

# **Auditleitfaden zur Optimierung von Dampfsystemen**

## **Impressum**

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Autorinnen und Autoren: klimaaktiv/ DI Mag. Konstantin Kulterer

mit: Michael Schirmer, Spirax Sarco, Michael Wallner, EDTMAYER Systemtechnik GmbH, Gabriele Brandl, Österreichische Energieagentur

Inhalt: 2017, Layout: Dezember 2020

### **Copyright und Haftung:**

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des BMK und der Autorin oder des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung der Autorin oder des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an [eebetriebe@energyagency.at](mailto:eebetriebe@energyagency.at)

## Inhalt

<b>1 Ablauf des Energieaudits .....</b>	<b>7</b>
1.1 Ablauf des Energieaudits .....	7
1.2 Allgemeine Anforderungen an das Energieaudit.....	9
1.2.1 Vertrauliche Ergebnisse, objektive Beratung .....	9
1.2.2 Eine Ansprechperson im Unternehmen .....	9
1.2.3 Bewertung der bereitgestellten Information .....	10
1.2.4 Vorauswahl bei komplexen Einheiten .....	10
1.2.5 Ableitung von Leistungskennzahlen .....	10
1.2.6 Beachtung von Betriebsgrößen und Einflussfaktoren .....	11
1.2.7 Erhebung zusätzlicher Dokumente.....	11
<b>2 Datenerhebung .....</b>	<b>12</b>
2.1 Bewertung der Einhaltung dampfrechtlicher Vorschriften .....	12
2.1.1 Betriebsanlagengenehmigungen.....	12
2.1.2 IPPC Anlagen und Emissionsschutzgesetz für Kesselanlagen.....	12
Emissionsschutzgesetz für Kesselanlagen (EG-K 2013).....	13
2.1.3 Druckgerätegesetz .....	13
2.1.4 Aufstellungsbedingungen gemäß ABV .....	14
2.1.5 Beaufsichtigung von Dampfessel .....	14
2.1.6 Aufstellungsbedingungen gemäß ÖNORM 7324 idgF .....	15
<b>3 Ermittlung von Einflussfaktoren und Leistungskennzahlen .....</b>	<b>16</b>
<b>4 Überblick Einsparmaßnahmen .....</b>	<b>17</b>
<b>5 Erhebung eines Dampfsystems .....</b>	<b>20</b>
5.1 Bewertung Nutzungsgrad .....	20
5.2 Bewertung Verluste - indirekte Methode.....	21
<b>6 Verringerung der Abgastemperatur .....</b>	<b>23</b>
6.1 Die Abgastemperatur wird von folgenden Faktoren beeinflusst. ....	23
6.2 Bewertung Abgasverlust.....	24
6.3 Reduktion der Abgasverluste über Economizer oder Brennwert-Wärmetauscher .....	24
6.4 Einsparbewertung.....	26
6.5 Luftvorwärmung .....	26
6.6 Brennwert-Nutzung .....	28
6.6.1 Vorhandenen Wärmeabnehmer prüfen.....	29
6.6.2 Einsparbewertung.....	29
<b>7 Reduktion des Sauerstoffgehaltes.....</b>	<b>30</b>

7.1 Einsparbewertung.....	31
<b>8 Reduktion der Abschammverluste .....</b>	<b>32</b>
8.1 Bestimmung der Absalz- und Abschamm-Menge .....	33
8.1.1 Absalzung, Bestimmung über Verhältnis Leitfähigkeit.....	33
8.1.2 Diskontinuierliche Abschammung, Bestimmung über Ventilstellung.....	34
8.1.3 Bestimmung über Wasserstand im Kessel.....	35
8.2 Einsparbewertung.....	35
8.3 Einsparmaßnahme .....	36
8.3.1 Wärmerückgewinnung aus Abschammung beziehungsweise Absalzung über Entspanner .....	36
<b>9 Verringerung der Abstrahlverluste.....</b>	<b>39</b>
<b>10 Verringerung der Durchlüftungs-verluste .....</b>	<b>42</b>
10.1 Bewertung .....	42
10.2 Berechnungsbeispiel.....	43
10.3 Einsparmaßnahmen.....	43
<b>11 Verringerung der Abdampfverluste im Entgaser.....</b>	<b>44</b>
11.1 Einsparbewertung.....	44
11.2 Einsparmaßnahmen.....	45
<b>12 Isolierung von Rohrleitungen .....</b>	<b>48</b>
12.1 Einsparbewertung.....	49
12.2 Entwässerung von Dampfleitungen .....	50
<b>13 Schließen von Leckagen in Leitungen .....</b>	<b>51</b>
13.1 Einsparbewertung.....	51
<b>14 Reparatur von Kondensatableitern .....</b>	<b>53</b>
14.1 Arten von Kondensatableitern .....	53
14.2 Korrekte Installation .....	55
14.3 Funktionsweise .....	56
14.4 Fehlererkennung.....	57
14.5 Einsparbewertung für Leckagenverluste bei Kondensatableitern .....	58
<b>15 Optimierung der Kondensat-Rückführung.....</b>	<b>61</b>
15.1 Bewertung .....	62
15.2 Einsparmaßnahmen.....	63
<b>16 Nutzung der Nachverdampfung .....</b>	<b>64</b>
16.1 Einsatzgebiete.....	64
16.2 Einsparbewertung.....	64

<b>17</b>	<b>Analyse der Verbraucher .....</b>	<b>67</b>
17.1	Wärmetauscher .....	69
<b>18</b>	<b>Angebote und Tools .....</b>	<b>71</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>73</b>
	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>75</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>76</b>
	<b>Formelverzeichnis .....</b>	<b>77</b>
	<b>Über klimaaktiv .....</b>	<b>79</b>

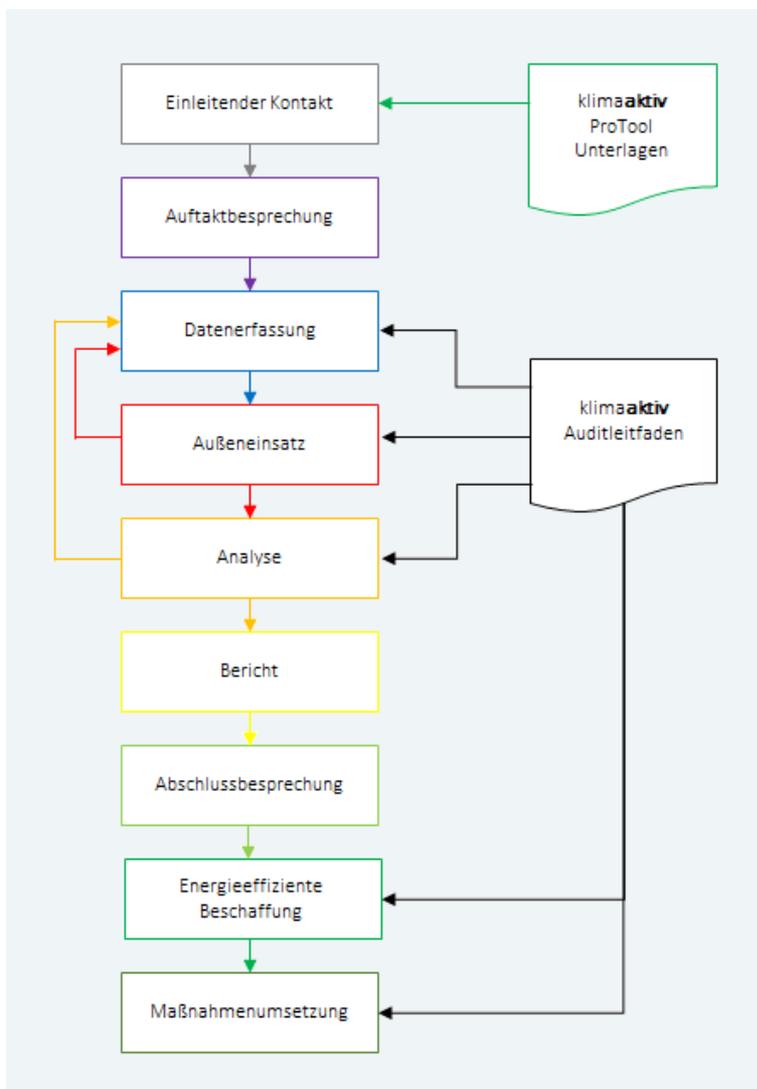


# 1 Ablauf des Energieaudits

## 1.1 Ablauf des Energieaudits

Nach Norm läuft ein Energieaudit nach dem folgenden Schema:

Abbildung 1: Energieaudit-Ablauf im Überblick



Quelle: Österreichische Energieagentur, 2020, adaptiert aus ÖNORM EN 16247-2 2012

Bezüglich des Ablaufs eines Energieaudits wird auf die ÖNORM EN 16247-1 2012 verwiesen. Die Norm versteht unter einem Energieaudit die „systematische Inspektion und Analyse der Energienutzung und des Energieverbrauchs eines Systems oder einer Organisation mit dem Ziel, Energieflüsse und das Potential für Energieverbesserungen zu identifizieren“ (Quelle: ÖNORM EN 16247-1 2012).

Die konkreten Tätigkeiten und Inhalte der in Abbildung 1 dargestellten Schritte sind in der Norm nachzulesen.

Zusammenfassend dargestellt beginnt der prinzipielle Ablauf eines Energieaudits mit einem **einleitenden Kontakt**, in dem man sich mit dem Unternehmen hinsichtlich Zielen, Erfordernissen und Erwartungen an das Energieaudit einigt. Argumente für die Durchführung eines Dampfsystemaudits gegenüber dem Topmanagement können sein:

- Dampferzeugung ist teuer und ein größerer Kostenbestandteil als meist angenommen
- Hinterfragen und bewerten von Alternativen zur Dampferzeugung, können Dampfsysteme ersetzt beziehungsweise durch günstigere Systeme ersetzt werden
- Die Energieverluste werden erhoben und können visualisiert werden; Energieverluste bedeuten immer auch einen finanziellen Verlust
- Befassung mit dem Zusatznutzen von Energieeffizienzmaßnahmen, den sogenannten Non Energy Benefits (NEBs): Maßnahmen im Bereich Dampfsysteme können auch z. B: eine Wassereinsparung, eine CO<sub>2</sub>- Reduktion, eine Reduktion des Risikos und auch eine Erhöhung der Sicherheit im Bereich ArbeitnehmerInnenschutz bringen

Danach sind in einer **Auftaktbesprechung** alle interessierten Beteiligten über die festgelegten Ziele, den Anwendungsbereich, die Grenzen und die Tiefe des Energieaudits zu informieren. Diese beiden Schritte werden von klima**aktiv** durch ein standardisiertes Anschreiben an die Unternehmen und den Einsatz des klima**aktiv** Protocol unterstützt. Wichtig bei der Auftaktbesprechung ist die Einbeziehung des Topmanagements, das für die Freigabe des Budgets auch von Investitionsmaßnahmen im Bereich Dampfsysteme ist.

Gemeinsam mit dem Unternehmen (beziehungsweise einer vom Unternehmen zu Verfügung gestellten Ansprechperson) sind dann anschließend alle **relevanten Daten zu erfassen** und die zu prüfenden Objekte **vor Ort zu inspizieren**. In einem nächsten Schritt sind die gesammelten Daten und **Informationen zu analysieren**, um die Energieeinsparmöglichkeiten identifizieren zu können. Bei diesen Schritten können die von klima**aktiv** entwickelten Auditleitfäden als Hilfestellung herangezogen werden.

Die Ergebnisse des Energieaudits sind abschließend zu dokumentieren und dem Unternehmen vorzulegen. Hierfür wurde von klimaaktiv eine **Berichtsvorlage** erstellt, die den Vorgaben und Anforderungen der ÖNORM EN 16247-1 im Wesentlichen entspricht. Für die Durchführung von Energieaudits in Dampfsystemen finden sich in dem vorliegenden Dokument zusätzliche Anleitungen und Hilfestellungen.

