dem Entgaser als Fege- oder Brüden Dampf.

## Einsparbewertung

Die erforderliche Dampfmenge für Entgasung und Erwärmung beträgt ca. 0,3 bis 0,5 % der Speisewassermenge.

Eine Abschätzung für die Abdampfmenge ergibt sich daher aus:

$m = 0,5 \% \cdot$  zugeführte Speisewasser- und Kondensatmenge

Außerdem kann die Abdampfmenge über den Ventilstrom und die Ventilöffnungszeiten errechnet werden.

$$\dot{Q}_{\text{Entgasungsverlust}} = \dot{m}_{\text{Abdampfmenge}} \times (h'_{\text{Dampf}} - h'_{\text{Zusatzwasser}})$$

$$\dot{Q}_{\text{Entgasungsverlust}} \text{ [kJ/h] Wärmeverlust in kJ/kg}$$

$$\dot{m}_{\text{Abdampfmenge}} \text{ Abdampfmenge in [kg/h]}$$

$$\text{Einsparung [EUR]} = \frac{\dot{Q}_{\text{Verlust}} \times t \times K_{\text{Brennstoff}}}{\eta_{\text{Kessel}}}$$

$t$  Betriebszeit Kessel

$K_{\text{Brennstoff}}$  Brennstoffkosten EUR/kJ

$\eta_{\text{Kessel}}$  Brennstoffnutzungsgrad Kessel

## Einsparmaßnahmen

### Einsparmaßnahme 1:

Die Öffnung des Entgasungsbehälters sollte zur Entgasung zeitlich so kurz wie möglich erfolgen, keinesfalls dauernd. Beispielsweise über ein Ventil, das nur bei Zuströmen von Zusatzwasser entgast. Eine weitere Möglichkeit besteht in der Regelung über den Sauerstoffgehalt des Wassers im Entgasungsbehälter.

Die Bewertung der Einsparung erfolgt über den verringerten Abdampfstrom.



## Einsparmaßnahme 2:

Zur Nutzung der Enthalpie der Brüden wird bei größeren Anlagen ein Brüdenkondensator eingesetzt. Durch die Kondensation des Wasserdampfes in den Brüden wird das aufbereitete Zusatzwasser vorgewärmt.

**Empfehlung ca. 0,5 – 1 % der Kesselleistung als Wrasen (Brüdenkondensator) auslegen.**

**Einsparbeispiel (Schirmer, 2011):**

Ein Kessel 2 t/h hat ungefähr ein Menge von 15 kg/h nutzbaren Abdampf (ca. 9 kW)

$$Q \text{ [kW]} = Q \text{ [kg/h]} * 1,7$$

Damit könnte eine Wassermenge von 402 kg/h um 20 K (50°C auf 70°C) aufgeheizt werden.

Preis des Drallrohrwärmetauschers, ca. EUR 3.100,- + Installation.

15 kg/h Abdampfverlust, 24 h und 220 Arbeitstagen pro Jahr ergibt eine Gesamtdampfmenge pro Jahr von ca.:

$$15 \times 24 \times 220 = 79.200 \text{ kg/Jahr} = 79 \text{ t/Jahr}$$

In Abhängigkeit der Kosten pro Tonne Dampf zwischen 40 EUR,- bis 80 EUR,- ergibt sich eine Ersparnis von: 3.160,- bis 6.320,- EUR pro Jahr.

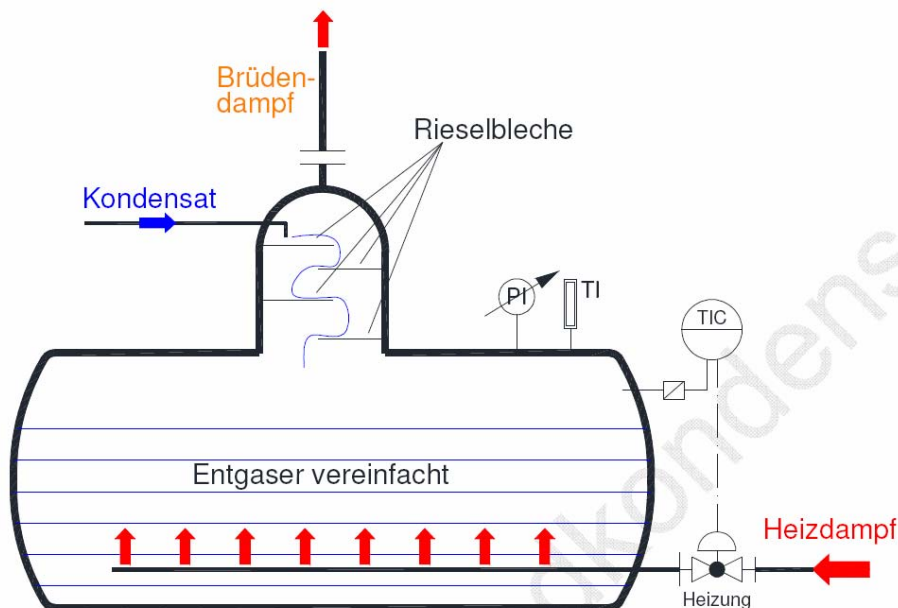


Abbildung 5: Entgaser (Karsten Berlin, 2011, Dokument: Entlüftung)



## Isolierung von Rohrleitungen

Die Isolierung von noch unisolierten Rohrleitungen (sowohl im Dampf- als auch Kondensatsystem) stellt eine der häufigsten und wirtschaftlichsten Einsparmaßnahmen in Produktionsbetrieben dar.

