



Innovative Sicherheitsschnellschlussarmaturen für Gasturbinen zur gezielten Effizienzsteigerung des Gasturbinenbetriebes in Energieerzeugungsanlagen

Uwe Krabbe und Jürgen Wolko
KÜHME Armaturen GmbH, 44894 Bochum / Germany
Tel.: +49 (0) 234 / 298 02 – 0
krabbe@kuehme.de wolko@kuehme.de



Veröffentlicht in:
Kraftwerkstechnik 2015 - Strategien, Anlagentechnik und Betrieb
Michael Beckmann, Antonio Hurtado.
Freiberg: SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH, 2015
ISBN 978-3-934409-70-5

Innovative Sicherheitsschnellschlussarmaturen für Gasturbinen zur gezielten Effizienzsteigerung des Gasturbinenbetriebes in Energieerzeugungsanlagen

Uwe Krabbe und Jürgen Wolko

1.	Grundlagen, Normen und gesetzliche Richtlinien	2
2.	Historische Entwicklungsschritte der Sicherheitsschnellschlussarmaturen für Gasturbinen	5
3.	Innovative Schnellschlussarmatur für Brennstoffzuführungssystem	6
3.1.	Auswahl und Tests eines geeigneten Dichtungswerkstoffes	7
3.2.	Konzeption der Innenteile.....	8
3.3.	Umsetzung der extrem kurzen Schließ- und Öffnungszeit mit einem Pneumatikantrieb.....	8
3.4.	Sicherheitskonzept bei Ausfall der Hilfsmedien	9
3.5.	Betriebsergebnisse aus der Testanlage des Turbinenherstellers	10
4.	Ansteuerung mit Eigenmedium	10
5.	Sicherheitsschnellschlussventile für Hilfssysteme der Turbine.....	11
6.	Fazit und Zusammenfassung	12
7.	Quellen.....	12

Die Anforderungen an den Betrieb von Gasturbinen zur weiteren Flexibilisierung bei gleichzeitiger Reduzierung der Betriebskosten steigen ständig. Hinsichtlich der Effizienz bedeutet dies eine Zunahme der Betriebsdrücke bei gleichzeitiger Erhöhung der Gastemperaturen. Andererseits müssen die Investitionskosten gesenkt werden, damit sich die Neuanlagen bei den geänderten Randbedingungen im Energieerzeugungsmarkt schneller amortisieren.

Diese geänderten Bedingungen erfordern auch neue Lösungen auf dem Technologiesektor der Sicherheitsschnellschlussarmaturen in der Brennstoffzuführung von Gasturbinen. Nachfolgend wird ein Beispiel für neue Lösungen auf diesem anspruchsvollen Einsatzgebiet der Gasturbinen- Schnellschlussarmaturen erörtert.

Die Turbinenhersteller sind bestrebt, die Effizienz durch technologische Weiterentwicklungen der Gasturbine permanent zu erhöhen. Dazu gehört in einem Gas- und Dampfkraftwerk auch die laufende Erhöhung der Gastemperatur am Vorwärmsystem. Dadurch steigen aber auch die notwendigen Betriebsdrücke für die Gasverteilung. Diese geänderten Randbedingungen haben einen entscheidenden Einfluss auf die Komponenten im System der Gasturbine. Für innovatorientierte Armaturenhersteller bedeutet dies, den neuen Herausforderungen immer einen Schritt voraus zu sein.

1. Grundlagen, Normen und gesetzliche Richtlinien

Bei der Zuführung von Brennstoffen zur Feuerung einer Gasturbine müssen definierte Parameter eingehalten werden. Da die Brennstoffzuführung heutzutage überwiegend automatisch erfolgt, muss sie absolut sicher unterbrochen werden. Dies ist u. a. dann der Fall, wenn eines der Sicherheitskriterien der Verbrennungsanlage (Druckabfall im Gassystem unter minimalem Gasdruck) anspricht.

Daher müssen in dem Brennstoffzuführungssystem Schnellschluss- und Regleinrichtungen integriert werden, die den Brennstoffzufluss zu jedem Zeitpunkt sicher und zuverlässig unterbrechen.

Bei der weiteren Betrachtung wird als Brennstoff hauptsächlich Gas berücksichtigt. Die grundlegende und charakteristische Anordnung des Schnellschlussystems vor einer Gasturbine zeigt Abbildung 1.