Weitere allgemeine Informationen zu der Durchführung von Energieaudits finden sich in der ÖNORM EN 16247-1. Spezielle Anforderungen an das Energieaudit in Gebäuden, an Industriestandorten und in Transportsystemen werden in den Normentwürfen ÖNORM EN 16247 Teil 2, Teil 3 und Teil 4 beschrieben.

Hinsichtlich der Qualifikation der Energieauditorin oder des Energieauditors gilt: diese müssen angemessen qualifiziert sein, alle von der Organisation gelieferten Informationen **vertraulich** behandeln und auf **objektive Art und Weise** handeln. Konkrete Anforderungen an die Qualifizierung von Energieauditoren werden im fünften Teil der Energieauditnorm „Qualifikation von Energieauditoren“ behandelt.

Anforderungen an EnergiedienstleisterInnen werden im Bundes-Energieeffizienzgesetz (EEffG 72/2014) unter §17 definiert.

## 1.2 Allgemeine Anforderungen an das Energieaudit

Aus der bisherigen Erfahrung hat sich gezeigt, dass insbesondere auf folgende Vorgaben aus der ÖNORM EN 16247 zu beachten sind:

### 1.2.1 Vertrauliche Ergebnisse, objektive Beratung

Die durch das Audit erhaltenen Ergebnisse müssen vertraulich behandelt werden. Der Energieauditor muss das Unternehmen objektiv beraten und die erzielten Ergebnisse transparent darstellen.

### 1.2.2 Eine Ansprechperson im Unternehmen

Das betroffene Unternehmen muss eine Person nominieren, die als Ansprechperson dient und mit der Energieauditorin oder dem Energieauditor zusammenarbeitet. Die Person hat dafür Sorge zu tragen, dass der Energieauditorin oder dem Energieauditor angeforderte

Daten zu Verfügung gestellt werden beziehungsweise hat diese oder diesen bei der Erhebung der Daten (auch vor Ort) zu unterstützen.

### **1.2.3 Bewertung der bereitgestellten Information**

Die Energieauditorin oder der Energieauditor muss bewerten, ob die bereitgestellten Informationen ausreichen, um die vereinbarten Zielsetzungen zu erreichen. Ist dies nicht der Fall stellt dies ein Abbruchkriterium des Energieaudits dar beziehungsweise ist der Schwerpunkt auf die Datenerfassung (auch über längeren Zeitraum als Energiedatenerfassung) zu legen.

### **1.2.4 Vorauswahl bei komplexen Einheiten**

Bei einer entsprechenden Größe des Unternehmens und der damit verbundenen hohen Anzahl an zu untersuchenden Einheiten ist eine Vorauswahl zu treffen. Um ein strukturiertes Vorgehen zu gewährleisten, sollten zuallererst Maßnahmen dort gesetzt werden, wo die höchsten energetischen Einsparungen erzielt werden können (unter Berücksichtigung der damit verbundenen Kosten).

### **1.2.5 Ableitung von Leistungskennzahlen**

Für die Darstellung der Energieeffizienz im Unternehmen sind quantifizierbare Parameter, die einen Einfluss auf den Energieverbrauch des Unternehmens beziehungsweise der mit den einzelnen Technologien versorgten Prozesse haben, zu berücksichtigen. Das können z. B. Durchsatz in der Produktion, weitere Input-, Outputfaktoren, Betriebszeiten der Maschinen, Arbeitszeit, Helligkeit, Innentemperatur, Wetterbedingungen etc. sein, (der Begriff in der Norm ist dafür „Anpassungsfaktor“). Mittels der Methode der linearen Regression kann der Energieverbrauch in Beziehung mit den relevanten Einflussfaktoren gebracht und so der sogenannte „bereinigte“ Energieverbrauch ermittelt werden. Es obliegt der Verantwortung der Energieauditorin oder des Energieauditors diese in Absprache mit dem Unternehmen festzulegen. Nach der Berücksichtigung aller auf den Energieverbrauch Einfluss nehmenden Faktoren ist daraus eine Leistungskennzahl zu wählen, mit der die Energieintensität des Unternehmens, eines Systems oder Prozesses abgebildet werden kann. Unter dem Begriff Energieeffizienz ist das Verhältnis zwischen einer erzielten Leistung beziehungsweise einem erzielten Ertrag an Dienstleistung, Gütern oder Energie und der eingesetzten Energie zu verstehen. Beispiele für Leistungskennzahlen sind z. B. Dampfverbrauch (Tonnen) pro Maschine, Erdgasverbrauch

pro Produkteinheit, Erdgasverbrauch pro erzeugter Dampfmenge, Frischwassermenge pro Menge rückgeführtes Kondensat oder Anteil Einspeisung ins Fernwärmenetz.

Im Optimalfall werden auch Leistungskennzahlen mit dem bereinigten Energieverbrauch ermittelt und in das Monitoringsystem einbezogen.

### **1.2.6 Beachtung von Betriebsgrößen und Einflussfaktoren**

Prinzipiell sind Messungen von benötigten Betriebsgrößen (z. B. Energieverbrauch, Leistungsbedarf, Volumenstrom, Druck, Betriebszeit et cetera) immer Hochrechnungen oder Abschätzungen dieser Größen vorzuziehen.

### **1.2.7 Erhebung zusätzlicher Dokumente**

Neben dem Energieverbrauch sind gegebenenfalls auch relevante bereits durchgeführte Messungen, Betriebs- und Wartungsdokumente, Nutzerverhalten und relevante Wirtschaftsdaten wie z. B. den derzeitigen Verrechnungstarif zu erheben.

Unterstützende Dokumente:

- ÖNORM EN 16247-1: Energieaudits – Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- ÖNORM EN 16247-2: Energieaudits – Teil 2: Gebäude
- ÖNORM EN 16247-3: Energieaudits – Teil 3: Prozesse
- ÖNORM EN 16247-4: Energieaudits – Teil 4: Transport
- ÖNORM EN 16247-5: Energieaudits – Teil 5: Qualifikation von EnergieauditorInnen und Energieauditoren

## 2 Datenerhebung

Im Anhang „Mustervorlagen für Dampfsystemaudits“ finden Sie Excel-Vorlagen, in die Sie die unterschiedlichen Daten für die Erfassung aller relevanten Informationen eintragen können.

Neben den dampfspezifischen Daten ist es auch wichtig produktionspezifische Kennzahlen zu erheben wie z. B. die Produktionszeit und die Anzahl der Schichten.

### 2.1 Bewertung der Einhaltung dampfrechtlicher Vorschriften

Für Dampfsysteme gibt es eine Vielzahl an rechtlichen Vorschriften. Wichtig ist im Rahmen der Datenerhebung auch die rechtliche Situation im Bereich Dampfsysteme zu erheben und zu bewerten.

#### 2.1.1 Betriebsanlagengenehmigungen

Betriebsanlagen, von denen Auswirkungen auf die Nachbarn oder die Umwelt wie z. B. in Form von Lärm, Rauch, Staub oder Erschütterungen ausgehen können, benötigen eine Betriebsanlagengenehmigung (vergleiche § 74 **Gewerbeordnung** idgF). Das kann auch Betriebe mit Dampfsystemen betreffen. Auch Änderungen am Dampfsystem können genehmigungs- beziehungsweise meldepflichtig sein. Die zuständige Behörde ist die Bezirksverwaltungsbehörde, die auch den Genehmigungsbescheid ausstellt. Für Betriebe mit Dampfsystemen sind im Genehmigungsbescheid meist auch Vorgaben für das Betreiben des Dampfsystems eingearbeitet.

Unternehmen müssen ihre Betriebsanlagen auch gemäß den gesetzlichen Vorgaben regelmäßig überprüfen lassen (vergleiche § 82b Gewerbeordnung idgF).

#### 2.1.2 IPPC Anlagen und Emissionsschutzgesetz für Kesselanlagen

Laut Anhang 3 der Gewerbeordnung idgF sind unter anderem Anlagen zur Verbrennung von Brennstoffen mit einer Brennstoffwärmeleistung von mindestens 50 MW IPPC Anlagen und es sind weitere Bestimmungen einzuhalten: z. B. sind bei Genehmigungen

von IPPC Anlagen beziehungsweise bei wesentlichen Änderung die in den BVT (Beste Verfügbare Technologien) Merkblättern enthaltenen Schlussfolgerungen als Referenzdokumente für Genehmigungen heranzuziehen (§ 71c Gewerbeordnung idgF). IPPC steht für "Integrated Pollution Prevention and Control" und setzt die europarechtlichen Vorgaben der Industrieemissions-Richtlinie 2010/75/EU um; die für Unternehmen relevanten Punkte daraus wurden vorwiegend in die Gewerbeordnung eingearbeitet. Für große Dampfkesselanlagen gilt eventuell noch zusätzlich das Emissionsschutzgesetz für Kesselanlagen-EG-K.

### **Emissionsschutzgesetz für Kesselanlagen (EG-K 2013)**

Das Emissionsschutzgesetz für Kesselanlagen sieht unter anderem Anforderungen für ortsfeste Dampfkessel vor. Das Gesetz betrifft weiters auch die Genehmigung von Betriebsanlagen: Gemäß EG-K 2013 sind BVT-Schlussfolgerungen (Beste Verfügbare Technologien) ab dem Tag der Veröffentlichung im Amtsblatt der Europäischen Union als Referenzdokumente bei der Festlegung von Genehmigungsaufgaben für Anlagen anzuwenden. Weiters sind Emissionsgrenzwerte (EGW) für Genehmigungen und Aktualisierungen der Genehmigungsaufgaben unter Zugrundelegung der BVT-Schlussfolgerungen festzulegen.

### **2.1.3 Druckgerätegesetz**

Das Druckgerätegesetz BGBl. I Nr. 161/2015 idgF ersetzt das alte Kesselgesetz. Das Druckgerätegesetz regelt die Beschaffenheit von Druckgeräten und damit auch von Dampfkesseln, regelt deren Inverkehrbringen (Konformitätsbewertung) und legt die einzelnen Verpflichtungen für die betroffenen Wirtschaftsakteure (unter anderem Hersteller, Händler, Betreiber) fest. In Dampfsystemen ist beispielsweise der Dampfkessel ein Druckgerät, aber auch anderen Bauteile wie Dampfleitungen, Kondensat-Behälter und Speicher können unter das Gesetz fallen. Für Unternehmen wichtig sind die enthaltenen Sicherheitsbestimmungen betreffend das Aufstellen, der Inbetriebnahme und der wiederkehrenden Untersuchungen von druckführenden Geräten. Die druckführenden Geräte werden nach einem zunehmenden Gefahrenpotential in Kategorien eingestuft und es wird zwischen druckführenden Geräten mit niedrigem und hohem Gefahrenpotential unterschieden. Das Druckgerätegesetz ist auch die Grundlage für die zu erstellende Statistik im Bereich der Dampfkessel.

#### **2.1.4 Aufstellungsbedingungen gemäß ABV**

Hinsichtlich der Aufstellung von Dampfkesseln und der Erfordernisse an das Kesselhaus ist die ABV, BGBl. 353/1995 idgF, anzuwenden. Es ist eine Zuteilung hinsichtlich der Aufstellung des projektierten Dampfkessels als kleiner, mittlerer oder großer Dampfkessel durchzuführen. Dampfkessel und die dazugehörenden Einrichtungen müssen hinsichtlich des Erschütterungs-, Schwingungs- und Schallschutzes sowie des Schutzes gegen sonstige Gefahren so aufgestellt sein, dass sicherheitstechnischen Gesichtspunkten entsprochen ist. Alle Ausrüstungsstücke müssen leicht zugänglich sein und jederzeit auf ihre Gebrauchsfähigkeit geprüft werden können. Armaturen des Dampfkessels und der an ihnen angebrachten Sicherheitseinrichtungen müssen so eingebaut werden, dass diese gefahrlos betätigt werden können. Bereiche, die zur Bedienung und Wartung der Dampfkessel begangen werden müssen, müssen eine freie Höhe von mindestens 2 m und eine freie Breite von mindestens 0,8 m aufweisen. Soweit für die Bedienung, Wartung und Prüfung eines Dampfkessels Bühnen, Leitern oder Treppen erforderlich sind, müssen diese durch Geländer gesichert sein. Alle Rohrleitungen und Wandungsteile mit einer Oberflächentemperatur über 60 °C müssen im Verkehrsbereich gegen Berührung hinreichend gesichert sein. Inspektionsöffnungen müssen zugänglich sein oder leicht zugänglich gemacht werden können.

