



BOSCH
Technik fürs Leben

Fachbericht

www.bosch-industrial.com

Dampf und Heißwasser im Vergleich

Dipl.-Ing. (FH) Daniel Gosse MBA, Leiter Marketing Bosch Thermotechnik Industrie

Prozesswärme in Form von Dampf oder Hochdruck-Heißwasser ist wesentlicher Bestandteil in Produktion und Wärmeversorgung. Welches der beiden Wärmeträgermedien für industrielle Anlagen, Prozesse, mechanische Antriebsanwendungen oder Wärmenetze eingesetzt wird, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Grundsätze für die differenzierte Betrachtung von Dampf und Heißwasser, physikalische Grundlagen dieser Medien sowie ihre technischen Anforderungen beschreibt der nachfolgende Fachbeitrag.

Prozesse mit Dampf

In vielen Industriebereichen ist Dampf unverzichtbarer Energieträger. Dampf erfüllt die hohen Anforderungen an Temperaturkonstanz, bietet schnelle Prozesszeiten und erlaubt direkten Mediumkontakt. Das geforderte Temperaturniveau liegt meist zwischen 100 und 300°C. Um Qualität, Sicherheit und Effizienz in Prozessen zu gewährleisten, ist Dampf unter anderem bevorzugtes Medium für:

- ▶ Lebensmittelindustrie, unter anderem zum Kochen, Sterilisieren, Trocknen, Pasteurisieren
- ▶ Papierherstellung, z. B. für das Trocknen der Papierbahnen
- ▶ Chemie- und Pharmabranche, etwa für Destillation, Pressen, Trocknen
- ▶ Kraftwerke, zur Startunterstützung von Dampfturbinen
- ▶ Krankenhauswesen, zur Versorgung von Reindampferzeugern für Sterilisationszwecke



In der Lebensmittelindustrie ist vor allem gefilterter Dampf, auch als kulinarischer Dampf bekannt, notwendig.

Heißwasser ideal für Wärmenetze

In Anwendungen wie in der Fernwärme und Beheizung von Gebäuden gehört Warm-/Heißwasser heute zum ökonomischen Standard. Es kann große Wärmemengen speichern und mit hohem Wirkungsgrad zum Abnehmer transportieren. Das Temperaturniveau in Wärmenetzen liegt je nach deren Generation zwischen 45 und 100°C. Bei Einsatz von Dampfsystemen im Fernwärmebereich gibt es die Option des Überhitzens, um die längeren Transportwege zu überwinden. Das hohe Temperaturniveau kommt jedoch aus energetischer Sicht selten in Frage. Eine Ausnahme zur Dampfanwendung bilden Hochhäuser mit mehreren 100 Metern Höhe, wenn der hydraulische Wärmetransport an seine technischen und wirtschaftlichen Grenzen stößt. Hängen am Fernwärmenetz Abnehmer mit Dampfbedarf, bietet sich eine Heißwasser-Fernversorgung mit anschließender Dampfauskopplung an – sofern eine lokale Dampferzeugung nicht möglich sein sollte.

Planungsansätze von Neu- oder Bestandsanlagen

In vielen Anwendungen und Prozessen steht es außer Frage, ob Dampf oder Heißwasser als Energieträger zum Einsatz kommt. Dennoch gibt es Bereiche, wie etwa in der Lebensmittelindustrie und in Brauereien, die bei der Planung von neuen Prozesswärmeversorgungen oder bei der Modernisierung von bestehenden Anlagen dieser Fragestellung begegnen. Um sowohl die Investitionen, als auch die laufenden Kosten vollständig beurteilen zu können, ist der gesamte Standort zu betrachten. In der Praxis finden sich häufig die folgenden Ansätze:

- ▶ **Ersatz von bestehenden Dampfkesselanlagen:** Hier geben die Infrastruktur zur Wärmeverteilung und die Abnehmer meist vor, ob Dampf oder Heißwasser eingesetzt wird. Dampfleitungen sind in der Regel nicht für Heißwasser geeignet, unter anderem aufgrund ihres kleinen Durchmessers, mangels passender hydraulischer Auslegung, fehlender Pumpen sowie mangels passender Wärmetauscher. Generell sind auch die Verbraucher auf Dampf limitiert und nicht ohne Weiteres umstellbar.
- ▶ **Neuplanung mit gemischten Energiebedarfen:** Eine differenzierte Betrachtung der Bedarfe an Dampf, Heißwasser und Warmwasser ist sinnvoll. Bei besonders großen gemischten Energiebedarfen werden häufig Anlagen mit verschiedenen Energieerzeugern installiert. Diese benötigen jedoch jeweils dedizierte Infrastrukturen für die Verteilung von Dampf und Wasser sowie entsprechend umfangreichere Wartungskonzepte.
- ▶ **Ein Medium überwiegt:** Dominiert auf Abnehmerseite eine Energieform, beispielsweise Dampf, kann auch ein Hauptenergieerzeuger zum Einsatz kommen, der die kleineren Energiebedarfe mit abdeckt. Ein typisches Beispiel ist ein Dampfkessel mit Heißwasser-Entnahme und/oder zusätzlicher Warmwasserbereitung über Abwärmennutzung oder ein Dampf/Wasser-Wärmetauscher.
- ▶ **Multivalente Systeme:** Sofern verfügbar, sind auch dezentrale Stromerzeuger in dem Gesamtkonzept zu berücksichtigen. So kann beispielsweise die Abwärme eines BHKWs in die Warmwasser-Grundlast einbezogen oder das Abgas von BHKWs/Gasturbinen zur Dampferzeugung verwendet werden.

Fernwärmenetze nutzen heutzutage Heißwasser als Wärmeträgermedium.



Physikalische Grundlagen Dampf und Heißwasser

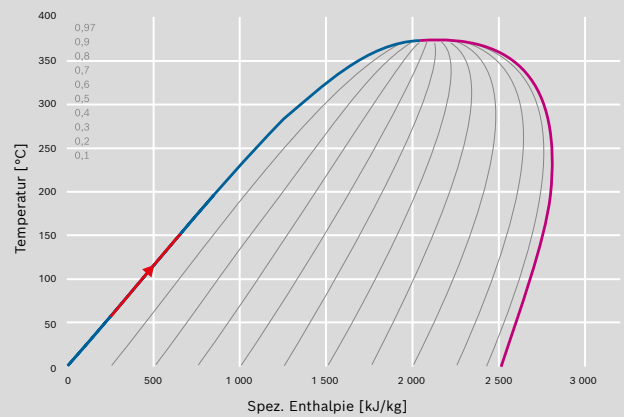
Der größte Unterschied von Dampf und Heißwasser bei gleichem Druck liegt in der Dichte. Diese basiert auf den unterschiedlichen Aggregatzuständen der beiden Medien. Für einen energetischen Vergleich wird nachfolgend 1 kg Dampf bzw. Heißwasser herangezogen. Die Vorlauftemperatur beträgt jeweils 180°C, wenn sie beim Verbraucher ankommt. Die Rücklauftemperatur bzw. Kondensattemperatur liegt im Bereich von 130°C–165°C (Spreizung 50–15K). 1 kg Dampf hat in diesem Fall die 10- bis 34-fache Energiemenge übertragen. Dies impliziert für Prozesse mit engem Temperaturfenster, dass es bei der Nutzung von Heißwasser einer wesentlich höheren Umlaufmenge an Wasser bedarf. Diese muss wiederum mit elektrisch betriebenen Pumpen befördert werden, was in der Energiekosten-Betrachtung zu berücksichtigen ist.

