

Luft/Gas-Verhältnisregelung an industriellen Beheizungseinrichtungen

Regulation of air/gas ratio in industrial heating systems

Die Luft/Gas-Verhältnisregelung an industriellen Beheizungseinrichtungen ist von großer Bedeutung hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Sicherheit. Zu starker Luftüberschuss erhöht den Gasverbrauch – Luftmangel stellt eine Gefahrenquelle dar. Zur Regelung und Überwachung des Luft/Gas-Verhältnisses gibt es verschiedene Möglichkeiten. Dieser Beitrag beschreibt und bewertet unterschiedliche Systemlösungen unter Einbeziehung der durch die Prozesse vorgegebenen Randbedingungen. Die große Bandbreite der industriellen Anwendungen kann auch andere Lösungen erfordern. Generell ist eine anlagen- und prozessabhängige Einzelfallbetrachtung notwendig.

Control of the air/gas ratio in industrial heating systems is of great importance for cost-efficient and safe operation. An excessively high air surplus increases gas consumption, while an air deficiency is a source of danger. There are various methods of controlling and monitoring the air/gas ratio. This article examines and evaluates a number of system solutions, also covering the boundary conditions presented by the various processes. The large bandwidth of industrial applications may also necessitate other solutions. Plant- and process-specific investigation of each individual case is generally necessary.

In der Industrie werden in einer Vielzahl von Prozessen Gasbrenner zur Beheizung eingesetzt, beispielsweise in Thermoprozessanlagen (Industrieöfen, Trocknungs- und Nachverbrennungsanlagen etc.) oder Kesselanlagen zur Erzeugung von Prozessdampf bzw. Warmwasser. Die große Bandbreite der Anwendungen unterscheidet sich erheblich hinsichtlich Prozessvorgaben und Installation:

- Prozesstemperatur: von ca. 100 °C bis über 1.300 °C
- Feuerraumdruck: konstant oder schwankend sowie positiv oder negativ
- Anzahl der Brenner: Einzelbrenner und Mehrbrenneranlagen mit bis zu über 100 Brennern
- Art der Leistungsregelung: Modulierende Regelung (stufenlose Verstellung der Luft- und Gasmenge) oder taktende Regelung (stufiger Brennerbetrieb mit definierten Gas- und Luftmengen)
- Brenngas: Gase der öffentlichen Gasversorgung mit nahezu konstanter Zusammensetzung oder Prozessgase mit schwankender Zusammensetzung
- Oxidator: Kaltluft, Warmluft, Sauerstoff und sauerstoffangereicherte Luft

Gemeinsame Forderung bei allen Industrie-Feuerungen ist ein möglichst hoher Wir-

kungsgrad und eine geringe Abgasemission.

Ein wesentlicher Punkt bei der Projektierung einer Industrie-Feuerung ist die Verhältnisregelung. Das Luft/Gas-Verhältnis beeinflusst die Wirtschaftlichkeit und Abgasemission, in vielen Fällen die Produktqualität sowie häufig auch Standzeit und Verfügbarkeit der Anlage. Luftmangel oder instabile Verbrennung durch hohen Luftüberschuss bedeutet unvollständige Verbrennung und damit das Risiko von Verpuffung, Explosion oder Brand.

Letzteres ist aus rechtlichen Gründen von großer Bedeutung für Anlagenbauer wie auch für Betreiber. Der Anlagenbauer muss beim Inverkehrbringen neuer Anlagen sicherstellen und mit einer Konformitäts- oder Herstellererklärung bestätigen, dass er eine „sichere“ Anlage geliefert hat. Der Betreiber trägt die Verantwortung, dass die Arbeitnehmer keinen vermeidbaren Risiken ausgesetzt sind.

Richtlinien und Normen

Im europäischen Wirtschaftsraum werden grundlegende Anforderungen an die Sicherheit von Anlagen in den EU-Richtlinien geregelt. Hierbei ist zwischen Richtlinien nach Artikel 95 EG-Vertrag und Artikel 137 EG-Vertrag zu unterscheiden:

Richtlinien nach Artikel 95 regeln die Pflichten eines Herstellers beim Inverkehrbringen von Produkten und müssen in allen Mitgliedstaaten einheitlich in nationales Recht umgesetzt werden. Ihr Ziel ist der Abbau von Handelshemmnissen durch Vereinheitlichung der Rechtsvorschriften. In harmonisierten Normen ist niedergelegt, wie nach dem Stand der Technik die grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinien erfüllt werden können.

Richtlinien nach Artikel 137 behandeln die Pflichten des Arbeitgebers zum Schutz von Personen, die Geräte bedienen oder der Wirkung der Geräte ausgesetzt sind. Sie definieren aber nur Mindestanforderungen und die einzelnen Mitgliedstaaten können in nationalen Vorschriften verschärfende Anforderungen festlegen. Für den Bereich der Bundesrepublik Deutschland gilt z. B. die Betriebssicherheitsverordnung, zu deren Umsetzung zurzeit die Technischen Regeln (TRBS) entstehen. Bis zu deren Inkrafttreten werden bisher gültige Vorschriften herangezogen.

Die wesentlichen Richtlinien und Normen für die Errichtung (das Inverkehrbringen) von Gasfeuerungen sind in **Bild 1** zusammengestellt. Alle zutreffenden Richtlinien sind nebeneinander anzuwenden (horizontale Anwendung). Dabei sind Thermoprozessanlagen Maschinen im Sinne der Maschinenrichtlinie, Kesselanlagen unterliegen der Druckgeräte richtlinie. Viele Geräte und Komponenten für Beheizungseinrichtungen fallen unter die Richtlinie für Gasverbrauchseinrichtungen (Gasgeräte richtlinie). Für die elektrische Ausrüstung von Beheizungseinrichtungen sind zusätzlich immer die Niederspannungs- und EMV-Richtlinie relevant. Weitere geltende Vorgaben müssen zusätzlich angewendet werden.



