



Für alle Fragen zur effizienten Energienutzung
in Industrie und Gewerbe:

Kostenlose Energie-Hotline 08000 736 734

**E-Mail: info@industrie-energieeffizienz.de
www.industrie-energieeffizienz.de**

Art.-Nr. 13891



Energetische Modernisierung industrieller Wärmeversorgungssysteme.

Möglichkeiten der Effizienzsteigerung und der Energieeinsparung
an großen feuerungstechnischen Anlagen.

Eine Initiative von:



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Unsere Partner:



Bundesindustrieverband Deutschland
Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V.



Interessengemeinschaft
Energie · Umwelt
Feuerungen GmbH

Inhalt.

Vorworte.	3
Vorwort dena.	
Vorwort BDH.	
1. Einführung in das Thema.	4
1.1 Energieverbrauch und Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe in Deutschland.	
1.2 Wärmeversorgungssysteme: Anwendungen und Einsparpotenziale.	
2. Überblick zur Optimierung von Wärmeversorgungssystemen.	6
3. Optimierung des Wärmebedarfs.	7
3.1 Energetische Istanalyse.	
3.2 Minimierung von Wärmeverlusten.	
4. Energieeffiziente Wärmeerzeugung.	9
4.1 Energieeffiziente Auslegung einer Anlage.	
4.2 Effizienzsteigerung bei Brenner- und Kesseltechniken.	
4.3 Optimierung durch Messung, Steuerung und Regelung (MSR).	
4.4 Abgasregelung bei Dampf- und Heißwassererzeugung.	
4.5 Energieerzeugungsmanagement bei der Wärmeversorgung.	
5. Wärmerückgewinnung.	16
5.1 Funktionsweise der Wärmerückgewinnung.	
5.2 Abgas-Wärmerückgewinnung.	
6. Energieeffiziente Umwandlungs- und Erzeugungstechnologien.	19
6.1 Kraft-Wärme-Kopplung.	
6.2 Wärmepumpen.	
6.3 Solarthermie.	
6.4 Wärmespeicher.	
7. Partner für mehr Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe.	21
8. Best-Practice-Beispiele.	22

Vorworte.

Vorwort dena.

Der mit Abstand größte Energiebedarf in Industrie und produzierendem Gewerbe entfällt auf die Erzeugung von Wärme für technische Prozesse. Fast jeder verarbeitende Betrieb ist zur Dampf- und Heißwassererzeugung oder für den Betrieb von Brennöfen und Trocknungsanlagen auf die Versorgung mit industrieller Wärme angewiesen. Prozesswärme ist daher längst für viele Unternehmen ein bedeutender Kostenfaktor geworden.

Gerade in den Wärmeversorgungssystemen können viele Betriebe noch hohe Energieeinsparungen erreichen. Investitionen in energieeffizientere Systeme sind dabei nicht nur hoch rentabel, sondern zahlen sich für Unternehmen gleich in mehrfacher Hinsicht aus: Energieeffizienz senkt die Produktionskosten, trägt zur Reduzierung der CO₂-Emissionen bei und stärkt die Innovationskraft und damit die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens.

Die vorliegende Broschüre zeigt, wie alle Komponenten eines Wärmeversorgungssystems optimal aufeinander abgestimmt und so Energie- und Kosteneinsparpotenziale systematisch erschlossen werden können. Projekte aus Unternehmen, die ihre Wärmeversorgungssysteme bereits mit Erfolg optimiert haben, runden die Publikation ab: damit diese Praxisbeispiele in möglichst vielen Unternehmen Schule machen.

Ich wünsche eine anregende Lektüre.



Ihr Stephan Kohler
Vorsitzender der Geschäftsführung
Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)

Vorwort BDH.

Rund 80 Prozent der feuerungstechnischen Anlagen in Deutschland sind älter als zehn Jahre und entsprechen nicht mehr dem heutigen Stand der Technik. Durch eine energetische Modernisierung dieser 250.000 veralteten Anlagen könnte die deutsche Wirtschaft beträchtliche Mengen Öl und Gas und damit erhebliche Kosten einsparen.

Rasches Handeln ist hier angesichts ambitionierter deutscher und europäischer Klimaschutzziele gefragt. Seit 2006 konnte der CO₂-Ausstoß in Deutschland durch die Förderung von Investitionen in die Energieeffizienz von Gebäuden bereits um rund 3,2 Millionen Tonnen gesenkt werden. Wir schätzen, dass allein im industriellen Sektor und bei Großgebäuden mit 100 bis 36.000 kW Feuerungswärmeleistung mit energetisch optimierten Wärmeversorgungsanlagen fünfmal so hohe Einsparungen erzielt werden können.

Welche Energieeffizienzpotenziale in Ihrem Unternehmen schlummern, erfahren Sie in dieser Broschüre. Denn mit der Modernisierung Ihrer Altanlage leisten Sie nicht nur einen Beitrag zu Klima- und Umweltschutz, sondern können auch Ihre eigenen Energiekosten teilweise drastisch reduzieren.

Lassen Sie sich bei der Lektüre davon überzeugen, wie Unternehmen von Investitionen in die Energieeffizienz ihrer feuerungstechnischen Anlagen profitieren.



Ihr Andreas Lücke
Hauptgeschäftsführer
Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e. V. (BDH)

1. Einführung in das Thema.

1.1 Energieverbrauch und Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe in Deutschland.

Rund 30 Prozent des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland entfällt auf Unternehmen aus Industrie und Gewerbe. Das entspricht etwa 700 TWh pro Jahr (Quelle: Prognos¹). Die damit verbundenen Ausgaben machen für Unternehmen zunehmend einen existenziellen Kosten- und damit Wettbewerbsfaktor aus: So entstanden dem verarbeitenden Gewerbe nach einer Statistik des Bundeswirtschaftsministeriums im Jahr 2008 Energiekosten in Höhe von insgesamt rund 36 Mrd. Euro.

Etwa 400 TWh Endenergie wenden Unternehmen jährlich auf, um **Prozesswärme** bereitzustellen. Mit einem Anteil von 57 Prozent am industriellen Gesamtendenergieverbrauch ist Prozesswärme damit das mit Abstand energieintensivste

Anwendungsfeld, vor Elektromotoren, Raumwärme², Beleuchtung und galvanischen Prozessen sowie Biotechnologie.

Prozesswärme wird aus diversen Energieträgern erzeugt (z. B. Strom, Öl und Gas), durch verschiedene Medien transportiert (z. B. Warm-/Heißwasser, Dampf und Heißluft) und – je nach Anforderungen der spezifischen Prozesse – auf unterschiedlichen Temperaturniveaus benötigt. Wie auch in anderen Anwendungsfeldern können Unternehmen aus Industrie und Gewerbe durch Energieeffizienz deutliche Einsparpotenziale bei der Prozesswärmeversorgung erzielen: Betrachtet man alle thermischen Prozesse, so lassen sich insgesamt konservativ geschätzt 30 TWh pro Jahr Energie – und damit etwa 7,5 Prozent des industriellen Prozesswärmeenergieverbrauchs – wirtschaftlich einsparen. Weitere 17,5 TWh Einsparungen lassen sich jährlich bei der **Raumwärme** erzielen.

Abbildung 1: Endenergieverbrauch pro Anwendungsfeld in Industrie und Gewerbe in Deutschland (in TWh/a).

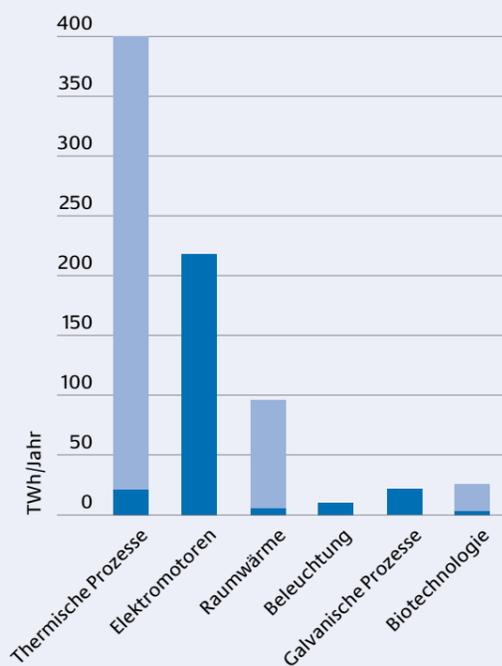
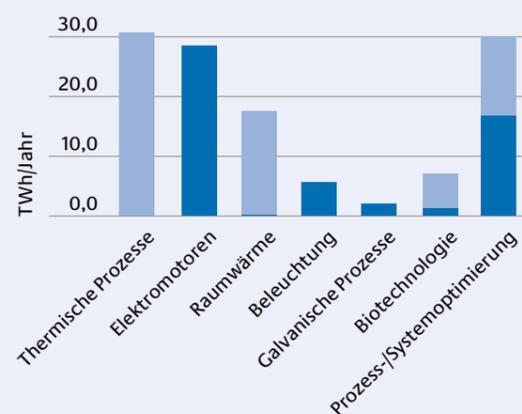


Abbildung 2: Wirtschaftliches Energieeinsparpotenzial in Industrieunternehmen nach Anwendungsfeldern (in TWh/a).



Das Gesamteinsparpotenzial aller Anwendungsfelder beträgt circa 98 TWh/Jahr. Die in Abbildung 2 dargestellten Maßnahmen überschneiden sich, sodass die Potenziale nicht addiert werden können.

— andere Brennstoffe (TWh/a)
— Strom (TWh/a)

¹ Endbericht 18/06, Potenziale für Energieeinsparung und Energieeffizienz im Lichte aktueller Preisentwicklungen, Auftraggeber: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Prognos AG, Basel und Berlin, 31. August 2007. Alle Daten zum Energieverbrauch und zu Energieeffizienzpotenzialen in diesem Kapitel stammen aus dieser Quelle.

² Inklusiv Warmwasserbereitung.

1.2 Wärmeversorgungssysteme: Anwendungen und Einsparpotenziale.

Beim Großteil der Maßnahmen zur Optimierung von Wärmeversorgungssystemen, die hier vorgestellt werden, handelt es sich um **Querschnittsanwendungen**, d. h. sie können branchenübergreifend eingesetzt werden. Lediglich bei Trocknungsanlagen überwiegen Maßnahmen, die fast ausschließlich produktionspezifisch und damit auf einen bestimmten Anwendungsbereich von Wärmeversorgungssystemen beschränkt sind. Sie finden daher im Weiteren keine Berücksichtigung. Die Abbildung 3 zeigt den Energiebedarf und das Einsparpotenzial für die einzelnen Wärmeanwendungen.

Durch **prozess- und systemspezifische Optimierungsmaßnahmen** lassen sich in allen Anwendungsbereichen der Prozess- und Raumwärme darüber hinaus weitere Einsparpotenziale in Höhe von 13 TWh pro Jahr erschließen.

Dampf- und Heißwassererzeugung.