Kennzahl	Heißwasser	Dampf
Dichte	1000–841 kg/m ³ (20–220 °C)	0,7–15,5 kg/m ³ (0,2–30 bar)
Aggregatzustand	Flüssig	Gasförmig
Energiedichte pro Tonne	17,5–59 kWh (ΔT 15–50 °C)	610–640 kWh (120 °C T_{steam})
Massenstrom, Beispiel 7 MW, 180 °C	116–382 t/h (ΔT 15–50 °C)	11 t/h → Faktor 10–34 geringer
Wärmeübertragungsfläche 7 MW	220 m ²	67 m ² → Faktor >3 geringer

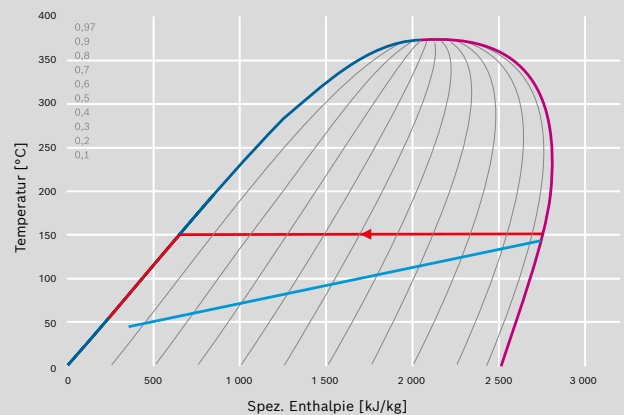
Dampf gibt, im Gegensatz zum Heißwasser, den größten Anteil der abgegebenen Energie durch Enthalpie ab, die beim Kondensieren freigesetzt wird. Dadurch ist nicht nur der benötigte Massenstrom erheblich kleiner, sondern das Übertragen der Energie erfolgt auch schneller und auf deutlich weniger Fläche. Bei 7 MW Leistung benötigt ein Plattenwärmetauscher z. B. nur eine um Faktor 3 kleinere Fläche. Des Weiteren findet die Energieübertragung bei Dampf bei nahezu konstanter Temperatur statt, was besonders hohe Prozessgenauigkeit und kurze Prozesszeiten ermöglicht. Dies verdeutlicht das Enthalpie-Diagramm: Hier lässt sich die Enthalpie-Änderung der roten Linie auf der x-Achse ablesen. Das reine Erwärmen des Wassers (oberes Diagramm) verursacht nur einen kleinen Anstieg der Enthalpie und geht mit einer Temperaturänderung einher. Demzufolge findet die Energieübertragung immer innerhalb eines definierten Temperaturbereichs statt – bei nicht konstanter Temperatur. Die Durchflussmenge bestimmt somit die thermische Leistung. Bei Dampf hingegen findet die Energieübertragung bei der Phasenänderung zum gasförmigen Zustand bei konstanter Temperatur

statt. Dies zeigt der horizontal verlaufende Teil der roten Linie beim Sattdampf (mittleres Diagramm). Äußerst gering ist die weitere Enthalpie-Änderung durch das Überhitzen des Dampfs, wie im unteren Diagramm ersichtlich – diese ist ebenfalls durch die reine Temperaturänderung bedingt.

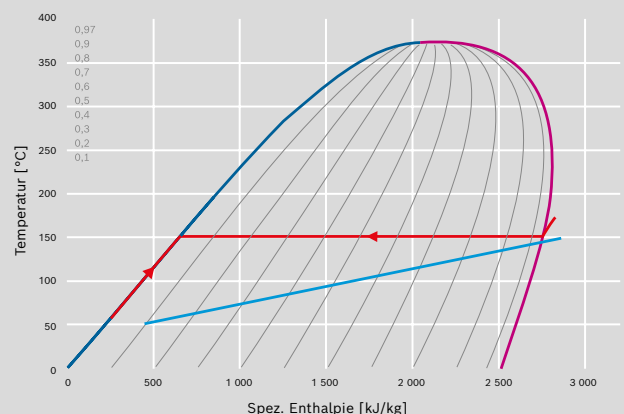
Heißwasser



Sattdampf



Heißdampf



Der entscheidende Vorteil bei Heißwasser ist, dass das Medium große Wärmemengen transportieren kann. Auf langen Distanzen führen insbesondere das niedrigere Temperaturniveau und der große Rohrquerschnitt zu geringeren Verlusten. Zudem ist keine Entwässerung für anfallendes Kondensat bzw. kein Kondensat-Management notwendig. Da Heißwassersysteme geschlossen sind, entweicht weniger Energie aus dem System. Folglich muss nahezu kein Frischwasser aufgeheizt werden. Die eigentliche Wärmeübertragung findet immer über einen Wärme-

tauscher statt, der keinen direkten Medienkontakt zulässt.