Klaus Kroner
G. Kromschroder AG,
Osnabrück

Tel. 05 41/1 21 43 60
E-Mail:
k.kroner@kromschroeder.com



Dipl.-Ing. Martin Wicker
G. Kromschroder AG,
Osnabrück

Tel. 05 41/1 21 46 24
E-Mail:
m.wicker@kromschroeder.com

Maschinenrichtlinie 98/37/EG	Niederspannungsrichtlinie 73/23/EWG	EMV Richtlinie 89/336/EWG wird ersetzt d. 2004/108/EG	Gasverbrauchseinrichtungen 90/396/EWG	Druckgeräterichtlinie 97/23/EG
Grundlegende Anforderungen Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen bei Konzipierung und Bau von Maschinen	Grundlegende Anforderungen Sicherheitsziele für elektrische Betriebsmittel	Grundlegende Anforderungen im Hinblick auf ungestörte Funktion elektr./elektronischer Geräte bezogen auf elektromagnet. Felder	Grundlegende Anforderungen an Geräte, Sicherheits-, Kontroll- und Regelvorrichtungen sowie Baugruppen	Grundlegende Anforderungen an Behälter, Rohrleitungen und Ausrüstungsteile
Umsetzung in deutsches Recht GPSG, 9. Verordnung	Umsetzung in deutsches Recht GPSG, 1. Verordnung	Umsetzung in deutsches Recht EMVG	Umsetzung in deutsches Recht GPSG, 7. Verordnung	Umsetzung in deutsches Recht GPSG, 14. Verordnung
Harmonisierte Normen: EN 746-1 EN 746-2 EN 954-1 EN 1050 EN ISO 13849-2 EN 60204-1	Harmonisierte Normen: EN 60204-1 EN 60439-1 EN 50156-1 EN 60730	Harmonisierte Normen: EN 50065 EN 60730	Harmonisierte Normen: EN 88, EN 126 EN 161, EN 298 EN 676, EN 1643 EN 12067-1 EN 12067-2	Harmonisierte Normen: EN 12952-8 EN 12953-7

Bild 1: Richtlinien und Normen zur Errichtung industrieller Beheizungseinrichtungen
Fig. 1: Codes and standards for construction of industrial heating systems

Gefahrenanalyse und Risikobeurteilung

Sowohl die Maschinenrichtlinie als auch die Druckgeräterichtlinie verpflichten den Hersteller (jeweils im Anhang 1) zur Gefahrenanalyse. Die Vorgehensweise bei der Risikoanalyse, der Risikobeurteilung und der ggf. erforderlichen Risikominderung wird in EN ISO 12100 Teil 1–2 (Sicherheit von Maschinen – Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze) sowie in EN 1050 (Sicherheit von Maschinen – Leitsätze zur Risikobeurteilung) beschrieben (**Bild 2**).

Der Prozess der Risikominderung ist abgeschlossen, wenn alle signifikanten Gefährdungen an der Beheizungseinrichtung durch konstruktive Maßnahmen oder tech-

nische Schutzmaßnahmen beseitigt bzw. das Risiko hinreichend vermindert wurde. Dabei ist die Anwendung „Harmonisierter Normen“ sehr hilfreich, da die Übereinstimmung von Produkten mit harmonisierten Normen die Übereinstimmung mit den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinien vermuten lässt.

Anforderungen aus den Normen

Hinsichtlich der Luft/Gas-Verhältnisregelung stellen die verschiedenen Normen unterschiedliche Anforderungen:

- Für **Thermoprozessanlagen** fordert EN 746-2 (1997) in Abschnitt 5.2.3.3, dass Luft- und Gasmassenstrom an je-

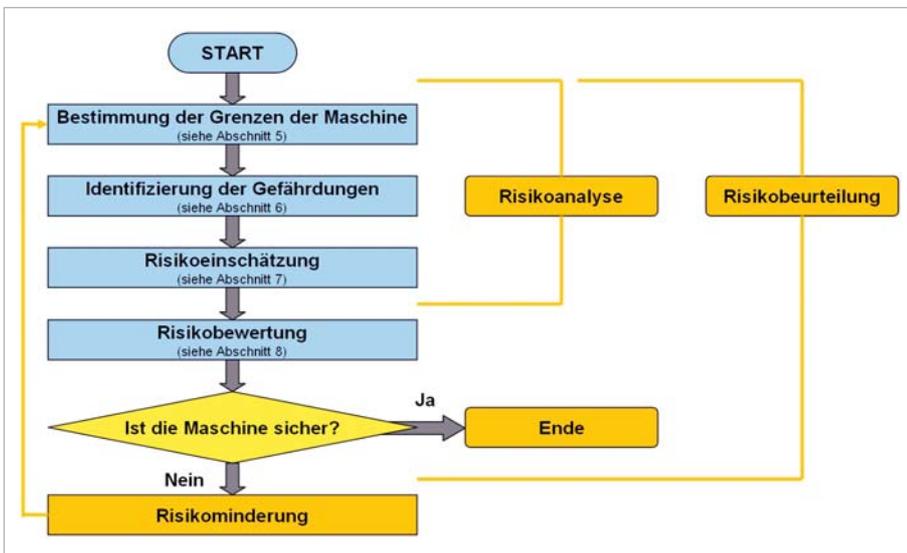


Bild 2: Risikobeurteilung nach EN 1050, iterativer Prozess
Fig. 2: Risk assessment in accordance with EN 1050, iterative procedure

dem Brenner in einem Verhältnis stehen müssen, das einen stabilen und sicheren Brennerbetrieb ermöglicht.

- An **Wasserrohrkesseln** muss das Luft-/Brennstoffverhältnis nach EN 12952-8 (2002), Abschnitt 5.2, innerhalb zulässiger Abweichungen gesteuert werden, die in der Betriebsanleitung anzugeben sind. Das Luft-/Brennstoff-Verhältnis ist so zu überwachen, dass bei unzulässigem Verhältnis die Brennstoffzufuhr abgeschaltet wird. Die Überwachung muss unabhängig von der Funktion der Regelung sein.
- EN 12953-7 (2002) für **Großraumwasserkessel** enthält keine speziellen Forderungen bezüglich des Luft/Gas-Verhältnisses, lediglich in Abschnitt 6.1 – „Brenner“ – einen Verweis auf die relevanten Normen für die in diesem Anlagentyp üblicherweise eingesetzten Brenner mit Gebläse (EN 676 für Gasbrenner).

- Für die an vielen Kesseln oder Trocknungsanlagen eingesetzten **Gebläsebrenner** enthält EN 676 in Abschnitt 4.3.4.12 die Forderung, dass die Verbrennungsluftmenge und die Gasmenge im Verbund geregelt oder durch Folgeschaltung überwacht werden müssen. „Beide Stellteile müssen so miteinander verbunden sein (z. B. mechanisch, pneumatisch, elektrisch oder elektronisch), dass die Zuordnung Verbrennungsluft-Gas in jedem Betriebspunkt des Brenners reproduzierbar festliegt. [...] Die Verbundregelung oder die Folgeschaltung muss so ausgeführt sein, dass sich im Fehlerfall eine Verschiebung nach der Seite eines höheren Luftüberschusses oder eine Sicherheitsabschaltung ergibt.“

In allen Normen wird somit eine Regelung und/oder Überwachung des Luft/Gas-Verhältnisses gefordert – jedoch ohne eine detaillierte Vorgabe zur Realisierung. Bei der Projektierung einer Industriefeuerung liegt es daher in der Verantwortung des Herstellers, für den jeweiligen Anwendungsfall die geeignete Art der Luft/Gas-Verhältnisregelung festzulegen, um die Schutzziele bzw. grundlegenden Anforderungen der europäischen Richtlinien zu erfüllen. Hierbei hat er verschiedene Optionen (**Bild 3**), wobei im Detail Varianten möglich sind.

