DIN EN ISO 6145-6

ICS 71.040.40

Einsprüche bis 2016-06-01
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO 6145-6:2008-11

Entwurf

Gasanalyse – Herstellung von Kalibriergasgemischen mit Hilfe von dynamisch-volumetrischen Verfahren – Teil 6: Kritische Düsen (ISO/DIS 6145-6:2016); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 6145-6:2016

Gas analysis –
Preparation of calibration gas mixtures using dynamic methods –
Part 6: Critical flow orifices (ISO/DIS 6145-6:2016);
German and English version prEN ISO 6145-6:2016

Analyse des gaz –
Préparation des mélanges de gaz pour étalonnage à l'aide de méthodes volumétriques dynamiques –
Partie 6: Orifices de débit critiques (ISO/DIS 6145-6:2016);
Version allemande et anglaise prEN ISO 6145-6:2016

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2016-04-01 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nmp@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP), 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 68 Seiten

DIN-Normenausschuss Materialprüfung (NMP)
DIN-Normenausschuss Gastechnik (NAGas)

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 6145-6:2016-05

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 6145-6:2016) enthält die deutsche Übersetzung der Internationalen Norm ISO/DIS 6145-6, die im Technischen Komitee ISO/TC 158 „Analysis of gases“ (Sekretariat: NEN, Niederlande) ausgearbeitet wurde. Das zuständige nationale Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 062–05–73 AA „Gasanalyse und Gasbeschaffenheit“ im DIN-Normenausschusses Materialprüfung (NMP).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung der prEN ISO 6145-6 beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Die Reihe DIN EN ISO 6145 *Gasanalyse — Herstellung von Kalibriergasgemischen mit Hilfe von dynamisch-volumetrischen Verfahren* besteht aus folgenden Teilen:

— *Tei1 1: Kalibrierverfahren*

— *Teil 4: Kontinuierliches Spritzen-Injektionsverfahren*

— *Teil 5: Kapillardosierer*

— *Teil 6: Kritische Düsen*

— *Teil 7: Thermische Massendurchflussregler*

— *Teil 8: Diffusionsverfahren*

— *Teil 9: Sättigungsverfahren*

— *Teil 10: Permeationsverfahren*

— *Teil 11: Elektrochemische Herstellung*

Für die in diesem Dokument zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 6143	siehe	DIN EN ISO 6143
ISO 6145-1	siehe	DIN EN ISO 6145-1
ISO 7504	siehe	DIN V 51897
ISO 9300	siehe	DIN EN ISO 9300
ISO 14912	siehe	DIN EN ISO 14912
ISO 16664	siehe	DIN EN ISO 16664

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 6145-6:2008-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

a) Übernahme von ISO/DIS 6145-6, die technisch überarbeitet wurde.

AVA Documents Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 6145-6:2016-05

Nationaler Anhang NA
(informativ)

Literaturhinweise

DIN V 51897, *Gasanalyse — Begriffe und Erläuterungen*

DIN EN ISO 6143, *Gasanalyse — Vergleichsverfahren zur Bestimmung und Überprüfung der Zusammensetzung von Kalibriergasgemischen*

DIN EN ISO 6145-1, *Gasanalyse — Herstellung von Kalibriergasgemischen mit Hilfe von dynamisch-volumetrischen Verfahren — Teil 1: Kalibrierverfahren*

DIN EN ISO 9300, *Durchflussmessung von Gasen mit Venturidüsen bei kritischer Strömung*

DIN EN ISO 14912, *Gasanalyse — Umrechnung von Zusammensetzungsangaben für Gasgemische*

DIN EN ISO 16664, *Gasanalyse — Handhabung von Kalibriergasen und Gasgemischen — Richtlinien*

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 6145-6:2016-05

— Leerseite —

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 6145-6:2016-05

– Entwurf –

CEN/TC CS

Datum: 2016-05

prEN ISO 6145-6:2016

CEN/TC CS

Sekretariat: CMC

Gasanalyse — Herstellung von Kalibriergasgemischen mit Hilfe von dynamisch-volumetrischen Verfahren — Teil 6: Kritische Düsen (ISO/DIS 6145-6:2016)

Analyse des gaz — Préparation des mélanges de gaz pour étalonnage à l'aide de méthodes volumétriques dynamiques — Partie 6 : Orifices de débit critiques (ISO/DIS 6145-6:2016)

Gas analysis — Preparation of calibration gas mixtures using dynamic methods — Part 6: Critical flow orifices (ISO/DIS 6145-6:2016)

ICS:

Deskriptoren:

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokumentstufe: parallele Umfrage
Dokumentsprache: D

STD Version 2.8f

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 6145-6:2016-05

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort 4

Vorwort 5

1 Anwendungsbereich 6

2 Normative Verweisungen 6

3 Begriffe, Definitionen und Symbole 6
3.1 Allgemeines 6
3.2 Kritische Düse 7
3.3 Druckmessung 7
3.4 Temperaturmessung 7
3.5 Strömung 7
3.6 Symbole 9