**Erforderliche Daten:** Durchmesser, Länge unisolierter Rohrleitungen, Flanschverbindungen

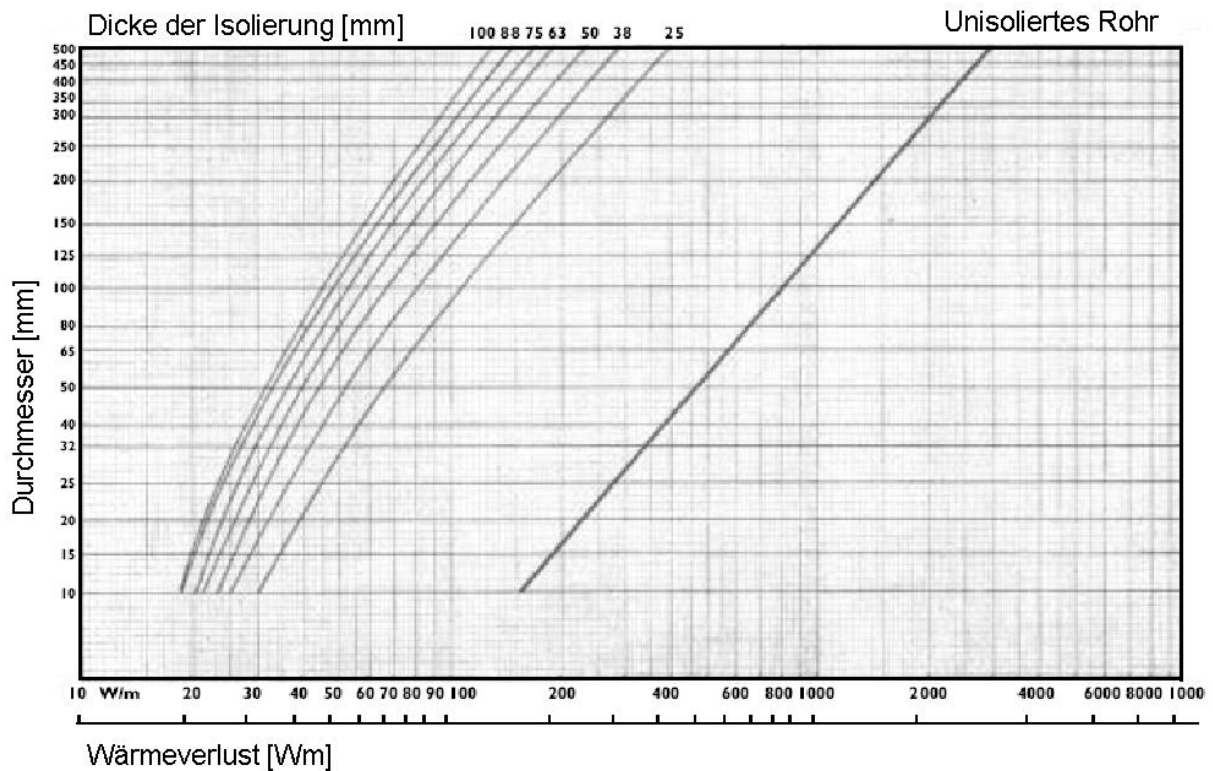


Abbildung 6: Wärmeverlust von Rohrleitungen unterschiedlicher Rohrdurchmesser bei Oberflächentemperatur von  $150^{\circ}C$ , abh. von der Dicke der Isolierung (University of Cape Town, Guide Book 5)



Tabelle 11: Typische Wärmeverluste von Dampfrohren (Carbon Trust 2004)

Rohr Nenndurchmesser	Isolierung	Typische Wärmeverluste[W/m]	
		Dampfleitung	Kondensatleitung
Alle Rohre	Gut Isoliert	40-60	20-35
50 mm	Ohne Isolierung	500	230
75 mm	Ohne Isolierung	650	300
100 mm	Ohne Isolierung	800	400
150 mm	Ohne Isolierung	1.200	560
Andere Oberflächen und Flanschverbindung	Ohne Isolierung	2.500 W/m <sup>2</sup>	1.000 W/m <sup>2</sup>

## Einsparbewertung

$$\text{Verlust [EUR]} = \dot{Q}_{\text{Verlust}} \times t \times K_{\text{Brennstoff}}$$

$$\text{Einsparung [EUR]} = \frac{\dot{Q}_{\text{Verlust}} \times t \times K_{\text{Brennstoff}}}{\eta_{\text{Kessel}}}$$

Wärmeverlust in kWh oder MJ (W/m mal m: Differenz aus Wärmeverlust vor und nach Isolierung!)

$t$  Betriebszeit Kessel

$K_{\text{Brennstoff}}$  Brennstoffkosten EUR/kWh oder EUR/MJ

$\eta_{\text{Kessel}}$  Brennstoffnutzungsgrad Kessel

## Entwässerung von Dampfleitungen

Trotz guter Isolierung kondensiert Dampf in den Leitungen (insbesondere beim Anfahren aufgrund der noch kalten Leitung). Leitungen sind daher:

- fallend in Strömungsrichtung zu verlegen
- über 50-100 cm lange Entwässerungsstutzen und Kondensatableiter (für den Anfahrvorgang) alle 25 -50m zu entwässern (insbesondere auch Tiefpunkte und Leitungsende)
- zu entlüften.

Für die Dimensionierung von Dampfleitungen geht man von Dampfgeschwindigkeiten von 25-50m/s aus. Je mehr Druck in der Leitung, desto kleiner der Querschnitt! (siehe Auslegungsdiagramme für Dampfleitungen der Hersteller)



## Schließen von Leckagen in Leitungen

Ursachen für Leckagen in Dampfsystemen sind vielfältig, z.B. entstehen sie durch schlechte Auslegung, Korrosion oder externe Beschädigung.

Leider gibt es keine einfache Möglichkeit, den Leckagenanteil in einem Dampfsystem zu erheben. Der Leckagenanteil ist abhängig von der Größe und dem Druck in der Leitung.

Grundsätzlich kann die Abschätzung des Volumenstroms über die Bewertung einzelner, großer Leckagen erfolgen. Außerdem kann der Massenstrom bei unterschiedlichen Leckagengrößen gemessen und dann auf ähnliche Leckagen übertragen werden.