Mechanischer Verbund

Bei einem mechanischen Verbund wird nur eines der beiden Stellglieder (Gas oder Luft) mit einem Antrieb ausgerüstet. Das andere Stellglied wird über ein Gestänge oder eine Kurvenscheibe und entsprechende mechanische Verbindungen mit ver-

stellt. Der mechanische Verbund kann sowohl für modulierende als auch für stufende Leistungsregelung eingesetzt werden. Er muss bei der Inbetriebnahme eines Systems auf

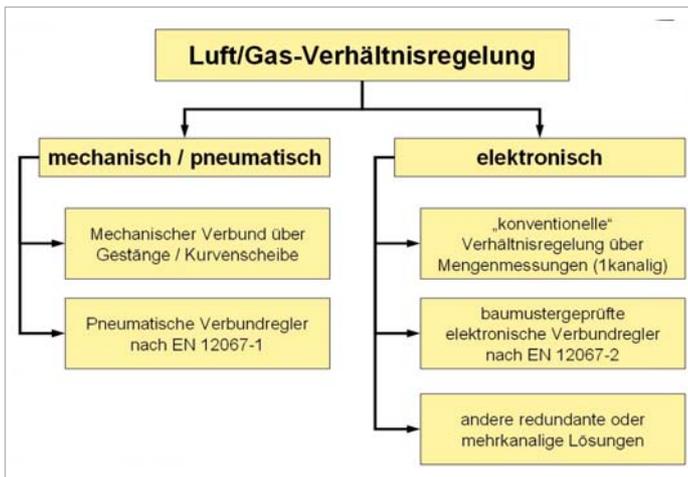


Bild 3: Möglichkeiten der Verhältnisregelung

Fig. 3: Methods of ratio control

die jeweiligen Druckverhältnisse eingestellt werden. Erfahrungen zeigen, dass diese Einstellung schwierig sein kann, besonders wenn die Stellorgane für Luft und Gas eine unterschiedliche Öffnungscharakteristik haben. Vorteil des mechanischen Verbundes ist, dass bei entsprechender Dimensionierung der Stellglieder ein Regelbereich von deutlich größer als 1:10 realisiert werden kann.

Für Anlagen mit Luftvorwärmung ist der mechanische Verbund nur bedingt geeignet, da jede Änderung der Verbrennungslufttemperatur eine Dichteänderung und damit eine Änderung des Luftmassenstroms bedeutet, d.h. das Luft/Gas-Verhältnis am Brenner ändert sich. Ebenso wird jede Änderung der Druckverhältnisse eine Änderung des Luft/Gas-Verhältnisses bewirken, die ohne zusätzliche Überwachungsmaßnahmen nicht erkannt wird. Aus diesem Grund sollte bei mechanischem Verbund eine Vordrucküberwachung erfolgen. Der Umfang der Überwachung ist im Einzelfall anlagenspezifisch festzulegen und sollte Druckschalter MIN und MAX jeweils für Gas und Luft umfassen (**Bild 4**). Sofern der Gegendruck der Brennkammer gegenüber dem Luft- und Gasvordruck nicht vernachlässigbar ist, müssen die Druckschalter den Differenzdruck zur Brennkammer überwachen.

Pneumatischer Verbund

Der pneumatische Verbund wird mit Verbundreglern entsprechend EN 12067-1 realisiert, wobei häufig auch Kombigeräte eingesetzt werden, die zusätzlich als Absperrventil wirken (**Bild 5**). Je nach Ausführung des Reglers unterscheidet man Gleichdruck- und Verhältnisdruckregler.

Gleichdruckregler erfassen den statischen Luftdruck als Führungsgröße und regeln den statischen Druck des Gases auf den gleichen Wert (**Bild 6a**). Über Handeinstellglieder erfolgt eine Justierung, so dass das Luft/Gas-Verhältnis am Brenner bei gleichem Vordruck von Gas und Luft dem gewünschten Wert entspricht. Schwankungen des Luft- oder Gasvordrucks sowie Gegendruckschwankungen im Brennraum wirken sich bei einer Gleichdruckregelung nicht auf das Luft/Gas-Verhältnis aus, da die Änderung der Volumenströme Luft und Gas im gleichen Verhältnis erfolgt (gleiche Änderung des treibenden Druckgefälles für Luft und Gas).

Verhältnisdruckregler arbeiten mit Differenzdruckmessungen statt statischen Druckmessungen (**Bild 6b**). Sie haben den Vorteil, dass die Signale immer proportional einem Volumenstrom sind und der statische Druck nicht betrachtet werden muss. Die Regelung wird daher durch den

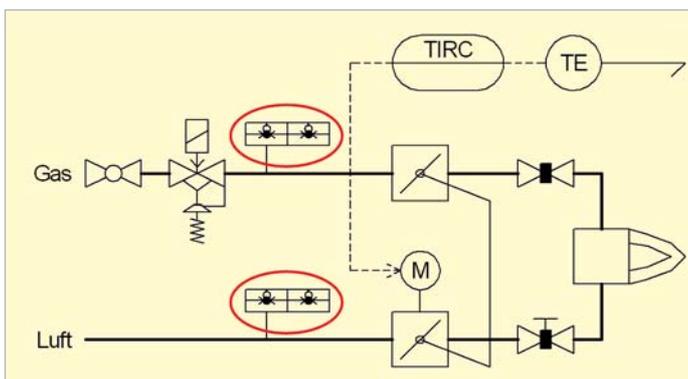


Bild 4: Schema mechanischer Verbund mit Drucküberwachung

Fig. 4: Diagram of mechanical compound ratio control system with pressure monitoring

Feuerraumdruck oder durch Schäden/Verschmutzungen am Brenner nicht beeinflusst. Außerdem kann der Verhältnisdruckregler bei Warmluft verwendet werden, wenn die Differenzdruckmessung Luft auf der „kalten Seite“ erfolgt.