Rund 40 Prozent des industriellen Prozess- und Raumwärmebedarfs wird in Kesselanlagen zur Dampf- und Heißwassererzeugung generiert. Etwa 92,9 TWh Energie werden pro Jahr in Deutschland für Prozesswärme aufgewendet – hauptsächlich in der chemischen, Papier-, Investitionsgüter- sowie Nahrungs- und Genussmittelindustrie. Für die Erzeugung von Raumwärme werden sogar 96,2 TWh Energie pro Jahr benötigt.

Das wirtschaftliche jährliche Einsparpotenzial im Bereich der Dampf- und Heißwassererzeugung beträgt 12 TWh, zusätz-

liche Potenziale in Höhe von 17,5 TWh bestehen bei der Raumwärme. Zu den wichtigsten Energieeffizienzmaßnahmen gehören der verstärkte Einsatz von Wärmerückgewinnung, die Optimierung der Brenner- und Kesseltechnik, die bedarfsgerechte Steuerung und die Verbesserung der Wärmedämmung. Pro Anlage könnten so durchschnittlich 15 Prozent Energie eingespart werden. Wird das gesamte Wärmeversorgungssystem ganzheitlich optimiert – durch die Anpassung und bessere Abstimmung der Komponenten aufeinander – können zusätzliche Energie- und Kostenreduktionen erzielt werden. Im folgenden Kapitel erfahren Sie Schritt für Schritt, wie diese Einsparpotenziale realisiert werden können.

Brennöfen.

Brennöfen werden für thermische Prozesse wie Brennen, Schmelzen und Erwärmen, zu Guss- und Verformungszwecken, zur Wärmebehandlung oder zum Sintern und Kalzinieren benötigt. Etwa die Hälfte des industriellen Prozesswärme- und Raumwärmebedarfs – 240,1 TWh pro Jahr – werden für diese energieintensiven Prozesse aufgewendet. Ein Drittel davon entfällt auf Öfen, die branchenübergreifend zum Einsatz kommen. Hohe Energieeffizienzsteigerungen lassen sich – wie im folgenden Kapitel näher beschrieben wird – vor allem durch den Einbau energieeffizienter Brenner, Verbrennungsprozesse mit Sauerstoff, eine optimierte Steuerung, verbesserte Dämmung sowie durch die Nutzung von Abwärme erreichen. Insgesamt können in diesem energieintensiven Anwendungsbereich 13,3 TWh pro Jahr wirtschaftlich eingespart werden.

Abbildung 3: Energiebedarf und das Einsparpotenzial für die einzelnen Wärmeanwendungen.

Anwendung	Branchen	Energiebedarf in TWh/a	Einsparpotenzial in TWh/a
Dampf-/Heißwassererzeugung und sonstige thermische Prozesse	Chemische und Papierindustrie, Herstellung von Investitionsgütern sowie Nahrungs- und Genussmitteln	92,9	12,0
	branchenübergreifende Erzeugung von Raumwärme	96,2	17,5
Brennöfen und Prozesse von 200 bis über 500° C	Herstellung verschiedener Grundstoffe, Eisen-, Nichteisen- und Stahlherstellung, Zement-, Keramik- und Glasherstellung, Investitionsgüterindustrie, industrielles Backen	240,1	13,3
Trocknung und sonstige Prozesse unter 200° C	Prozesse der Nahrungsmittelindustrie sowie Trocknung von Holz, Kohle, Ziegeln, Papier, Lacken und Farben, Feinkeramik u. a.	65,6	5,3

2. Überblick zur Optimierung von Wärmeversorgungssystemen.

Maßnahmen zur energetischen Optimierung von Wärmeversorgungssystemen sind stets als Teil einer Optimierung des Gesamtsystems zu betrachten. Denn: Die größten Energieeffizienzsteigerungen lassen sich nur dann erzielen, wenn alle Komponenten zu einem effizienten

Gesamtsystem abgestimmt werden. Um ein optimales Ergebnis zu erzielen, empfiehlt sich folgendes systematisches Vorgehen, welches in den nächsten Kapiteln Schritt für Schritt erläutert wird:

1 Optimierung des Wärmebedarfs.

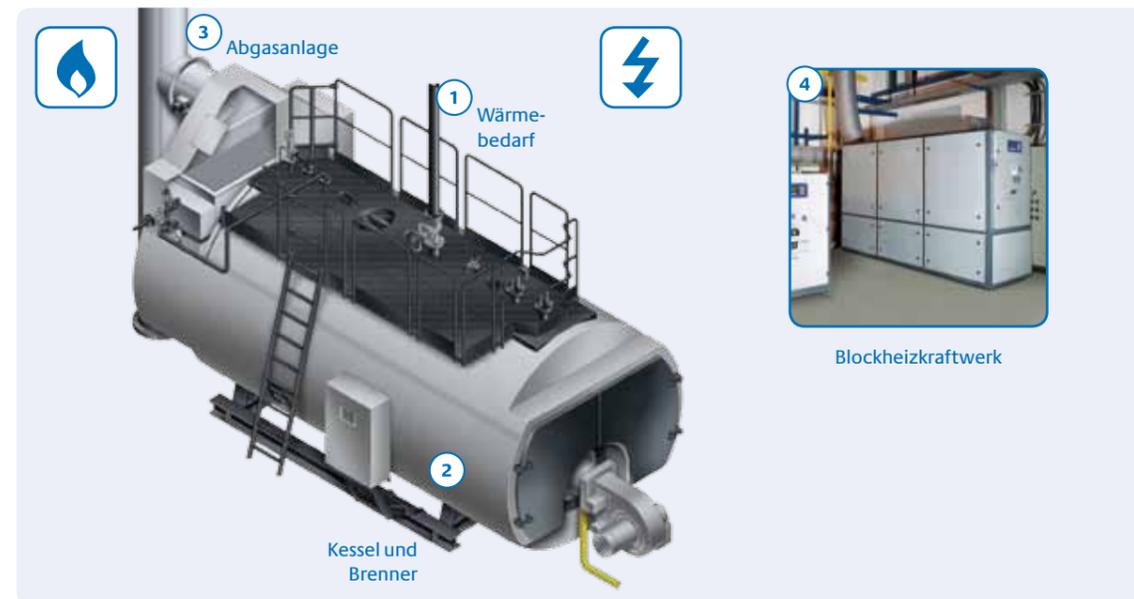
Um eine Wärmeversorgungsanlage energetisch zu optimieren, sollten in einem ersten Schritt zunächst eine detaillierte Istanalyse des Energieverbrauchs und eine Optimierung des Wärmebedarfs erfolgen.

- Energetische Istanalyse des derzeitigen Energieverbrauchs der Anlage und des tatsächlich erforderlichen Wärmebedarfs
- Energieoptimierung des Produktionsprozesses
- Minimierung von Wärmeverlusten
- Optimierung des Wärmebedarfs

2 Energieeffiziente Wärmeerzeugung.

Im zweiten Schritt werden alle Systemkomponenten und die gesamte Anlage energieoptimiert:

- Überprüfung der Komponenten und der gesamten Wärmeversorgungsanlage auf ihre Energieeffizienz bzw. deren energieeffiziente Auslegung
- Austausch bzw. Neuanschaffung von energieeffizienten Brenner- und Kesseltechniken
- Kesselfolgesteuerung/Mehrkesselregelung
- Drehzahlregelung von Brennern
- Abgasregelung bei Brennern



3 Wärmerückgewinnung.

Bei der industriellen Wärmeerzeugung und -nutzung fällt unvermeidbar sogenannte Abwärme an, durchschnittlich 40 Prozent, die an die Umgebung abgegeben wird. Dieses große Potenzial kann durch Maßnahmen zur Wärmerückgewinnung genutzt werden:

- Economiser
- Brennwerttechnik
- Luftvorwärmer
- Rekuperatorbrenner und Regenerativbrenner

4 Umwandlungs- und Erzeugungstechnologien.

Der letzte Schritt: die Auswahl von passenden Umwandlungs- und Erzeugungstechnologien, die eine weitere Senkung des Energieverbrauchs bewirken:

- Kraft-Wärme-(Kälte-)Kopplung
- Wärmepumpen
- Solarthermie
- Wärmespeicher

3. Optimierung des Wärmebedarfs.

Der erste Schritt zur energetischen Optimierung der Wärmeversorgung ist eine detaillierte Analyse des aktuellen Wärmeverbrauchs (Istzustand) sowie des tatsächlichen Wärmebedarfs (Sollzustand). Das Augenmerk sollte dabei auf die Behebung von Energieverlusten im Produktionsprozess gelegt werden.

3.1 Energetische Istanalyse.

Einen Überblick über den Energieverbrauch, den Wärmebedarf sowie die Wärmeversorgungsanlage und ihre Einzelkomponenten bietet eine energetische Istanalyse. Auch die Leistungsparameter der Prozesse und Anlagen – Wärmemenge, Druck und Temperatur – sollten in einer solchen Bestandsaufnahme abgebildet werden. In vielen Betrieben ist lediglich der Gesamtenergieverbrauch aus den Kostenabrechnungen der jeweiligen Energieträger bekannt, aber nicht, wie sich dieser auf die unterschiedlichen Prozesse und Anlagen verteilt. Diese Aufteilung ist jedoch unbedingt erforderlich, will man das temperatur- und zeitabhängige Wärmebedarfsprofil der Prozesse und Anlagen bestimmen. Bei dieser Analyse kann ein Energieberater wertvolle Unterstützung leisten. Wer die Analyse selbst durchführen möchte, kann sich unter anderem am Einstein Audit Guide orientieren (Download auf der Internetseite: www.einstein-energy.net). Der gesamte thermische Energiebedarf verfahrenstechnischer Prozesse oder eines ganzen Unternehmens lässt sich mit einer Pinch-Analyse abbilden. Kern dieses Analyseverfahrens ist die Erfassung der thermischen Energieströme sämtlicher Prozessanlagen eines Unternehmens.

Zuerst sollten Maßnahmen zur Minimierung von Verlusten sowie Möglichkeiten zur Optimierung des Bedarfs in den Produktionsprozessen, z. B. durch effizientere Prozesstechnologien, geprüft werden. In einem zweiten Schritt kann die Optimierung der Wärmeversorgungsanlage vorgenommen werden.

3.2 Minimierung von Wärmeverlusten.

Wärmeverluste können an unterschiedlichen Stellen des Wärmeversorgungssystems auftreten: beim Energieverbraucher, beim Transport oder bei der Energieerzeugung.

Im **Prozess**, also bei den Verbrauchern, lassen sich Energieverluste beispielsweise durch eine ausreichend dimensionierte Wärmedämmung von Behältern oder Öfen gering halten und tragen so zur Verminderung des Bedarfs bei.

Um **Wärmeverluste bei der Energieerzeugung** einzugrenzen, sollte bereits bei der Konzeption der Anlage darauf geachtet werden, dass die Kessel wenig Wärme abgeben und über ein gutes Wärmespeichervermögen verfügen. Bei Anlagen im Bestand lassen sich Verluste durch Reinigen der Heizflächen und die Beseitigung undichter Stellen im Feuerraum reduzieren. Hohe Verluste entstehen bei der Energieerzeugung durch hohe Abgastemperaturen von über 200 °C. Mithilfe von Maßnahmen zur Wärmerückgewinnung kann diese Energie genutzt werden.