Die Reparatur der Dampfleitungen sollte im einfachen Fall bei Betriebsstillstand und druckloser Leitung erfolgen, allerdings sind je nach Leckagengröße und dem damit verbundenen Sicherheitsrisiko auch Reparaturen im laufenden Betrieb nötig.

## Einsparbewertung

Eine grobe Bewertung des Energieverlustes kann z.B. über die sog. Napiers Näherungsformel erfolgen:

$$\text{Dampfleckage (kg/h)} = A^2 \times B \times C$$

A = Lochgröße (mm)

B = 0.4 (Konstante)

C = Absoluter Druck (bar)

Bei nicht ganz runden Leckagen kann man ca. 60 % des oben errechneten Wertes ansetzen.

Die Bewertung kann über die Dampfkosten pro kg erfolgen.

Die genauere energetische Bewertung erfolgt über die im Dampf enthaltene Enthalpie [kJ/kg]:

$$\text{Verlust Leckage [kJ/kg]: } Q_{\text{Leckagenverlust}} = m_{\text{DampfstromLeckage}} \times (h'_{\text{Dampf}} - h'_{\text{Zusatzwasser}})$$

$$\text{Einsparung [EUR]} = \frac{Q_{\text{Verlust}} \times t \times K_{\text{Brennstoff}}}{\eta_{\text{Kessel}}}$$

Wärmeverlust in kWh oder MJ (W/m mal m: Differenz aus Wärmeverlust vor und nach Isolierung!)

t Betriebszeit Kessel

$K_{\text{Brennstoff}}$  Brennstoffkosten EUR/kWh oder EUR/MJ

$\eta_{\text{Kessel}}$  Brennstoffnutzungsgrad Kessel

## Reparatur von Kondensatableitern

Kondensatableiter haben folgende Funktionen:

- Ableiten größerer Menge an Kondensat bei Inbetriebnahme
- Entlüften der Dampfleitung
- Trennen von Dampf und Kondensat, Ableitung des Kondensats im Betrieb

Bei Begehungen sind folgende Fragen bezüglich Kondensatableitern zu stellen:

### Richtiger Typ?

Tabelle 12: Arten von Kondensatableitern (Quellen: Spirax Sarco, 2006, 2007)

Arten von Ableitern	Funktionsweise, Schäden, Fehleranzeige
<b>Mechanische Kugelschwimmer Kondensatableiter</b>	<p><b>Einsatzgebiete:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Wärmetauscher (Dampfseitig geregelte WT, anstaugeregelte WT) geregelte Lufterhitzer, Brauchwassererwärmer</li> <li>• Kochkessel, Trockenkammern, Heizschlagen, Trockenzylinder</li> <li>• Mangeln in Wäschereien</li> <li>• Lufterhitzer, Würzpfannen, Pasteure, CIP-Anlagen Beheizung und UH-Anlagen in der Lebensmittelindustrie</li> <li>• Luftbefeuchtung, Behälterüberlauf, geregelte Lagertanks</li> </ul> <p><b>Funktionsweise:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwimmer öffnet oder schließt Ventil, je nach Kondensatanstrom; Entlüftung erfolgt gesondert durch eingebautes Entlüfterelement!</li> </ul> <p><b>Eigenschaften, zu beachten:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kondensatableitung ohne Kondensatanstau (kontinuierliche Ableitung), keine Kondensatunterkühlung</li> <li>• große Leistung bei kleinen Druckdifferenzen, unabhängig gegenüber Druckschwankungen</li> <li>• Durchflussrichtung und Einbaulage (nicht auf dem Kopf!) beachten</li> <li>• Schmutzfänger notwendig!</li> <li>• Bei Wasserschlagsgefahr nicht einsetzen</li> <li>• Bei Heißdampf Bimetallentlüfter einsetzen</li> <li>• Frostgefährdet</li> </ul>
<b>Thermische Kapsel-Kondensatableiter,</b>	<p><b>Einsatzgebiete -Thermische Kapselkondensatableiter:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dampfleitungen, Dampfstrahlröhren, Ungeregelte Lufterhitzer, Sterilisation, Desinfektion, Sterile Dampfleitungen, Dampfsterilisation und Waschanlagen in der Medizin</li> </ul>