Zusammenfassend lässt sich sagen: Warm- und Heißwasser sind ideal zur indirekten Beheizung, insbesondere bei Temperaturen bis 100 °C. Dampf hingegen ist sowohl zur direkten Beheizung (Kontakt mit dem zu beheizenden Gut), als auch zur indirekten Beheizung geeignet, allerdings für Temperaturniveaus über 100 °C. Eine Ausnahme bildet die außerhalb Chinas wenig verbreitete Technik des sogenannten Vakuumdampfs.

Überblick: Dampf und Heißwasser im Vergleich

Warm- und Heißwasser	Wasserdampf
Ideal zur indirekten Beheizung mit einem Temperaturniveau bis 100 °C	Ideal zur indirekten und direkten Beheizung mit einem Temperaturniveau über 100 °C (Ausnahme Vakuumdampf)
Einsetzbar bis ca. 220 °C	Sattdampf bis ca. 220 °C; überhitzter Dampf bis 300 °C
Verdampfung ist nicht zulässig	Verdampfung gewollt → Abgabe der Verdampfungswärme an aufzuheizendes Gut
1 t Heißwasser gibt beim Abkühlen von 160 °C auf ca. 120 °C 48 kWh Wärme ab	1 t Dampf 160 °C (5,2 bar) gibt beim Kondensieren und Abkühlen auf 120 °C 626 kWh ab (13-Faches!)
Volumenveränderung ca. 1,04-fach	Volumenveränderung 289-fach
Meist längere Prozesszeiten	Schnelles, gleichmäßiges Aufheizen möglich
Deutlich träger	Schnelle, präzise Temperaturregelung
Medium-Transport durch Umwälzpumpe, höherer Stromverbrauch	Medium-Transport durch Eigendruck, Kondensatableiter, Kondensat- und Speisepumpe
Ausdehnungsgefäß und meist Fremddruckhaltung	Kondensat-/Speisewassergefäß, Entspannung durch Eigendruck
Geeignet für lange Transportwege	Transportwege möglichst kurz mit Entwässerungen
Große Rohrleitungsquerschnitte erforderlich	Kleinerer Massenstrom bei gleicher übertragener Wärmemenge (um Faktor 10–50), dadurch geringe Rohrleitungsquerschnitte möglich
Geschlossene verlustarme Systeme	Offene Systeme verlustreicher; geschlossene Kondensatsysteme mit weniger Verlusten

Investitionsvergleich Dampf- und Heißwassersysteme

Wie bereits erwähnt, empfiehlt es sich bei der Planung von Neuanlagen und bei der Überarbeitung bestehender Systeme eine vollumfängliche Betrachtung durchzuführen. Es ist sinnvoll, sowohl die initiale Investition, als auch die laufenden Kosten über einen definierten Betrachtungszeitraum zu bewerten. Als Beispiel steht nachfolgend eine 10 t/h Dampfanlage und 7 MW Hochdruck-Heißwasser-

anlage im Vergleich. Der jeweilige Kaufpreis für die Kessel gleicher Leistung liegt auf vergleichbarem Niveau. Obwohl es unterschiedlicher Komponenten in der Peripherie bedarf, sind auch diese preislich nahezu identisch: Die Dampfanlage umfasst eine Wasseraufbereitung bestehend aus Enthärtung und Entgaser sowie ggf. ein Kondensatmodul. In Summe liegen die Investitionen für die Komponenten aktuell