Um die **Abstrahlungsverluste bei der Erzeugung und beim Transport von Wärme** zu minimieren, sollte eine Wärmedämmung an den Wärmeerzeugern, den Rohrleitungen und an gegebenenfalls vorhandenen Wärmespeichern angebracht bzw. die vorhandene überprüft und bei Bedarf ausgebaut werden. Kesselspeisewasser für Dampf- und Heißwasserkessel enthält Salze, die sich infolge der Verdampfung des Kesselwassers anreichern. Dies führt nicht nur zu korrosiven Schäden am Kessel, sondern auch zu Energieverlusten. Das Kesselspeisewasser muss deshalb entsalzt werden. Am Boden eines Dampf- und Heißwasserkessels sammelt sich außerdem Schlamm an, der abgeführt werden muss.

Dieser Vorgang führt ebenfalls zu Wärmeverlusten (siehe Abbildung 4). Eine gute Wasseraufbereitung reduziert die Abschlammmenge.

Nicht zuletzt lassen sich der Energieverbrauch – und damit auch die Energiekosten – durch die kontinuierliche Wartung von Brenner, Kessel und Dampf- bzw. Heißwasserverteilernetz senken.

Stillstands- oder Bereitschaftsverluste lassen sich mithilfe von Regelungen, die überflüssiges An- und Abschalten von Brennern vermeiden, deutlich verringern (siehe Kapitel 4.3).

4. Energieeffiziente Wärmeerzeugung.

Bei einem Anlagenneubau ist von vornherein auf die energieeffiziente Auslegung aller Systemkomponenten und der gesamten Anlage zu achten. Bei vorhandenen Anlagen sind die einzelnen Komponenten einer Wärmeversorgungsanlage auf ihre Energieeffizienz zu überprüfen und ggf. ineffiziente Bestandteile gegen effiziente auszutauschen. Mithilfe der Messung, Steuerung und Regelung (MSR-Systeme) können Brennstoffeinsatz und Kosten weiter minimiert werden.

4.1 Energieeffiziente Auslegung einer Anlage.

Die **Auswahl der Brennstoffe** hat einen erheblichen Einfluss auf Energiekosten und CO₂-Emissionen. Erdgas hat in dieser Hinsicht zahlreiche Vorteile, da es unter den fossilen Energieträgern die geringsten CO₂-Emissionen verursacht und außerdem besonders effizient in Brennkesseln eingesetzt werden kann. Heizöl hat nur einen geringfügig höheren CO₂-Emissionsfaktor als Erdgas und steht überall in schwefelarmer Qualität zur Verfügung. Biogene Brennstoffe wie Biogas und Bioöl schützen nicht nur die endlichen Ressourcen Öl und Gas, sondern verbessern auch die CO₂-Bilanz einer Anlage. Viele Komponenten einer Wärmeversorgungsanlage sind auch schon für den Einsatz von biogenen Brennstoffen ausgelegt. Elektrischer Strom ist der teuerste und – bezogen auf den aktuellen „Strommix“ in Deutschland – der CO₂-intensivste Energieträger zur Prozesswärmeerzeugung. Hier lassen sich durch drehzahlregelte Brenner und energieeffiziente Motoren erhebliche Einsparungen erzielen.*

Um die Energieeffizienz einer Anlage zu erhöhen, sollte – in Abhängigkeit von den spezifischen Anforderungen – für jeden Prozessschritt ein energieeffizientes **Versorgungsmedium** gewählt werden. Falls möglich sollte Heißwasser anstelle von Dampf als Wärmeträger eingesetzt werden, da die Dampferzeugung mit hohen Umwandlungsverlusten verbunden ist.

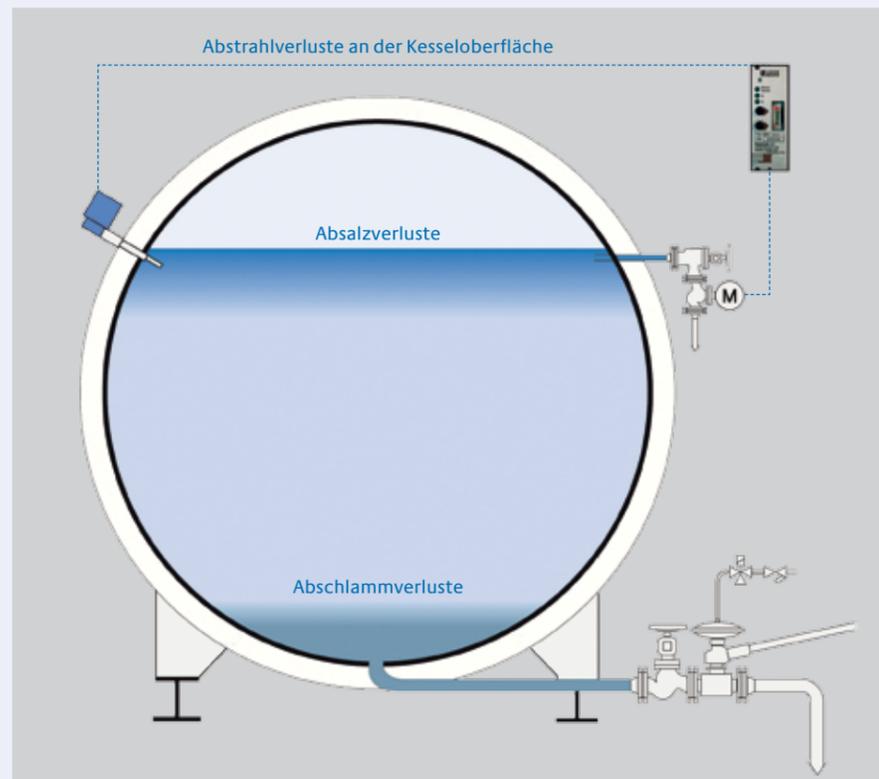
Bei der energieeffizienten Auslegung einer Anlage kommt es im Wesentlichen darauf an, den **Kessel richtig zu dimensionieren** und den Betriebsdruck an die tatsächlichen technischen Erfordernisse anzupassen. Wärmeversorgungsanlagen sind früher häufig stark überdimensioniert errichtet worden, sodass sie heute oft ineffizient, z. B. mit Druckminderern, arbeiten.

Bei Dampfkesseln ist es ratsam, sich für einen Kessel mit einem **guten Speichervermögen** zu entscheiden. Deshalb sind in den meisten Anwendungsfällen Großwasserraumkessel gegenüber Schnelldampferzeugern vorzuziehen. Durch den großen Wasserinhalt entsteht ein Energiepuffer, der Dampfbedarfsschwankungen ausgleichen kann.

In vielen Betrieben werden **Dampfdruck und -temperatur** über „gezielte“ Wärmeverluste in unisolierten Teilen des Leitungssystems reduziert. Teilweise wird die gewünschte Temperaturabsenkung sogar durch äußere Berieselung der heißen Rohre mit Wasser erzielt. Wesentlich effizienter ist es, die Dampftemperatur durch das Einspritzen von Kondensaten zu senken. Ein Absenken des Temperaturniveaus kann im Übrigen die Wärmerückgewinnung oder andere energieeffiziente Umwandlungs- und Erzeugungstechnologien wie Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) oder Wärmepumpen ermöglichen.

In einem System ist stets der Wärmeverbraucher mit dem höchsten Temperatur- bzw. Druckniveau ausschlaggebend für den Auslegungsdruck des Wärmeerzeugers. Daher kann es sinnvoll sein, für einen einzelnen Verbraucher mit sehr hohem Druck einen **eigenen Dampferzeuger** zu betreiben.

Abbildung 4: Wärmeverluste bei Dampf- und Heißwasserkesseln.



* Die EU-Verordnung Nr. 640/2009 der Kommission vom 22. Juli 2009 zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates legt verbindliche Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Elektromotoren fest.

Beispiel Agrana Fruit Germany GmbH.

Am Standort Konstanz werden bei der Agrana Fruit Germany GmbH zwei gasbefeuerte Dampfkessel betrieben, die den Dampf für die Prozesswärme und für die Sterilisation der Früchte erzeugen. In einem anaeroben Reaktor entstehen je nach Grundmaterial und Temperatur pro Stunde ca. 20–30 Normkubikmeter (Nm³) Biogas mit einem Heizwert von ca. 6–7 kWh/Nm³. Durch den Einbau eines neuen Gasbrenners an einem der beiden Dampfkessel kann statt Erdgas jetzt ein **Großteil des anfallenden Biogases für die Dampferzeugung** genutzt werden, während das Gas vor der Modernisierung über eine Fackel verbrannt wurde. Der jährliche Brennstoffverbrauch wurde um 290.000 kWh und

die Kosten wurden um ca. 10.000 € gesenkt. Durch die Maßnahmen **Mehrstoffbrennersystem** (siehe unten), **Drehzahlregelung** (S. 12) und Einbau einer **O₂- und CO₂-gesteuerten Abgasregelung** (S. 14) beim neuen Gasbrenner konnten zusätzliche Einsparungen von rund 160.000 kWh erzielt werden. Die Umsetzung aller Maßnahmen bewirkt eine jährliche Senkung des Brennstoffverbrauchs um 448.000 kWh und der Kosten um 19.300 €. Vor allem durch den Wegfall des Brennstoffs Erdgas konnten die CO₂-Emissionen um ca. 109 t reduziert werden. Die Kapitalrendite dieser Energie-sparinvestition beträgt 30 Prozent.

Senkung Energieverbrauch	448.000 kWh/Jahr
Prozentuale Energieeinsparung	4,2%
CO ₂ -Reduzierung*	109 t/Jahr
Investitionen	65.000 €
Kostensenkung	19.300 €/Jahr
Kapitalrendite	30%

* Folgende Äquivalenzwerte liegen nach Gemis für alle Beispiele zugrunde: Erdgas 244 g CO₂/kWh.



4.2 Effizienzsteigerung bei Brenner- und Kesseltechniken.

Auch durch den Einbau energieeffizienter Brenner- und Kesseltechniken lassen sich Einsparpotenziale bei Wärmeversorgungssystemen erzielen. Mit folgenden Brenner- bzw. Kesseltypen kann die Energieeffizienz einer Anlage gesteigert werden:

Mehrstoffbrennersysteme mit interner Abgasrezirkulation.