<b>Thermische Bimetall - Kondensatableiter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wärmetische in Küchen, Geschirrwaschanlagen, Textilfixierung, Spannrahmen, Tunnelfinisher (Wäschereien)</li> <li>• Gummiindustrie: Reifenpressen, Mehretagenpressen, Abfüllanlagen in der Lebensmittelindustrie</li> </ul> <p><b>Einsatzgebiete thermische Bimetall-Kondensatableiter:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Begleitheizungen (Chemie, Raffinerie), unregelmäßige Heizschlangen und -register, unregelmäßige Lagertanks</li> </ul> <p><b>Funktionsweise:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Durch die thermische Kapsel bzw. das Bi-Metallelement wird die Kondensatableitung geöffnet (beim Anstrom von kaltem Kondensat) bzw. geschlossen</li> <li>• Kondensat wird zunächst um 6 bis 24 K (20-25 K bei Bi-Metallen) unter Sattdampf Temperatur unterkühlt, stauen Kondensat an</li> </ul> <p><b>Eigenschaften, zu beachten:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zuleitung und Ableiter Nicht ISOLIEREN!</li> <li>• Gut: Entlüftungseigenschaften, unempfindlich gegen Wasserschlag und Frost</li> <li>• Ungeeignet für: Starke Last- und Druckschwankungen Dampfseitig geregelte Wärmetauscher, Dampftrockner, weitere Dampf Räume, in die kein Kondensat rückgestaut werden darf.</li> </ul>
<b>Thermodynamische Kondensatableiter</b>	<p><b>Einsatzgebiete:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Heißdampfleitungen, unregelmäßige Heizregister und Luftheizer, unregelmäßige Lagertanks, Bügelpressen in Wäschereien, bei Frostgefahr;</li> </ul> <p><b>Funktionsweise:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ein Ventilteller öffnet bei Kondensatanfall, der schnell strömende Nachdampf schließt den Teller wieder,</li> </ul> <p><b>Eigenschaften, zu beachten:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Kondensatunterkühlung (stärkere Nachverdampfung), leiten kontinuierlich ab</li> <li>• Druckdifferenzen einhalten: ab 1 bar Überdruck, Druck in Kondensatableitung darf nicht über 80 % des Drucks vor Kondensatableiter liegen</li> <li>• Geeignet bei schwankendem Druck- und Kondensatanfall</li> <li>• Unempfindlich gegen Wasserschläge, Verschmutzung</li> <li>• Bei hohem Kondensatfluss ungeeignet</li> </ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schlechte Entlüftung!</li> <li>• Funktionsweise überprüfbar</li> <li>• Falls kein Kondensat anfällt, öffnet der Ableiter nach 30 Sek. bis halbe Stunde für ganz kurze Zeit</li> </ul>
<b>Aktive, Pump-Kondensatableiter</b>	<p><b>Einsatzgebiete:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Für Fälle, wo der Druck im Dampfsystem geringer wird als der Druck im Kondensatsystem (z.B. für WT unter 100°C, geringe Auslastung...)</li> <li>• Für dampfseitig geregelte Wärmetauscher, geregelte Luftherhitzer</li> <li>• Anlagen in der Lebensmittelindustrie und Brauereien</li> </ul> <p><b>Funktionsweise:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei Kondensatanfall öffnet Schwimmer Auslassventil und Kondensat fließt bei ausreichendem Differenzdruck in Kondensatleitung</li> <li>• Bei zu geringem Differenzdruck wird Frischdampf eingelassen, um Kondensat aktiv zu fördern.</li> </ul> <p><b>Eigenschaften, zu beachten:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verhindert Rückstau in Wärmetauscher</li> <li>• Schützt vor Dampf- und Wasserschlägen</li> <li>• Korrekte Installation von Druckpendelleitung und Durchflussrichtung beachten</li> <li>• Langsames Anfahren nötig</li> </ul>
<b>Blenden</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhebliche Dampfverluste (keine beweglichen Teile), „leiten“ statisch ab</li> <li>• erhöhter Dampfanteil im Kondensatsystem, Wasserschlaggefahr...</li> </ul>

## Korrekte Installation?

Der Abstand des Kondensatableiters vom Dampfraum soll max. 0,3 bis 1 m vom Dampfraum entfernt sein; bei Bimetallableitern (thermische Kondensatableiter) soll die Entfernung einige Meter betragen, die Leitung darf nicht isoliert sein.

Ein Kondensatableiter kann nur unter entsprechender Druckdifferenz Kondensat ableiten. Daher sollte sich nach dem Kondensatableiter keine Steigleitung befinden, die den Druck auf den Druck vor dem Kondensatableiter erhöht. Falls notwendig ist diese siphonartig und eine Nennweite kleiner als der Kondensatableiter auszuführen. (ausgenommen sind Pumpkondensatableiter)

Niemals zwei Kondensatableiter in Reihe (hintereinander) installieren: Der Nachdampf aus dem Kondensat aus dem ersten Ableiter sammelt sich vor dem zweiten und erhöht den Gegendruck für den ersten, wodurch dieser nicht mehr richtig entwässert.



Gruppenkondensatableiter bzw. Sammelentwässerung vermeiden, d.h. auch einander ähnliche Verbraucher einzeln entwässern. Bei geringerer Belastung (z.B. am Ende eines Prozesses) eines Verbrauchers gelangt Dampf zum Ableiter, wodurch dieser schließt und Kondensat in die anderen Verbraucher rückstaut. (siehe auch Information zu Entwässerung der Dampfleitung, S 21) (Spirax Sarco, 2007)

### Richtiges Entlüften

Zum Entlüften werden thermische Kapsel-Entlüfter oder Bimetallentlüfter verwendet und werden meist bei Leitungen und Behältern oben angebracht, damit keine Blockierung durch Kondensat möglich ist.

### Funktionsweise?

Grundsätzlich können Kondensatableiter sehr lange Standzeiten von bis zu 20 Jahren haben. Dennoch ist in einem gewarteten System die Funktion von ca. 10 % aller Kondensatableiter im Laufe eines Jahres gestört. Dieser Anteil lässt sich auf ca. 5 % reduzieren. Falls drei bis fünf Jahre keine Begehung erfolgte, können rund 30 % der Ableiter Fehlfunktionen ausüben.

Die Identifizierung von fehlerhaften Kondensatableitern ist jedoch nicht ganz einfach, da es je nach Art des Ableiters unterschiedliche Hinweise auf Fehlfunktionen gibt.

Folgende Schäden können auftreten:

- Durchblasen (bläst Dampf aus)
- Tw. durchblasen...
- Verstopft (leitet kein Kondensat ab) (dies führt zu keinem Energieverlust im Dampfsystem, sondern zu verminderter Funktionsweise von Wärmetauschern)

Am Kondensataustritt entsteht grundsätzlich immer Kondensat und Dampf (Nachdampf aus der Kondensatentspannung), sodass rein das Auftreten von Dampf noch kein Indikator für eine Fehlfunktion ist.

### Fehlererkennung

#### Thermometer

- Eignen sich, um Wasserblockade festzustellen
- Bimetall-Ableiter führen Kondensat mit Unterkühlung unter Sattdampf Temperatur ab

Abhören von Kondensatableitern mit Stethoskop ist nicht zu empfehlen, besser:

#### Elektronisches Ultraschall-Lecksuchgerät:

- Wenn die Geräuschstärke von einem zum anderen Kondensatableiter mit (normalerweise) ähnlichen Durchfluss wechselt, ist das ein Hinweis auf Leckagen.
- Unabhängig von Störgeräuschen aus dem Umfeld
- Zyklisch wiederholende Geräusche der Kondensatableiter zeigen ihre Funktionsfähigkeit an. Öffnen des Kondensatableiters, Ausströmen des Kondensates und Schließen des Ableiters sind zu hören.
- Starke Ultraschallgeräusche weisen auf einen durchblasenden, sehr schwache Geräusche auf einen blockierenden Kondensatableiter hin.