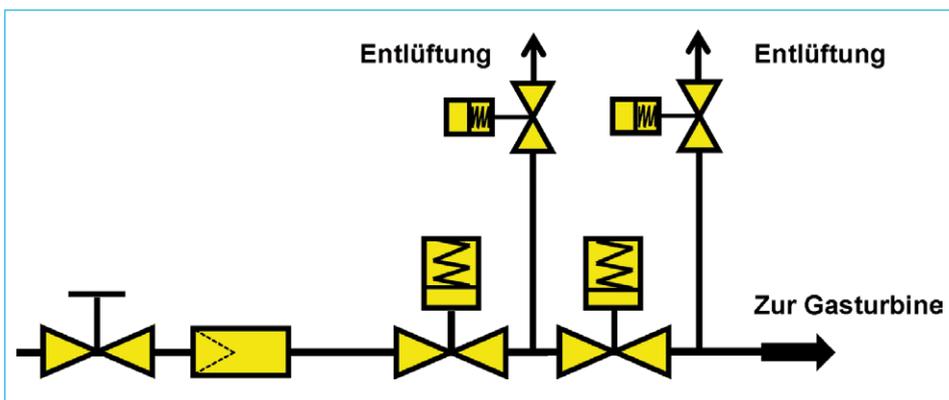


Abb. 1: P+I-Diagramm eines Sicherheitsabsperresystems vor der Gasturbine [1]

Für das Schnellschlussystem vor der Gasturbine sind aus sicherheitstechnischen Gründen u. a. folgende wichtige Grundvoraussetzungen zu beachten [2]:

- Aus Redundanzgründen sind zwei hintereinander geschaltete Sicherheitsschnellschlussventile mit Zwischenentlüftung und optionaler Strangentlüftung vorzusehen.
- Die Schließzeit der Sicherheitsschnellschlussventile muss kleiner als 0,15 Sekunden sein.
- Sicherheitsschnellschlussventile müssen die Gaszufuhr bei Ausfall der Stellantriebsenergie oder bei Versagen eines für die Wirkungsweise wichtigen Bauteils selbsttätig absperren.
- Für die Ausrüstung vor Gasturbinen sind grundsätzlich nur zugelassene Bauteile und typgeprüfte Absperreinrichtungen legitimiert (Abbildung 2).



Abb. 2:
Gasturbinen-Schnellschlussventil als Sicherheitsschnellschlussabsperresystem [1]

Bei der Projektierung und Planung von Gasturbinen-Feuerungssystemen und deren zugehöriger Absperresysteme sind außerdem die einschlägigen Gesetze, Vorschriften und technischen Regelwerke unbedingt einzuhalten. Dies sind u. a.:

Gesetzesebene

Druckgeräterichtlinie 97/23/EC [3]

Europäisches Gesetz, welches in nationale Gesetze umgesetzt wurde, zur Festlegung von Anforderungen an Druckgeräte, die innerhalb Europas in Verkehr gebracht werden.

Gasgeräterichtlinie 2009/142/EG [4]

Europäisches Gesetz, das für das Inverkehrbringen sowie die Inbetriebnahme von Geräten und Ausrüstungen gilt, die gasförmige Brennstoffe umwandeln.

Festlegungen für die Anlagenausführung

- EN 12952-8 [5], EN 12953-7 [6] Normen, welche die technische Ausführung von Gasfeuerungen und Ölfeuerungen festlegten.
- EN 746 [7] Norm mit Festlegungen zur Ausführung von industriellen Thermoprozessanlagen.
- DVGW Arbeitsblatt G 497 [8] Verdichteranlagen.
- VD-TÜV AM 451-97/3 [9] Sicherheitstechnische Anforderungen an kombinierte Gasturbinen- und Dampfkesselanlagen bei Gasfeuerungen.

Festlegung zur Produktausführung

- EN ISO 23553-1 [10] Norm mit Festlegungen für Sicherheits-, Regel- und Steuereinrichtungen für Ölbrenner und Öl verbrennende Geräte.
- EN 161 [11] Automatische Absperrventile für Gasgeräte (Drücke bis 5 bar).
- EN 16678 [12] Sicherheits- und Regeleinrichtungen für Gasbrenner und Gasbrennstoffgeräte – automatische Absperrventile für einen Betriebsdruck über 500 kPa bis einschließlich 6.300 kPa.
- EN 14382 [13] Sicherheitseinrichtungen für Gas-Druckregelanlagen und -einrichtungen – Gas-Sicherheitsabsperreinrichtungen für Betriebsdrücke bis 100 bar.