Bei **modernen Mehrstoffbrennersystemen** mit interner Abgasrezirkulation für Warmwasser- und Dampferzeugungsanlagen wird das Prinzip luft- und brennstoffgestufter Mischsysteme verwendet. Durch Erhöhung des Mischdrucks wird

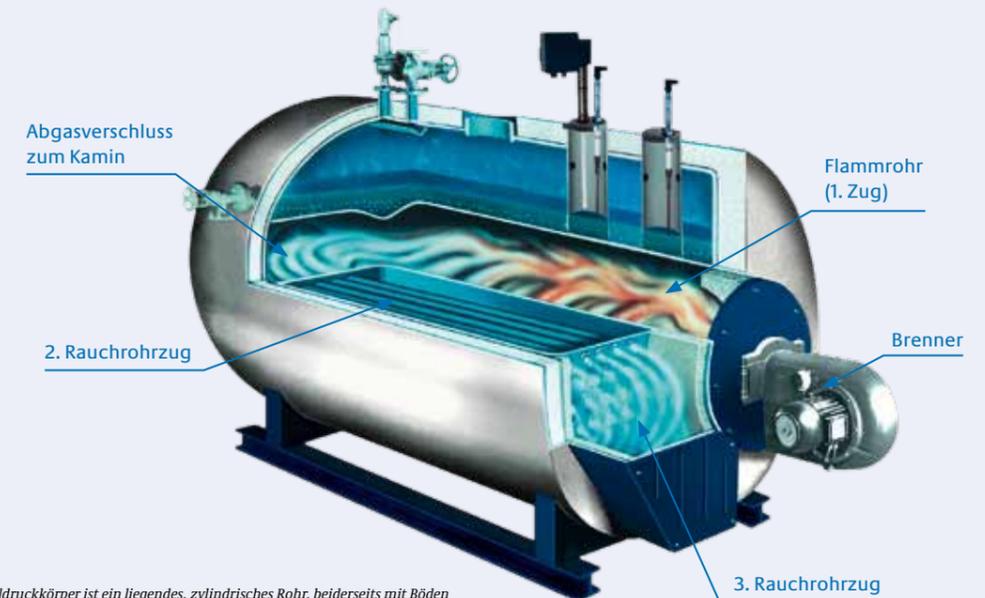
zusätzlich der Austrittsimpuls der in der Mündungszone austretenden Luft- oder Luftgemischströmung so erhöht, dass im Feuerraum eine interne Rauch- oder Verbrennungsgasrezirkulation erfolgt. Dies hat eine optimierte und vergrößerte Flammgeometrie zur Folge, die für eine bessere Wärmeübertragung an den umgebenden Feuerraum führt und gleichzeitig die Flammentemperatur absenkt. Damit wird auch eine deutliche Senkung der Stickoxidemissionen (NO_x) bewirkt. In diesen Systemen ist auch der Einsatz von biogenen Brennstoffen möglich. Mithilfe des drehzahlgeregelten Betriebs kann der Stromverbrauch für die Brennermotoren gesenkt werden.

In **Dampf- und Heißwassersystemen** kommen neben klassischen Heizkesseln mit hohen Abgastemperaturen heute immer mehr **Brennwertkessel** zum Einsatz. Diese Kessel gewinnen im Gegensatz zu herkömmlichen Heizkesseln die im Abgas enthaltene Wärme über zusätzliche Wärmeübertragerflächen zurück. Die Wärme kann beispielsweise zur Vorwärmung von Brauch- oder Kesselspeisewasser genutzt werden. Bei den Brennwertkesseln liegt die Abgastemperatur deshalb deutlich niedriger. Brennwertkessel sind vor allem für Anla-

gen mit größerer Leistung und für das Nachrüsten von Anlagen im Bestand interessant.

Abhitzeessel nutzen die Wärme von Abgasen (oft auch als Rauchgase bezeichnet) aus Verbrennungsprozessen oder von heißen Abluftströmen zur Erzeugung von Heißwasser oder Dampf. Dabei wird das heiße Abgas durch ein Rohrbündel geführt, in dem es seine Wärme an das im Kesselkörper befindliche Wasser überträgt.

Abbildung 5: Querschnitt durch einen Dreizug-Großwasserraumkessel als Beispiel für einen Dampf- bzw. Heißwasserkessel mit Brenner.



Der Kesseldruckkörper ist ein liegendes, zylindrisches Rohr, beiderseits mit Böden verschlossen und rundum isoliert. In diesem Druckkörper befinden sich ein Flammrohr (1. Zug), welches durch einen Brenner befeuert wird, und eine innenliegende Wendekammer, welche die Abgase umkehrt und im 2. Zug zurückführt. Auf der Vorderseite des Kessels befindet sich eine außenliegende Wendekammer, welche die Abgase wieder umlenkt und im 3. Zug zum Kesselende führt.

Die folgenden **Brenner bzw. Verfahren** sind vor allem für Brennöfen relevant:

- **Rekuperative und regenerative Brenner** sind hocheffiziente Brenner, die die Abgaswärme direkt zur Vorwärmung der Verbrennungsluft nutzen. Diese beiden Brenner werden im Kapitel Wärmerückgewinnung (S. 16) näher erläutert.
- Bei der **flammenlosen Oxidation (FLOX®)** handelt es sich um eine hocheffiziente Brenner-technologie, die die Einhaltung strenger NO_x-Grenzwerte auch bei hohen Verbrennungsluft-Vorwärmtemperaturen ermöglicht.

- Durch die hohe Ausströmgeschwindigkeit der Verbrennungsgase wird bei den **Hochgeschwindigkeits- bzw. Hochimpuls-Brennern** eine interne Rückführung der Feuerraumgase in den Brennkammern oder Feuerräumen und dadurch eine gleichmäßige Temperaturverteilung gewährleistet, sodass diese Brenner einen besseren Wirkungsgrad als herkömmliche Brenner haben.
- Gegenüber einem Verbrennungsvorgang mit Luft hat eine **Verbrennung mit reinem Sauerstoff** bei Brennöfen einige Vorteile: So sind Verbrennungstemperatur und feuerungstechnischer Wirkungsgrad deutlich höher, da bei der Verbrennung mit reinem Sauerstoff der Abgasvolumenstrom reduziert wird und damit auch die Abgasverluste deutlich geringer ausfallen.

4.3 Optimierung durch Messung, Steuerung und Regelung (MSR).

Kesselfolgesteuerung und Mehrkesselregelung.

Mithilfe einer Kesselfolgesteuerung lässt sich bei einer Dampf- und Heißwassererzeugung kontinuierlich der exakt erforderliche Volumenstrom im System transportieren. Dadurch muss lediglich die für die Erzeugung erforderliche Anzahl an Kesseln mit angepasster Leistung (drehzahlregelt) betrieben werden. Das Regelsystem reduziert nicht nur Brennerlast und Brennstartvorgänge, sondern kann außerdem Instabilitäten und Störungen sofort kompensieren. Die Heizkessel können dadurch stets im optimalen Lastpunkt und mit optimalem Wirkungsgrad betrieben werden.

Durch die Installation der Mehrkesselregelung lässt sich die Effizienz einer Anlage zusätzlich steigern. Hierbei werden mittels einer hydraulischen Weiche alle Wärmeerzeuger des Primärkreises (Erzeugungssystem) von den Verbrauchern im Sekundärkreis entkoppelt. Durch die Volumenstromregelung im Primärkreis ist ein hydraulisch optimierter Betrieb der Anlage möglich, der die notwendige Brenner- bzw. Kesselleistung dem Bedarf im Sekundärkreis anpasst.

Laugenentspanner und Hochdruckkondensatsystem.

Die durch das Absalzen entstehende Abwärme in der Kessellaue kann zum großen Teil durch Entspannen zurückgewonnen und zum Vorwärmen des Speisewassers genutzt werden. Der Anlagenwirkungsgrad kann so um bis zu zwei Prozent gesteigert werden.

Entweicht der Entspannungsdampf, der sogenannte Brüden, ungenutzt in einem offenen Kondensatsystem, führt dies zu einem Wärmeverlust bei der Dampferzeugung. In der Regel ist es möglich, die Brüden beispielsweise zur Vorwärmung von Kesselspeise- oder Reinigungswasser zu nutzen. Die geringsten Wärmeverluste treten auf, wenn das Kondensat in einem geschlossenen Kreis unter Druck dem Kessel wieder zugeführt wird. Das Hochdruckkondensatsystem bewirkt eine Brennstoffeinsparung von bis zu zwölf Prozent und verringert zudem die Absalz- und Abschlammverluste (siehe Kapitel 3.2).

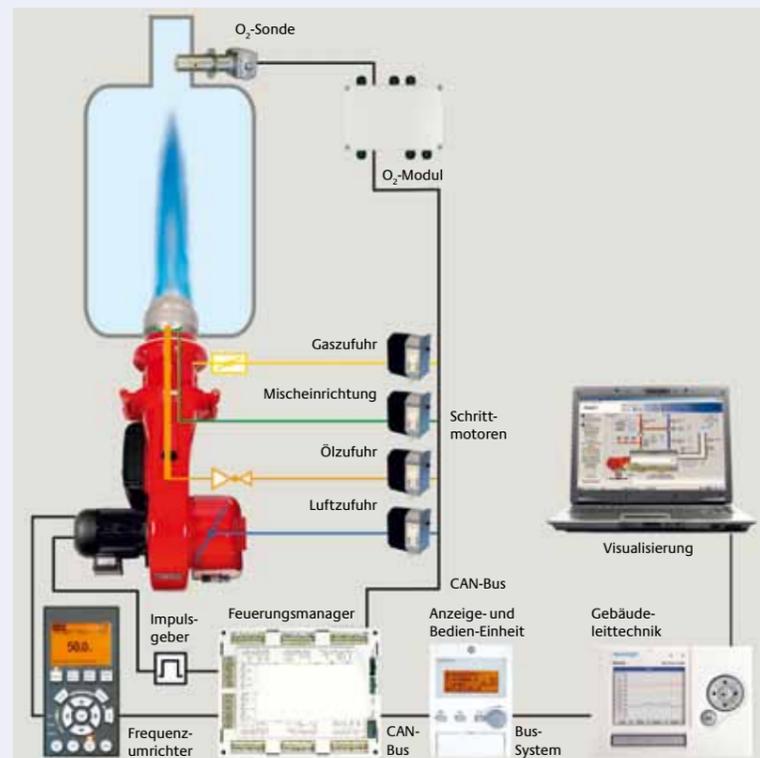
Regelung des Brenners.

Brenner können durch einen modulierenden bzw. drehzahlregelmäßigten Betrieb gezielt in Teillastbereichen gefahren werden, anstatt die Teillast jeweils durch An- und Abschalten des Brenners anzusteuern. Da der Feuerungsraum vor jedem Zünden gespült werden muss, lassen sich auf diese Weise Stillstands- und Anfahrverluste vermindern. Durch den Einsatz drehzahl geregelter Brennermotoren kann bei Lastschwankungen außerdem ein deutlich niedrigerer Leistungsbereich erreicht werden. Dies hat mehrere Vorteile: So werden nicht nur unnötige Brennerabschaltungen vermieden, sondern auch Auskühlungen des Kessels durch Vorbelüftung minimiert. Dadurch können Brennstoffverbrauch und -kosten zwischen zwei und zehn Prozent gesenkt werden. Auch Stromverbrauch und -kosten lassen sich durch die Drehzahlregelung des Gebläses erheblich reduzieren. Bei **Brennöfen** ist eine **modellgestützte Ofenführung** für praktisch alle Ofentypen anwendbar, insbesondere für die weit verbreiteten kleinen Wärmeöfen. Die Steuerung basiert hierbei auf Messungen und der Nutzung von prozessrelevanten empirischen und analytischen Parametern. Die Betriebsführung des Ofens kann dadurch kontinuierlich an die konkreten Produktionsbedingungen angepasst werden. Einsparpotenzial: bis zu 15 Prozent der Energiekosten eines Ofens.