### **Thermodynamische Kondensatableiter**

- Typisches Strömungsgeräusch ist ohne Hilfsmittel erkennbar. Schließzeiten ohne Strömungsgeräusch beträgt ca. 15 oder 20 Sekunden und mehr, unter 10 Sekunden deuten auf Abnutzung hin, keine Schließzeiten auf Durchblasen.
- Im geschlossenen Zustand sollte nur ganz wenig Dampf (aufgrund Verdampfung von verbleibenden Wassertropfen) sichtbar sein, im geöffneten Zustand ist Nachdampf erkennbar (das ist kein Durchblasen von richtigem Dampf!);

### **Schwimmer, Bimetall Ableiter**

- Leiten kontinuierlich ab (Bimetall Ableiter nicht immer), falls der Ausblasstrom nahe der Austrittsöffnung unsichtbar ist, dann bläst dieser Kondensatableiter Dampf aus. Falls der Kondensatableiter in offenem Zustand blockiert ist, dann weist lauter und konstanter Ausstrom auf Fehler (Durchblasen) hin.

## Einsparbewertung für Leckagenverluste bei Kondensatableitern

Eine exakte Bewertung aller Leckagen ist unmöglich bzw. steht nicht im Verhältnis zum Nutzen. Daher können folgende Annäherungen durchgeführt werden:

### 1) Abschätzungen über folgende Tabelle:

Tabelle 13: Dampfverlust aus einem Kondensatableiter, gilt für komplett offene Ableiter (Europäische Kommission, 2009)

Kondensatableiter- Öffnung Durchmesser [mm]	Dampfverlust in kg/h			
	Druckniveau [bar]			
	1	7	10	20
1	0,38	1,5	2,1	
2	1,5	6	8,6	16,4
3	6,2	24	43,4	65,8
4	13,9	54	77	148
6	24,8	96	137	263
8	55,8	215	309	591

### 2) Die Napiers Formel

Dampfleckage (kg/h) = A<sup>2</sup> x B x C

A = Lochgröße (mm)

B = 0.4 (Konstante)

C = Absoluter Druck (bar)

3) Eine weitere (selten angewendete!) Möglichkeit bietet folgende Formel für den Verlust abh. Von der Fehlfunktion eines Ableiters (Europäische Kommission, 2009, Übers. KK)

$$\text{Dampfverlust [t/a]} = \frac{1}{150} \times BZ \times LF \times 3,43 \times d^2 \times t \times \sqrt{p_{\text{ein}}^2 - p_{\text{aus}}^2}$$

Dampfverlust in Tonnen/a!!

t....Die Anzahl der Betriebsstunden des Kondensatableiters pro Jahr



<b>BZ: Betriebszustand</b>		d: Durchmesser in [cm]!!
<b>Betriebszustand</b>	<b>BZ</b>	
Durchblasen	1	
Leckagen	0,25	
Schnelles Schalten	0,2	
<b>LF: Lastfaktor</b>		$p_{\text{ein}}$ (atm) Vor dem Kondensator [bar] $p_{\text{aus}}$ (atm) Nach dem Kondensator [bar]
<b>Anwendung</b>	<b>LF</b>	
Standard Anwendung	0,9	
Streckenentwässerungen	1,4	
Dampfstrom (ohne Kondensat)	2,1	

**Ein Kondensatableiterwartungssystem besteht aus:**

- Ausbildung und Erfahrung der Mitarbeiter (für die Leckagensuche)
- Aufnahme jedes Kondensatableiters (am besten in einer Tabelle)
- Jährliche Beurteilung des Zustandes
- Identifizierung und Beseitigung der Schäden, gegebenenfalls Ersatz

Bei der Begehung sollte zur Beurteilung des Zustandes neben der Funktionsweise (in Ordnung/nicht in Ordnung) auch die Größe, der Typ und die richtige Installation geprüft werden.

Die Wartung der Kondensatableiter sollte in Abhängigkeit des Druckniveaus erfolgen: Größer 10 bar (etwa monatlich); bis 10 bar vierteljährlich; unter 2 bar jährlich.

**Tabelle 14:** Bei der Begehung kann eine Liste der Fehlerbeschreibung wie folgt aussehen, Europäische Kommission (2009), Übers.:KK

Beschreibung	Maßnahme
Ok	Keine Maßnahme notwendig
Durchblasen	Dampf strömt aus, maximaler Verlust Reparatur oder Ersatz des Ableiters
Leck	Dampf strömt aus Reparatur oder Ersatz des Ableiters
Schnelles Schalten	Thermodyn. Ableiter ist zu ersetzen
Verstopft	Kein Kondensat kann austreten
Geflutet	Kondensatableiter ist zu klein
Nicht in Betrieb	Die Dampflinie ist außer Betrieb
Nicht getestet	Konnte nicht überprüft werden

**Kosten:** Ca. 300 EUR pro Ableiter



## Optimierung der Kondensat-Rückführung

Das Kondensat aus Prozess-Wärmetauschern hat noch einen beträchtlichen Energiegehalt.

Kondensatsammlung erfolgt über Sammelrohrleitungen, in denen das Kondensat zurückgepumpt wird. Dabei ist insbesondere auf Rohrdurchmesser und genügend Pumpkapazität zu achten.

Kondensatleitungen sind fallend in Strömungsrichtung zu verlegen, Wassersäcke sind zu vermeiden. Kondensatleitungen sollten niedriger als die Dampfleitung verlegt werden. Zur Kontrolle des Gegendrucks sind auch in Kondensatleitungen Manometer hilfreich!