#### **2.1.5 Beaufsichtigung von Dampfkessel**

Das Dampfkesselbetriebsgesetz BGBl. 212/1992 idgF regelt unter anderem die Beaufsichtigung von Dampfkesseln und enthält die Vorgaben an die Befähigung und Pflichten von Betriebswärter.

**Automatisierter Betrieb von Dampfkesseln ABD-V (BGBl. II Nr. 147/2012 idgF)** - Die Kesselschutzsysteme von Dampfkesseln ohne ständige Beaufsichtigung sind während des Betriebs Funktionsprüfungen zu unterziehen. Der Nachweis der periodischen Funktionsprüfungen ist entweder durch eine zwangsweise Prüfung mit sicher ausgeführter Zeitüberwachung oder durch eine automatische Erfassung und Protokollierung der erfolgten Prüfvorgänge oder durch eine Kombination der genannten Möglichkeiten zu erbringen. Alternativ dazu ist eine monatliche Funktionsprüfung durch physikalisches Auslösen (betriebsmäßiges Anfahren) der Schaltpunkte der Begrenzer mit Sicherheitsabschaltung (Temperatur, Druck, Wasserstands-niveau, Durchfluss sowie Brennstoffzufuhr) zulässig.

Weitere zu beachtende Vorschriften für Dampfkessel sind:

- Landesrechtliche Vorschriften
- Verordnung über brennbare Flüssigkeiten
- Vorgaben im Bereich ArbeitnehmerInnenschutzes

### **2.1.6 Aufstellungsbedingungen gemäß ÖNORM 7324 idgF**

In der ÖNORM M 7324 „Aufstellungsbestimmungen für Dampf- und Heißwasserkessel“ sind zusätzliche und ergänzende Aufstellungsbedingungen für Kessel angeführt. Laut der Information des Austrian Standards Institute ist es geplant, diese ÖNORM in weiterer Folge für verbindlich zur Anwendung zu erklären (vergleiche [shop.austrian-standards.at](http://shop.austrian-standards.at)).

# 3 Ermittlung von Einflussfaktoren und Leistungskennzahlen

Anpassungsfaktoren (hier Einflussfaktoren) sind quantifizierbare Parameter, die einen Einfluss auf den Energieverbrauch haben. Für Dampfsysteme sind dies in vielen Fällen produzierte Menge an Produkten oder die Wetterbedingungen. Durch Gegenüberstellung des Energie- beziehungsweise Dampfverbrauchs kann die Abhängigkeit des Dampfverbrauchs von diesem Parameter z. B. graphisch über eine Regressionsgerade dargestellt werden und im Zeitverlauf z. B. zum Monitoring des Dampfverbrauchs aber auch zum Nachweis für die Wirksamkeit von Effizienzmaßnahmen genutzt werden. Bei reduzierter Produktion vermindert sich auch der Dampfverbrauch, vermindert er sich aber stärker als erwartet, kann dieser Effekt den Einsparmaßnahmen zugerechnet werden.

Beispiele sind:

- Produktionszeit
- Erzeugte Menge Produkt
- Heizgradtage

Generell sollte im Rahmen eines Energieaudits eine (oder mehrere) Leistungskennzahlen festgelegt werden über die die Effizienz des Dampfsystems beurteilt werden kann. Beispiele für mögliche Leistungskennzahlen (in Abhängigkeit zur Datenverfügbarkeit) sind unten angeführt, weitere sind in diesem Leitfaden beschrieben.

- Energieverbrauch Dampferzeugung [kWh]
- Wirkungsgrad /besser Jahresnutzungsgrad
- Dampfverbrauch pro erzeugtem Produkt [kg/t]
- Energieverbrauch zur Dampferzeugung pro erzeugtem Produkt [kWh/t]

Wichtig ist, wie eingangs beschrieben, dass die Leistungskennzahlen mit dem bereinigten Energieverbrauch betrachtet werden.

# 4 Überblick Einsparmaßnahmen

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

Tabelle 1: Vorgeschlagene Energieeffizienzmaßnahmen in der Erzeugung an 77 Standorten (Carbon Trust 2003)

<b>Maßnahmen bei der Erzeugung</b>	<b>Anzahl der Unternehmen, für die die Maßnahme empfohlen wurde</b>
Anpassung der Verbrennungsparameter (Brennstoff, Luftüberschuss et cetera)	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 Abschlammsteuerung	5
Dämmung des Kessels	4
Vorwärmung des Kesselspeisewassers oder auch des Zusatzwassers	2
Umstellung auf Gas	2
Gesamte Empfehlungen bei 77 Standorten	145

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

Tabelle 2: Vorgeschlagene Energieeffizienzmaßnahmen in der Dampfverteilung an 107 Standorten (Carbon Trust 2004)

<b>Maßnahmen bei der Verteilung</b>	<b>Anzahl der Unternehmen, für die die Maßnahme empfohlen wurde</b>
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 3: Einsparmaßnahmen und Einsparpotential in der Dampferzeugung und durch geschlossenes Kondensatsystem (Loos International, 2010)

<b>Energiesparmaßnahmen</b>	<b>Einsparungspotenzial</b>
Economizer	bis 7 % Brennstoffeinsparung
Brennwertwärmetauscher	bis 5 % Brennstoffeinsparung
Laugenentspanner- und Wärmerückgewinnung	bis 2 % Brennstoffeinsparung, Frischwasserersparnis, Abwasserreduzierung
Sauerstoff- oder auch CO-Brennerregelung	bis 2 % Brennstoffeinsparung
Drehzahlsteuerung Gebläse	bis zu 75 % Stromkostenersparnis
Brüdenwärmetauscher	bis 0,5 % Brennstoffeinsparung
Hochdruckkondensatsystem	bis 12 % Brennstoffeinsparung, Frischwasserersparnis

Energiesparmaßnahmen	Einsparungspotenzial
Automatisierte und kontinuierliche Wasseranalyse	bis 0,5 % Brennstoffeinsparung, Chemikalieneinsparung, Personalkosteneinsparung
Optimierung der Regelparameter, regelmäßiger Service, Wartung, Reinigung	bis 3 % Brennstoffeinsparung, verlängerte Lebensdauer, Prozesssicherheit

Eine 2017 im Rahmen des EU Projekts Steam Up durchgeführte Befragung von zehn Unternehmen mit Dampfsystemen in Österreich hat ergeben, dass Economizer meist schon installiert sind, es jedoch Verbesserungspotenzial im Bereich der Verteilnetze gibt. Weitere identifizierte Verbesserungspotenziale sind der Befragung nach Optimierungen im Bereich des Monitorings und die verstärkte Verwendung von der Lebenszykluskostenanalyse als Basis für Investitionsentscheidungen (Kulterer, Brandl, 2017).

# 5 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- beziehungsweise 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.

## 5.1 Bewertung Nutzungsgrad

Einen wesentlichen 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. Gas, vorgewärmtes Öl)
- Temperatur Speisewasser
- Enthalpie Dampf und Speisewasser
- Erzeugte Dampfmenge pro Stunde

Nutzungsgrad=Produzierte Dampfmenge (kg/h) mal (Energieinhalt laut Dampftabelle am Kesselausgang minus Enthalpie Speisepumpenausgang) durch Massenstrom Brennstoff mal Energieinhalt

Formel 1: Berechnung des Jahresnutzungsgrades

$$\eta = \frac{\dot{m}_{\text{Dampf}} \times (h''_{\text{Dampf}} - h'_{\text{Speisewasser}})}{\dot{m}_{\text{Brennstoff}} \times H_i}$$

$\dot{m}_{\text{Dampf}}$  ... Erzeugte Dampfmenge pro Jahr (kann auch für Stundenwerte berechnet werden) [kg/a oder kg/h]

$h''_{\text{Dampf}}$ ,  $h'_{\text{Speisewasser}}$  ... Enthalpie Dampf beziehungsweise Speisewasser (abhängig von der Temperatur) in [kJ/kg], siehe Tabelle 1, Datenerhebung

$H_i$  ... Unterer Heizwert des Brennstoffs [kJ/kg] (meist in MJ/kg angegeben)

$\eta$ ... 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 Stunden Betrieb, Betriebe mit kontinuierlichen Prozessen oder einer großen Anzahl von Batch-Prozessen haben höhere Nutzungsgrade.

## 5.2 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, Abschlämmlverluste, Abstrahlverluste und sonstige Verluste (z. B. Durchlüftungsverluste).

Tabelle 4: Beispiel für Aufteilung der Verluste in einem Dampfsystem bei der Erzeugung

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

Der „Nutzungsgrad“ (beziehungsweise eine Annäherung an den Nutzungsgrad) ergibt sich aus:

100 % minus Abgasverluste minus Absalz- und Abschlammverluste minus Abstrahlverluste

Formel 2: Nutzungsgrad

$$\eta_K = 100\% - V_{Abgas} - V_{Abschlammung} - V_{Abstrahlung}$$

$\eta_K$  ... Kesselbrennstoffnutzungsgrad (eigentlich Kesselwirkungsgrad)

$V_{Abgas}$ ,  $V_{Abschlammung}$ ,  $V_{Abstrahlung}$  ... Abgas-, Abschlamm- und Absalz-, Abstrahlverluste in %

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 Siegert, ohne Stillstands-, Durchlüft-, Absalz- oder Abschlammeverluste

**Kesselwirkungsgrad** - Abgas- und Strahlungsverluste werden berücksichtigt, die Messung erfolgt bei stationärem Betrieb

**Brennstoffnutzungsgrad** - Inklusive Abgas-, Strahlungs-, Absalz-, Abschlammverluste (siehe Formel 2)

# 6 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.

## 6.1 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 oder Abschlämmung notwendig.
- Feuerseitig sind besonders Festbrennstoff-Kessel durch Asche gefährdet. Daher sollte eine regelmäßige Reinigung z. B. mittels Hochdruck-Dampf erfolgen.

## 6.2 Bewertung Abgasverlust

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

Formel 3: Berechnung der Bewertung des Abgasverlustes

$$V_{Abgas} = (t_A - t_B) \times \left( \frac{A2}{21 - O_2} + B \right)$$

$V_{Abgas}$  ... Abgasverlust [%]

$t_A$  ... Abgastemperatur [°C]

$t_B$  ... Zulufttemperatur oder Verbrennungslufttemperatur [°C]

$O_2$  ... Sauerstoffgehalt des Abgases [Vol %]

A2, B ... Brennstoffspezifische Werte

Tabelle 5: Brennstoffparameter für Brennstoffe nach Siegert, Konstanten

Konstanten	Heizöl	Erdgas	Flüssiggas	Hackgut trocken (25 % Wassergehalt)	Hackgut feucht (40 % Wassergehalt)
A2	0,680	0,660	0,600	0,690	0,730
B	0,007	0,009	0,011	0,014	0,018

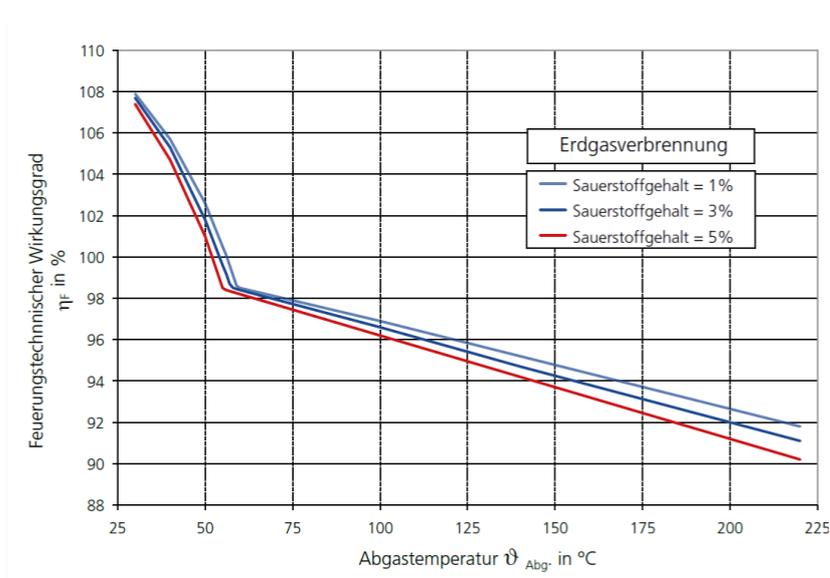
## 6.3 Reduktion der Abgasverluste über Economizer oder Brennwert-Wärmetauscher