Drehzahlregelung bei Pumpenantrieben.

Generell ist es sinnvoll, die Drehzahlregelung von Pumpenantrieben zu prüfen. Bei jeder Pumpengruppe, wie beispielsweise Kesselspeisepumpen oder Netzumwälzpumpen, muss individuell betrachtet werden, ob eine Drehzahlregelung sinnvoll ist oder nicht. Drehzahl geregelte Netzumwälzpumpen lohnen sich beispielsweise, wenn im Sommerbetrieb geringere Wassermassen umgewälzt werden als im Winterbetrieb. Bei Kesselspeisepumpen zur Versorgung eines Dampferzeugers mit Speisewasser muss sichergestellt werden, dass die drehzahl geregelte Pumpe den notwendigen konstanten Kesseldruck aufrechterhält. Die Höhe des Einsparpotenzials ist dann abhängig davon, wie lange die Anlage in Teillast betrieben wurde.

Abbildung 6: Messung, Steuerung und Regelung (MSR) bei modulierenden Brennern.



Beispiel Teutoburger Mineralbrunnen GmbH & Co. KG.

Im Jahr 2007 führte die Teutoburger Mineralbrunnen GmbH & Co. KG eine Analyse ihrer Kesselanlagen zur Dampferzeugung durch und ließ ein Konzept zur Sanierung der Anlage erarbeiten. Vor der Anlagensanierung kam es trotz moduliertem Betrieb regelmäßig zur Abschaltung der Kessel und damit zu unnötigem Energieverbrauch. Durch Verwendung drehzahl geregelter Brennermotoren wird die Motordrehzahl des Brenners nun den tatsächlichen Erfordernissen angepasst. Bei Lastschwankungen kann die Anlage somit einen deutlich niedrigeren Leistungsbereich ansteuern. Unnötige Brennerabschaltungen werden auf diese

Weise verhindert. Allein mithilfe der **Drehzahlregelung** (S. 13) konnten ca. 800.000 kWh bzw. ca. 48.000 € pro Jahr eingespart werden. Darüber hinaus wurden auch Maßnahmen zur **Senkung des Bedarfs** (S. 7) umgesetzt, wie eine Verbesserung der Isolierung, die Wochenendabsenkung und eine Reduzierung des Dampfdrucks. Weitere Energieeinsparungen wurden durch den Einbau einer **O₂-Regelung** (S. 14) erreicht. Alle Energieeffizienzmaßnahmen zusammen bewirken eine jährliche Senkung des Energieverbrauchs um ca. 2,4 Mio. kWh und der Energiekosten um 142.700 €. Das Maßnahmenpaket ist mit einer Kapitalrendite von 65 Prozent sehr wirtschaftlich.

Senkung Energieverbrauch	2.378.800 kWh/Jahr
Prozentuale Energieeinsparung	26 %
CO ₂ -Reduzierung*	718 t/Jahr
Investitionen	219.000 €
Kostensenkung	142.700 €/Jahr
Kapitalrendite	65 %

* Folgende Äquivalenzzwerte liegen nach Gemis für alle Beispiele zugrunde: Heizöl 302 g CO₂/kWh.



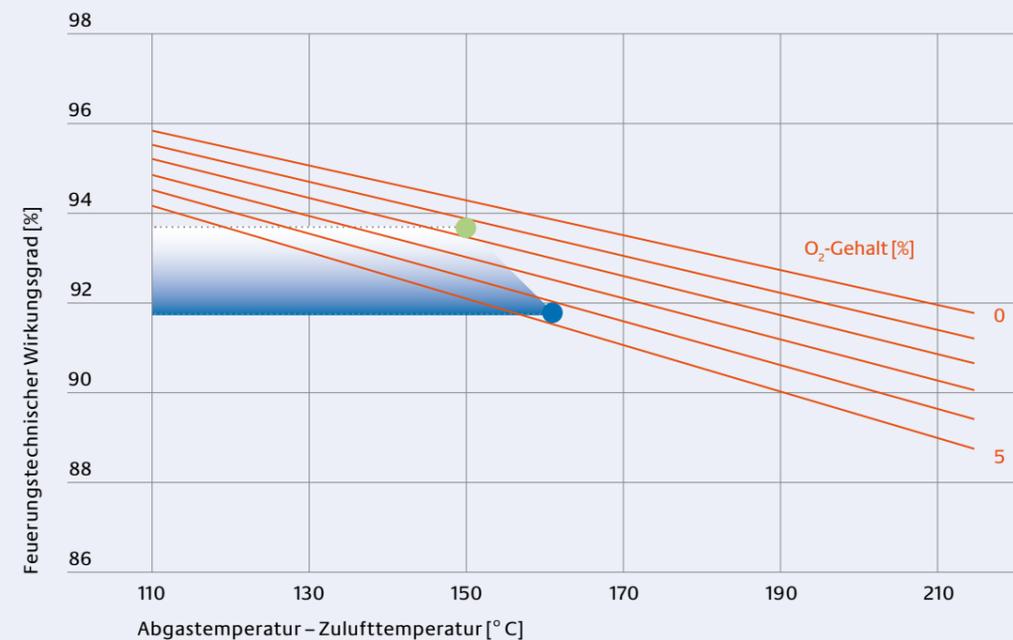
4.4 Abgasregelung bei Dampf- und Heißwassererzeugung.

Je nach Brennstoff und Alter einer Anlage werden Brenner mit einem Sicherheitsluftüberschuss von fünf bis 20 Prozent betrieben. Wird dem Brennvorgang jedoch mehr Luft als nötig zugeführt, so nimmt der in der Luft enthaltene Sauerstoff nicht mehr an der Verbrennung teil – die Luft wird mit aufgeheizt, sodass Wärmeverluste entstehen. Diese lassen sich durch eine **O₂-Regelung** reduzieren, die kontinuierlich den O₂-Anteil im Abgas des Kessels misst und die Luftzufuhr entsprechend regelt. Der Wirkungsgrad kann auf diese Weise um bis zu drei Prozent verbessert werden. Auch können dadurch die Auswirkungen ausgeglichen werden, die entstehen, wenn der Kessel an Orten mit großen Temperaturschwankungen zwischen Sommer und Winter sowie bei unterschiedlichen geodätischen Höhen aufgestellt wird. Mit einer **CO-Regelung** kann der Restsauerstoffgehalt nochmals auf Werte unter einem Volumenprozent gesenkt und

so ein bis zu ein Prozent höherer Wirkungsgrad erzielt werden. Diese Regelung lässt sich sinnvoll nur bei gasförmigen Brennstoffen anwenden, da bei flüssigen Brennstoffen bereits vor der Messung Ruß entstehen kann, der die Messung beeinflusst. Im Betrieb wird die Luftmenge so weit reduziert, bis die Sonde im Abgas enthaltene unverbrannte Brennstoffbestandteile im Abgas detektiert. Dann wird die Luftmenge wieder erhöht, bis keine unverbrannten Bestandteile mehr im Abgas nachgewiesen werden können.

Durch Überwachung und Regelung weiterer Verbrennungsparameter wie Abgastemperatur, Rußziffer oder Feuerraumdruck und die Installation **automatischer Abgas- oder Verbrennungsklappen** lässt sich der Energieverbrauch zusätzlich senken. Letztere verhindern das Auskühlen des Kessels bei regelmäßigen längeren Stillständen des Kessels (z. B. an Wochenenden).

Abbildung 7: Verbesserung des feuerungstechnischen Wirkungsgrads.



4.5 Energieerzeugungsmanagement bei der Wärmeversorgung.

Eine Reihe wichtiger Betriebsdaten kann zur detaillierten Analyse von Brennstoffverbrauch oder Dampf- und Temperaturverläufen einer Anlage genutzt werden. Auf der Basis dieser ermittelten Daten kann ein Energieerzeugungsmanagement entwickelt werden, das durch die bedarfsgerechte Anpassung Energieverbrauch und -kosten von Wärmeversorgungssystemen senken kann. Eine mögliche Anwendung sind **verbrauchsgesteuerte Aufheiz- und Anfahr-**

programme, bei denen zwischen vor- und nachrangigen Verbrauchern zeitlich differenziert wird. In diesem Fall ist es möglich, den Wärmeerzeuger etwas leistungsschwächer zu dimensionieren, als er allein durch die Summe der Bedarfe ermittelt wurde. Bei modernen Brennern werden sämtliche Funktionen von leistungsfähigen Mikroprozessoren gesteuert und überwacht. Dieses **digitale Feuerungsmanagement** bietet auch die Möglichkeit, über einen integrierten BUS-Anschluss mit an-deren Systemen, z. B. Gebäudeleittechnik (GLT)-Systemen, zu kommunizieren.

Beispiel Albertinen-Krankenhaus Hamburg.

Im Rahmen der umfangreichen Neu- und Ausbaumaßnahmen wurde im Albertinen-Krankenhaus Hamburg im Jahr 2010 auch die Heiz- und Lüftungsanlage der Klinik auf den aktuellen Stand der Technik gebracht. Ein Kessel wurde mit einem Low-NO_x-Zweistoffbrenner für den Betrieb mit Heizöl und Erdgas ausgestattet. Die beiden anderen Kessel wurden modernisiert und mit der neuesten Gasbrenner-Generation ausgerüstet, die z. B. strömungstechnisch optimiert ist. Die erzeugte Wärmemenge wird an den tatsächlichen Bedarf angepasst, indem sowohl die Brenner (modulierender Betrieb, S. 13) als auch die Gebläse (Drehzahlregelung, S. 13) energieoptimiert betrieben werden. Durch den Einsatz einer O₂-Regelung (S. 14) wird der Einfluss von Störgrößen wie Witterung oder Hysterese

eliminiert und die Verbrennung optimiert, d. h. eine Verbrennung mit einem optimierten Verhältnis von zugeführter und benötigter Luft (Verbrennungsluftverhältnis) ist möglich, und der Luftüberschuss wird minimiert. Diese Brenneinstellung und die Verbrennungsluftvorwärmung (S. 18) reduzieren den Verlust durch die mit dem Abgas abgeführte Energie: So kann ein feuerungstechnischer Wirkungsgrad im unteren und mittleren Leistungsbereich von 97 Prozent erreicht werden. Mithilfe dieses umfangreichen Maßnahmenpakets sinkt der jährliche Energieverbrauch um insgesamt mehr als 19 Mio. kWh, und rund 337.000 € Kosten werden pro Jahr eingespart. Die Kapitalrendite der Energiesparinvestition ist mit 69 Prozent hoch.