Bei Gefahr von Kontaminierung des Kondensats kann entweder nur der saubere Kondensatstrom wieder verwendet werden und/oder der verunreinigte Kondensatstrom über pH-Wert, Leitfähigkeitsmessung oder Gesamtkohlenstoff kontrolliert werden. Außerdem kann die Wärme des Kondensats indirekt wieder verwendet werden.

## Bewertung

### Energetischer Verlust

$$\text{EnergieinhaltKondensat}[\text{kg} / \text{kJ}] = m_{\text{Kondensat}} \times (h'_{\text{Kondensat}} - h'_{\text{Zusatzwasser}})$$

$$\text{Kondensatrückführeinsparung}[\text{EUR}] = \frac{m_{\text{Kondensat}} \times (h'_{\text{Kondensat}} - h'_{\text{Zusatzwasser}}) \times t \times K_{\text{Brennstoff}}}{\eta}$$

$m_{\text{Kondensat}}$  Kondensatmenge in kg/h

Die Kondensatmenge muss um die Nachdampfmenge reduziert werden. (siehe Nachverdampfung, z.B. 10 %).

$t$  Betriebszeit Kessel

$K_{\text{Brennstoff}}$  Brennstoffkosten EUR/kWh oder EUR/MJ

$\eta_{\text{Kessel}}$  Brennstoffnutzungsgrad Kessel

### Einsparung Zusatzwasseraufbereitung

Außerdem ergibt sich eine weitere Einsparung durch die verminderte Menge an zu entsorgendem und aufzubereitendem Wasser.

Dazu sind die Kosten für Speisewasser (chemisch aufbereitet, entsprechende Temperatur) [EUR/m<sup>3</sup>] und die Abwasserentsorgungskosten [EUR/m<sup>3</sup>] zu erheben.

## Einsparmaßnahmen

- 1) Grundsätzlich ist das Ziel, nach dem Wärmeverbraucher die Kondensattemperatur so niedrig wie möglich zu halten. Dies weist auf gute Wärmeübertragung hin. Innerhalb des Kondensatnetzes ist allerdings die Temperatur so hoch wie möglich zu halten.
- 2) Einrichtung eines geschlossenen Kondensatsystems oder Sammlung und Wiederverwertung von Kondensatströmen
- 3) Erhöhung der Kondensatrücklauftemperatur und -menge durch Schließen von Lecks in Kondensatleitung und -ableitern und Isolierung der Kondensatleitung; Bewertung über oben stehende Formel.



## Nutzung der Nachverdampfung

### Einsatzgebiete

Kondensat aus der Hochdruckleitung wird nach der Kondensatableitung entspannt, die freiwerdende Energie verdampft nach. Ca. 5-15 % Gewichtsprozent des Kondensats werden zu Dampf. Der Dampf kann bei vorhandenen Niederdruck-Wärmetauschern, die bisher über Reduzierung von Hochdruckdampf versorgt wurden, eingesetzt werden. Beispielsweise: Warmwasserbereiter, Verdampfer, Lufterhitzer

Manche Verbraucher können von 4 bis 8 bar auf 0,5 bar umgestellt werden, falls nötig sind zusätzliche Wärmetauscherflächen nachzurüsten.

Die letzte Entspannungsstufe sollte nahe Atmosphärendruck sein (0,2 bis 0,5 bar Überdruck).

Von einer Dampf verbrauchenden Anlage wird ein Teil der Heizfläche abgetrennt und mit Nachdampf beheizt. Nachteil: Teurer, größerer Umfang der Anlage. Entspanner, Reduzierstation und größere Gesamtheizfläche sind notwendig, da die Temperatur niedriger ist.

### Einsparbewertung

Die Nachdampfmenge ist abhängig vom Druckunterschied vor und nach dem Kondensatableiter.

#### 1) Menge, Druck und Temperatur des anfallenden Kondensats sind zu bestimmen.

- a) Ist der Dampfverbrauch bekannt, so entspricht die Kondensatmenge der Dampfmenge in kg/h.
- b) Bei unbekanntem Dampfverbrauch kann man die Kondensatmenge messen. Das Kondensat wird vom Ableiter z.B. in eine Auffangvorrichtung geleitet. Dabei bestimmt man das Volumen/Gewicht innerhalb einer bestimmten Zeit (theoretisch wären die Verdampfungsverluste zu berücksichtigen). Eine weitere Möglichkeit besteht nach der Kühlung des Kondensats auf 80°C dieses mit einer Wasseruhr zu messen.
- c) Aus der Wärmeleistung:  
Für Überschlagsrechnung:  $m=Q*1,7$   
Q in [kW], m [kg/h], 1,7 ergibt sich aus 3.600/ ca. 2.100 kJ/kg (Verdampfungswärme h)
- d) Der Kondensatstrom kann auch aus der Heizfläche des Wärmetauschers berechnet werden.

$$m = \frac{A * k * (T_d - \frac{T_1 + T_2}{2})}{r}$$

$T_d$ .....Dampf Temperatur

$T_1, T_2$ ....Temperaturen WT Eingang/Ausgang des aufzuheizenden Stoffes [°C]

A ...Fläche in [m<sup>2</sup>]

k ...Wärmedurchgangszahl [W/m<sup>2</sup>K]

r ...Verdampfungswärme, ca. 2.100 kJ/kg umgerechnet in 583 W

Gilt für  $0,5 < \frac{T_d - T_1}{T_d - T_2} < 2$

$$T_m = \frac{(T_d - T_1) - (T_d - T_2)}{\ln \frac{T_d - T_1}{T_d - T_2}}$$

## 2) Entspannungsdruck festlegen und Ermittlung der Nachdampfmenge

$$m_{\text{Kondensatnachverdampfung}} = m_{\text{Kondensat}} \times \frac{(h'_{\text{HD,Kondensat}} - h'_{\text{ND,Kondensat}})}{r_{\text{ND}}}$$