Vorschriften für besondere Anforderungen

- ATEX 94/9/EG [14] Europäisches Gesetz, welches die Ausführungsrichtlinien für Produkte beinhaltet, die in explosiven Bereichen eingesetzt werden.
- DIN EN IEC 61508 [15] Internationale Norm mit Festlegungen zur Einstufung der funktionalen Sicherheit von Geräten.
- DIN EN ISO 10497 (Fire Safe) [16] Richtlinien zur Festlegung der Funktionsanforderung an Armaturen, die auch noch unter starker Feuereinwirkung gewährleistet sein müssen.
- TA-Luft/VDI 2440 [17] Regelung, welche Leckagemenge an Armaturen maximal in die Atmosphäre emittiert werden darf, z. B. durch eine Undichtigkeit am Spindel-dichtsystem.

Gemäß den geltenden Vorschriften und Normen müssen die eingesetzten Geräte und Absperr- bzw. Regelarmaturen ihre Eignung und Verlässlichkeit in umfangreichen, intensiven Tests im Zuge einer Baumusterprüfung nachweisen. Die entsprechende Belegung erfolgt anhand von Baumusterprüfzertifikaten über unabhängige benannte Stellen.

2. Historische Entwicklungsschritte der Sicherheitsschnellschlussarmaturen für Gasturbinen

Die in den bestehenden Anlagen installierten Sicherheitsschnellschlussarmaturen in der Brennstoffzuführung für Gasturbinen stammen ursprünglich aus dem Bereich der Schnellschlussarmaturen für Gas- und Öl-Brenner in thermischen Kraftwerken. Diese Armaturen sind entsprechend an die Anforderungen für den Gasturbinenbetrieb angepasst worden. Dadurch sind immer wieder Kompromisse getätigt worden, die den Erfordernissen nicht vollumfänglich gerecht geworden sind.

In den 1980er-Jahren ist erstmals eine Schnellschlussarmatur entwickelt worden, die auf den Anforderungen der Gasturbinenhersteller basiert.

Anforderungen:

- robuster Kolbenantrieb
- absolute innere Dichtheit
- hohe Lebensdauer
- Verwendung bewährter Bauteile aus den Sicherheitsabsperrventilen
- Schließzeit kleiner als eine Sekunde

Auslegung und Prüfung des Gasturbinen-Schnellschlussventils

Die Auslegung des Gasturbinen-Schnellschlussventils erfolgte auf Grundlage der entsprechenden Betriebsdaten. Diese lagen in den 1980er-Jahren noch bei 25 bar Betriebsdruck und einer Gasbetriebstemperatur von 120 °C. Die Bauteilprüfung erfolgte anhand der damals gültigen Normen. Als Prüfgrundlage wurde die DIN 3394 [12] heran gezogen (ersetzt durch EN 16678 [12]).

Die nächste Entwicklungsstufe der Gasturbinen-Schnellschlussventile wurde anschließend 1995 realisiert. Der Betriebsdruck stieg auf 40 bar und die Betriebstemperatur auf 180 °C. Bei vereinzelt Anlagen wurde eine Betriebstemperatur von 210 °C oder 225 °C verlangt. Die entsprechenden Armaturen wurden alternativ mit einer TÜV-Bescheinigung bzw. über Einzelabnahme belegt. Eine Darstellung der zeitlichen Entwicklung der Temperatur- und Druckverhältnisse an Sicherheitsschnellschlussventilen zeigt Abbildung 3.