Insbesondere ist diese Maßnahme zu prüfen, wenn folgende Punkte zutreffen:

- Bei Abgastemperatur über 130 °C für Gaskessel (z. B. 150 °C, beziehungsweise über 100 °C, falls Niedertemperaturverbraucher in ausreichendem Maß vorhanden)

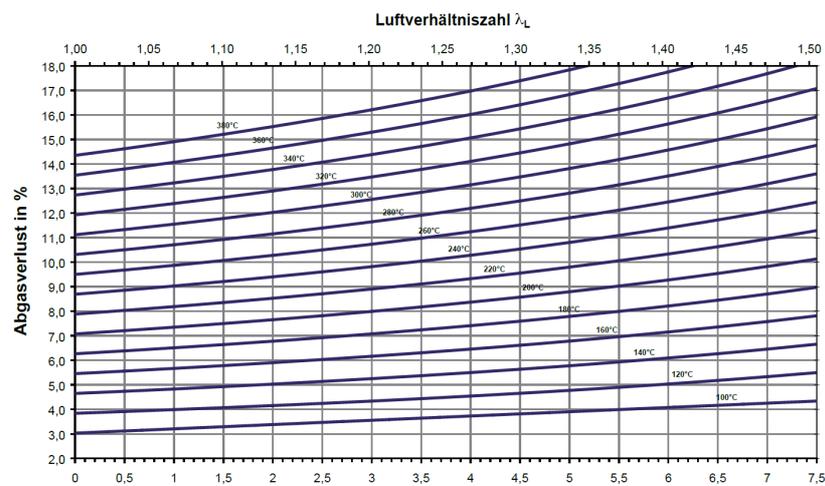
- Bei 24-Stunden-Betrieb des Kessels und hoher Auslastung (auch unter 500 kW)
- Bei Einschicht-Betrieb, Systemlast über 50 %, 2 MW
- Wenn genügend Platz vorhanden ist

Abbildung 2: Feuerungstechnischer Wirkungsgrad in Abhängigkeit der Abgastemperatur



Quelle: SAACKE, 2012

Abbildung 3: Feuerungstechnischer Wirkungsgrad laut der Siegert'schen Formel



Quelle: SAACKE, 2012

## 6.4 Einsparbewertung

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

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

Die Brennstoffeinsparung ergibt sich dann aus:

Formel 4: Brennstoffeinsparung

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

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

## 6.5 Luftvorwärmung

Aus der Bewertung der Reduktion der Abgastemperatur ist ersichtlich, dass es auch möglich ist, eine Effizienzsteigerung durch Vorwärmung der Verbrennungsluft zu erreichen.

Für diese Luftvorwärmung können verschiedene Quellen eingesetzt werden, einerseits interne Quellen wie eigene Abstrahlverluste, die Wärmenergie des eigenen Abgases beziehungsweise des Speisewassers oder andererseits externe Quellen wie Prozesswärme, Prozessabgase, Kondensatrücklauf oder Motorabwärme. Der wichtigste Aspekt für den Einsatz dieser Wärmeströme ist die Konstanz sowie die Gleichzeitigkeit zur Brennerlaufzeit.

Eine Temperatursteigerung der Verbrennungsluft kann relativ einfach durch Ansaugen der Verbrennungsluft (VB-Luft) aus den oberen Bereichen des Kesselhauses erzielt werden, hier können Temperaturen von bis zu 50 °C anstehen. Üblicherweise liegen laut Auskunft

von Herrn Rieder von der Firma Bosch die empfohlenen Temperaturen bei 80 °C bis 90 °C. Diese Temperaturen werden entweder mit dem Speisewasser im VB-Luft-seitigem Wärmetauscher mit nachgeschaltetem Abgaswärmetauscher zur Wiederaufheizung des abgekühlten Speisewassers (= offener Kreislauf, keine Druckhaltung erforderlich!) oder mittels eines Luftvorwärmer-Verbundes (LUVO), bestehend aus einem zusätzlichen Abgaswärmetauscher und dem VB-Luft-Wärmetauscher (= geschlossener Kreislauf), erzeugt.

Wegen der geringeren Investitionskosten wird laut Auskunft von Herrn Rieder von der Firma Bosch vorzugsweise die offene Variante empfohlen, unter bestimmten Voraussetzungen wie z. B. bei einer Heißwasseranlage kann der Einsatz eines geschlossenen Systems sinnvoll sein. Die VBL-Wärmetauscher werden zwischen Gebläse und Brenner eingebaut, daher sind in beiden Fällen die höheren Kosten für eine Duoblockfeuerung mit separatem Gebläse zu kalkulieren.

Die Luftvorwärmung aus einem Abgas-WT ist vorzugsweise zusätzlich zum Economizer (z. B. zur Speisewasservorwärmung) anzuwenden. Ohne Economizer würden sich zu hohe Temperaturen und wesentlich höhere Kosten für temperatur- und hitzebeständige Komponenten ergeben. Dadurch können bis zu 2 % Wirkungsgradgewinn erzielt werden.

Sind alle anderen Maßnahmen ausgeschöpft kann zur Absenkung der Abgastemperatur noch der Einsatz eines Speisewasserkühlers überlegt werden (laut Auskunft von Herrn Rieder von Bosch). Damit wird das Speisewasser vor dem Eintrittsstutzen in den Economizer über einen Wärmetauscher abgekühlt, dadurch eine geringere Eintrittstemperatur in den Economizer erzielt und die Abgastemperatur weiter abgesenkt. Das funktioniert allerdings nur dann, wenn ein kontinuierlicher, zusätzlicher Wärmeabnehmer - beispielweise zur Aufheizung des kalten Weichwassers, für Prozesswärme oder auch nur für Zwecke der kontinuierlichen Raumheizung - zur Verfügung steht. Für den Wärmebedarf kann eine zusätzliche Wärmeleistung zur Verfügung gestellt werden. Allerdings ist auch hier auf die Gleichzeitigkeit der Massenströme zu achten. Mit einem Speisewasserkühler können rund 2 % bis 5 % der Brennstoffwärmeleistung des Kessels eingespart werden.

## 6.6 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 beziehungsweise 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 (das heißt 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 circa 58 °C (für Gas) beziehungsweise 48 °C (für Öl), (Recknagel, 07/08, S 694), bei einer Luftzahl von 1,2 bis 1,3 bei circa 55 °C für Erdgas (IBS, ohne Jahr).

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 Kondensat pro  $m^3$  Erdgas an. Bei Heizöl ist circa 6 % des Energieinhalts nutzbar, bei einem Kondensatanfall von circa 0,88  $kg/m^3$  Heizöl (IBS, ohne Jahr).

Bei 50 °C Rücklauftemperatur aus dem Heizsystem ist beispielsweise kaum Kondensation möglich. Bei 45 °C fallen circa 45 g Kondensat an, was circa 30 % der theoretisch möglichen Kondensationswärme entspricht (IBS, ohne Jahr). Dies würde einem „zusätzlichen Wirkungsgradgewinn“ von circa 3,3 %“ für den Kessel entsprechen (Einschränkungen dazu siehe weiter unten, diese Angaben gelten für Anlagen mit Erdgas als Brennstoff).

Bei 40 °C fallen circa 70 g Kondensat an, was circa 6 % „zusätzlichem Wirkungsgradgewinn“ entsprechen würde. Bei 30 °C Rücklauftemperatur können diese Werte 8 % und mehr betragen.

Dabei ist zu beachten, dass dieser zusätzliche Wirkungsgradgewinn nicht eins zu eins im Kessel nutzbar ist: Zunächst muss ein eventuell vorhandener Economizer rückgebaut werden, um genügend Leistung am Brennwert-Wärmetauscher zu erhalten. Andererseits gilt der Wirkungsgradgewinn nur, wenn der Economizer für Speisewasservorwärmung genutzt wird! Die Bewertung erfolgt daher am besten über untenstehenden Ansatz zur Einsparbewertung.

### 6.6.1 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 (das heißt bei geringer Kondensatrückführrate)
- Vorwärmung
- Erwärmung von Brauch- und Prozesswasser
- Spülwasser-, Reinigungswassertanks

### 6.6.2 Einsparbewertung

Die Einsparbewertung ist aufgrund obenstehender 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 bis 8 %) „zusätzlicher Wirkungsgradgewinn“** durch Brennwert-WT bei Anlagen mit Erdgas als Brennstoff  
Zu beachten ist, dass sich außerdem eine Temperaturabsenkung des Abgases laut der Siegert'schen Formel ergibt.

# 7 Reduktion des Sauerstoffgehaltes

Diese Maßnahme ist zu prüfen:

- Bei einem Sauerstoffgehalt von 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 6: Reduktion Sauerstoffgehalt (Harrel, 2002, Wipp, 2011)

Energieträger	Min. [%]	Max. [%]
Erdgas	1,5	3,0
Heizöl Leicht	2,0	3,0
Heizöl Schwer	2,5	3,5
Biomasse	6,0	7,0

Tabelle 7: Reduktion Sauerstoffgehalt (Harrel, 2002, Wipp, 2011) O<sub>2</sub> Regelung über Stufeneinstellung

Energieträger	Min. [%]	Max. [%]
Erdgas	3,0	7,0
Heizöl Leicht	3,0	7,0
Heizöl Schwer	3,5	8,0
Biomasse	7,0	8,0

## 7.1 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 gleichbleibender Abgastemperatur) um die entsprechende Differenz. Tatsächlich wird sich die Abgastemperatur bei geringerem Luftüberschuss normalerweise reduzieren (allerdings nicht immer).

Formel 5: Einsparbewertung

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

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

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 bis 1.000 EUR)

Die Kosten für ein automatisches Sauerstoffregelsystem betragen ab circa 6.000 EUR bis über 10.000 EUR in Abhängigkeit der Kesselleistung. Es ist insbesondere bei Kesseln mit einer Leistung von über 200 kW wirtschaftlich.

# 8 Reduktion der Abschlammverluste

Tabelle 8: Wichtige Begriffe in der Speisewasserversorgung von Dampfkesseln

<b>Wasser</b>	<b>Beschreibung</b>
<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.
<b>Weichwasser</b>	Ionentausch
<b>Teilentsalztes Wasser</b>	Entkarbonisierung, Ionentausch, Umkehrosmose
<b>Vollentsalztes Wasser</b>	Ionentausch, Leitfähigkeit kleiner $0,2 \mu\text{S}/\text{cm}$ , $< 0,02 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$
<b>Speisewasser</b>	Zur Speisung des Dampferzeugers, Zusatzwasser und Kondensat nach vollständiger Aufbereitung und Konditionierung
<b>Salzhaltiges Speisewasser</b>	Speisewasser
<b>Salzfreies Speisewasser</b>	Speisewasser
<b>Kesselwasser</b>	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 eine sogenannte 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 (chemische Zusätze aus der Wasseraufbereitung), die unter anderem zur Vermeidung von schlechterem Wärmeübergang ausgeschleust wird. Hierfür hat sich das periodische Abschlammen bewährt. Diese beiden Vorgänge (Absalzen und Abschlammen) ergänzen sich beziehungsweise 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 Abschammverluste 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 Abschamm-/Absalzverluste werden normalerweise als % des Speisewasserbedarfs ausgedrückt. Der Energieinhalt in Bezug zum Brennstoffeinsatz ergibt den Wirkungsgradverlust des Kessels aufgrund der Abschammung.