$h'_{\text{ND,Kondensat}}$  (Druck vor Kondensatableiter)

$h'_{\text{ND,Kondensat}}$  (Druck nach Kondensatableiter)

$r_{\text{ND}}$  Verdampfungsenthalpie für Wasser bei Niederdruck

$m_{\text{Kondensatnachverdampfung}}$  Menge an Nachdampf in [kg/h]

$m_{\text{Kondensat}}$  Menge an Kondensat in [kg/h]

### Rechenbeispiel:

Druckreduzierung von 3,5 bar auf 1 bar

$$\text{Nachdampfmenge in \% pro kg Kondensat} = \frac{584 \text{ kg / kJ} - 417 \text{ kg / kJ}}{2.258 \text{ kg / kJ}} \times 100 = 7,4\%$$

Die Einsparbewertung kann über die Dampfkosten erfolgen.

Die genauere energetische Bewertung erfolgt über folgende Formel:

$$\text{Nachdampfenthalpie [kJ / kg]} = m_{\text{Kondensatnachverdampfung}} \times (h'_{\text{ND,Kondensat}} - h'_{\text{Zusatzwasser}})$$

Kriterien zum Einsatz von Nachdampf:

- Verbraucher sollte konstant zumindest Nachdampfmenge benötigen
- Verbraucher in Nähe des Kondensatanfalles
- „Energie“-Gewinn nimmt mit Druckdifferenz zu, daher sollte der Entspannungsdruck gering sein

## Analyse der Verbraucher

Tabelle 15: Aufnahme der Verbraucher mit folgender Tabelle (nach Berlin, 2011)

Verbraucher	T [°C] tats/erf.	p [barü] (überhitzt?)	m [kg/h] Dampf oder [kW]	Betriebsstunden [h]
Verbraucher 1				
Verbraucher 2				

Falls der Massenstrom Dampf für die einzelnen Verbraucher nicht bekannt ist, müssen für jeden Verbraucher folgende Parameter aufgenommen werden.

Tabelle 16: Benötigte Parameter, wenn Massenstrom Dampf unbekannt ist

Verbraucher 1	Parameter
T Eingang [C°]	
T Ausgang [C°]	
c ...spezifische Wärmemenge	
r...Verdampfungswärme (falls verdampft wird)	
Massenstrom des Abnehmers! [kg/h, oder m <sup>3</sup> mal Dichte]	
<b>Errechnete Nutzwärme</b>	

Die Nutzwärme und die entsprechende Dampfmenge errechnet sich dann wie folgt:

$$\dot{Q} = \dot{m} \times c \times (T_2 - T_1)$$

c spezifische Wärmekapazität [kJ/kgK]

$$\dot{Q} \text{ Wärmemenge in [kJ]}$$

$\dot{m}$  Massenstrom des aufzuwärmenden Stoffes in [kg/h]

$$\dot{Q} = \dot{m} \times c \times (T_2 - T_1) + \dot{m} \times r$$

r spezifische Verdampfungswärme

Umrechnung Wärmemenge in Dampfstrom

$$m=Q /r$$

$$\dot{m} = Q * 1,7$$

$\dot{m}$  ...Dampfmassenstrom [kg/h]

$\dot{Q}$  ...Wärmeleistung Wärmetauscher [kW]

1,7... Abschätzung für 3.600/h` `

Bei weitergehenden Energieanalysen ist es jedenfalls sinnvoll auch weitere Verbraucher aufzunehmen, die mit Kondensat, Heißwasser, elektrisch oder mit anderen Medien versorgt werden. Diese Analyse kann dazu dienen, weitere Abnehmer für Nachverdampfung, Kondensat oder Abwärmerückgewinnung aus dem Abgas (Economizer oder BrennwertWT) zu identifizieren.

Insbesondere die Dampfverbraucher sind nach Druckniveau aufzulisten.

**Folgende Maßnahmen können geprüft werden:**

- Zusammenfassen von Verbrauchern mit ähnlichen Temperaturniveaus
- Evt. Reduktion des Druckniveaus durch Erweiterung der Wärmetauscherflächen bei einzelnen Verbrauchern
- Aufbau eines Kaskadensystems, evt. Versorgung einzelner Verbraucher mit Kondensat bzw. Nachdampf aus dem Kondensat, dazu Verbraucher mit niedrigem Druckbedarf nach Verbrauchern mit hohem Druck schalten (auch zeitlich)
- Versorgung von Niedertemperaturverbrauchern mit Abwärme aus Dampfsystem



## Wärmetauscher

Ungeregelte Heizungen werden mit Bimetall-Kondensatableitern entwässert.

Wärmetauscher müssen/sollen allerdings unter folgenden Umständen geregelt werden:

- Bei Beschränkung der Temperaturniveaus
- Wenn Temperaturschwankungen unzulässig sind
- Wenn effizienter Betrieb erforderlich ist

### Dampfseitige Regelung von Wärmetauschern

Regelventile auf der Dampfseite von Wärmetauschern regeln die Temperatur über das Druckniveau, durch Erhöhung oder Verringerung des Durchflusswiderstandes. Daher ist diese Regelung mit schwankendem Druck im Dampfraum verbunden. Es ist dazu ein Druckabfall am Regelventil von mind. 10-20 % erforderlich. Dieser Druckabfall ist bei der Leistungsberechnung des Wärmetauschers zu berücksichtigen.

Wird für schnelle Prozesse und bei hohem Leistungsbedarf eingesetzt. Bei starken Lastschwankungen sind auch beim Einsatz von Kugelschwimmer-Ableiter Rückstaueffekte möglich.