Die pneumatischen Verbundregler stellen eine flexible Lösung dar, die bei modulie-

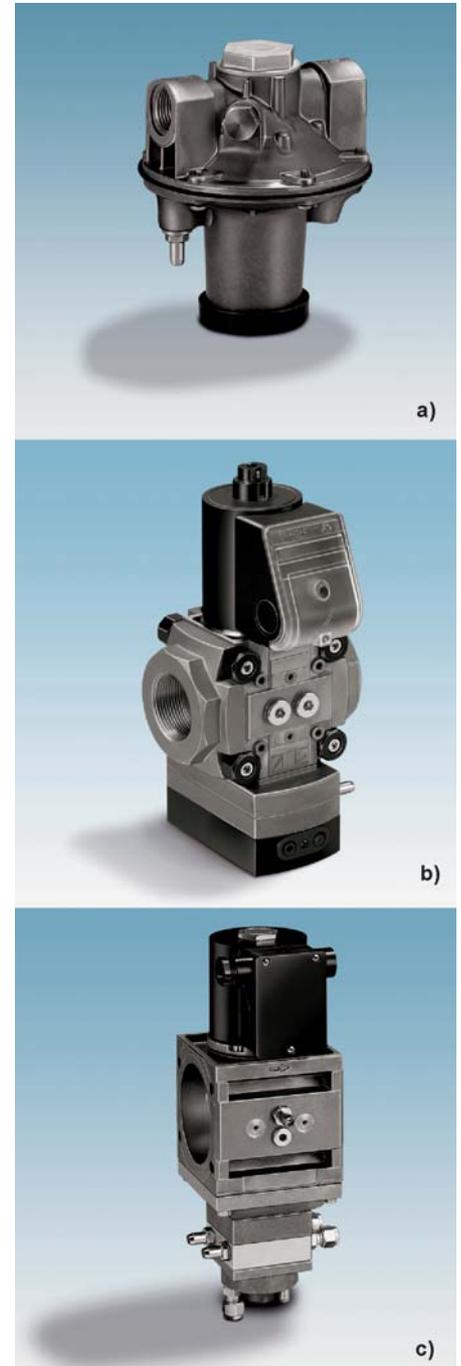


Bild 5: Pneumatische Verbundregler nach EN 12067-1
a) Gleichdruckregler GIK
b) Gleichdruckregler mit Magnetventil VAG
c) Verhältnisdruckregler mit Magnetventil GVRH

Fig. 5: Pneumatic ratio controller in accordance with EN 12067, Part 1
a) GIK balanced pressure controller
b) VAG balanced pressure controller with solenoid valve
c) GVRH variable air/gas ratio controller with solenoid valve

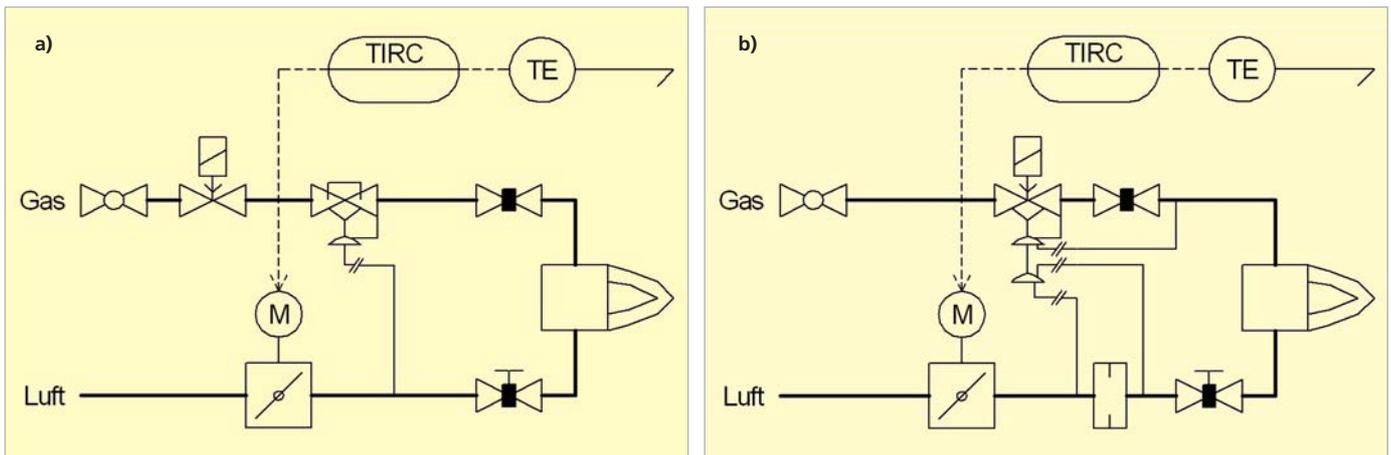


Bild 6: Schema pneumatischer Verbund a) Gleichdruckregelung b) Verhältnisdruckregelung
Fig. 6: Diagram of pneumatic compound ratio control system a) Balanced pressure control b) Variable air/gas ratio control

render und taktender Regelung eingesetzt werden kann. Die Inbetriebnahme von Brennersystemen mit pneumatischen Verbundreglern ist einfach und beschränkt sich auf eine Anpassung der Volumenströme Luft und Gas bei Kleinlast am Regler und bei maximaler Leistung über Handeinstellglieder am Brenner. Die Öffnungscharakteristik der Stellglieder hat keinen Einfluss auf die Verhältnisregelung.

Damit die Funktionalität der Geräte auch tatsächlich gegeben ist, müssen sie jedoch sachkundig für die jeweilige Brennerleistung dimensioniert werden und dürfen nur entsprechend den vorgesehenen Bedingungen eingesetzt werden. Bei Beachtung der technischen Daten der Geräte und der Herstellervorgaben bezüglich Installation und Umgebungsbedingungen sind pneumatische Verbundregler die einfachste und kostengünstigste Ausführung der Luft/Gas-Verhältnisregelung. Die Betriebsicherheit und Zuverlässigkeit belegen Hunderttausende Geräte in der industriellen Praxis weltweit.

„Konventionelle“ Verhältnisregelung über Mengenummessungen (1-kanalig)

In vielen industriellen Anwendungen erfolgt der elektronische Verbund „konventionell“ über Mengenummessungen für Gas und Luft. Diese Messgrößen werden in einem Industrieregler oder in einer SPS verarbeitet. **Bild 7** zeigt das Schema eines solchen Systems. Der am Temperaturregler TIRC eingestellte Temperatur-Sollwert wird mit dem am Thermoelement TE gemessenen Istwert verglichen. Die daraus resultierende Leistungsanforderung (Stellgröße) wird auf den unterlagerten Verhältnisregler FFC geschaltet. Dieser regelt das Luft/Gas-Verhältnis, indem die Stellorgane für Luft und Gas mit einer dem Sollwert entsprechenden Stellanforderung beaufschlagt werden. Über die Mengenummessungen (Durchfluss-Istwerte) an den Luft- und Gas-Messblenden wird eine Rückführung der Signale und somit ein geschlossener Verhältnis-Regelkreis realisiert.