## 8.1 Bestimmung der Absalz- und Abschamm-Menge

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

### 8.1.1 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).

Formel 6: Absalzung

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

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

**Kennzahl:** Dieser Wert sollte nicht über 5 % liegen! Bei einem Wert von über 5 %, sind Wasseraufbereitungsmaßnahmen zu setzen

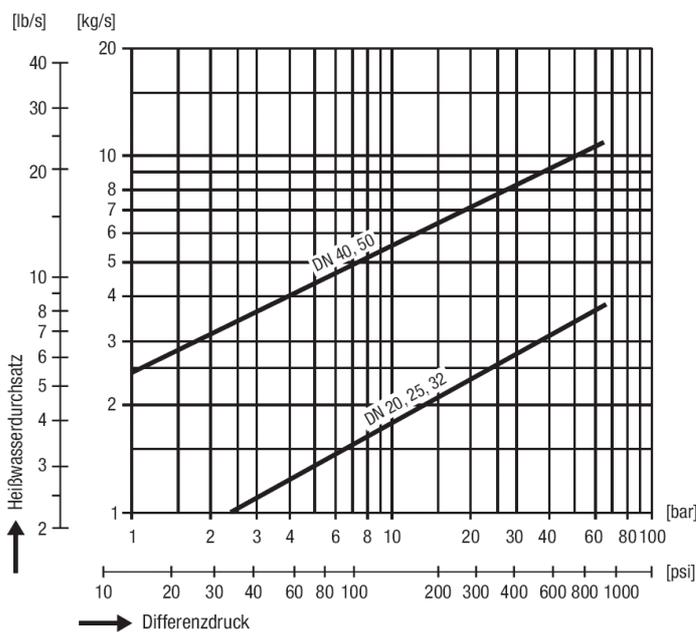
Um den Absolutwert zu erhalten, wird dieser Wert mit dem Speisewasservolumen multipliziert.

Bei durchschnittlichen Wasserqualitäten (z. B. 500 µS/cm) Speisewasser und einem geforderten Maximalwert für den Kessel von z. B. 5.000 µS/cm, müssen für 10 t Speisewasser circa 1 t heißes Kesselwasser ausgespeist werden.

### 8.1.2 Diskontinuierliche Abschlämmung, Bestimmung über Ventilstellung

Die diskontinuierliche Abschlämmung erfolgt über eine Zeitschaltung. Diese ist bis zu 10 Sekunden einstellbar, sollte jedoch eher geringer, z. B. 3 Sekunden eingestellt sein. Weiters wird diese Abschlämmung 1 bis 3 Mal täglich (z. B. alle 8 bis 10 Stunden) oder stündlich durchgeführt. Eine typische Einstellung ist alle 8 Stunden und 3 Sekunden Öffnungszeit. Zur Bestimmung der Abschlämmmenge wird der Durchfluss des Ventils (über Druck und Querschnitt) und damit die Abschlämmrate bestimmt und mit der Häufigkeit des Abschlammens multipliziert.

Abbildung 4: Beispiel für Durchflussdiagramm für automatische und händische Abschlämmventile (PA 46, 47, MPA 46, 47)



$$\text{Abschlämmstrom [m}^3\text{/h]} = \text{Volumenstrom Ventil [m}^3\text{/h]} \cdot (\text{Öffnungsdauer [s]} / 3.600) \cdot (\text{Anzahl pro 24 h}) / 24$$

Quelle: Gestra (ohne Jahr, a)

Ventilabflussleistungen werden in kg/s angegeben! (Umrechnung:  $\text{m}^3\text{/h} = 3,6 \cdot \text{kg/s}$ ) ODER Abschlämmstrom in kg/s berechnen.

### 8.1.3 Bestimmung über Wasserstand im Kessel

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

## 8.2 Einsparbewertung

Die Bewertung der Abschlamm- und Absalzverluste erfolgt über den Energieinhalt und ist im Wesentlichen vom Druck im Kessel abhängig. (Beachte: Enthalpie des Wassers bei entsprechendem Druck, nicht Enthalpie des Dampfes!)

Formel 7: Abschlamm- und Absalzverluste

$$\dot{Q}_{\text{Abschlammverlust}} [kJ/a] = m_{\text{Abschlammung}} [kg/h] \times (h_{\text{Kesselwasser}} - h_{\text{Zusatzwasser}}) \times t [h/a]$$

Oder falls Abschlammstrom in [kg/s]

Formel 8: Abschlamm- und Absalzverluste

$$\dot{Q}_{\text{Abschlammverlust}} [kJ/h] = m_{\text{Abschlammung}} [kg/s] \times (h_{\text{Kesselwasser}} - h_{\text{Zusatzwasser}}) \times t [s/h]$$

t [s/h] bezieht sich auf die durchschnittliche Öffnungszeit des Abschlammventils 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)

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

Quelle: Gestra (ohne Jahr, b)

Der Abwärmeverlust über das Abschlammen (und über die Absalzung) ist zur Bestimmung des Kesselnutzungsgrades im Verhältnis zur gesamten eingesetzten Brennstoffmenge zu setzen [in %].

Formel 9: Abschlämmung

$$V_{\text{Abschlämmung}} = \frac{\dot{Q}_{\text{Abschlämmverlust}}}{\dot{m}_{\text{Brennstoff}} \times H_i}$$

$V_{\text{Abschlämmung}}$  ... Abschlämmverluste in %

$\dot{m}_{\text{Brennstoff}}$  ... Massenstrom Brennstoff über die betrachtete Zeiteinheit [kg/h]

$H_i$  ... Unterer Heizwert des eingesetzten Brennstoffs [kJ/kg]

## 8.3 Einsparmaßnahme

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

### 8.3.1 Wärmerückgewinnung aus Abschlämmung beziehungsweise Absalzung über Entspanner

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

Formel 10: Entspannungsampfmenge

$$m_{\text{Entspannungsampfmenge}} = m_{\text{Absatzmenge}} \times \frac{(h'_{\text{HD,Absatzung}} - h'_{\text{ND,Absatzung}})}{r_{\text{ND}}}$$

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

$h'_{\text{N}}$  ... Enthalpie des Absatzstroms (Druck vor Entspannung) [kJ/kg]

$h'_{\text{ND}}$  ... Enthalpie des Absatzstroms (Druck nach Entspannung) [kJ/kg]

$r_{\text{ND}}$  ... Verdampfungsenthalpie für Wasser bei Niederdruck [kJ/kg]

Ein Rechenbeispiel ist unter Kapitel Nachverdampfung angeführt.

Die Bewertung (in EUR) der rückgewonnenen Entspannungsampfmenge erfolgt über die Dampfkosten pro kg.

Formel 11: Rückgewonnene Entspannungsammenge

$$\dot{Q}_{\text{Entspannungsampf}} [\text{kJ} / \text{kg}] = m_{\text{Entspannungsampfmenge}} [\text{kg} / \text{h}] \times (h'_{\text{ND,Kondensat}} - h'_{\text{Zusat:wasser}}) [\text{kJ} / \text{kg}]$$

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

$t$  ... Betriebszeit Kessel

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

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

$h'_{\text{ND,Kondensat}}$  ... Enthalpie des Entspannungsampfes [kJ/kg] im Druckbereich nach der Entspannung

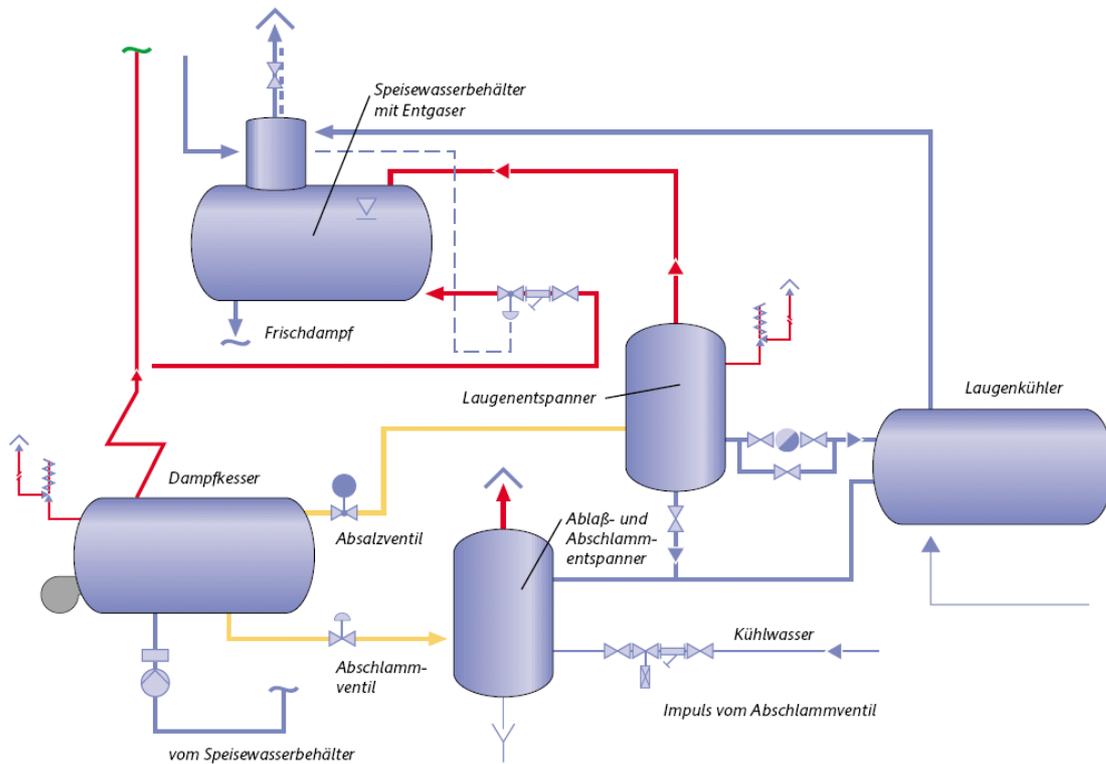
Diesen Einsparungen sind untenstehende Kosten gegenzurechnen (circa 10.000 EUR inklusive Installation und Verrohrung).

Tabelle 10: Absalzlaugenentspanner

Ausgaben für	Ungefähre Kosten in EUR
Kondensatentspanner 300 kg/h- 1.000 kg/h 13-32 bar, Zulässige Betriebstemperatur. 200 °C bis-250 °C	1.800 bis 3.000
Installation	circa 2.000
Verrohrung	circa 5.000

Quelle: Klackl, 2008a

Abbildung 5: Einbindung eines Laugenkühlers in die Dampfzentrale

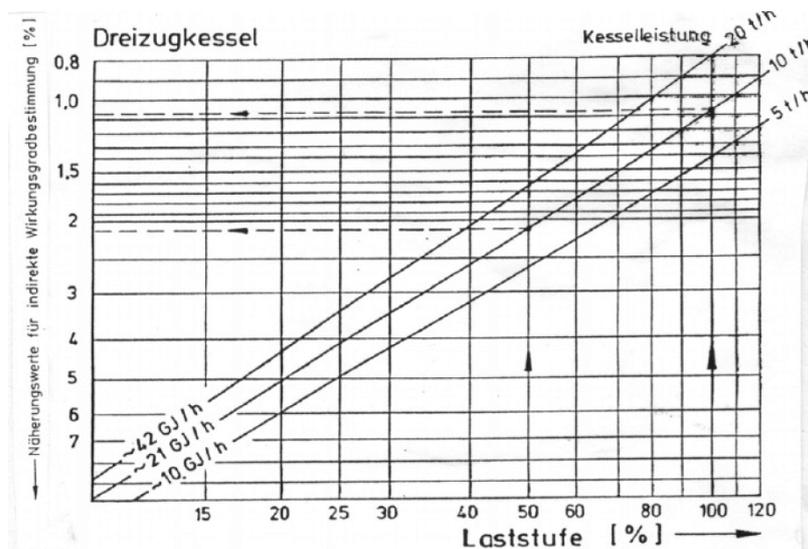


Quelle: Gestra (ohne Jahr, b), Seite 38

# 9 Verringerung der Abstrahlverluste

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

Abbildung 6: Strahlungsverluste für Dampferzeuger



Quelle: Goeke, J., 2009 aus Sattler et alli 2009, Seite 22

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

Formel 12: Abstrahlverluste

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

$V_{\text{Abstrahlung}}$  Abstrahlverlust in %

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, sogenannte „hot spots“, können z. B. mit Infrarotthermometer (100 EUR bis 700 EUR), Thermobildkamera oder einfachem Annähern mit der Hand identifiziert werden (Vorsicht nicht berühren!). 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 °C bis 30 °C bei circa 45 °C).