4 Kurzbeschreibung 10

5 Berechnung des Massenstroms und des Volumenstroms 12
5.1 Allgemeines 12
5.2 Berechnung unter idealen Bedingungen 13
5.2.1 Berechnung des Massenstroms 13
5.2.2 Berechnung des Volumenstroms 14
5.3 Berechnung des Massenstroms mithilfe von Strömungskalibrierung mit reinem Stickstoff 14
5.4 Berechnung der Unsicherheit der Strömungsrate 15
5.4.1 Unsicherheitsquellen 15
5.4.2 Unsicherheitsschätzung 15

6 Berechnung des Stoffmengenanteils und Volumenanteils und entsprechende Unsicherheitsschätzung 16
6.1 Allgemeines 16
6.2 Berechnung des Stoffmengenanteils und entsprechende Unsicherheit 16
6.2.1 Reine Gase (Reinheit ≥ 99,99 %) 16
6.2.2 Vorgemische 19
6.3 Hinweise zur Unsicherheit des Mengenanteils 21

7 Anwendung zur Herstellung von Gasgemischen 21
7.1 Beispiel eines Mischsystems 21
7.2 Betriebsbedingungen 22

8 Kalibrierung und Verifizierung 23
8.1 Allgemeines 23
8.2 Kalibrierung des Mischsystems hinsichtlich Strömungsrate 23
8.3 Kalibrierung des Mischsystems mit Gemischen für ein spezifisches Gas und eine spezifische Konzentration 23
8.4 Driftbeurteilung des Mischsystems 23

Anhang A (informativ) Beispiel zur Berechnung des isentropen Koeffizienten, der Viskosität und des kritischen Strömungskoeffizienten 25
A.1 Beispiel zur Berechnung des isentropen Koeffizienten 25
A.2 Beispiel zur Berechnung der dynamischen Viskosität 26
A.3 Beispiel zur Berechnung des kritischen Strömungskoeffizienten C_R 26

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 6145-6:2016-05

Anhang B (informativ) **Berechnung der Massen- und Volumenströme unter realen Bedingungen** **27**
B.1 Berechnung des Massenstroms **27**
B.2 Berechnung des Volumenstroms **28**

Anhang C (informativ) **Beispiel der Strömungsberechnung für ringförmige kritische Düsen unter idealen und realen Bedingungen** **29**

Anhang D (informativ) **Berechnung des Massenstroms unter Verwendung von Strömungskalibrierung mit reinem Stickstoff: Beispiele** **31**
D.1 Beispiel 1: Berechnung des Massenstroms von reinem Sauerstoff **31**
D.2 Beispiel 2: Berechnung des Massenstroms von reinem Wasserstoff **32**

Literaturhinweise **33**

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 6145-6:2016-05

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 6145-6:2016) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 158 „Analysis of gases“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC CS „Gaseous fuels and combustible gas“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom CMC gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN ISO 6145-6:2008 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/DIS 6145-6:2016 wurde vom CEN als prEN ISO 6145-6:2016 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 6145-6:2016-05

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung von Nationalen Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird normalerweise von ISO Technischen Komitees durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale Organisationen, staatlich und nicht-staatlich, in Liaison mit ISO, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) bei allen elektrotechnischen Themen zusammen.

Internationale Normen werden in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet.

Die Hauptaufgabe der Technischen Komitees besteht in dem Erarbeiten von Internationalen Normen. Die von den Technischen Komitees angenommenen Norm-Entwürfe werden den Mitgliedsorganisationen zur Umfrage zur Verfügung gestellt. Für eine Veröffentlichung als Internationale Norm wird eine Zustimmung von mindestens 75 % der Mitgliedsländer, die abgestimmt haben, benötigt.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

ISO 6145-6 wurde vom Technischen Komitee ist ISO/TC 158, „Analysis of gases“, Unterkomitee SC , erarbeitet.

Diese zweite/dritte/... Ausgabe ersetzt die erste/zweite/... Ausgabe (), [Abschnitt(e) / Unterabschnitt(e) / Tabelle(n) / Bilde(r) / Anhang/Anhänge] von denen [wurde / wurden] technisch überarbeitet.

ISO 6145 besteht unter dem allgemeinen Titel *Gas analysis – Preparation of calibration gas mixtures using dynamic methods* aus den folgenden Teilen:

— *Part 1: Methods of calibration*

— *Part 2: Piston pumps*

— *Part 4: Continuous injection methods*

— *Part 5: Capillary calibration devices*

— *Part 6: Critical flow orifices*

— *Part 7: Thermal mass-flow controllers*

— *Part 8: Diffusion*

— *Part 9: Saturation method*

— *Part 10: Permeation method*

— *Part 11: Electrochemical preparation*

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 6145-6:2016-05

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der ISO 6145 legt ein Verfahren zur dynamischen Herstellung von Kalibriergasgemischen mit mindestens einer Komponente aus Gas und einem Komplementärgas aus reinen Gasen oder Gasvorgemischen mithilfe von Systemen kritischer Düsen fest.