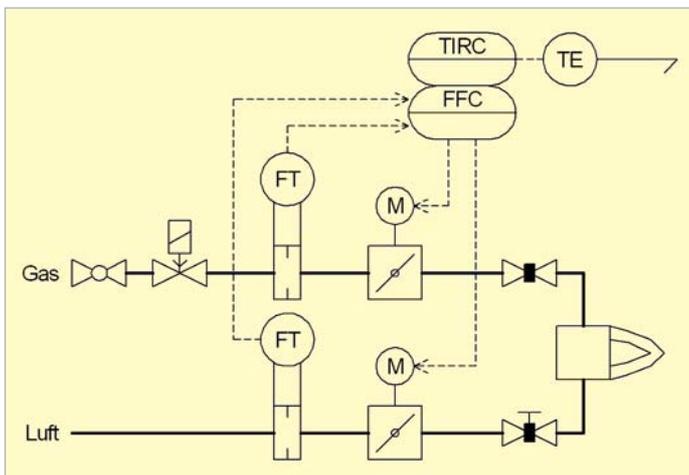


Bild 7: Schema „konventioneller“ elektrischer Verbund mit Mengenummessungen
Fig. 7: Diagram of "conventional" electrical compound ratio control system with flow measurements

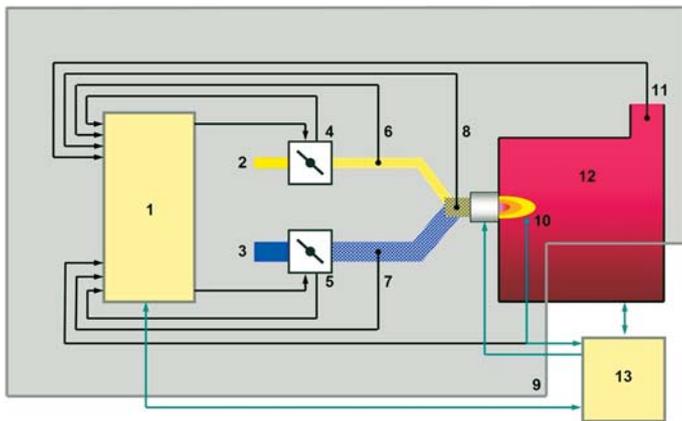
Der „konventionelle“ elektronische Verbund hat gegenüber allen anderen Möglichkeiten zur Verhältnisregelung den Vorteil, dass über die Mengenummessungen eine Rückmeldung über das Luft/Gas-Verhältnis aus dem Prozess gegeben ist. Bei Warmluft erfolgt über die Temperaturmessung an der Luftblende eine Umrechnung des Volumenstroms in einen Massenstrom, so dass dieses System für eine modulierende Regelung auch bei Warmluft geeignet ist. Zahlreiche Beispiele aus der Praxis belegen dies. Kritisch zu bewerten ist allerdings die Sicherheit derartiger Systeme.

Baumustergeprüfte elektronische Verbundregler nach EN 12067-2

Eine weitere Möglichkeit der elektronischen Verhältnisregelung ist der Einsatz baumustergeprüfter Verbundregler nach EN 12067-2. Diese Norm spezifiziert die elektronische Luft/Gas-Verbundeinrichtung als ein im geschlossenen Regelkreis arbeitendes System, bestehend aus dem elektronischen Regler, den Stelleinrichtungen für Gas und Luft und den zugehörigen Rückführsignalen (**Bild 8**). Eine elektronische Regel- und Steuereinheit verarbeitet alle wesentlichen Eingangs- und Ausgangssignale der angeschlossenen Elemente.

In Abschnitt 7 legt EN 12067-2 hohe funktionale Anforderungen an die baumustergeprüfte elektronische Luft/Gas-Verbundregleinrichtung fest:

- Sie muss das Luft/Gas-Verhältnis in einer genügend genauen Art und Weise regeln, so dass daraus keine gefährlichen Bedingungen innerhalb des Verbrennungsprozesses oder für die Primärsicherheit der Anlage entstehen.
- Die Rückmeldesignale müssen sicherstellen, dass die vorgegebenen Regelwerte erreicht und beibehalten werden.



- | | |
|--|---|
| 1. ECB (elektronische Regel und Steuereinheit) | 8. Luft/Gas Gemischfühler |
| 2. Gas | 9. Systemgrenze (Anwendungsbereich) der elektronischen GARC |
| 3. Luft | 10. Flammenfühler |
| 4. Stelleinrichtung Gas | 11. Abgasfühler |
| 5. Stelleinrichtung Luft | 12. Verbrennungsprozess |
| 6. Sensor für Gas | 13. Feuerungsautomat |
| 7. Sensor für Luft | |

Bild 8: Aufbau einer elektronischen Verbundregel-einrichtung nach EN 12067-2

Fig. 8: Structure of an electronic compound control system in accordance with EN 12067, Part 2

elektronische Steuerung muss so konstruiert sein, dass die Wahrscheinlichkeit von zufälligen Ausfällen der Hardware und von systematischen Ausfällen, die die Leistung der sicherheitsbezogenen Steuerfunktion(en) beeinträchtigen können, ausreichend gering ist. Wenn eine programmierbare elektronische Steuerung eine Überwachungsfunktion ausübt, muss das Systemverhalten im Falle der Fehlererkennung berücksichtigt werden (siehe EN ISO 12100-2, 4.11.7 Sicherheitsfunktionen, die durch programmierbare elektronische Steuerungen umgesetzt werden).

Die Verwendung einer fehlersicheren SPS garantiert jedoch keine fehlerfreie Funktion. Auch die Software muss einer Sicherheits- und Fehlerbetrachtung unterzogen werden. Viele Hersteller bieten TÜV-geprüfte Funktionsbausteine an, wodurch der Aufwand insbesondere bei der Fehlerbetrachtung erheblich minimiert werden kann.

Sicherheitsbetrachtungen

Wie erläutert, hat das Luft/Gas-Verhältnis eine sicherheitsrelevante Bedeutung. Es reicht daher nicht aus, ausschließlich die Funktionalität zu betrachten. Die beschriebenen Möglichkeiten müssen auch einer Analyse hinsichtlich ihres Verhaltens im Fehlerfall und damit einer Risikoanalyse unterzogen werden.