Die Bewertung der Verluste kann über folgende Formeln erfolgen. Der Wärmestrom (Wärmestromdichte) und damit der Wärmeverlust je Meter Rohrlänge beziehungsweise pro Fläche beträgt (laut VDI 2055-1):

Formel 13: Wärmeverluste der Wand

$$q = \alpha_a * (\vartheta_o - \vartheta_L) \text{ in W/m}^2$$

$$\Delta\vartheta = \vartheta_o - \vartheta_L$$

$\vartheta_o$  [K] ... Oberflächentemperatur in Kelvin

$\vartheta_L$  [K] ... Luft- beziehungsweise Umgebungstemperatur in Kelvin

Der Gesamtwärmeübergangskoeffizient sich aus dem Konvektions- und Strahlungsanteil zusammen beträgt daher:

Formel 14: Gesamtwärmeübergangskoeffizient

$$\alpha_a = \alpha_k + \alpha_r$$

## Konvektiver Anteil

Für ein senkrechttes Rohr oder eine Wand gilt:

Formel 15: Konvektiver Anteil

$$\alpha_{k, frei} = 1,74 * \sqrt[3]{\Delta\vartheta} \text{ [W/m}^2\text{K]} \text{ (VDI 2055-1)}$$

## Strahlungsanteil

Formel 16: Strahlungsanteil

$$\alpha_r = 4 * \varepsilon * \sigma * (0,5 * (\vartheta_o + \vartheta_L) + 273,15)^3 \text{ in [W/m}^2\text{K]} \text{ (VDI 2055, FmE, 2012)}$$

Emissionsfaktoren für die unterschiedlichen Oberflächen befinden sich im Anhang. Der Wert für die Boltzmannkonstante ( $\sigma$ ) beträgt:  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$ .

Emissionskoeffizient je nach Material und Oberflächenbeschaffenheit  $\varepsilon$ :

Eisen und Stahl, hochglanzpoliert: Emissionsgrad bei einer Temperatur von 177 °C: 0,066 (Recknagel et alli, 2007)

Stahl verzinkt, blank: 0,26 (VDI 2055-1)

Stahl nicht rostend, austenitisch: 0,15 (VDI 2055-1)

# 10 Verringerung der Durchlüftungsverluste

Aufgrund einer schlechten Regelung beziehungsweise Überdimensionierung des Dampfkessels kann es zu einer hohen Schalzhäufigkeit (Taktung) des Brenners kommen. Im Idealfall sollte der Kessel nicht öfters als ein Mal 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.

## 10.1 Bewertung

Formel 17: Bewertung des Einschaltverlusts

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

$Q_{\text{Brennerleistung}}$  [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

Formel 18: Mittelwert aus der Öffnungs- und Schließzeit des Stellantriebs plus Vorbelüftungszeit

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

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

$t$  ... Vorbelüftungszeit, bis zu 120 s

## 10.2 Berechnungsbeispiel

Öffnungszeit Stellantrieb  $t_o$ : 40 s

Vorbelüftungszeit  $t_l$ : 30 s

Schließzeit Stellantrieb  $t_s$ : 30 s

Feuerungsleistung ohne Economizer: 3.642 kW

Mediumtemperatur: circa 184 °C (10 bar Dampfdruck)

Luftauswärmung:

Formel 19: Luftaufwärmung

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

Ergebnis: circa 4,77 kWh pro Anlauf (Loos International, 2010)

## 10.3 Einsparmaßnahmen

Es kommt eine Vielzahl von Maßnahmen in Frage, z. B. Mehrboilersysteme, modulierender Brenner, Brennerdrehzahlregelung, Dampfspeicher.

# 11 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 bar bis 1,5 bar). Dieses Erhitzen erfolgt über Zugabe von Dampf über eine Dampfpflanze.

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 Brügendampf.

## 11.1 Einsparbewertung

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

Eine Abschätzung für die Abdampfmenge ergibt sich daher aus:

Formel 20: Abschätzung für die Abdampfmenge

$$m_{\text{Abdampfmenge}} = 0,5 \% * \text{zugeführte Speisewasser- und Kondensatmenge [kg/h]}$$

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

Formel 21: Abdampfmenge über den Ventilstrom und die Ventilöffnungszeiten

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

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

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

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

Formel 22: Einsparung

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

$t$  Betriebszeit Kessel

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

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

## 11.2 Einsparmaßnahmen

**Einsparmaßnahme 1** - Die Öffnung des Entgasungsbehälters sollte zur Entgasung zeitlich so kurz wie möglich erfolgen, keinesfalls dauernd. Beispielsweise über ein Ventil, dass 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: circa 0,5 % bis 1 % der Kesselleistung als Wrasen (Brüdenkondensator) auslegen.

**Einsparbeispiel (Schirmer, 2011)** - Ein Kessel mit einer Dampfleistung von 2 t/h hat ungefähr eine Menge von 15 kg/h nutzbaren Abdampf (circa 9 kW:  $15/1,7=9$ )

Formel 23: Umrechnung Massenstromangabe in Leistungsangabe für Dampf (siehe auch Formel 32)

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

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

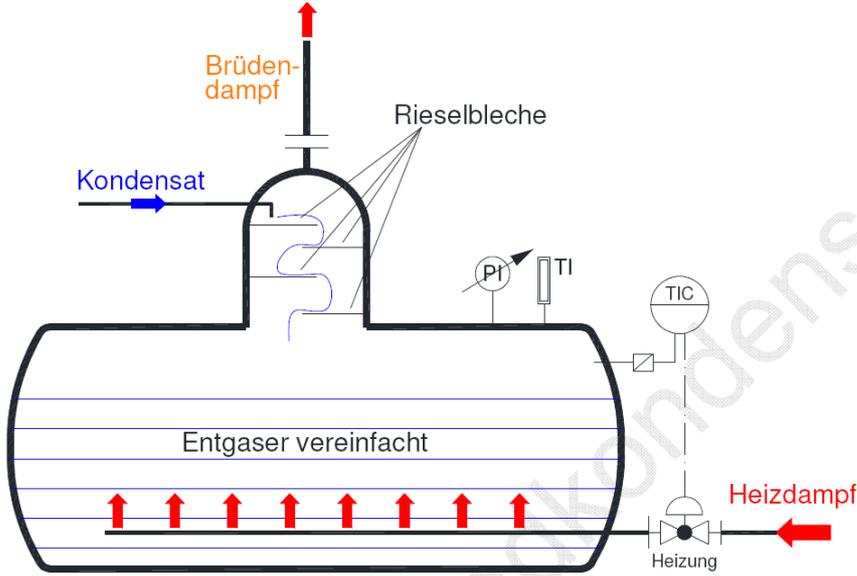
Preis des Drallrohrwärmetauschers: circa EUR 3.100 + Installation.

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

Formel 24: Gesamtdampfmenge pro Jahr

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

Abbildung 7: Entgaser



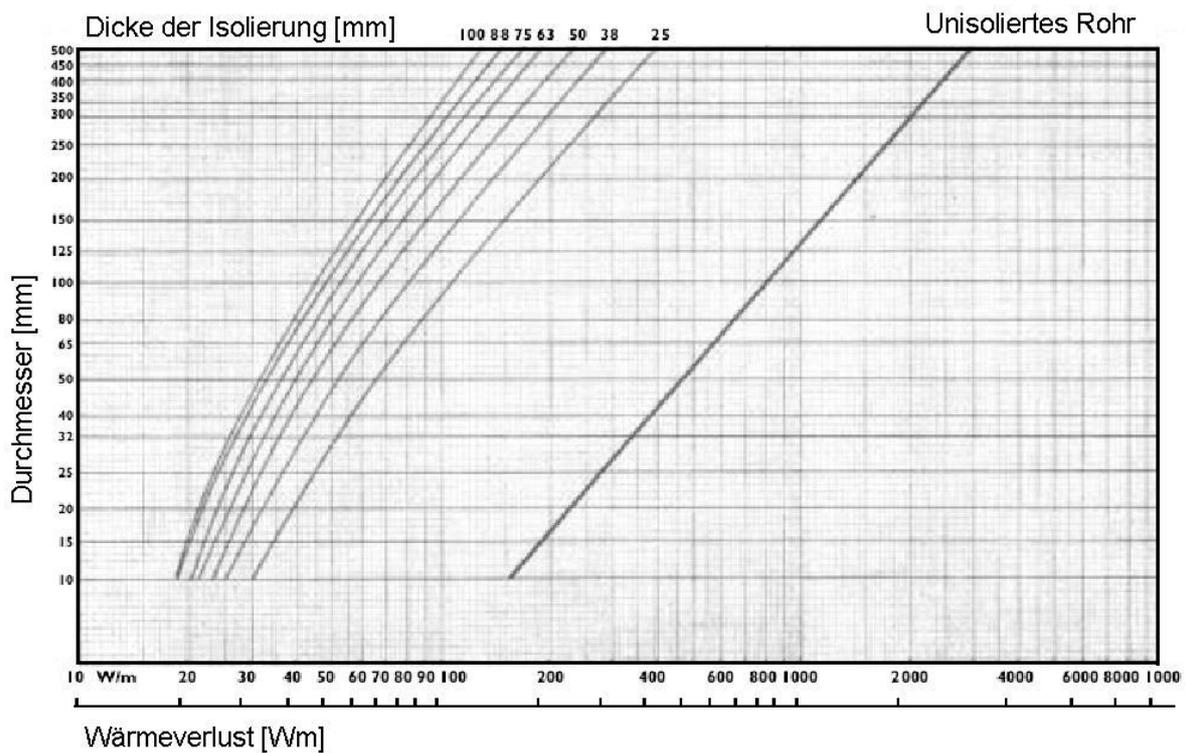
Quelle: Karsten Berlin, 2011, Dokument: Entlüftung

# 12 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 8: Wärmeverlust von Rohrleitungen unterschiedlicher Rohrdurchmesser bei Oberflächentemperatur von 150 °C abhängig von der Dicke der Isolierung



Quelle: (University of Cape Town, Guide Book 5

Tabelle 11: Typische Wärmeverluste von Dampfrohren

Rohr Nenndurchmesser	Isolierung	Wärmeverluste [W/m] in Dampfleitung	Wärmeverluste [W/m] in Kondensatleitung
Alle Rohre	Gut isoliert	40 bis 60	20 bis 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>

Quelle: Carbon Trust, 2004

## 12.1 Einsparbewertung

Formel 25: Verlust

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

Formel 26: Einsparung

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

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

$t$  ... Betriebszeit Kessel

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

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

## 12.2 Entwässerung von Dampfleitungen

Trotz guter Isolierung kondensiert Dampf in den Leitungen. Insbesondere beim Anfahren aufgrund der noch kalten Leitung, circa 2 bis 4 kg/m. Dewegen ist bei Leitungen zu berücksichtigen:

- Fallend in Strömungsrichtung verlegen
- Mit Entwässerungsstutzen und Kondensatableitern, die 50 cm bis 100 cm lang sind (für den Anfahrvorgang) alle 25 m bis 50 m entwässern (insbesondere auch Tiefpunkte und Leitungsenden)
- Entlüften

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

# 13 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.

## 13.1 Einsparbewertung

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

Formel 27: Dampfleckage

$$m_{\text{DampfstromLeckage}} [\text{kg/h}] = A^2 \times B \times C$$

A=Lochgröße (mm)

B=0.4 (Konstante)

C=Absoluter Druck (bar)

Bei nicht ganz runden Leckagen kann man circa 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]:

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

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

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

---

# 14 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:

## 14.1 Arten von Kondensatableitern

In der folgenden Tabelle werden die Arten von Kondensatableitern behandelt (Quellen: Spirax Sarco, 2006, 2007):