bei ca. 60 tEUR. Bei der Heißwasseranlage sind Systemkomponenten, unter anderem eine Druckhaltung, ein Heizkreisverteiler, die Hydraulik sowie ein Schmutz- und Schlamm-Abscheider erforderlich – in Summe ebenfalls ca. 60 tEUR. Betrachtet man jedoch die gesamte wärmetechnische Anlage, resultieren Kostenunterschiede. Der größte Anteil liegt hier bei der Wärmeverteilung und den Verbrauchern. Die größeren Leitungsquerschnitte bei Heißwasseranlagen in Verbindung mit den großen Umwälzpumpen spielen eine entscheidende Rolle. Bei Bestandsanlagen fällt das noch mehr ins Gewicht, wenn zusätzliche Leitungsverlegungsarbeiten und möglicherweise Erdarbeiten nötig sind. Verbraucher für Heißwasser und passende Wärmetauscher müssen ebenfalls den deutlich höheren Volumenstrom verwerthen und fallen entsprechend größer (teurer) aus. Was für Neuanlagen noch praktikabel scheint, stößt jedoch bei der Umrüstung von bestehenden Anlagen an seine Grenzen. Wird der Ersatz von dampfverbrauchenden Produktionseinrichtungen erforderlich, ist eine Umstellung auf Heißwasser in vielen Fällen unrentabel.

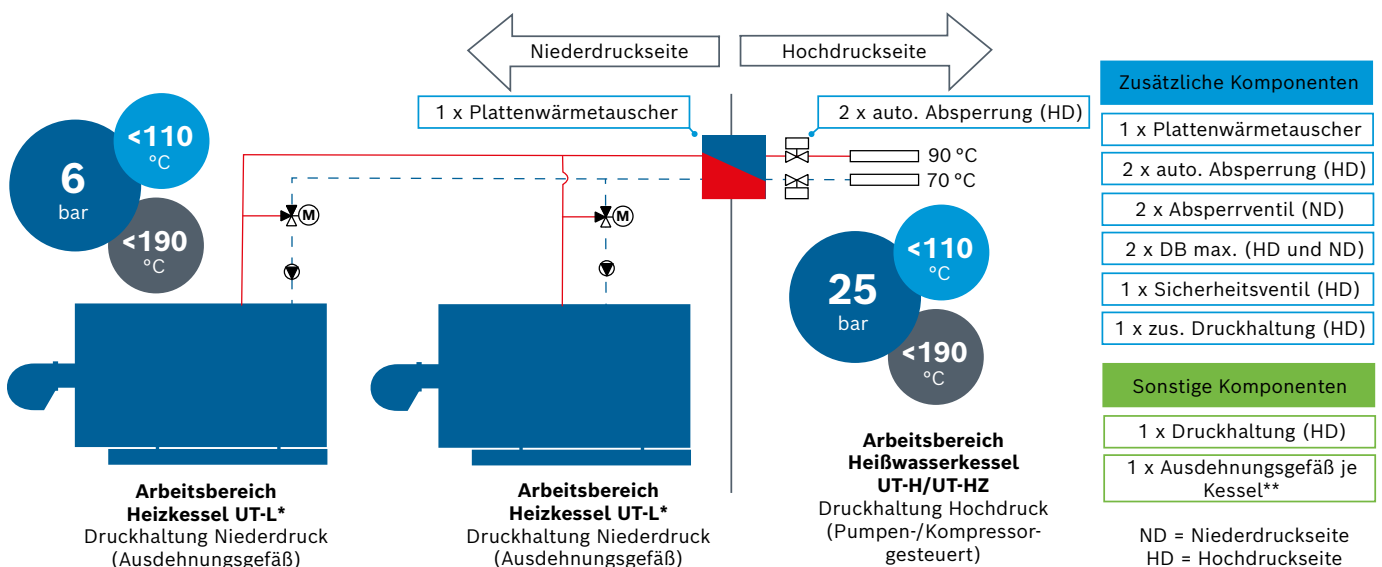
Heizsysteme: Kosteneffiziente Alternativen mit Kreistrengung

Eine Besonderheit beim Medientransport von Heißwasser, das für Heizzwecke dient, stellt die sogenannte Kreistrengung mittels Plattenwärmetauscher dar. Hat beispielsweise eine Fernwärme-

versorgung eine hohe Druckanforderung >16 bar, z. B. zur Überwindung einer großen Höhe in einem Gebäude, benötigt jedoch nur Temperaturen <110°C, lassen sich Kesselkreis und Heizkreis hydraulisch trennen. Die Temperaturspreizung auf der Sekundärseite ist dadurch in einem sehr großen Bereich frei wählbar und der Wirkungsgradverlust durch den Wärmetauscher ist in der Regel mit ca. 0,3% nahezu vernachlässigbar.