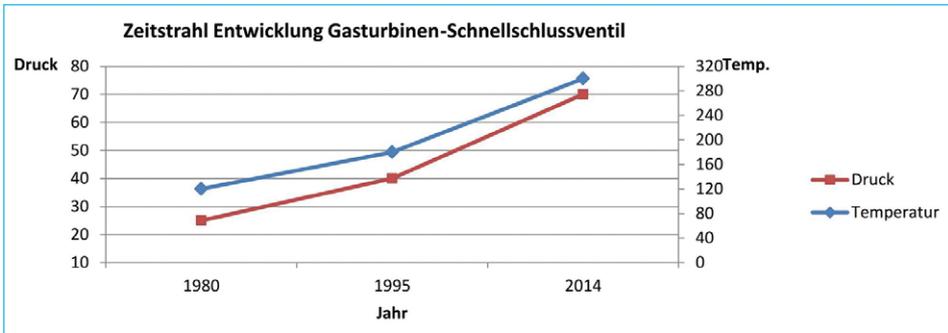


Abb. 3: Zeitliche Entwicklung der Anforderungsrandbedingungen von Sicherheitsschnellschlussventilen für Gasturbinen [1]

Eine völlig neue und innovative Lösung für ein Gasturbinen-Schnellschlussventil wurde mit der in Abbildung 4 dargestellten Armatur geschaffen.

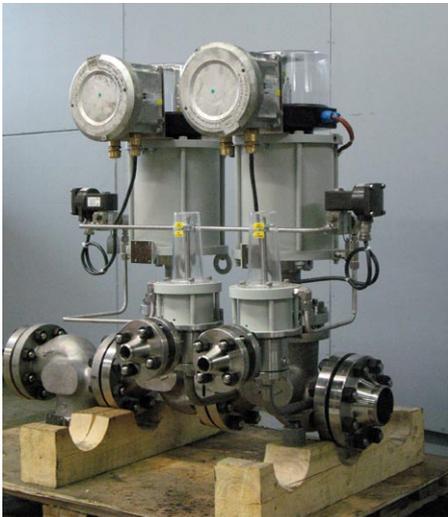


Abb. 4: Gasturbinen-Schnellschlussventil-Kombination als Sicherheitsschnellschlussabsperrsystem in einer Ausführung der 1980er-Jahre [1]

3. Innovative Schnellschlussarmatur für Brennstoff-zuführungssystem

Die Gasturbinenhersteller sind ständig darauf bedacht, die Turbinen noch effizienter und langlebiger zu entwickeln. Das bedeutet für die Zulieferindustrie, dass sie ebenfalls entsprechende Entwicklungsschritte umsetzt, um weiterhin ein zuverlässiger Partner zu sein. Für die neue Generation der Gasturbinen-Schnellschlussventile sind die folgenden Anforderungen vom Turbinenhersteller vorgegeben:

Anforderungen des Turbinenherstellers:

- Betriebsdruck 50 bar (5 MPa)

- Betriebstemperatur 280 °C (553,15 K)
- Schließzeit kleiner als 0,15 Sekunden
- Öffnungszeit kleiner als 0,8 Sekunden
- absolute innere Dichtheit (Klasse A – Armatur [11])
- pneumatischer Antrieb
- hohe Lebensdauer

Im Zuge der Umsetzung wurde ein Projektteam gebildet, das ein Pflichtenheft erarbeitet hat. Es wurde ebenfalls geprüft inwieweit die DIN EN ISO 16678 *Automatische Absperrventile bis zu einem Druck von 63 bar (6,3 MPa)* [12] berücksichtigt werden kann. Nach interner Abstimmung sowie externer Koordination und Kommunikation mit dem Turbinenhersteller ist als Entwicklungsziel ein Druck von 70 bar (7 MPa) und eine Betriebstemperatur von 300 °C (573,15 K) festgelegt worden.

Entwicklungsziele des Armaturenherstellers:

- Gewährleistung der Konformität gemäß DIN EN ISO 16678 [12], API 616 [18], VD-TÜV 451/97/3 [9]
- Betriebsdruck 70 bar (7 Mpa)
- Betriebstemperatur 300 °C (573,15 K)
- Schließzeit kleiner als 0,10 Sekunden
- Öffnungszeit kleiner als 0,6 Sekunden
- absolute innere Dichtheit (Klasse A – Armatur [11])
- pneumatischer Antrieb
- verlängerte Wartungsintervalle

3.1. Auswahl und Tests eines geeigneten Dichtungswerkstoffes

Aufgrund der internen Werknorm sowie von Erfahrungswerten bei einer anderen Anwendung mit hoher Medium-Betriebstemperatur konnte der anzuwendende Dichtungswerkstoff schnell bestimmt werden. Jedoch wurde dieser bisher unter ganz anderen Druckverhältnissen und für eine abweichende Anzahl von Schaltvorgängen eingesetzt. Aufgrund dessen waren umfangreiche Funktionstests bei entsprechender Temperatur und entsprechendem Druck nötig.