Tabelle 12: Arten von Kondensatableitern

Ableiterart	Einsatzgebiete	Funktionsweise	Zu beachtende Eigenschaften
Mechanische Kugelschwimmer Kondensatableiter	Wärmetauscher (Dampfseitig geregelte WT, anstaugeregelte WT) geregelte Lufterhitzer, Brauchwassererwärmer Kochkessel, Trockenkammern, Heizschlagen, Trockenzylinder Mangeln in Wäschereien Lufterhitzer, Würzpfannen, Pasteure, CIP-Anlagen Beheizung und UH-Anlagen in der Lebensmittelindustrie Luftbefeuchtung, Behälterüberlauf, geregelte Lagertanks	Schwimmer öffnet oder schließt Ventil, je nach Kondensatanstrom; Entlüftung erfolgt gesondert durch eingebautes Entlüfterelement	Kondensatableitung ohne Kondensatanstau (kontinuierliche Ableitung), keine Kondensatunterkühlung Große Leistung bei kleinen Druckdifferenzen, unabhängig gegenüber Druckschwankungen Durchflussrichtung und Einbaulage (nicht auf dem Kopf!) beachten Schmutzfänger notwendig! Bei Wasserschlagsgefahr nicht einsetzen Bei Heißdampf Bimetallentlüfter einsetzen Frostgefährdet

Ableiterart	Einsatzgebiete	Funktionsweise	Zu beachtende Eigenschaften
Thermische Kapsel-Kondensatableiter	Dampfleitungen, Dampfradiatoren, Ungeregelte Lufterhitzer, Sterilisation, Desinfektion, Sterile Dampfleitungen, Dampffilter und Waschanlagen in der Medizin Wärmetische in Küchen, Geschirrwaschanlagen, Textilfixierung, Spannrahmen, Tunnelfinisher (Wäschereien) Gummiindustrie: Reifenpressen, Mehretagenpressen, Abfüllanlagen in der Lebensmittelindustrie	Durch die thermische Kapsel beziehungsweise das Bi-Metallelement wird die Kondensatleitung geöffnet (beim Anstrom von kaltem Kondensat) beziehungsweise geschlossen Kondensat wird zunächst um 6 bis 24 K (20-25 K bei Bi-Metallern) unter Sattedampftemperatur unterkühlt, stauen Kondensat an	Zuleitung und Ableiter NICHT ISOLIEREN! Gut: Entlüftungseigenschaften, unempfindlich gegen Wasserschlag und Frost Ungeeignet für: Starke Last- und Druckschwankungen Dampfseitig geregelte Wärmetauscher, Dampftrockner, weitere Dampf Räume, in die kein Kondensat rückgestaut werden darf.
Thermische Bimetall - Kondensatableiter	Begleitheizungen (Chemie, Raffinerie), unregelmäßige Heizschlangen und -register, unregelmäßige Lagertanks	Durch die thermische Kapsel beziehungsweise das Bi-Metallelement wird die Kondensatleitung geöffnet (beim Anstrom von kaltem Kondensat) beziehungsweise geschlossen Kondensat wird zunächst um 6 bis 24 K (20-25 K bei Bi-Metallern) unter Sattedampftemperatur unterkühlt, stauen Kondensat an	Zuleitung und Ableiter NICHT ISOLIEREN! Gut: Entlüftungseigenschaften, unempfindlich gegen Wasserschlag und Frost Ungeeignet für: Starke Last- und Druckschwankungen Dampfseitig geregelte Wärmetauscher, Dampftrockner, weitere Dampf Räume, in die kein Kondensat rückgestaut werden darf.
Thermodynamische Kondensatableiter	Heißdampfleitungen, unregelmäßige Heizregister und Lufterhitzer, unregelmäßige Lagertanks, Bügelpressen in Wäschereien, bei Frostgefahr	Ein Ventilteller öffnet bei Kondensatanfall, der schnell strömende Nachdampf schließt den Teller wieder	Keine Kondensatunterkühlung (stärkere Nachverdampfung), leiten kontinuierlich ab Druckdifferenzen einhalten: ab 1 bar Überdruck, Druck in Kondensatleitung darf nicht über 80 % des Drucks vor Kondensatableiter liegen Geeignet bei schwankendem Druck- und Kondensatanfall

Ableiterart	Einsatzgebiete	Funktionsweise	Zu beachtende Eigenschaften
			Unempfindlich gegen Wasserschläge, Verschmutzung Bei hohem Kondensatfluss ungeeignet Schlechte Entlüftung! Funktionsweise überprüfbar Falls kein Kondensat anfällt, öffnet der Ableiter nach 30 Sekunden bis halbe Stunde für ganz kurze Zeit
Aktive, Pump-Kondensatableiter	Für Fälle, wo der Druck im Dampfsystem geringer wird als der Druck im Kondensatsystem (z. B. für WT unter 100 °C, geringe Auslastung und so weiter) Für dampfseitig geregelte Wärmetauscher, geregelte Lufterhitzer Anlagen in der Lebensmittelindustrie und Brauereien	Bei Kondensatanfall öffnet Schwimmer Auslassventil und Kondensat fließt bei ausreichendem Differenzdruck in Kondensatleitung Bei zu geringem Differenzdruck wird Frischdampf eingelassen, um Kondensat aktiv zu fördern.	Verhindert Rückstau in Wärmetauscher Schützt vor Dampf- und Wasserschlägen Korrekte Installation von Druckpendelleitung und Durchflussrichtung beachten Langsames Anfahren nötig
Blenden	Nicht angegeben	Nicht angegeben	Erhebliche Dampfverluste (keine beweglichen Teile), „leiten“ statisch ab Erhöhter Dampfanteil im Kondensatsystem, Wasserschlaggefahr und so weiter

Quelle: Spirax Sarco, 2006, 2007

## 14.2 Korrekte Installation

Der Abstand des Kondensatableiters vom Dampfraum soll maximal 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 beziehungsweise Sammelentwässerung vermeiden, das heißt 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, Seite 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.

### 14.3 Funktionsweise

Grundsätzlich können Kondensatableiter sehr lange Standzeiten von bis zu 20 Jahren haben. Dennoch ist in einem gewarteten System die Funktion von circa 10 % aller Kondensatableiter im Laufe eines Jahres gestört. Dieser Anteil lässt sich auf circa 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)
- Teilweises Durchblasen und so weiter
- 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 Kondensatentension), sodass rein das Auftreten von Dampf noch kein Indikator für eine Fehlfunktion ist.

## 14.4 Fehlererkennung

Thermometer:

- Eignen sich, um Wasserblockade festzustellen
  - Bimetall-Ableiter führen Kondensat mit Unterkühlung unter Sattdampftemperatur ab
- Abhören von Kondensatableitern mit Stethoskop ist nicht zu empfehlen, besser:

Elektronisches Ultraschall-Lecksuchgerät:

- Wenn die Geräuschstärke von einem zum anderen Kondensatableiter mit (normalerweise) ähnlichem 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 circa 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.

## 14.5 Einsparbewertung für Leckagenverluste bei Kondensatableitern

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

Tabelle 13: Dampfverlust in kg/h aus einem Kondensatableiter

Kondensatableiter-Öffnung Durchmesser in mm	1 bar	7 bar	10 bar	20 bar
1	0,38	1,50	2,10	Nicht angegeben
2	1,50	6,00	8,60	16,40
3	6,20	24,00	43,04	65,80
4	13,09	54,00	77,00	148,00
6	24,80	96,00	137,00	263,00
8	55,80	215,00	309,00	591,00

Gilt für komplett offene Ableiter

Quelle: Europäische Kommission, 2009

Die Napiers-Formel

Formel 28: Dampfleckage

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

A=Lochgröße (mm)

B=0.4 (Konstante)

C=Absoluter Druck (bar)

Formel, abhängig von der Fehlfunktion eines Ableiters

Eine weitere (selten angewendete) Möglichkeit bietet folgende Formel für den Verlust abhängig von der Fehlfunktion eines Ableiters (Europäische Kommission, 2009, Übers. KK):

Formel 29: Verlust abhängig von der Fehlfunktion eines Ableiters

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

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

BZ ... Betriebszustand (d: Durchmesser in [cm])

Durchblasen: 1,00

Leckagen: 0,25

Schnelles Schalten: 0,20

LF ... Lastfaktor ( $p_{\text{ein}}$  (atm) Vor dem Kondensator [bar],

$p_{\text{aus}}$  (atm) Nach dem Kondensator [bar])

Standard Anwendung: 0,90

Streckenentwässerungen: 1,40

Dampfstrom (ohne Kondensat): 2,10

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 oder 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.

Bei der Begehung kann eine Liste der Fehlerbeschreibung wie folgt aussehen:

Tabelle 14: Liste von Fehlerbeschreibungen

<b>Beschreibung</b>	<b>Maßnahme</b>
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	Thermodynamischer 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: circa 300 EUR pro Ableiter

Quelle: Europäische Kommission (2009), Übersetzung Konstantin Kulterer

# 15 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 wiederverwendet werden und/oder der verunreinigte Kondensatstrom über pH-Wert, Leitfähigkeitsmessung oder Gesamtkohlenstoff kontrolliert werden. Außerdem kann die Wärme des Kondensats indirekt wiederverwendet werden.

## 15.1 Bewertung

Energetischer Verlust

Formel 30: Energetischer Verlust

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

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

$m_{\text{Kondensat}}$  ... Kondensatmenge in kg/h, die Kondensatmenge muss um die Nachdampfmenge, reduziert werden (siehe Nachverdampfung, z. B. 10 %)

$h'_{\text{Kondensat}}$  ... Enthalpie Kondensat in [kJ/kg]

$t$  Betriebszeit ... Kessel

$K_{\text{Brennstoff}}$  ... Brennstoffkosten EUR/kJ (EUR/MJ, EUR/kWh)

$\eta_{\text{Kessel}}$  ... 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.

## 15.2 Einsparmaßnahmen

- 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.
- Einrichtung eines geschlossenen Kondensatsystems oder Sammlung und Wiederverwertung von Kondensatströmen
- Erhöhung der Kondensatrücklauftemperatur und -menge durch Schließen von Lecks in Kondensatleitung und -ableitern und Isolierung der Kondensatleitung; Bewertung über die oben angeführte Formel.

# 16 Nutzung der Nachverdampfung

## 16.1 Einsatzgebiete

Kondensat aus der Hochdruckleitung wird nach der Kondensatableitung entspannt, die freiwerdende Energie verdampft nach. Circa 5 % bis 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, Luftherhitzer

Manche Verbraucher können von 4 bar bis 8 bar auf 0,5 bar umgestellt werden, falls nötig sind zusätzliche Wärmetauscherflächen nachzurüsten. Die letzte Entspannungsstufe sollte nahe Atmosphärendruck sein (0,2 bar bis 0,5 bar Überdruck).

Von einer Anlage, die Dampf verbraucht, 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.

## 16.2 Einsparbewertung

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

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

- Ist der Dampfverbrauch bekannt, so entspricht die Kondensatmenge der Dampfmenge in kg/h.
- 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.
- Aus der Wärmeleistung, für die Überschlagsrechnung

Formel 31: Überschlagsrechnung

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

Q ... [kW]

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

1,7 ... 3.600 dividiert durch circa 2.100 kJ/kg (Verdampfungswärme h)

- Der Kondensatstrom kann auch aus der Heizfläche des Wärmetauschers berechnet werden.

Formel 32: Kondensatstrom aus der Heizfläche des Wärmetauschers

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

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

$T_d$  ... Dampftemperatur [C°], z. B. 180 °C

$T_1, T_2$  ... 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, circa 2.100 kJ/kg umgerechnet in 583 W/kg

Gilt für:

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

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

Entspannungsdruck festlegen und Nachdampfmenge ermitteln.

