



BOSCH
Technik fürs Leben

Fachbericht

www.bosch-industrial.com

Großwasserraumkessel und Wasserrohrkessel im Vergleich

Dr.-Ing. Eberhard Franz
Dipl.-Wirtschaftsingenieur (FH), Dipl.-Informationswirt (FH) Markus Tuffner, Bosch Industriekessel GmbH

Die industrielle Dampferzeugung hat eine über 200-jährige Geschichte. Die ersten hundert Jahre kannten ausschließlich Kessel, die mit den heutigen Großwasserraumkesseln vergleichbar waren. Im Jahre 1875 [1], also 106 Jahre nachdem James Watt Dampfkessel und Dampfmaschine erfunden hatte, baute die Firma Steinmüller den ersten Wasserrohrkessel.

Seit dieser Zeit gab es, was Leistung und Druck anbelangt, eine stürmische Entwicklung von Wasserrohrkesseln. 1927 wurde der erste Bensonkessel in Betrieb genommen, der 30 t/h Dampf bei 180 bar und 450 °C erzeugte. In den sechziger Jahren des letzten Jahrhunderts wurden überkritische Kessel mit Drücken jenseits von 350 bar und Temperaturen über 600 °C gebaut. 1970 war die Leistungsgrenze von 1 000 t/h erreicht. Bereits fünf Jahre später konnten Wasserrohrkessel mit mehr als 2 000 t/h Dampfleistung gebaut werden.

Solch enorme Leistungen und extreme Dampfparameter können mit Großwasserraumkesseln prinzipbedingt nicht gebaut werden. Dennoch wurden auch Großwasserraumkessel ständig weiterentwickelt. Als Beispiele hierfür, durch die Bosch

Industriekessel GmbH initiiert, können die Einführung des Dreizugkessels mit innenliegender, wassergekühlter Wendekammer im Jahr 1953, die Entwicklung des Zweiflammrohrkessels (1956) oder die fehlersicheren Wasserstandelektroden (1977) genannt werden. So werden Dampfleistungen bis zu 55 t/h heute sicher und wirtschaftlich nahezu ausschließlich von Großwasserraumkesseln abgedeckt. Je nach Größe werden dabei Drücke bis zu 30 bar und Heißdampftemperaturen bis zu 300 °C erreicht. Aus den bisherigen Ausführungen wird klar, dass beide Konstruktionsprinzipien ihre Daseinsberechtigung besitzen. Im Allgemeinen ist es entweder nicht sinnvoll oder unmöglich, für einen festgelegten Anwendungsfall das eine Prinzip durch das andere zu ersetzen. Mitunter gibt es für diese Aussage auch Ausnahmen. Der vorliegende Aufsatz soll für solche Anforderungsprofile, bei denen der Einsatz beider Bauarten Sinn machen könnte, eine Entscheidungshilfe geben. Diskutiert werden im Folgenden: Sicherheitsaspekte, betriebliche Aspekte, physikalische Eigenschaften und Kostengesichtspunkte.

Sicherheit

In manchen Entwicklungsländern haben Großwasserraumkessel wenig Verbreitung gefunden. Die dort ansässigen Hersteller von Großwasserraumkesseln produzieren einen Qualitätsstandard, der mit dem der deutschen Produzenten nicht vergleichbar ist. Gleiches gilt für die Sicherheitsausrüstung gegen Drucküberschreitung und Wassermangel. Entsprechend niedrig ist der Sicherheitslevel. Aus Angst vor den katastrophalen Folgen eines Dampfkesselzerknalls wird, wegen des prinzipbedingt größeren Wasserinhalts des Großwasserraumkessels in diesen Ländern oder auch von manchen sehr konservativ eingestellten Planern, dem Wasserrohrkessel der Vorzug gegeben. Neben dem Sicherheitsaspekt spielt in den o. g. Ländern die geringe Lebensdauer der dort gefertigten Großwasserraumkessel naturgemäß eine wichtige Rolle.