Das interne Prüfprogramm sah 20.000 Schaltungen für den Prüfling vor. Davon wurden 15.000 Schaltungen bei höchster Temperatur und höchstem Druck durchgeführt. Nach dem dieses interne Prüfprogramm erfolgreich abgeschlossen wurde, ging es darum, die geforderten hohen Anforderungen an die Schließ- bzw. Öffnungszeit zu realisieren (Abbildung 5).

Ein weiterer wichtiger Punkt war die Konzeption der Innenteile, um das Lösen von Kleinteilen wie Verbindungselementen o. Ä. vollständig auszuschließen, die sonst in die Turbine geraten und diese beschädigen könnten.



Abb. 5:
Gasturbinen-Schnellschlussventil (isoliert, siehe Pfeil) auf dem Temperatur-Prüfstand [1]

3.2. Konzeption der Innenteile

Das Ziel bei der Umsetzung der Konzeption der Innenteile war es, dass keine Schrauben oder ähnliche Teile in den Medienstrom gelangen können. Dazu war es erforderlich, sich von den bekannten und vorhandenen Konstruktionen zu lösen und einen neuen Weg einzuschlagen.

Alle Verbindungselemente mussten vor dem Zusammenbau der Armatur von innen fixierbar sein. Etwaige Öffnungen mussten kleiner als die Verbindungselemente ausgeführt sein. In diesem Zusammenhang ist das sogenannte Safe-Set-Design determiniert worden. Hiermit wird sichergestellt, dass sich kein internes Bauteilelement des Gasturbinen-Schnellschlussventiles lösen kann und die Turbine keinen Schaden nimmt.

3.3. Umsetzung der extrem kurzen Schließ- und Öffnungszeit mit einem Pneumatiktrieb

Die Herausforderung bei der Umsetzung dieser Vorgabe bestand darin, das richtige Verhältnis von Steuerluftdruck, Antriebsgröße, Tot- und Hubvolumen, Schließfederkraft, Nennweite der Steuerluftzuführung, Größe der Steuerluftentlüftung sowie der Reaktionszeit des Steuerventils zu definieren. Dazu wurde ein neuer Pneumatiktrieb konzipiert.

Um die optimale Konfiguration der unterschiedlichen Parameter festzulegen, waren erneut umfangreiche Tests mit einem Prüfling nötig. In einem Langzeittest mit 20.000 Schaltungen hat der neue Pneumatiktrieb seine Schnelligkeit und Zuverlässigkeit bewiesen (Abbildung 6).



Abb. 6:
Schließ- und Öffnungszeittest mit Gasturbinen-
Schnellschlussventil [1]

3.4. Sicherheitskonzept bei Ausfall der Hilfsmedien

Zur Erreichung der Schließzeit von 0,15 Sekunden und der Öffnungszeit von 0,8 Sekunden ist zusätzlich zum kompakten und energiesparenden Pneumatik-Kolbenantrieb eine geeignete Steuerung (hardwareseitig) erforderlich. Diese Steuerung besteht aus Entlüftungsventilen, die nötig sind, um die Druckluft aus dem Antrieb zu entlüften und aus Zuluftventilen, die die Druckluft in den Antrieb leiten, damit dieser das Ventil entgegen der installierten Schließfederkraft öffnet.

Beim Entlüftungsvorgang ist es wichtig, dass das Druckluftvolumen sehr schnell aus dem Antrieb entweichen kann. Dazu ist es notwendig, dass die Entlüftungsventile sehr schnell umschalten und einen großen Querschnitt freigeben. Bei der Zuführung der Druckluft ist es wiederum erforderlich, dass diese mit sehr geringem Druckverlust und in ausreichender Menge nachgeführt wird. Dies ist unerlässlich, damit der Antrieb verzögerungsfrei bis zur Endposition öffnet, da sich das Volumen beim Öffnungsvorgang bis zum Erreichen der Endposition stetig vergrößert.