Formel 33: Nachdampfmenge

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

$h'_{\text{HD,Kondensat}}$  ... Enthalpie Kondensat bei Druck vor Kondensatableiter [kJ/kg]

$h'_{\text{ND,Kondensat}}$  ... Enthalpie Kondensat bei Druck nach Kondensatableiter [kJ/kg]

$r_{\text{ND}}$  ... 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

Formel 34: Nachdampfmenge

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

Die Einsparbewertung kann über die Dampfkosten erfolgen. Die genauere energetische Bewertung erfolgt über folgende Formel:

Formel 35: Einsparbewertung

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

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

# 17 Analyse der Verbraucher

Im Anhang „Mustervorlagen für Dampfsystemaudits“ finden Sie Excel-Vorlagen, in die Sie die unterschiedlichen Daten für die Erfassung aller relevanten Informationen eintragen können.

Formel 36: Wärmemenge

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

$c$  ... spezifische Wärmekapazität [kJ/kgK]

$\dot{Q}$  ... Wärmemenge in [kJ]

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

Formel 37: Wärmemenge

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

$r$  spezifische Verdampfungswärme [kJ/kg]

Formel 38: Umrechnung der Wärmemenge (in kW) in Dampfstrom

$$m=Q/r$$

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

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

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

## 17.1 Wärmetauscher

Ungeregelte Heizungen werden mit Bimetall-Kondensatableitern entwässert.

Wärmetauscher müssen 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 % bis 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. (gegebenenfalls 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 sogenannte 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

# 18 Angebote und Tools

Um Betriebe bei der Optimierung häufig genutzter Technologien zu unterstützen, wurden im Programm klimaaktiv Energieeffiziente Betriebe weitere **Leitfäden** zu folgenden Querschnittstechnologien erstellt:

- Optimierung von Kältesystemen
- Optimierung von Druckluftsystemen
- Optimierung von Ventilatoren und Lüftungssystemen
- Optimierung der Abwärmenutzung
- Optimierung von Pumpensystemen
- Optimierung von Beleuchtungssystemen
- Messleitfaden I zur Bewertung von Energieeinsparungen
- Messleitfaden II zur Messtechnik
- Optimierung der Wärmeverteilung und Hydraulik
- Technische Isolierung

## **Energiemanagement und Benchmarking**

Ein EMS beinhaltet die Umsetzung technischer, strategischer und organisatorischer Maßnahmen zur fortlaufenden Verbesserung der energiebezogenen Leistung. Wie ein Energiemanagementsystem nach der ISO 50001 Schritt für Schritt im Unternehmen verankert wird und wie die Anforderungen der Norm ISO 50001:2018 erfüllt werden, ist auf der klimaaktiv Website [energiemanagement.at](https://www.klimaklimaaktiv.at/energiemanagement) beschrieben. Machen Sie den Erstbewertungscheck, um das Ausgangsniveau zur Einführung des EMS festzustellen.

Good Practice Beispiele von Betrieben zum Nachweis der energiebezogenen Leistung sowie Energie-, Material- und Ressourceneffizienz und Einhaltung von energierechtlichen Vorschriften im Rahmen der ISO 50001 finden Sie zusammengefasst in drei **Guidelines** auf [klimaklimaaktiv.at/energiesparen/energiemanagement](https://www.klimaklimaaktiv.at/energiesparen/energiemanagement).

- Einhaltung von energierechtlichen Vorschriften im Rahmen der ISO 50001
- Energieeffizienz und Synergien zur Materialeffizienz und zum Arbeitnehmerschutz
- Nachweis der Verbesserung der energiebezogenen Leistung

Weiters bietet klima**aktiv** Schulungen und Webinare, in denen Grundlagen und Lösungen zur Optimierung betrieblicher Systeme vermittelt werden. Aktuelle Termine finden Sie auf [klimaaktiv.at/betriebe-schulungen](https://klimaaktiv.at/betriebe-schulungen) oder im Energieeffiziente Betriebe Newsletter. Sie können sich unter [klimaaktiv.at/service/newsletter-an-abmeldung](https://klimaaktiv.at/service/newsletter-an-abmeldung) anmelden.

**ProTool** - Das klima**aktiv** ProTool ist ein Tool, das für eine umfassende Erstanalyse der Energieeffizienz im Betrieb eingesetzt werden kann und ermöglicht rasch Einsparpotenziale zu identifizieren.

**Pinch Tool** - Die Pinch-Analyse ermöglicht eine rasche und unkomplizierte Bestimmung der optimalen Abwärmenutzung. Dieses Werkzeug erleichtert es, ein Wärmetauschernetzwerk basierend auf realen Betriebsdaten von Prozessströmen und Abwärmeströmen aus der Energieversorgung zu kreieren und zu bewerten.

## Literaturverzeichnis

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

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

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

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

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

**Europäische Kommission:** Reference Documents on Best Available Techniques on Energy Efficiency, 2009

**Gestra (a):** Betriebsanleitung 808565-01, ohne Jahr

**Gestra (b):** Ausrüstung für Energiezentralen, Seite 39, Bremen ohne Jahr  
[gestra.de/produkte/downloads](http://gestra.de/produkte/downloads) (abgerufen am 3.4.2010)

**Goeke, J.:** Übersicht Energie Dampfkessel mit Dampftafel, Skriptum FH Köln, 2009, [fh-koeln.de-f09-alt-personen-johannes.goecke-Dokumente-Dampf-Massenmessung.pdf](http://fh-koeln.de-f09-alt-personen-johannes.goecke-Dokumente-Dampf-Massenmessung.pdf) (abgerufen am 22.3.2011)

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

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

**Klackl, Johann:** Eichler GmbH: Energieeffizienzmaßnahmen bei Dampf- und Wärmeversorgungsanlagen, Vortrag beim OEKV-Seminar „Erfolgreiche Kesselmodernisierung“, Wien, 17.4.2008

**Klackl, Johann:** Technisches Büro Eichler KG: Hand-Out zum Vortrag (siehe oben), 2008

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vorgeschlagene Energieeffizienzmaßnahmen in der Erzeugung an 77 Standorten (Carbon Trust 2003).....	17
Tabelle 2: Vorgeschlagene Energieeffizienzmaßnahmen in der Dampfverteilung an 107 Standorten (Carbon Trust 2004) .....	18
Tabelle 3: Einsparmaßnahmen und Einsparpotential in der Dampferzeugung und durch geschlossenes Kondensatsystem (Loos International, 2010) .....	18
Tabelle 4: Beispiel für Aufteilung der Verluste in einem Dampfsystem bei der Erzeugung	22
Tabelle 5: Brennstoffparameter für Brennstoffe nach Siegert, Konstanten.....	24
Tabelle 6: Reduktion Sauerstoffgehalt (Harrel, 2002, Wipp, 2011).....	30
Tabelle 7: Reduktion Sauerstoffgehalt (Harrel, 2002, Wipp, 2011) O <sub>2</sub> Regelung über Stufeneinstellung.....	30
Tabelle 8: Wichtige Begriffe in der Speisewasserversorgung von Dampfkesseln .....	32
Tabelle 9: Stündliche Wärmeeinsparung bei Verringerung der Absalzmenge um die entsprechende Menge (Speisewasser 10 °C).....	35
Tabelle 4: Absalzlaugenentspanner .....	38
Tabelle 11: Typische Wärmeverluste von Dampfrohren .....	49
Tabelle 12: Arten von Kondensatableitern .....	53
Tabelle 13: Dampfverlust in kg/h aus einem Kondensatableiter.....	58
Tabelle 14: Liste von Fehlerbeschreibungen.....	60

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Energieaudit-Ablauf im Überblick.....	7
Abbildung 2: Feuerungstechnischer Wirkungsgrad in Abhängigkeit der Abgastemperatur	25
Abbildung 3: Feuerungstechnischer Wirkungsgrad laut der Siegert'schen Formel.....	25
Abbildung 4: Beispiel für Durchflussdiagramm für automatische und händische Abschlammventile (PA 46, 47, MPA 46, 47).....	34
Abbildung 5: Einbindung eines Laugenkühlers in die Dampfzentrale .....	38
Abbildung 6: Strahlungsverluste für Dampferzeuger.....	39
Abbildung 7: Entgaser .....	47
Abbildung 8: Wärmeverlust von Rohrleitungen unterschiedlicher Rohrdurchmesser bei Oberflächentemperatur von 150 °C abhängig von der Dicke der Isolierung.....	48

## Formelverzeichnis

Formel 1: Berechnung des Jahresnutzungsgrades.....	21
Formel 2: Nutzungsgrad .....	22
Formel 3: Berechnung der Bewertung des Abgasverlustes .....	24
Formel 4: Brennstoffeinsparung .....	26
Formel 5: Einsparbewertung.....	31
Formel 6: Absalzung .....	33
Formel 7: Abschlamm- und Absalzverluste.....	35
Formel 8: Abschlamm- und Absalzverluste.....	35
Formel 9: Abschlämmung.....	36
Formel 10: Entspannungsdampfmenge .....	37
Formel 11: Rückgewonnene Entspannungsmenge.....	37
Formel 12: Abstrahlverluste .....	39
Formel 13: Wärmeverluste der Wand .....	40
Formel 14: Gesamtwärmeübergangskoeffizient.....	40
Formel 15: Konvektiver Anteil.....	41
Formel 16: Strahlungsanteil .....	41
Formel 17: Bewertung des Einschaltverlusts .....	42
Formel 18: Mittelwert aus der Öffnungs- und Schließzeit des Stellantriebs plus Vorbelüftungszeit .....	42
Formel 19: Luftaufwärmung.....	43
Formel 20: Abschätzung für die Abdampfmenge .....	44
Formel 21: Abdampfmenge über den Ventilstrom und die Ventilöffnungszeiten .....	45
Formel 22: Einsparung.....	45
Formel 23: Umrechnung Massenstromangabe in Leistungsangabe für Dampf (siehe auch Formel 32) .....	46
Formel 24: Gesamtdampfmenge pro Jahr .....	46
Formel 25: Verlust.....	49
Formel 26: Einsparung.....	49
Formel 27: Dampfleckage.....	51
Formel 28: Dampfleckage.....	58
Formel 29: Verlust abhängig von der Fehlfunktion eines Ableiters.....	59
Formel 30: Energetischer Verlust.....	62
Formel 31: Überschlagsrechnung.....	65
Formel 32: Kondensatstrom aus der Heizfläche des Wärmetauschers.....	65
Formel 33: Nachdampfmenge.....	66

Formel 34: Nachdampfmenge.....	66
Formel 35: Einsparbewertung.....	66
Formel 36: Wärmemenge .....	67
Formel 37: Wärmemenge .....	67
Formel 38: Umrechnung der Wärmemenge (in kW) in Dampfstrom .....	68

## Über klimaaktiv

klimaaktiv ist die Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Seit 2004 bietet sie in den Themenschwerpunkten „Bauen und Sanieren“, „Energiesparen“, „Erneuerbare Energie“ und „Mobilität“ ein umfassendes, ständig wachsendes Spektrum an Information, Beratung sowie Weiterbildung und setzt Standards, die international Vorbildcharakter haben.

klimaaktiv zeigt, dass jede Tat zählt: jede und jeder in Kommunen, Unternehmen, Vereinen und Haushalten kann einen aktiven Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten. Damit trägt die Initiative zur Umsetzung des nationalen Energie- und Klimaplanes (NEKP) für Österreich bei. Näheres unter [klimaaktiv.at](http://klimaaktiv.at)

Das klimaaktiv Programm Energieeffiziente Betriebe setzt gezielt Impulse zur Erhöhung der Energieeffizienz in österreichischen Produktions- und Gewerbebetrieben und unterstützt diese auf Ihrem Weg in Richtung Klimaneutralität. Informationen, Angebote und Good Practice Beispiele von umgesetzten Maßnahmen finden Sie unter [klimaaktiv.at/effizienz](http://klimaaktiv.at/effizienz)

## Kontakt

Strategische Gesamtsteuerung klimaaktiv

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

Abt. VII/3 – Nachhaltige Finanzen und Standortpolitik

Stubenbastei 5, 1010 Wien

Programmmanagement klimaaktiv Energieeffiziente Betriebe

Österreichische Energieagentur

Petra Lackner

[eebetriebe@energyagency.at](mailto:eebetriebe@energyagency.at)

[klimaaktiv.at/effizienz](http://klimaaktiv.at/effizienz)

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und  
Technologie**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)