In Deutschland hat es in den letzten zwanzig Jahren keinen katastrophalen Unfall in Zusammenhang mit Großwasserraumkesseln mehr gegeben. Mit ausschlaggebend hierfür ist die Einführung des fehlersicheren Elektrodensystems zur Regelung und Begrenzung des Wasserstands im Jahr 1977 und der Regeln für die konstruktionsimmanente Sicherheit von Großwasserraumkesseln im Jahre 1985 [2]. Konstruktionsimmanente Sicherheit bedeutet den Verzicht auf Konstruktionsprinzipien (beispielsweise vorgeschweißte Böden, Stegträger zur Bodenversteifung), die Möglichkeit zur Besichtigung und zum Befahren des Kesselinneren und das Vorsehen großer Abstände zwischen den Kesselkomponenten unterschiedlicher Temperatur.

Ein wichtiger Aspekt ist die Einführung der Wasserdruckprobe mit erhöhtem Prüfüberdruck, welche eine einfache und sehr zuverlässige Beurteilung des Zustands und der Sicherheit des Großwasserraumkessels ermöglicht [3]. Die erwähnten Regeln und Ausrüstungen haben in Deutschland seit Jahrzehnten einen sicheren Betrieb von Großwasserraumkesseln ohne jeglichen größeren Unfall bewirkt. Diese Aussage kann so für andere Kesselbauarten nicht getroffen werden [4, 5]. Großwasserraumkessel bieten bei entsprechender Qualität von Fertigung und Konstruktion ein hohes Maß an Sicherheit und Lebensdauer. Planer und Betreiber sollten Hersteller wählen, die eine große Zahl von schadensfrei betriebenen Referenzanlagen aufweisen können.

Betriebliche Aspekte

In diesem Abschnitt werden die Anforderungen an Wasserqualität, Wartung und wiederkehrende Prüfungen besprochen.



Abbildung 1: Versandfertiger Hochdruck-Großwasserraumkessel in Zweiflammrohrbauweise, 35 t/h, 16 bar

Die Qualität des Kessel- und Speisewassers spielen bei Dampfkesseln naturgemäß eine wichtige Rolle. Dennoch gibt es bei den Anforderungen an das Wasser wichtige, kostenträchtige Unterschiede.

Bei Wasserrohrkesseln ist eine salzarme Fahrweise für die meisten Bauformen empfehlenswert [6]. Salzarm meint bei Wasserrohrkesseln für das Kesselwasser eine Leitfähigkeit von kleiner gleich 2 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Üblich und bei lokalen Wärmestromdichten größer als 250 kW/m^2 erforderlich ist salzfreies Speisewasser, um das Zusetzen der Rohre mit entsprechender Behinderung des Wärmeübergangs zu vermeiden. Diese Anforderungen können nur durch vergleichsweise aufwendige und kostenintensive Maßnahmen zur Wasseraufbereitung eingehalten werden.

Großwasserraumkessel können grundsätzlich mit salzhaltiger Fahrweise (Leitfähigkeit kleiner gleich 6 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) betrieben werden. Eine Beeinträchtigung der Kesselheizflächen durch Versalzung ist, wegen wirksamer Absalzungsmöglichkeiten, nicht gegeben. Zur Wasseraufbereitung können einfache Enthärtungsanlagen herangezogen werden. Über die Art der Wasseraufbereitung entscheiden wirtschaftliche Gesichtspunkte sowie die Qualität des vorliegenden Rohwassers. Ausschlaggebend sind hier die Amortisationsdauern für höherwertige Wasseraufbereitungsanlagen, die sich durch die Reduzierung der Absalzmengen ergeben können.

Ein weiterer Unterschied ist die Wärmeleistung bezogen auf die Baugröße. Typischerweise kommen bei vergleichbaren Leistungsanforderungen Großwasserraumkessel mit deutlich geringerer Aufstellfläche und auch weniger Aufstellraum aus. Zur Wartung: Diese ist bei Großwasserraumkessel deutlich einfacher als beim Wasserrohrkessel. Dies ist schon wegen des deutlich geringeren Aufwands beim An- und Abfahren und der leichten Zugänglichkeit der Heizflächen so.