Der entscheidende Vorteil der Kreistrengung: Es lässt sich ein günstigerer, kompakterer und leichter Heizkessel mit preisattraktiver Kessel-ausrüstung einsetzen. Gegenüber eines Heißwasserkessels (Druckgeräterichtlinie) unterliegt der Heizkessel nicht der ständigen Überwachungspflicht, was den Betrieb erleichtert und dadurch auch die laufenden Kosten senkt. Ein weiterer Vorteil ist die chemische Entkopplung von dem Heizkreis. Insbesondere bei multivalenten Systemen mit verschiedenen Anforderungen der Hersteller können diese getrennt voneinander eingehalten werden. Ein Eintrag von Schmutz aus dem Netz in die Wärmeerzeuger lässt sich so vermeiden. Der hydraulische Mehraufwand ist überschaubar: Neben dem Plattenwärmetauscher sind lediglich zusätzliche Absperr- und Sicherheitsventile, Druckbegrenzer sowie Druckhaltungen für den Nieder- und Hochdruckbereich notwendig. Im Hochdruckbereich des Wärmenetzes wird die Druckhaltung gewöhnlich pumpengesteuert oder kompressorgesteuert realisiert.

Konzept zur Kostenreduzierung



*Mit UT-M auch im höheren Temperaturbereich möglich
**Wenn Kessel hydraulisch abgesperrt werden können

Beispiele aus der Praxis

Am ungarischen Haribo-Standort Nemesvamos versorgte ursprünglich ein Dampfkessel die Prozesse in der Produktion und beheizte die Gebäude. Im Zuge einer Kapazitätserweiterung entschied sich das Unternehmen, seine **Wärme- und Dampfversorgung zu separieren**. Für den zusätzlichen Bedarf an Prozesswärme in der Süßwarenproduktion wurde ein neuer Dampfkessel UL-S in die bestehende Infrastruktur integriert. Die Heizwärmeversorgung wurde entkoppelt und wird über einen separaten 800 kW Warmwasserkessel bereitgestellt. Zusätzlich unterstützt ein nachgeschalteter Brennwertwärmetauscher der Dampfkesselanlage die Beheizung der Gebäude.



Im Krankenhaus Traunstein findet sich ein **multivalentes System aus Dampf- und Heizkesselanlage sowie BHKW**. Das BHKW liefert durch seine Motorabwärme die Grundlast zur Beheizung der Helikopterplattform und Gebäude. Mit max. 85 °C geht die Wärme in das Niedertemperaturnetz des Klinikums. Spitzenlast-Wärmebedarf sichert ein Heizkessel UT-L mit 1,9 MW zusammen mit einem Bestandsheizkessel. Für eine besonders ökologische Dampferzeugung nutzt ein Abhitzedampfkessel vom Typ UL-S mit viertem Zug die Restabwärme des BHKWs und erzeugt daraus Sattdampf. Zusammen mit seiner Feuerung liefert dieser Kessel bis zu 1 600 kg Dampf pro Stunde. Für zusätzliche Bedarfe und als Back-up ist ein 3-Zug Dampfkessel vom Typ UL-S mit gleicher Leistung integriert. Der erzeugte Dampf dient unter anderem zur Beheizung von Reindampferzeugern für Sterilisationszwecke.