Der mechanische Verbund ist für Kaltluftanwendungen als fehlersicher zu bewerten, solange er formschlüssig ausgeführt wird und die oben beschriebene Überwachung der Druckverhältnisse erfolgt. Die Druckschalter müssen die Gaszufuhr bei unzulässigen Abweichungen abschalten und dazu in die Sicherheitskette der Steuerung eingebunden werden. Elektronische Verbundregler nach EN 12067-2 sind ebenfalls fehlersicher, solange die Vorgaben des Herstellers eingehalten werden und die Überwachung der Druckverhältnisse erfolgt (siehe mechanischer Verbund). Das größte Risiko liegt bei beiden Systeme-

– Unter unüblichen Bedingungen muss die elektronische Luft/Gas-Verbundregel-einrichtung einen definierten sicheren Zustand beibehalten.

– Die elektronische Luft/Gas-Verbundregel-einrichtung muss mit dem Feuerungsautomaten so gekoppelt und fest verbunden werden, dass die volle Erfüllung der Anforderungen an den Feuerungsautomaten nach EN 298 und die Anforderungen nach EN 12067-2 sichergestellt sind.

Die baumustergeprüfte Verbundregel-einrichtung gewährleistet daher, dass die Anlage – auch im Fehlerfall – in einen definierten sicheren Zustand überführt wird.

Baumustergeprüfte Verbundregler werden von verschiedenen Herstellern angeboten, wobei üblicherweise als Rückführungssignal die Position der Stelleinrichtungen verwendet wird. **Bild 9** zeigt das Schema eines solchen Systems. Ein Vergleich mit einem mechanischen Verbund zeigt, dass beide Systeme prinzipiell gleich sind. Sie unterscheiden sich nur in der Verbindung zwischen den Stellgliedern, die beim elektronischen Verbundregler elektrisch statt mechanisch realisiert wird. Damit gelten für den elektronischen Verbundregler die gleichen Einschränkungen wie für den mechanischen Verbund.

Gegenüber dem mechanischen Verbund hat die elektronische Variante jedoch den Vorteil, dass bei der Inbetriebnahme einer Anlage die Justierung an der Steuereinheit erfolgt, in der Kennlinien für die Positionen der Stellglieder abhängig von der Leistungsanforderung hinterlegt werden. Hierfür müssen wie beim mechanischen Verbund mehrere Punkte über den gesamten Leistungsbereich angefahren werden. Die Elektronik bietet außerdem Möglichkeiten zur Einbindung weiterer Rückmeldungen aus dem Prozess, z. B. einer O₂- oder λ-Mes-

sung, die beim mechanischen Verbund nicht möglich ist [1].

Andere redundante oder mehrkanalige Lösungen

Durch die mögliche Verwendung unterschiedlicher Hardware wie SPS-Steuerungen, mehrkanalige SPS-Steuerungen, fehlersichere SPS-Steuerungen oder anwendungsspezifische Spezialelektronik ist eine große Anzahl weiterer Realisierungsmöglichkeiten für die elektronische Luft/Gas-Verhältnisregelung denkbar. Hilfestellung und Orientierung bieten neben der EN 12067-2 die in Vorbereitung befindliche ISO/DIS 23552-1 sowie Sicherheitsbetrachtungen nach EN 50156-1, EN 298 und EN ISO 12100-2.

Wird eine programmierbare elektronische Steuerung verwendet, ist der Zusammenhang zwischen deren Leistungsanforderungen und den Anforderungen an die Sicherheitsfunktionen zu berücksichtigen. Es ist demnach abzuwägen, ob eine nicht fehlersichere oder eine fehlersichere SPS eingesetzt werden kann. Die programmierbare

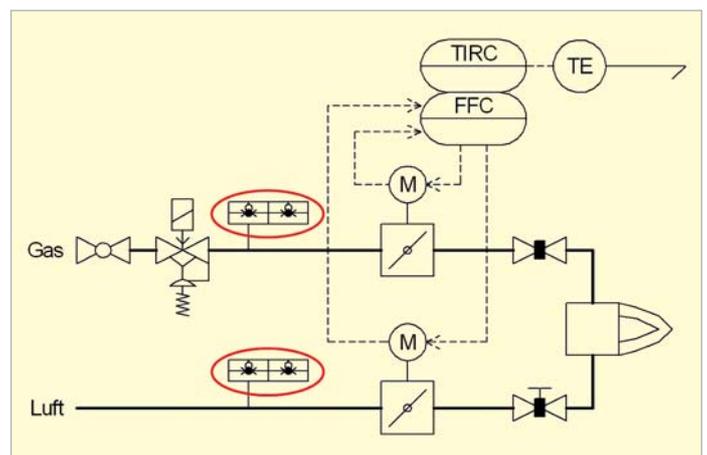


Bild 9: Schema Verbundregler EN 12067-2 mit Drucküberwachung

Fig. 9: Diagram of EN 12067, Part 2 ratio controller with pressure monitoring

men in der Inbetriebnahme, bei der eine „saubere“ Einstellung bzw. Parametrierung vorgenommen werden muss, die die unterschiedliche Öffnungscharakteristik der Stellorgane Luft und Gas berücksichtigt. Einstellung bzw. Parameter sind zu dokumentieren und müssen beim Betrieb der Anlage regelmäßig überprüft werden.

Nach EN 12067-1 sind pneumatische Verbundregler baumustergeprüfte Regelgeräte, für die in der Norm konstruktive und funktionelle Anforderungen sowie das Prüfverfahren festgelegt sind. Die zulässige Verwendung wird in der Herstellerdokumentation beschrieben. Wie erwähnt, zeigen langjährige Erfahrungen und die hohe Stückzahl der im Einsatz befindlichen Regler, dass die Geräte bei sachgemäßer Verwendung betriebssicher sind. Im Rahmen der anlagenbezogenen Risikobeurteilung muss dennoch geprüft werden, ob und ggf. welche Maßnahmen zur Überwachung des Luft/Gas-Verhältnisses zusätzlich zum Einsatz der pneumatischen Verbundregler getroffen werden. Hierbei ist das Risikopotential anlagenspezifisch zu bewerten (Erfahrungen mit vergleichbaren Anlagen, Anzahl der Brenner, Feuerraum- bzw. Abgastemperatur etc.). Bei einer Anlage mit vielen Brennern bedeutet eine Gemischverschiebung an einem Brenner der Gesamtanlage im Fehlerfall ein deutlich geringeres Risiko als bei wenigen Brennern oder gar einem Einzelbrenner. Anlagen mit geringer Abgastemperatur haben immer ein deutlich größeres Risikopotential als solche mit hoher Abgastemperatur.