Senkung Energieverbrauch	19.150.000 kWh/Jahr
Prozentuale Energieeinsparung	24 %
CO ₂ -Reduzierung*	4.673 t/Jahr
Investitionen	490.000 €
Kostensenkung	337.000 €/Jahr
Kapitalrendite	69 %

* Folgende Äquivalenzzwerte liegen nach Gemis für alle Beispiele zugrunde: Erdgas 244 g CO₂/kWh.



5. Wärmerückgewinnung.

Die Abwärme aus der Wärmeerzeugung und -nutzung kann mithilfe von Maßnahmen zur Wärmerückgewinnung genutzt werden. Aus den Abgasen von Dampfkesseln und Öfen können beispielsweise erhebliche Abwärmemengen zur weiteren Verwendung zurückgewonnen werden.

5.1 Funktionsweise der Wärmerückgewinnung.

Durch **Wärmeübertrager** kann Abwärme direkt oder indirekt (über ein Zwischenmedium) auf einen anderen Prozess übertragen werden, solange die Temperatur der (Ab-)Wärmequelle über der Verbrauchertemperatur liegt. Grundsätzlich ist eine Wärmerückgewinnung daher umso lohnender, je höher die Temperatur der zur Verfügung stehenden Abwärme ist.

Beispiel Textilveredlung an der Wiese GmbH.

Im Jahr 2007 hat die Textilveredlung an der Wiese GmbH einen Dampferzeuger in der Textilveredlung energetisch modernisiert. Nachdem die Energieeffizienz der Wärmeerzeugung bereits durch Implementierung einer O₂-Regelung erhöht wurde, konnte der Systemwirkungsgrad durch den Einbau eines **Economisers** noch einmal deutlich gesteigert werden. Im optimierten Betrieb mit Speisewasservorwärmung durch den Economiser wird nunmehr eine

Senkung Energieverbrauch	850.000 kWh/Jahr
Prozentuale Energieeinsparung	3%
CO₂-Reduzierung*	207 t/Jahr
Investitionen	78.000 €
Kostensenkung	34.000 €/Jahr
Kapitalrendite	44%

* Folgende Äquivalenzwerte liegen nach Gemis für alle Beispiele zugrunde: Erdgas 244 g CO₂/kWh.

Um Verluste durch Transport und Speicherung zu minimieren, empfiehlt es sich, Wärmepotenziale stets ortsnah und möglichst direkt weiterzunutzen. Ist dies nicht möglich, muss die Verwendung von Speichertechnologien geprüft werden, um die anfallende Abwärme zwischenzeitlich zu speichern. Dabei ist es wichtig, dass alle Leitungen eine gute Wärmedämmung erhalten.

Steht das geringe Temperaturniveau der Abwärme einer direkten Wärmerückgewinnung entgegen, kann eine Wärmepumpe eine sinnvolle Lösung darstellen. **Wärmepumpen** (siehe Kapitel 6) sind in der Lage, Wärme von einem niedrigen auf ein höheres Temperaturniveau anzuheben.

Abgastemperatur von lediglich 130 °C erreicht (vormals 230 °C). Die Abgasverluste lassen sich durch diese Maßnahme bei Minimallast um 20 Prozent, bei Volllast um rund 45 Prozent reduzieren. Durch die Nachrüstung des Dampfkessels mit einem Economiser konnte der Jahresbrennstoffverbrauch um drei Prozent gesenkt werden. Dadurch lassen sich 850.000 kWh Energie und 34.000 € Betriebskosten pro Jahr bei einer hohen Kapitalrendite von 44 Prozent einsparen.



5.2 Abgas-Wärmerückgewinnung.

Abgas-Wärmerückgewinnung kann die Energieeffizienz von Feuerungsanlagen, die prozessbedingt mit hohen Abgastemperaturen betrieben werden und hohe Laufzeiten aufweisen, deutlich steigern. Ihre Anwendung empfiehlt sich daher besonders bei **Dampf- und Heißwassererzeugern, Öfen, Trocknern oder Gasturbinen**. In diesem Verfahren entzieht ein Abgaswärmeübertrager dem Abgas einen Teil der Wärme

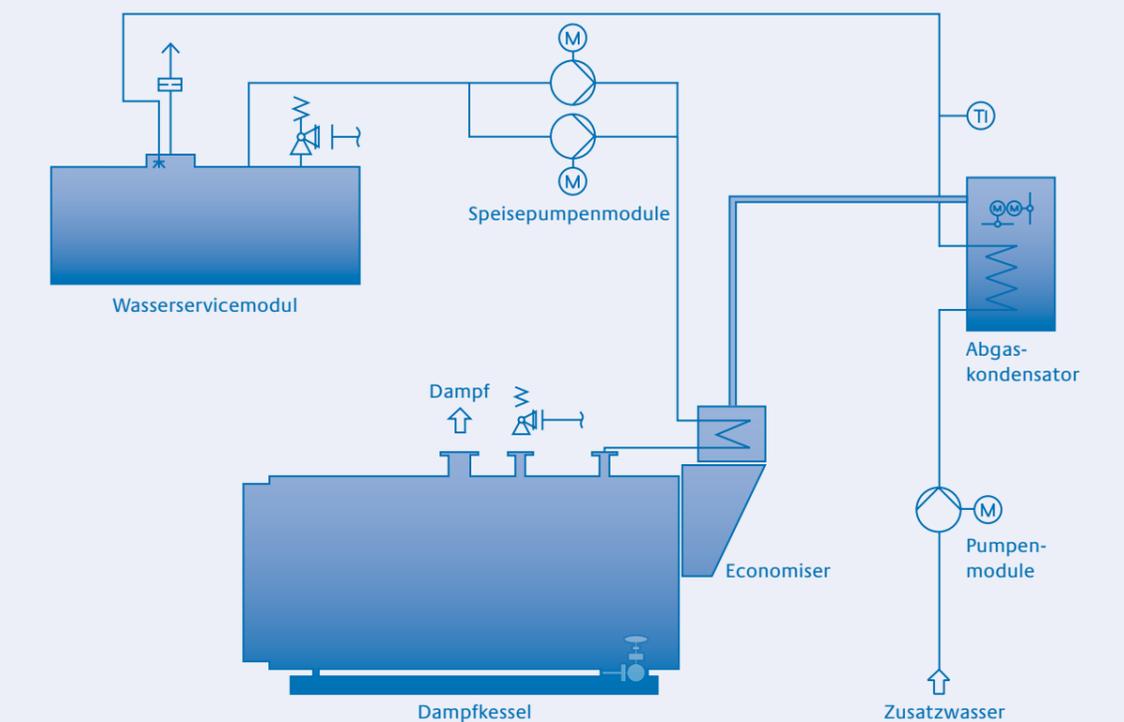
und überträgt sie an einen Wärmeträger wie Wasser oder Luft. Dadurch kann die Wärme dem Prozess an anderer Stelle wieder zugeführt werden. Eine Wärmeübertragung findet so lange statt, wie die Temperatur der (Ab-)Wärmequelle über der Temperatur des Verbrauchers liegt. Nutzen lässt sich die Abwärme z. B. für die Vorwärmung von Verbrennungsluft, zur Brauchwasser- oder Prozesswassererwärmung oder zur Wärmeeinspeisung in den Heizungsrücklauf.

Economiser und Brennwertwärmeübertrager.

Bei einem **Economiser** handelt es sich um einen Abgas-Wärmeübertrager, der das Kesselabgas zur Erwärmung von Kessel Speise-, Heizungs- oder Brauchwasser nutzen kann. Wird dem Economiser ein **Brennwertwärmeübertrager** (auch Abgaskondensator genannt) nachgeschaltet, können die Abgase unter die Kondensationstemperatur von Wasser abgesenkt werden, sodass auch die Kondensationswärme des enthaltenen

Wasserdampfs genutzt werden kann (siehe Brennwerttechnik). In einem nachgeschalteten Brennwertwärmeübertrager (siehe Abbildung 8) kann die Abgaswärme jedoch weiter ausgenutzt werden, um das kalte Zusatzwasser aus der chemischen Wasseraufbereitung (etwa 10–12 °C) vorzuwärmen, bevor es in den Entgaser geleitet wird. Eine Wärmerückgewinnung mittels Economiser und Brennwertwärmeübertrager kann eine Wirkungsgradsteigerung zwischen fünf und zwölf Prozent bewirken.

Abbildung 8: Schaltbild einer Hochdruck-Dampfkesselanlage mit zwei Abgas-Wärmeübertragerstufen (Economiser/Brennwertwärmeübertrager).



Brennwerttechnik.

Der „Brennwert eines Energieträgers“ beinhaltet nicht nur die bei der Verbrennung freigesetzte thermische Energie, sondern auch die durch Kondensation des im Abgas enthaltenen Wasserdampfs frei werdende Energie, die **Kondensationswärme**. In der Industrie wird bei Kesselanlagen meist nur die fühlbare Wärme der Abgase (> 100 °C) genutzt. Die Kondensationswärme, die bei der weiteren Abkühlung der Abgase unter die Kondensationstemperatur des enthaltenen Wasserdampfs anfällt, geht in der Regel als Abgasverlust über den Kamin verloren. Die Nutzung der Kondensationswärme ist bei Neuanlagen in der Regel problemlos möglich, da korrosionsbeständige Werkstoffe in Wärmeüberträgern sowie feuchteunempfindliche Abgassysteme und Kamine dies ohne Schäden am Material ermöglichen.

Die Brennwerttechnik wird vor allem bei Warmwasserkesseln verwendet. Für Hochdruck-Heißwassererzeuger ist die Abgaskondensation hingegen nur anwendbar, wenn ein Niedertemperaturkreislauf zur Verfügung steht.

Bei der Wahl der geeigneten **Brennstoffe** bietet Erdgas das höchste Nutzungspotenzial für die Brennwerttechnik. Erdgas zeichnet sich im Gegensatz zu allen anderen Brennstoffen nicht nur durch den höchsten Wasserdampfgehalt im Abgas und den höchsten Abgastaupunkt aus, sondern auch durch nahezu ruß- und schwefelfreie Abgase. Aber auch für den Brennstoff Heizöl kann die Brennwerttechnik empfohlen werden, da das heute angebotene schwefelarme Heizöl einen störungsfreien und effektiven Kesselbetrieb ermöglicht.

6. Energieeffiziente Umwandlungs- und Erzeugungstechnologien.

Beispiel Westfalenhallen.