Zur Findung der optimalen Anordnung der Steuerungskomponenten waren einige Versuche nötig, da auch für die Steuerung eine kompakte und energiesparende Ausführung das Ziel war. Selbiges galt ebenfalls für die Berücksichtigung von Vibrationen, die von der Gasturbine ausgehen, damit die Steuerung dauerhaft dicht und funktionsfähig ist.

Das Ergebnis ist eine Steuerung (Abbildung 7), die eine Schließzeit von 0,1 Sekunden und eine Öffnungszeit von 0,6 Sekunden gewährleistet.



Abb. 7:
Gasturbinen-Schnellschlussventil mit Steuerung
[1]

3.5. Betriebsergebnisse aus der Testanlage des Turbinenherstellers

Während eines Anlagenstillstands im Sommer 2014 wurde das Testventil in der Testanlage einer 260-MW-Gasturbine eingebaut. Hierzu wurde das vorhandene Ventil aus der Brennstoffleitung heraus getrennt und das Testventil anstelle dessen eingeschweißt. Neben der elektrotechnischen Installation bzw. Verkabelung der Endlagenschalter und des Magnetsteuerventils musste zusätzlich die Druckluftversorgung für den pneumatischen Kolbenantrieb verlegt werden.

An die Installationsphase haben sich die Inbetriebnahmephase mit Versuchen und der Probetrieb angeschlossen. Während dieses Zeitraums wurde die Betriebsverfahrensweise unter Einbindung der neuen Gasturbinen-Schnellschlussarmatur getestet.

Die Testanlage des Turbinenherstellers ist aktuell wieder im Betrieb und die erforderlichen Tests werden ohne Probleme durchgeführt. Bei zwischenzeitlichen Funktions- und Dichtheitstests wird die Armatur kontinuierlich geprüft. Das Gasturbinen-Schnellschlussventil verrichtet tadellos seinen wichtigen Dienst.

4. Ansteuerung mit Eigenmedium

Bei Gasturbinenanwendungen kann es vorkommen, dass örtlich keine Druckluft zur Betätigung des Gasturbinen-Schnellschlussventiles zur Verfügung steht. Durch Erweiterung der Steuerung um einen Gasdruckregler und ein Sicherheitsabblaseventil kann das Betriebsmedium (Gas) zur Betätigung des Schnellschlussventiles verwendet werden (Abbildung 8). Hierbei ist weiterhin zu berücksichtigen, dass die Entlüftungsleitungen bei Entlüftung des Antriebes während des

Schließvorganges über Dach geführt sind, damit das Gas gefahrlos abgeführt werden kann.

Mit der Ansteuerung durch das Eigenmedium können identische Zeiten für Schließen und Öffnen gewährleistet werden. Diese Steuerung wird mit einem TÜV-Gutachten auf Basis der EN 334 [19] und EN 14382 [13] angeboten. Hiermit wird eine absolut gleichwertige Alternative zur Basisausführung geboten, wenn keine Druckluft zur Verfügung steht.



Abb. 8:
Gasturbinen-Schnellschlussventil mit Ansteuerung von Eigenmedium [1]

5. Sicherheitsschnellschlussventile für Hilffsysteme der Turbine

In den Hilffsystemen Brennstoffzuführung *Öl* und *Einspritzwasser* der Gasturbine sind ebenfalls Sicherheitsschnellschlussarmaturen installiert. Nachdem die Konzeption für das Gasturbinen-Schnellschlussventil für die Brennstoffzuführung *Gas* abgeschlossen war, ist das neue Antriebssystem auch bei diesen Sicherheitsschnellschlussarmaturen adaptiert worden.

Anforderungen des Turbinenherstellers:

- Schließzeit kleiner als 0,15 Sekunden
- absolute innere Dichtheit (Klasse A – Armatur [11])
- pneumatischer Antrieb
- hohe Lebensdauer

Durch die Verwendung von nur einem Antriebssystem an der Gasturbine wird das gesamte Steuerungssystem der Turbine vereinfacht und kostengünstiger.