Ein ähnliches Bild ergibt sich bei den wiederkehrenden Prüfungen. Bei Großwasserraumkesseln, die gemäß den oben erwähnten Regeln für konstruktionsimmanente Sicherheit produziert werden, hat sich ein äußerst einfaches, aussagekräftiges und kostengünstiges System bewährt: Die visuelle Prüfung der relevanten Kesselkomponenten nach einer Wasserdruckprobe mit erhöhtem Prüfüberdruck, siehe hierzu [3]. Sie erlaubt den weitgehenden Verzicht auf den Einsatz von zerstörungsfreien Prüfmethoden, wie Ultraschall. Bei Wasserrohrkesseln hat sich aus Gründen, die hier nicht erörtert werden sollen, die Wasser-



Abbildung 2: 100 MW Heißwasser-Wasserrohrkessel beim Transport

druckprüfung mit erhöhtem Prüfüberdruck nicht durchgesetzt. Zusätzlich sind weite Bereiche eines typischen Wasserrohrkessels einer visuellen Prüfung nicht zugänglich (verdämmte Räume). Deswegen ist der umfängliche Einsatz von Ultraschall und dergleichen erforderlich.

Physikalische Eigenschaften

Hier sollen Gesichtspunkte diskutiert werden, die sich aus den jeweiligen Konstruktionsprinzipien direkt ergeben: Wasserinhalt, Speichervermögen, Teillastverhalten.

Auf die erzeugte Wärmeleistung bezogen hat ein Großwasserraumkessel einen deutlich höheren Wasserinhalt als ein Wasserrohrkessel. Deswegen ist der Großwasserraumkessel robuster gegenüber Lastschwankungen oder auch gegen Lastanforderungen, die temporär die Nennleistung des Kessels überschreiten. Außer einer kurzzeitig erhöhten Dampfnässe sind keine Auswirkungen zu erwarten, insbesondere ist nicht mit einer negativen Beeinflussung des Wärmeübergangs zu rechnen.

Dieses Verhalten ist beim Wasserrohrkessel naturgemäß nicht gegeben. Druckschwankungen beeinflussen aufgrund der miteinhergehenden Dichteveränderung zwangsläufig auch den Wärmeübergang.

Der große Wasserinhalt eines GWK bringt neben den beschriebenen Vorteilen Nachteile im Kaltstartverhalten. Die Zeitspanne, die vergeht, bis vom Kessel Dampf zur Verfügung gestellt werden kann, ist deutlich größer als bei einem WRK mit vergleichbarem Druck und Leistung. Hinzu kommt, dass jeder Kaltstart bei Großwasserraumkesseln eine deutlich höhere mechanische Belastung als der stationäre Regelbetrieb [8] hervorruft. Daraus resultiert, dass ein Kaltstart bei einem GWK möglichst schonend

durchgeführt werden sollte.

Aufgrund des geringeren Wasserinhalts kann der Wasserrohrkessel in verschiedenen Ländern auch mit größeren Leistungen als sogenannter Produktkessel zum Einsatz kommen, also erleichterte Aufstellbedingungen in Anspruch nehmen [7].

Wesentlich für die Lebensdauer von Dampfkesseln ist die Anzahl der Brennerstarts. Maßgeblich hierfür ist, neben der richtigen Abstimmung Kessel/Anlage, die Höhe der Kleinstlast, die der Kessel abgeben kann. Beim Großwasserraumkessel entspricht diese Kleinstlast der vom Brenner vorgegeben kleinsten Feuerungswärmeleistung. Bei heißdampferzeugenden Wasserrohrkesseln bestimmter Bauarten kann üblicherweise diese Brennerkleinstlast nicht auf den Kessel abgebildet werden, da durch die Reduzierung der wasserseitigen Massenströme der Wärmeübergang negativ beeinflusst wird und es zu unerwünschten Burnout-Effekten im Bereich von hohen Wärmestromdichten kommen kann.

Kosten und Termine

Solange ein Anforderungsprofil durch mehrere Großwasserraumkessel abgedeckt werden kann, ist die Wahl von Großwasserraumkesseln, vergleichbares Herstellkostenniveau sowie vergleichbare Qualität vorausgesetzt, die kostengünstigere Alternative. Auch sind in aller Regel die Lieferzeiten und die Zeiten, die zur Errichtung der Anlage benötigt werden, geringer.