Die Firma KSB Pumpen entschied sich für eine ganzheitliche **Umstellung von Dampfbetrieb auf Warmwasserbetrieb**. Das geforderte Temperaturniveau hat sich im Laufe der Jahrzehnte unter anderem durch Effizienzmaßnahmen verändert und liegt heute bei max. 100 °C. Ein BHKW mit 400 kW thermischer Leistung für die Grundlast sowie zwei UT-L Heizkessel mit 8,4 MW ersetzen die alte Dampfkesselanlage aus den 1970ern. Ein bestehender Holzkessel blieb erhalten und wurde ebenfalls auf Warmwasserbetrieb umgerüstet. Durch die Umstellung ergaben sich sowohl erleichterte Aufstellbedingungen als auch eine reduzierte Beaufsichtigungspflicht. Zudem haben sich die Brennstoffkosten mit bis zu 1 GWh/Jahr weniger Erdgas stark reduziert.

Bei der RWTH Aachen University ist eine UT-M **Heißwasserkesselanlage für die Fernwärmeversorgung** eingesetzt. Das weitläufige Netzsystem auf dem RWTH-Campus Melaten auf einer Fläche von rund 500000 m² erfordert ein effizientes Überwinden der Transportwege. Das erzeugte Heißwasser kann große Wärmemengen speichern und diese mit hohem Wirkungsgrad zum Abnehmer transportieren. Für die verschiedenen Heiz- und Prozesswärmeanwendungen geht die Wärme aus den Heißwasserkesseln mit einem Temperaturniveau von 150 °C in den Vorlauf und kommt mit rund 83 °C aus dem Netz zurück. Rund 50 Großbauten mit verschiedenen Bedarfen hängen am Wärmenetz, darunter auch das Uniklinikum Aachen. Für deren Dampfbedarf (z. B. für Sterilisationsprozesse) findet dort eine Dampfauskopplung statt.



Fazit

Effizientere Maschinen, optimierte Prozesse und sinkende Heizbedarfe führen in Summe vielerorts zu sinkendem Energiebedarf bei niedrigeren Temperaturniveaus. Dadurch ist es sinnvoll bei der Neukonzeption von Energieversorgungsanlagen Heißwasser und Dampf vorab zu vergleichen. In vielen Fällen bleibt Dampf aufgrund von Temperaturkonstanz und anderer Prozessparameter die effektivste Lösung.

Bei dem Vergleich der Anlagenkosten ist es wichtig, das Gesamtsystem inklusive Verteilung und Verbrauchern zu betrachten, ebenso wie den Einfluss auf die laufenden Kosten und die Implikationen für

Prozesszeiten. Insbesondere bei Bestandsanlagen, z. B. in Brauereien, resultieren häufig enorme Aufwände in der gesamten Produktionsanlage, um bestehende Infrastrukturen mit Dampf auf Heißwasser umzustellen. Bei vielen Neuanlagen bietet es sich hingegen an, die Themen Dampf sowie Warm-/Heißwasser als separate Netze vorzusehen. Ist einer von beiden Bedarfen erheblich größer als der andere, gibt es die Möglichkeit kleine Mengen Dampf aus Heißwasser auszukoppeln oder umgekehrt. In einzelnen Fällen lässt sich sogar ein nachträglicher Umbau von Dampfkesseln zu Heißwasserkesseln realisieren. Das sollte jedoch möglichst frühzeitig in der Planung Berücksichtigung finden.

Bosch Industriekessel GmbH

Nürnberger Straße 73
91710 Gunzenhausen
Deutschland
Tel. +49 9831 56253
Fax +49 9831 5692253
vertrieb-de@bosch-industrial.com
Service-Hotline +49 180 5667468*
Ersatzteil-Hotline +49 180 5010540*

Bosch Industriekessel Austria GmbH

Haldenweg 7
5500 Bischofshofen
Österreich
Tel. +43 6462 2527300
Fax +43 6462 252766300
vertrieb-at@bosch-industrial.com
Service-Hotline +43 810 810300**
Ersatzteil-Hotline +49 180 5010540**

info@bosch-industrial.com
www.bosch-industrial.com
www.bosch-industrial.com/YouTube

*0,14 Euro/Min. aus dem deutschen Festnetz; Mobilfunkhöchstpreis 0,42 Euro/Min.

**max. 0,10 Euro/Min. aus dem österreichischen Festnetz

Kosten für Anrufe aus den Mobilfunknetzen und internationale Verbindungen können abweichen.