Im Zuge der Modernisierung wurde 2008 die alte Heizzentrale des Veranstaltungszentrums Westfalenhallen in Dortmund durch ein neues Heizsystem ersetzt, das einen Gas-Brennwertkessel (970 kW) sowie drei Stahlkessel in unterschiedlichen Leistungsgrößen (1.900, 3.050 und 5.200 kW) umfasst. Durch die Leistungsabstufung der eingesetzten Kessel kommt der energieeffiziente Gas-Brennwertkessel als Führungskessel auf sehr lange Laufzeiten, während die drei nachgeschalteten Kessel bedarfsangepasst betrieben werden. Der Wirkungsgrad des kompletten Heizsystems konnte durch die Moderni-

sierung von 83 Prozent auf 92 Prozent gesteigert werden. Das intelligente Zusammenspiel des neuen Heizsystems mit einer modernen Gebäudeleittechnik und insgesamt 40 über das Gelände verteilten Wärmezählern erlaubt zudem eine flexible und bedarfsbezogene Wärmeversorgung. Mithilfe des Brennwertkessels und der bedarfsgerechten Steuerung konnte der Jahresbrennstoffverbrauch um zwei Mio. kWh gesenkt werden, sodass der Betreiber Energiekosten in Höhe von 100.000 € pro Jahr einsparen kann. Die Kapitalrendite der Energiesparinvestition liegt bei 20 Prozent.



Senkung Energieverbrauch	2.000.000 kWh/Jahr
Prozentuale Energieeinsparung	11%
CO ₂ -Reduzierung*	488 t/Jahr
Investitionen	500.000 €
Kostensenkung	100.000 €/Jahr
Kapitalrendite	20%

* Folgende Äquivalenzzwerte liegen nach Gemis für alle Beispiele zugrunde: Erdgas 244 g CO₂/kWh.

Im letzten wichtigen Schritt folgt die Auswahl von passenden Umwandlungs- und Erzeugungstechnologien, die den Energieverbrauch noch weiter senken.

6.1 Kraft-Wärme-Kopplung.

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bezeichnet die **Erzeugung von Strom** bei gleichzeitiger Nutzung der dabei anfallenden Wärme. Bis zu 90 Prozent des Energiegehalts von Brennstoffen können auf diese Weise genutzt werden. Die bei der Erzeugung von Strom entstehende Abwärme kann als Prozesswärme, zur Raumheizung oder zur Wassererwärmung genutzt werden. Voraussetzung für den wirtschaftlichen Betrieb einer Kraft-Wärme-Kopplungsanlage ist ein ganzjähriger Wärmebedarf, der eine hohe Laufzeit von mindestens 5.000 Betriebsstunden pro Jahr ermöglicht.

Grundsätzlich empfiehlt es sich aus wirtschaftlicher und anlagentechnischer Sicht, KWK-Anlagen als Grundlastversorgungssysteme zu konzipieren.

Anlagen zur **Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK)** können die Schwankungen des Heizwärmebedarfs im Jahresverlauf kompensieren, wenn sie die überschüssige Wärme im Sommer für die Erzeugung von Kälte (z. B. zur Gebäudeklimatisierung) nutzen. Eine Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung kann durch die Kombination einer beliebigen KWK-Technologie mit einer thermischen Kältemaschine – meist eine Ab- oder Adsorptionskältemaschine – erreicht werden. Durch die zusätzliche Kälteerzeugung können dann der KWK-Grundlastanteil sowie die Jahresarbeitsstunden gesteigert werden, was sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage auswirkt.

Beispiel Rittal International GmbH & Co. KG.

Bei der Rittal International GmbH & Co. KG wird im Werk Rittershausen ein mit Bioöl betriebenes BHKW mit einer Leistung von 420 kW für die Wärmegrundlast des Werkes betrieben. Außerdem stehen zwei katalytische Abgasreinigungsanlagen (KNV) aus der Produktion als Wärmelieferanten zur Verfügung. Hauptwärmeabnehmer ist die Lackieranlage, deren Vorbehandlungsbecken sowohl im Sommer als auch im Winter auf konstanter Temperatur gehalten werden müssen. Im Winter kommt die Gebäudeheizung als größter Energieverbraucher dazu. Um die Anlage zu optimieren, wurde im Jahr 2007 eine Mehrkes-

selregelung (S. 12) am Standort umgesetzt. Im Zuge dessen wurden auch die Primär- und Sekundärkreisumpen gegen drehzahlgeregelte Pumpen (S. 13) ausgetauscht. Die für die Mehrkesregelung erforderliche Volumenstrommessung wurde im Primärkreis (Heizungssystem) eingesetzt, der Sekundärkreis (Sekundärverbraucher) wurde durch eine hydraulische Weiche (S. 12) entkoppelt. Alle Energieeffizienzmaßnahmen zusammen bewirken eine Senkung des Energieverbrauchs um ca. 1,3 Mio. kWh und der Energiekosten um ca. 270.000 € pro Jahr. Das Maßnahmenpaket ist mit einer Kapitalrendite von 44 Prozent sehr wirtschaftlich.

Senkung Gasverbrauch	8.056.000 kWh/Jahr
Bioölverbrauch für Wärme	6.720.000 kWh/Jahr
Absolute Energieeinsparung	1.336.000 kWh/Jahr
Prozentuale Energieeinsparung	9%
CO ₂ -Reduzierung*	1.095 t/Jahr
Investitionen	620.000 €
Kostensenkung	270.670 €/Jahr
Kapitalrendite	44%

* Folgende Äquivalenzzwerte liegen nach Gemis für alle Beispiele zugrunde: Erdgas 244 g CO₂/kWh, Rapsöl 129,6 g CO₂/kWh (BioSt-NachV).



Luftvorwärmung.

Ein Luftvorwärmer (LUVO) wärmt die Verbrennungsluft mithilfe des heißen Abgases vor. Die Wärmerückgewinnung mittels LUVO kann den feuerungstechnischen Wirkungsgrad um fünf Prozent erhöhen. Die Vorwärmung der Verbrennungsluft kann auch mithilfe von Abwärme aus Drucklufterzeugungsanlagen oder aus dem Kesselhaus erfolgen.

Rekuperatorbrenner und Regenerativbrenner bei Brennöfen.

Beim **Rekuperatorbrenner** wird ein Wärmeübertrager eingesetzt, um die Verbrennungsluft mithilfe des heißen Abgases auf eine Temperatur von 550 bis 600 °C vorzuwärmen. Brenner und Luftvorwärmer werden zu einer Baueinheit zusammengefasst.

Beim **Regenerativbrenner** kommen zwei Brenner alternierend zum Einsatz. Während der erste Brenner in Betrieb ist, wird das heiße Abgas durch den zweiten Brenner abgesaugt und über ein Wärmespeichermedium geführt. Das Abgas gibt dabei etwa 85 bis 90 Prozent der Wärme an den Regenerator ab. Nach einer bestimmten Brenndauer schaltet das System auf den zweiten Brenner. Die Verbrennungsluft strömt dabei über den Regenerator und wird auf eine Temperatur aufgeheizt, die 100 bis 150 °C unter der Brennraumtemperatur liegt. Bei einem Einsatz im Temperaturbereich von 800 bis 1.500 °C ermöglicht diese Technologie Brennstoffeinsparungen von bis zu 60 Prozent gegenüber Brennern ohne Wärmerückgewinnung.



7. Partner für mehr Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe.

Die *Initiative EnergieEffizienz* der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) ist eine bundesweite Informations- und Motivationskampagne für effiziente Stromnutzung in allen Verbrauchssektoren.

Mit zielgruppenspezifischen Angeboten werden Endverbraucher in privaten Haushalten, in Industrie und Gewerbe sowie im Dienstleistungssektor und in öffentlichen Einrichtungen über die Möglichkeiten des effizienten Stromesatzes informiert und zum energieeffizienten Handeln motiviert. Die Kampagne wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

Die *Initiative EnergieEffizienz* bietet für Unternehmen auch zu zahlreichen weiteren Themen – von Energiemanagement bis Finanzierung – Informationen und praxisnahe Unterstützung, um Strom effizienter zu nutzen und Kosten einzusparen. Näheres zu den Angeboten unter: www.industrie-energieeffizienz.de

Herausgeber.

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
Energiesysteme und Energiedienstleistungen
Chausseestraße 128 a
10115 Berlin
Tel.: +49(0) 30 72 61 65-677
Fax: +49(0) 30 72 61 65-699
E-Mail: info@industrie-energieeffizienz.de
info@dena.de
Internet: www.industrie-energieeffizienz.de
www.dena.de

Mit freundlicher Unterstützung des **Bundesindustrieverbands Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e. V. (BDH)** und der **Interessengemeinschaft Energie Umwelt Feuerungen GmbH (IG)**

Bildnachweis.

Seite 1 und 6: © Viessmann Werke GmbH & Co. KG
Seite 7, 8/9, 11 und 17: © Bosch Industriekessel GmbH sowie Bosch Thermotechnik GmbH
Seite 10: © Walter Dreizler GmbH
Seite 12, 13, 14, 19 und 20: © Max Weishaupt GmbH
Seite 15: © ELCO GmbH
Seite 16: © SAAKE GmbH
Seite 18: © Westfalenhallen Dortmund GmbH

Diese Broschüre wurde gemeinsam von der *Initiative EnergieEffizienz* der Deutschen Energie-Agentur GmbH (dena) und dem Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e. V. (BDH) mit Unterstützung durch die Interessengemeinschaft Energie Umwelt Feuerungen GmbH (IG) erarbeitet.

Der Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e. V. (BDH)/Interessengemeinschaft Energie Umwelt Feuerungen GmbH (IG) vertritt die wirtschaftlichen, technischen und politischen Interessen seiner Mitglieder gegenüber Politik, Verwaltung und Öffentlichkeit. Die im BDH organisierten Unternehmen stellen innovative energieeffiziente Systeme der Versorgungstechnik auf Basis von Gas, Öl, Strom und besonders erneuerbaren Energien mit dem Schwerpunkt Wärmeerzeugung für die Bereiche Haushalt, kommerzieller Gebäudebereich und Industrie her.
www.bdh-koeln.de

Redaktion.

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)

Druck: trigger.medien gmbh, Berlin
Stand: Dezember 2011
Layout: Müller Möller Bruss Werbeagentur GmbH, Berlin

Alle Rechte sind vorbehalten. Die Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena.

ClimatePartner 
**klimateutral
gedruckt**

Zertifikatsnummer:
142-10794-1111-1005
www.climatepartner.com

6.2 Wärmepumpen.

Eine Wärmepumpe bringt Wärmeströme (aus Boden, Wasser oder Luft) mit relativ niedriger Temperatur auf eine höhere Temperatur. Dadurch lässt sich Umweltwärme oder Abwärme zur Beheizung nutzen.

Für die Gebäudeheizung bei privaten Haushalten sowie Industrie und Gewerbe kommen Niedertemperaturwärmepumpen zum Einsatz, die Wärme aus Luft, Grundwasser oder Erdboden nutzen können, um Temperaturen bis maximal 65 °C zur Verfügung zu stellen. Hochtemperaturwärmepumpen bieten die Möglichkeit, nicht nutzbare industrielle Abwärme auf ein höherwertiges Temperaturniveau zu heben, sodass sie für Raumheizung, die Bereitstellung von Prozesswasser oder Dampf bis hin zu Trocknungs- und Destillationsanwendungen genutzt werden können. Hochtemperatursysteme, die auf Basis von Kaldampfkompessionsprozessen arbeiten, können nach dem derzeitigen Stand der am Markt verfügbaren Technik Temperaturen von 80 °C bis maximal 95 °C erreichen. Einige Hersteller bieten zwar ein zweistufiges System an, mit dem auch Dampf bei höheren Temperaturen erzeugt werden kann, jedoch reduziert diese zusätzliche Wärmepumpenstufe den Gesamtwirkungsgrad. Mithilfe einer Industrierärmepumpe lassen sich bis zu 80 Prozent der Energiekosten einsparen.