Großwasserraumkessel bieten üblicherweise bei vergleichbarer Abgastemperatur und Zusammensetzung wegen geringerer Verluste durch Strahlung und Leitung einen leicht höheren Wirkungsgrad als Wasserrohrkessel. Dieser ist wegen der einfacheren Wartungsmöglichkeiten auch leichter im Betrieb auf-

| Kriterium | Großwasserraumkessel | Wasserrohrkessel |
|--|---|---|
| Wasserqualität | geringere Anforderungen, salzhaltige Fahrweise möglich | hohe Anforderungen, salzfreie Fahrweise für die meisten Bauformen erforderlich |
| Wartung | einfache Reinigung | aufwendig |
| wiederkehrende Prüfungen | einfach, Besichtigung nach hoher Wasserdruckprobe weitergehende, zerstörungsfreie Prüfungen wie zum Beispiel Ultraschall selten und in geringem Umfang | zusätzlich zur Wasserdruckprobe Ultraschall oder ähnliches unvermeidbar; entsprechend hoher zeitlicher und finanzieller Aufwand |
| Kosten bei vergleichbarem Niveau der Herstellkosten und Qualität | niedriger | höher |
| Wirkungsgrad | höher, leicht aufrechtzuerhalten | niedriger, schwieriger während des Betriebes aufrechtzuerhalten |
| Teillastverhalten | Regelbereich der Feuerung kann ausgenutzt werden, bei Unterschreitung Mindestlast Brenner problemlos abschaltbar | Teillast muss bei gewissen Bauformen begrenzt werden, Brenner kann nicht ohne weiteres abgeschaltet werden |
| Wasserinhalt | prinzipbedingt höher | niedriger |
| Speichervermögen | aufgrund des hohen Wasservolumens robust gegen Druck- und Lastschwankungen | empfindlich gegen prozessseitige Last- und Druckschwankungen |
| Lieferzeit | kürzer | höher |
| Platzbedarf | niedrig | hoch |
| Zeit für Aufstellung, Erstinbetriebnahme | kurz | länger |

rechtzuerhalten, so dass sich auch eine höhere Wirtschaftlichkeit des Großwasserraumkessels ergibt.

Zusammenfassung

Üblicherweise sind die Einsatzbereiche von Großwasserraum- und Wasserrohrkesseln klar getrennt. Es ist schlichtweg unmöglich, für 1 000 t/h Dampf bei 180 bar und 450 °C Großwasserraumkessel einzusetzen. Bis zu ca. 200 t/h, 30 bar und 300 °C sind ein oder mehrere Großwasserraumkessel meistens die bessere, weil in Anschaffung und Betrieb kostengünstigere Alternative. Moderne Fertigungsmethoden und Regeln der konstruktionsimmanenten Sicherheit ermöglichen ein hohes Sicherheitsniveau und eine lange Lebensdauer. Die diskutierten Aspekte sind in der folgenden Tabelle stichpunktartig zusammengefasst.

Literaturangaben:

- [1] Lehmann H.: Dampferzeugerpraxis, Resch-Media Mail Verlag GmbH, Gräfelfing 1994
- [2] VdTÜV, FDBR, VGB: Vereinbarung 1985 /1 über Richtlinien für die Beurteilung von Großwasserraumkesselkonstruktionen, VdTÜV, Essen 1985
- [3] Roßmaier W.: Verbesserte Wasserdruckprüfungen bei Flammrohr-Rauchrohr- und Wasserrohrkesseln, Technische Überwachung Bd. 38 (1997), Nr. 6 – Juni
- [4] Diwok, H.-J., Mattern, J., Hülmann, G.: Explosion in einem 150 MW-Schmelzkammerkessel, Technische Überwachung Bd. 37(1996), Nr. 3 – März
- [5] N. N.: Vier Arbeiter starben im heißen Dampf, Bonner Generalanzeiger, 20.10.1994
- [6] Dolezal, R., Dampferzeugung, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokyo etc., 1990
- [7] N. N., TRD 403: Aufstellung von Dampfkesselanlagen mit Dampfkesseln der Gruppe IV, Ausgabe Juni 1984
- [8] Franz, E.: Kaltstart von Grosswasserraumkesselanlagen

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 2527310
Fax +43 6462 252766310
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.

© Bosch Industriekessel GmbH | Abbildungen nur beispielhaft |

Änderungen vorbehalten | 12/2018 | TT/MKT-CH_de_FB_Vergleich_GWK-WRK_02