Die konventionelle 1-kanalige elektronische Verhältnisregelung über Mengensmessungen ist nicht fehlersicher. Hier besteht ein hohes Risikopotential, da sie üblicherweise eine anlagenspezifische Einzellösung

ist und mehrere potentielle Fehlerquellen enthält. Mit entsprechenden Maßnahmen sollte eine Risikominderung zum Schutz vor Personen- und Sachschäden sowie Produktionsausfall erfolgen. Eine Risikobeurteilung für die Gesamtanlage wird häufig die Forderung nach zusätzlichen Überwachungsmaßnahmen ergeben. Alternativ besteht die Möglichkeit, das System redundant aufzubauen und über eine 1v2-Auswahl ein mit fehlersicheren Geräten vergleichbares Sicherheitsniveau zu erreichen. In der Praxis wird diese Option jedoch aus Kostengründen oftmals nicht genutzt.

Alle Varianten der Luft/Gas-Verhältnisregelung erfordern grundsätzlich eine regelmäßige Wartung und Kontrolle, da Schäden an den Geräten oder einzelnen Komponenten zu einem Risiko durch ein undefiniertes Luft/Gas-Verhältnis führen können.

Möglichkeiten der Verhältnisüberwachung

Eine Überwachung des Luft/Gas-Verhältnisses ist getrennt von der Verhältnisregelung (rückwirkungsfrei) auszuführen, um als Zusatzmaßnahme eine Erhöhung des Sicherheitsniveaus zu erzielen. Auch zur Verhältnisüberwachung bestehen verschiedene Möglichkeiten mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen:

- Abgasmessung (CO, O₂, λ)
- Massen- oder Volumenstrommessungen
- Druckschalter

Abgasanalysen und Massenstrommessungen, jeweils mit entsprechender Auswertung, sind gleichermaßen für Warmluftanwendungen geeignet. Bezogen auf den jeweiligen Anwendungsfall müssen jedoch Einschränkungen beachtet werden. Eine

Abgasmessung kann durch Falschlufft im Prozess beeinflusst werden, z. B. bei schwankendem oder negativem Feuerdruck. Massenstrommessungen sind im Regelbereich beschränkt und müssen daher entsprechend ausgelegt werden. Als zusätzliche, unabhängige Überwachungsmaßnahme stellen beide Systeme dennoch in vielen Fällen ein geeignetes Mittel dar, um Fehler bei der Luft/Gas-Verhältnisregelung zu erkennen und eine Abschaltung der Brenner zu bewirken.

Druckschalter zur Überwachung bei taktender Regelung mit definierten Betriebspunkten des Brenners können fehlersicher verarbeitet werden – beispielsweise mit der Kromschroder-Brennersteuerung BCU 465. Sie sind jedoch nur für Kaltluftanwendungen geeignet, da sich bei Warmluft die erforderlichen Drücke für ein konstantes Luft/Gas-Verhältnis ändern.

Neben diesen Zusatzmaßnahmen kann in manchen Fällen auch die Flammenüberwachung als Sicherheitsmaßnahme bewertet werden, falls sie bei kritischem Luftmangel oder hohem Luftüberschuss zu einer Abschaltung des Brenners führt. Als alleinige Überwachungsmaßnahme ist die Flammenüberwachung allerdings i.d.R. nicht ausreichend, da die Brenner auch noch bei kritischem Luft/Gas-Verhältnis ein Flammensignal erzeugen.

Fazit

Aufgrund der großen Bandbreite der industriellen Anwendungen kann keine universelle Lösung zur Luft/Gas-Verhältnisregelung vorgeschlagen werden. Eine anlagen- und prozessabhängige Einzelfallbetrachtung ist generell erforderlich. **Bild 10** zeigt als Hilfestellung hierfür mögliche Systemlösungen für Einzel- und Mehrbrennersysteme – jeweils abhängig von der Art der Regelung.

Der pneumatische Verbund bietet für fast alle Anwendungsfälle eine Lösung, wobei im Einzelfall zu entscheiden ist, ob ggf. zusätzliche Überwachungsmaßnahmen erforderlich sind. Bei Mehrbrenneranlagen wird dies größtenteils nicht notwendig sein, da eine Gemischverschiebung an einem einzelnen Brenner nicht zu einem gefährlichen Zustand der Gesamtanlage führt. Auch bei Abgastemperaturen oberhalb der Zündtemperatur des jeweiligen Gases wird eine zusätzliche Überwachung oftmals nicht erforderlich sein, da Unverbranntes im Abgas bei Kontakt mit Luft sofort nachverbrannt wird und die Gefahr des Auftretens eines explosionsgefährdeten Gemisches gering ist.

Für Anlagen ohne Luftvorwärmung sind ein mechanischer Verbund oder elektronische Verbundregler nach EN 12067-2 alternative Lösungen. Bei Mehrbrennersystemen haben sie jedoch den Nachteil, dass

Einzelbrenner				Brennergruppe				Luft/Gas-Verhältnisregelung
modulierend		taktend		modulierend		taktend		
Kaltluft	Warmluft	Kaltluft	Warmluft	Kaltluft	Warmluft	Kaltluft	Warmluft	
✓		✓		(✓)		(✓)		mechanischer Verbund ¹⁾
✓	✓	✓	✓	✓	(✓)	✓	✓ ⁴⁾	Pneumatische Verbundregler nach EN 12067-1 ²⁾
	✓				✓			„konventionelle“ Verhältnisregelung über Mengensmessungen (1kanalig) ³⁾
✓		✓		(✓)		(✓)		Baumustergeprüfte elektronische Verbundregler nach EN 12067-2 ¹⁾
			✓		✓		✓	Andere redundante oder mehrkanalige Lösungen

✓ = geeignet (✓) = bedingt geeignet

- 1) Vordrucküberwachung erforderlich
- 2) Abhängig von anlagenspezifischer Risikoanalyse ggf. Überwachung durch Druckschalter bzw. durch Abgas- oder Massenstrommessungen
- 3) mit Überwachung durch Abgasmessung oder Massenstrommessung
- 4) Verhältnisdruckregler bei separatem Reku je Brenner

Bild 10: Systemlösungen zur Verhältnisregelung

Fig. 10: System solutions for control of ratio

immer nur das Verhältnis summarisch für alle angeschlossenen Brenner geregelt wird. Hier bieten pneumatische Verbundregler eine deutlich kostengünstigere Möglichkeit der Gemischregelung an jedem einzelnen Brenner.