6. Fazit und Zusammenfassung

Mit dem geschilderten Praxisbeispiel wird deutlich, dass bei geänderten Betriebsbedingungen bei Gasturbinen auch neue und innovative technische Lösungen für die Sicherheitsschnellschlussarmaturen in der Brennstoffzuführung erforderlich sind. Zur schnellen Umsetzung bei der Entwicklung dieser Hochleistungsabsperrsysteme sind eine langjährige und fundierte Erfahrung sowie eine daraus resultierende hohe Umsetzungsgeschwindigkeit unabdingbar. Ausschließlich anhand dieser Mittel ist zu gewährleisten, dass diese für den Anlagenbetrieb substantziellen Sicherheitsarmaturen dauerhaft sowie verlässlich zur Absicherung der Brennstoffzuführung der Gasturbinen funktionieren.

7. Quellen

- [1] Kühme Armaturen GmbH.
- [2] Wiesner, T.; Mönning, W.: Armaturen in Wärmekraftwerken. Vulkan Verlag 2011.
- [3] Druckgeräterichtlinie 97/23/EC. Richtlinie des Europäischen Parlaments und Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Druckgeräte.
- [4] Gasgeräterichtlinie 2009/142/EG. Richtlinie des Europäischen Parlaments und Rates über Gasverbrauchseinrichtungen.
- [5] EN 12952-8:2002. Wasserrohrkessel und Anlagenkomponenten, Teil 8. Anforderungen an Feuerungsanlagen für flüssige und gasförmige Brennstoffe für den Kessel.
- [6] EN 12953-7:2002. Großwasserraumkessel, Teil 7. Anforderungen an Feuerungsanlagen für flüssige und gasförmige Brennstoffe für den Kessel.
- [7] EN 746:2010. Industrielle Thermoprozessanlagen, Teil 2. Sicherheitsanforderungen an Feuerungen und Brennstoffführungssysteme.
- [8] DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.. Technische Regel Arbeitsblatt G 497 – Januar 2008 Verdichteranlagen.
- [9] VD-TÜV Merkblatt 451-97/3, 06/97. Sicherheitstechnische Anforderungen an kombinierte Gasturbinen- und Dampfkesselanlagen bei Gasfeuerungen-Ausrüstung.
- [10] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: EN ISO 23553-1:2014. Sicherheits-, Regel- und Steuereinrichtungen für Ölbrenner und Öl verbrennende Geräte. Spezielle Anforderungen, Teil 1. Automatische und halbautomatische Ventile. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- [11] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: EN 161:2013. Automatische Absperrventile für Gasbrenner und Gasgeräte (Drücke bis 5 bar). Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- [12] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: Entwurf EN 16678:2013. Sicherheits- und Regeleinrichtungen für Gasbrenner und Gasbrennstoffgeräte. Automatische Absperrventile für einen Betriebsdruck über 500 kPa bis einschließlich 6 300 kPa. Vorgesehen als Ersatz für DIN 3394-1:2004-05. Automatische Stellgeräte, Teil 1. Stellgeräte zum Sichern, Abblasen und Regeln für Drücke über 4 bar bis 16 bar. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- [13] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: EN 14382:2009. Sicherheitseinrichtungen für Gas-Druckregelanlagen und -einrichtungen. Gas-Sicherheitsabsperreinrichtungen für Betriebsdrücke bis 100 bar. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- [14] ATEX 94/9/EG. Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen (ATEX-Richtlinie, Maschinenrichtlinie). Für Geräte und Schutzsysteme zur bestimmungsgemäßen Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen gilt ab dem 26. Februar 2014 die Richtlinie 2014/34/EU. Sie löst die Richtlinie 94/9/EG ab.

- [15] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN 61508:2010. Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektronischer Systeme, Teil 1. Allgemeine Anforderungen (IEC 61508-1:2010). Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- [16] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN ISO 10497:2010. Prüfung von Armaturen. Anforderungen an die Typprüfung auf Feuersicherheit (API American Petroleum Institut – API 607 = ISO 10497). Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- [17] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: TA-Luft/VDI Verein Deutscher Ingenieure. Technische Regel 2440. Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz TA Luft. Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft, Absatz 5.2.6.4 vom 24. Juli 2002 in Verbindung mit der VDI 2440, Emissionsminderung Mineralölraffinerien, Abschnitt 3.3.1.3. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- [18] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: API American Petroleum Institut. API 616:2011; Gas Turbines for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- [19] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: DIN EN 334:2009. Gas-Druckregelgeräte für Eingangsdrücke bis 100 bar. Berlin: Beuth Verlag GmbH.