Bei offenen oder semi-offenen Wärmepumpensystemen (thermische und mechanische Brüdenverdichter) kann Prozessdampf direkt als Arbeitsmedium verwendet und auf ein höheres Druck- und Temperaturniveau gebracht werden. Diese Wärmepumpen können bei Quelltemperaturen von 70 bis 80 °C Prozessdampf bzw. Prozesswärme mit einem Temperaturniveau von bis zu 200 °C erzeugen.

Ein guter Parameter zur Messung des Wirkungsgrads einer elektrischen Wärmepumpenanlage ist die Jahresarbeitszahl. Sie bezeichnet über ein Jahr hinweg das Verhältnis zwischen abgegebener Wärmemenge (Heizwärme) und zugeführter Energie (Antriebsenergie). Dabei fließen die unterschiedlichen Betriebszustände und damit die vielen unterschiedlichen guten und schlechten Leistungszahlen über das Jahr hinweg ein. Damit die Energiebilanz einer elektrischen Wärmepumpe positiv wird, sollte die Jahresarbeitszahl für elektrische Wärmepumpen mindestens einen Wert von 3,0 erreichen, da die Stromerzeugung in Deutschland mit einem hohem Primärenergieverbrauch verbunden ist.

6.3 Solarthermie.

Thermische Solaranlagen bieten sich in Deutschland vor allem dafür an, Prozesswärme auf einem Temperaturniveau bis zu maximal ca. 120 °C bereitzustellen. Solarthermie sollte immer bei der geringstmöglichen Temperatur an das bestehende Wärmeversorgungssystem angeschlossen werden, da der Wirkungsgrad bei allen Kollektortechnologien mit zunehmender Temperatur abnimmt. Eine Kopplung der Solarthermie direkt an den Prozess ist geeignet für: Reinigen, Trocknen, Verdampfen und Destillieren, Bleichen, Pasteurisieren, Sterilisieren, Kochen, Lackieren, Entfetten und Kühlen sowie die Bereitstellung von Raumwärme.

6.4 Wärmespeicher.

Mithilfe von Speichertechnologien lässt sich die Spitzenlast verringern und der Anteil der Grundlast erhöhen. Bei Prozessen mit ausgeprägten zeitlichen Lastspitzen können Versorgungssysteme und Systemkomponenten für ein mittleres Leistungsniveau dimensioniert werden. Der Speicher wird in Phasen mit hohem Leistungsbedarf entladen, während bei Unterschreitung der durchschnittlichen Leistung Energie zwischengespeichert wird.

8. Best-Practice-Beispiele.

Folgende Unternehmen haben ihre Wärmeversorgungssysteme bereits erfolgreich energetisch optimiert:

Anwender	Hersteller / Anlageplaner	Maßnahmen
Agrana Fruit Germany GmbH, Werk Konstanz - Produktion von Fruchtzubereitungen, seit 1991 biologische Produkte - 30 Mitarbeiter Ansprechpartner: Hans-Joachim Wehrle Maintenance, Workshop Manager Tel.: +49 (0)7531 5807-0 Hans-Joachim.Wehrle@agrana.com	Walter Dreizler GmbH - Hersteller von Brennern und Regelungstechnik - mittelständisches Unternehmen, 62 Mitarbeiter Ansprechpartner: Daniel Dreizler Leiter Vertrieb Tel.: +49 (0)7424 700 90 d.dreizler@dreizler.com	- Verwendung des im Prozess entstehenden Biogases zur Wärmeerzeugung - Drehzahlregelung und O ₂ - und CO-Abgasregelung bei einem Brennermotor
Albertinen-Krankenhaus, Hamburg-Schnelsen - 628 Betten und rund 60.000 ambulante und stationäre Patienten - Akademisches Lehrkrankenhaus der Universität Hamburg Albertinen-Zentrale Dienste GmbH, GB Technischer Service Süntelstr. 11A 22457 Hamburg	ELCO GmbH, Mörfelden-Walldorf - Hersteller von Industriebrennern sowie der dazugehörigen Mess-, Steuer- und Regeltechnik - 450 Mitarbeiter Ansprechpartner: Harald Rohde Vertriebsingenieur Industrie, Bereich Nord Tel.: +49 (0)511 9668 212 industrie@de.elco.net	- Low-NO _x -Zweistoffbrenner - strömungstechnisch optimierte Gasbrenner - modulierender Betrieb - Drehzahl- und O ₂ -Regelung - Verbrennungsluftvorwärmung
Bayerische Staatsbrauerei Weihenstephan - Brauerei - 100 Mitarbeiter Ansprechpartner: Hans Wolfinger Technischer Leiter Tel.: +49 (0)8161 536-0 hans.wolfiger@weihenstephaner.de	Bosch Industriekessel GmbH - Hersteller von Dampf- und Heißwasserkesseln - 600 Mitarbeiter Hersteller Industriekesselanlage: Bosch Industriekessel GmbH Ansprechpartner: Franz Dörr Vertriebsleiter Deutschland Tel.: +49 (0)9831 56-253 vertrieb@loos.de Beratung, Planung und Ausführung: Bayerische Ray Energietechnik GmbH & Co. KG Ansprechpartner: Helmut Reiter Verkaufsleiter Tel.: +49 (0)89 329 004-0 info@bayray.de	- Austausch des alten Schwerölkessels - Drehzahl- und CO-Regelung - Speisewasservorwärmung mithilfe eines Economisers - Brauwassererwärmung mithilfe eines Abgaskondensators - Verbrennungsluftvorwärmer durch Nutzung der Abwärme der Kälteanlage
Dortmunder Energie- und Wasserversorgung GmbH (DEW21) - Belieferung von rund 330.000 Haushalten in der Region Dortmund - Versorgung des Veranstaltungszentrums Westfalenhallen in Dortmund Ansprechpartner: Gabi Dobovisek Unternehmenskommunikation Tel.: +49 (0)231 544-3271 gabi.dobovisek@dew21.de	Bosch Thermotechnik GmbH, Buderus Deutschland - Hersteller von Geräten zur Heizung, Kühlung und Klimatisierung, Warmwasserbereitung, Solaranlagen, Biomasseanlagen, Wärmepumpen - Bundesweit 51 Vertriebsniederlassungen, 11 regionale Trainingscenter, 10 Servicecenter, 13.000 Mitarbeiter Ansprechpartner: Luc Geerinck Leiter Marketing Buderus Deutschland Tel.: +49 (0)6441 418 1610 luc.geerinck@buderus.de	- Gas-Brennwertkessel - intelligentes Wärmeerzeugungsmanagement und Gebäudeleittechnik

Anwender	Hersteller / Anlageplaner	Maßnahmen
Grundfos Pumpenfabrik GmbH, Werk Wahlstedt - Herstellung und Montage von Umwälzpumpen für die Heizungs-, Klima- und Lüftungstechnik sowie von Hochdruck-Kreiselpumpen und Druckerhöhungsanlagen für die Wasserversorgung - 1.000 Mitarbeiter Ansprechpartner: Matthias Wiese Leiter Instandhaltung Tel.: +49 (0)45 54 98-0 info@grundfos.de	Max Weishaupt GmbH - Hersteller von Brennern, Heiz- und Brennwertsystemen sowie von Solartechnik, Wärmepumpen und Gebäudeautomation (Weishaupt/Neuberger), Wärmepumpen und geothermischen Bohrungen (Weishaupt/BauGrund Süd) - ca. 3.000 Mitarbeiter Niederlassung Hamburg Ansprechpartner: Frank Gries Niederlassungsleiter Tel.: +49 (0)40 5380-9420 nl.hamburg.gries@weishaupt.de	- Anpassung der gesamten Hydraulik inklusive Entkoppelung des Heiz- und Verbraucherkreises - Niedertemperaturkessel mit Abgaswärmeübertrager - Mehrkesselregelung - Drehzahl- und O ₂ -Regelung sowie Steuerung durch Messung des Volumenstroms
Pulcra Chemicals GmbH, Werk Geretsried - Herstellung von Prozesschemikalien wie Farb- und Hilfsstoffe für die Textil-, Faser- und Lederindustrie - 100 Mitarbeiter Ansprechpartner: Bernhard Neumaier Technikleitung Tel.: +49 (0)81 71 6 280 bneumaier@pulcrachem.de	SAACKE GmbH - Hersteller von Öl- und Gasbrennern sowie von Anlagen- und Energietechnik für Industrieanwendungen, auf Schiffen sowie Offshoreanlagen - 1.000 Mitarbeiter Ansprechpartner: Stefan Schult Produktmanagement Energieeffizienzsysteme Tel.: +49 (0)33203 8039-70 S.Schult@saacke.de	- Low-NO _x -Brenner - Economiser - Abgaskondensator
Rittal International GmbH & Co. KG, Standort Rittershausen - überwiegend Produktion von Schaltschränken - 1.000 Mitarbeiter Ansprechpartner: Rafael Armbruster Gruppenleiter im Bereich Energieeffizienz und Umweltschutz Tel.: +49 (0)2772 505-0 info@rittal.de	Max Weishaupt GmbH, Niederlassung Siegen Ansprechpartner: Björn Kowohl Niederlassungsleiter Tel.: +49 (0)271 660 42-20 nl.siegen.kowohl@weishaupt.de	- Mehrkesselregelung - energieeffizienter Brenner - mit Bioöl betriebenes BHKW - Umstellung von thermischer Abgasreinigung auf katalytische Abgasreinigung mit Wärmerückgewinnung - Abgaswärmeübertrager
Teutoburger Mineralbrunnen GmbH & Co. KG, Bielefeld - Produktion von natürlichem Mineralwasser und Erfrischungsgetränken der Marke „Christinen“ - 240 Mitarbeiter bundesweit Ansprechpartner: Herbert Dörfler Geschäftsführer info@gehring-bunte.de	Max Weishaupt GmbH, Niederlassung Kassel (siehe Beispiel Grundfos) Ansprechpartner: Frank Mosenhauer Tel.: +49 (0)561 951 86-30 nl.kassel@weishaupt.de	- Bedarfsenkung: Wochenendabsenkung und Reduzierung des Dampfdrucks - Drehzahl- und O ₂ -Regelung
Textilveredlung an der Wiese GmbH, Werk Lörrach - Produktion von technischen Textilien, Bettwäsche, Tischwäsche sowie Hemden- und Blusenstoffen - 150 Mitarbeiter Ansprechpartner: Steffen Herrmannsdörfer Geschäftsführer Tel.: +49 (0)7621 957 60 info@wiese-textil.de	SAACKE GmbH (siehe Beispiel Pulcra Chemicals GmbH)	Economiser