Für Anlagen mit Warmluft sind der mechanische Verbund und derzeit auf dem Markt verfügbare elektronische Verbundregler nach EN 12067-2 in der Regel keine sinnvolle Lösung, da sie keine Warmluftkompensation ermöglichen. Bei Einzelbrennersystemen ist hier der pneumatische Verbund mit Verhältnisdruckregler prädestiniert. Bei Mehrbrennersystemen mit modulierender Regelung ist nach wie vor die konventionelle elektrische Verhältnisregelung mit Mengenmessungen eine vertretbare Lösung, allerdings sind zusätzliche Überwachungsmaßnahmen zur Absicherung des Luft/Gas-Verhältnisses empfehlenswert. Mehrbrennersysteme mit takten der Regelung erfordern eine mehrkanalige Lösung, um das Luft/Gas-Verhältnis bei variabler Warmlufttemperatur konstant zu halten und zu überwachen.

Bei allen industriellen Beheizungseinrichtungen muss die Festlegung der Luft/Gas-Verhältnisregelung durch eine Abwägung zwischen Funktionalität, Risikopotential und Kosten unter Berücksichtigung der anlagenspezifischen Randbedingungen und Erfordernisse sowie der Risikobeurteilung erfolgen. Im Einzelfall können prozess- oder anlagenbedingt andere Lösungen erforderlich sein als in Bild 10 angegeben.

Literatur

[1] Altendorf: Möglichkeiten eines elektronischen Steuerungsgerätes mit Brennstoff/Luft-Verbundregelungen bei Verbrennungsprozessen, GASWÄRME International (54), Nr. 4/2005, S. 228-232

Zusammenstellung relevanter EU-Richtlinien und Normen

Maschinenrichtlinie 98/37/EG, kodifizierte Fassung

Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten für Maschinen, 22.06.1998

Druckgeräterichtlinie 97/23/EG

Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Druckgeräte, 29.05.1997

Gasgeräterichtlinie 90/396/EWG

Richtlinie des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für Gasverbrauchseinrichtungen, 29.06.1990

Niederspannungsrichtlinie 73/23/EWG

Richtlinie des Rates betreffend elektrische Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen (73/23/EWG), geändert durch die Richtlinie (93/68/EWG) vom 30.08.1993.

EMV Richtlinie 89/336/EWG

Richtlinie des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit, 03.05.1989

Gesetz über technische Arbeitsmittel und Verbrauchsprodukte, 09.01.2004 Geräte- und Produktsicherheitsgesetz – GPSG

Gesetz über die elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten, 07.07.2005 EMV-Gesetz – EMVG

EN ISO 12100 – 1, April 2004

Sicherheit von Maschinen – Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze
Teil 1: Grundsätzliche Terminologie, Methodologie

EN ISO 12100 – 2, April 2004

Sicherheit von Maschinen – Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze
Teil 2: Technische Leitsätze

EN 1050, Januar 1997

Sicherheit von Maschinen – Leitsätze zur Risikobeurteilung

EN 746-1, Mai 1997

Industrielle Thermoprozessanlagen
Teil 1: Allgemeine Sicherheitsanforderungen an industrielle Thermoprozessanlagen

EN 746-2, Mai 1997

Industrielle Thermoprozessanlagen
Teil 2: Sicherheitsanforderungen an Feuerungen und Brennstoffführungssysteme

EN 12952-8, Mai 2002

Wasserrohrkessel und Anlagenkomponenten – Teil 8: Anforderungen an Feuerungsanlagen für flüssige und gasförmige Brennstoffe für den Kessel

EN 12953-7, Mai 2002

Großraumbrauwasserkessel – Teil 7: Anforderungen an Feuerungsanlagen für flüssige und gasförmige Brennstoffe für den Kessel

EN 676, November 2003

Automatische Brenner mit Gebläse für gasförmige Brennstoffe

EN 12067-1, Oktober 1998

Gas-Luft-Verbundregleinrichtungen für Gasbrenner und Gasgeräte – Teil 1: Pneumatische Ausführung

EN 12067-2, März 2004

Gas-Luft-Verbundregleinrichtungen für Gasbrenner und Gasgeräte – Teil 2: Elektronische Ausführung

EN 298, Januar 2004

Feuerungsautomaten für Gasbrenner und Gasgeräte mit oder ohne Gebläse

EN 50156-1, März 2005

Elektrische Ausrüstung von Feuerungsanlagen,
Teil 1: Bestimmungen für die Anwendungsplanung und Errichtung

ISO/DIS 23552-1,

Safety and control devices for gas and oil burners and gas and oil appliances – Particular requirements –

Part 1: Fuel/air ratio controls, electronic type

EN 954-1, März 1997

Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen
Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze

prEN ISO 13849-1, Juni 2004

Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen
Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze

EN ISO 13849-2, August 2003

Sicherheit von Maschinen – Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen
Teil 2: Validierung

EN 60204-1 / VDE 0113 Teil 1, November 1998

Sicherheit von Maschinen – Elektrische Ausrüstung von Maschinen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen

EN 60439-1 / VDE 0660 Teil 500, August 2000

Niederspannungs-Schaltgerätekombinationen;
Teil 1: Typgeprüfte und partiell typgeprüfte Kombinationen

EN 60730, Januar 2005

Automatische elektrische Regel- und Steuergeräte für den Hausgebrauch und ähnliche Anwendungen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen

EN 60730, Dezember 2005

Automatische elektrische Regel- und Steuergeräte für den Hausgebrauch und ähnliche Anwendungen – Teil 2: Besondere Anforderungen an Regel- und Steuergeräte für elektrische Haushaltgeräte

EN 50065, Februar 2002

Signalübertragung auf elektrischen Niederspannungsnetzen im Frequenzbereich 3 kHz bis 148,5 kHz – Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Frequenzbänder und elektromagnetische Störungen

EN 50065, Februar 2002

Signalübertragung auf elektrischen Niederspannungsnetzen im Frequenzbereich 3 kHz bis 148,5 kHz – Teil 2: Verfahren zur Messung der hochfrequenten Störaussendung (Funkstörungen) und Störfestigkeit

EN 88 + A1, Juni 1991 + Juni 1996

Druckregler für Gasgeräte für einen Eingangsdruck bis zu 200 mbar (enthält Änderung A1: 1996)

EN 126, Juli 2004

Mehrfachstellgeräte für Gasgeräte

EN 161, Juni 2002

Automatische Absperrventile für Gasbrenner und Gasgeräte

EN 1643, Februar 2001

Ventilüberwachungssysteme für automatische Absperrventile für Gasbrenner und Gasgeräte