Bei dieser Regelung kann der Dampfdruck im Wärmetauscher (z.B. bei Temperaturen unter 100°C und geringerer Auslastung) geringer als der Druck im Kondensatsystem sein. (ggf. auch unter Umgebungsdruck). Hier ist der Einsatz von aktiven Kondensatableitern zu empfehlen, da z.B. Vakuumbrecher einerseits Luft zuführen (damit Sauerstoff und Korrosion) andererseits das Problem nur verschieben, da auch bei Atmosphärendruck je nach Anlagenbedingungen Rückstau möglich ist. Die Beurteilung kann über sog. Rückstaudiagramme erfolgen. (siehe Spirax Sarco 2006)

### Kondensatseitige Regelung von Wärmetauschern

Diese Regelung hält den Druck im Dampfraum und damit die Temperatur in etwa konstant und nutzt die Restenergie des heißen Kondensats aus. Daher kommt es zu niedrigen Kondensattemperaturen und zu geringer Nachverdampfung.

Allerdings staut das Kondensat in den Wärmetauscher zurück und es kommt zu Dampfimplosionen. Diese Regelung ist auch nur für relative stabile Betriebsparameter geeignet, das Regelventil soll exakt ausgelegt sein.

### Optimaler Betrieb von Wärmetauschern

- Keine Verwendung von überhitztem Dampf
- Entlüftung des Wärmetauschers
- Rasche Abführung des Kondensats (Rückstau vermeiden: Korrekte Installation des Kondensatableiters)
- Funktionierende Temperaturregelung



## Quellen

Berlin, Karsten: Informationen auf [www.dampfundkondensat.de](http://www.dampfundkondensat.de), 23.3.2011

Carbon Trust (2003): ECG066, Energy Consumption Guide, Steam Generation Costs 2003 (Update), Actionenergy from Carbon Trust

Carbon Trust (2004) ECG092, Energy Consumption Guide, Steam Distribution Costs, 2004 (Update), Actionenergy from Carbon Trust

Department of the Environment (1996): Fuel Efficiency Booklet 2, Steam, Energy Efficiency Best Practice Programme

EUREM (2005): Unterlagen zur Ausbildung zum Europäischen Energiemanager, EUREM II Kurs, Wirtschaftskammer Österreich

Europäische Kommission (2009): Reference Documents on Best Available Techniques on Energy Efficiency

Gestra (o.J. a): Betriebsanleitung 808565 – 01 (o.J.)

Gestra (o.J. b): Ausrüstung für Energiezentralen, S 39, Bremen o.J., [www.gestra.de/produkte/downloads](http://www.gestra.de/produkte/downloads) (abgerufen am 3. April 2010)

Harrel, Greg (2002): Steam System Survey Guide, Oak Ridge National Laboratory, for the U.S. Department of Energy BestPractices Steam Program

IBS Ingenieurbüro für Haustechnik, Schreiner, [http://energieberatung.ibs-hlk.de/grundl\\_brennw.htm](http://energieberatung.ibs-hlk.de/grundl_brennw.htm), abgerufen am 23.3.2011

Klackl, Johann (2008a), Eichler GmbH: Energieeffizienzmaßnahmen bei Dampf- und Wärmeversorgungsanlagen, Vortrag beim OEKV-Seminar „Erfolgreiche Kesselmodernisierung“, Wien, am 17. April 2008

Klackl, Johann (2008b), Technisches Büro Eichler KG: Hand-Out zum Vortrag (s.o.)

Loos International (2010): Wirtschaftlicher und Emissionsarmer Betrieb von Dampfkesselanlagen, DI (FH) Harald Schröder, abgerufen unter: [Loos Deutschland GmbH - p31726.typo3server.info](http://Loos_Deutschland_GmbH_p31726.typo3server.info)

Loos Austria GmbH (2008): Vortrag „Energieeffizienz und ökonomischer Kesselbetrieb durch moderne Anlagenausrüstung und Steuerungstechnik, Ing. Heinz Rieder, Vortrag beim OEKV-Seminar „Erfolgreiche Kesselmodernisierung“, Wien, am 17. April 2008

Recknagel, Sprenger, Schramek 07/08 (2007): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, Oldenburg Industrieverlag, München

Sattler, P., Fuchsberger, K., Hinterndorfer, M.: Einsparpotentiale in der industriellen Dampferzeugung und –anwendung im Auftrag des Landesenergieverein Steiermark, 2009

SAACKE, 2011: Vortragsunterlagen von Ing. Alexander Pichler beim OEKV-Seminar „Neueste Kesseltechnik und Heizungsmodernisierung“, 24.2.2011, Wien, SAACKE GmbH

Schirmer, M. (2011), Spirax Sarco: Persönliches Mail im April 2011



Spirax Sarco (2006): Grundlagen der Dampf- und Kondensattechnologie, Konstanz

Spirax Sarco (2007). Leitfaden für die Gestaltung von Dampf- und Kondensatnetzen, die Auswahl und den Einbau von Kondensatableitern, die Fehlersuche in Dampf- und Kondensatnetzen, den Betrieb von Dampf- und Kondensatanlagen, Konstanz

University of Cape Town (o.J): Energy Efficiency Earnings, Guide Book 2, Boilers and Furnaces, The Energy Research Institute

University of Cape Town (o.J): Energy Efficiency Earnings, Guide Book 5, Steam Systems, The Energy Research Institute

University of Cape Town (o.J): Energy Efficiency Earnings, Guide Book 6, Insulation, The Energy Research Institute

Wipp, Richard (2011): Persönliches Gespräch im April 2011 mit DI Richard Wipp, VOIGT+WIPP Engineers GmbH

Das Programm „energieeffiziente betriebe“ ist Teil der vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Lebensministerium) gestarteten Klimaschutzinitiative klima:aktiv.

Strategische Gesamtkoordination: Lebensministerium, Abt. Energie und Umweltökonomie, Dr. Martina Schuster, Mag. Bernd Vogl, Mag. Katharina Kowalski.

Kontakt: [eebetriebe@klimaaktiv.at](mailto:eebetriebe@klimaaktiv.at)

Programmmanagement: Österreichische Energieagentur /Austrian Energy Agency