Das Verfahren findet hauptsächlich Anwendung bei der Herstellung von Gemischen aus nichtreaktionsfähigen Gasen, die mit keinem der Materialien des Gaskreislaufes in den Systemen kritischer Düsen oder deren Hilfsausrüstung reagieren. Der Vorteil des Verfahrens besteht darin, dass sich bei Verwendung einer entsprechenden Zahl von kritischen Düsen Multikomponenten-Gemische ebenso leicht herstellen lassen wie binäre Gemische.

Durch die Auswahl geeigneter Kombinationen von kritischen Düsen und bei Verwendung reiner Gase lässt sich der Volumenanteil der Kalibrierkomponente in dem Kalibriergasgemisch um einen Faktor von 1×10^4 variieren.

Wenn Gasvorgemische an Stelle von reinen Gasen verwendet werden, so lassen sich niedrigere Volumenanteile erreichen.

Obwohl besonders geeignet für die Herstellung von Gasgemischen bei Umgebungsdruck, ist das Verfahren jedoch auch bei der Herstellung von Kalibriergasgemischen bei Drücken über Umgebungsdruck anwendbar. Der Vordruck muss dabei mindestens doppelt so hoch sein wie der Nachdruck.

Der Bereich der Strömungsraten, der in dieser Norm abgedeckt ist, reicht von 1 ml/min bis 10 l/min.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 6143, *Gas analysis — Comparison methods for determining and checking the composition of calibration gas mixtures*

ISO 6145-1, *Gas analysis — Preparation of calibration gas mixtures using dynamic methods — Part 1: Methods of calibration*

ISO 16664, *Gas analysis — Handling of calibration gases and gas mixtures — Guidelines*

ISO 9300, *Measurement of gas flow by means of critical flow Venturi nozzles*

ISO 7504, *Gas analysis — Vocabulary*

ISO 14912, *Gas analysis — Conversion of gas mixture composition data*

ISO 19229, *Gas analysis — Purity analysis and the treatment of purity data*

3 Begriffe, Definitionen und Symbole

3.1 Allgemeines

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 9300 und die folgenden Begriffe.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 6145-6:2016-05

3.2 Kritische Düse

eine Düse, deren geometrische Konfiguration und Nutzungsbedingungen so ausgelegt sind, dass die Strömungsrate am Düsenhals kritisch ist (siehe Unterabschnitt 3.2.5)

3.3 Druckmessung

3.3.1
Wanddruckmessstelle
eine die Rohrleitungswand durchbohrende Düse, die an den Rändern auf der Innenseite der Rohrleitungswand abgeflacht ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Druckmessstelle ist so beschaffen, dass der Druck in der Düse dem statischen Druck an diesem Punkt des Rohrleitungskreislaufs entspricht.

3.3.2
statischer Druck
tatsächlicher Druck eines Gasstroms, der durch Anschließen eines Druckmessgerätes an eine Wanddruckmessstelle gemessen werden kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Internationale Norm verwendet nur Absolutdruckwerte.

3.3.3
Staudruck
in einem Gas herrschender Druck bei isentroper Verlangsamung des Gases bis zum Ruhezustand

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Internationale Norm verwendet nur Absolutdruckwerte.

3.3.4
Stautemperatur
in einem Gas herrschende Temperatur bei isentroper Verlangsamung des Gases bis zum Ruhezustand

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Internationale Norm verwendet nur Absoluttemperaturwerte.

3.4 Temperaturmessung

3.4.1
Stautemperatur
in einem Gas herrschende Temperatur bei isentroper Verlangsamung des Gases bis zum Ruhezustand

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Internationale Norm verwendet nur Absoluttemperaturwerte.

3.5 Strömung

3.5.1
Massenstrom
q_m
je Zeiteinheit durch die Düse strömende Gasmasse

3.5.2
Stoffmengenstrom
q_n
je Zeiteinheit durch die Düse strömende Gasstoffmenge

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN ISO 6145-6:2016-05

3.5.3
Volumenstrom
q_v
je Zeiteinheit durch die Düse strömendes Gasvolumen

3.5.4
Hals-Reynoldszahl
R_e
aus der Gasströmungsrate und der dynamischen Viskosität berechneter dimensionsloser Parameter unter Staubedingungen am Einlass der kritischen Düse

Anmerkung 1 zum Begriff: Die charakteristische Dimension wird als Halsdurchmesser bei Staubedingungen verwendet. Die Hals-Reynoldszahl wird durch folgende Gleichung angegeben:

$$R_e = \frac{4q_m}{\pi\eta_0 d_N}$$

3.5.5
isentroper Koeffizient
γ
Quotient aus der relativen Änderung des Drucks und der entsprechenden relativen Änderung der Dichte unter elementar reversiblen und adiabatischen (isentropen) Umwandlungsbedingungen

Anmerkung 1 zum Begriff: In realen Gasen haben die zwischen Molekülen ausgeübten Kräfte sowie das von den Molekülen eingenommene Volumen eine entscheidende Auswirkung auf das Gasverhalten. In idealem Gas können intermolekulare Kräfte sowie das von den Molekülen eingenommene Volumen vernachlässigt werden.

3.5.6
Durchflusskoeffizient
c
dimensionsloser Quotient aus der tatsächlichen Strömungsrate und der idealen Strömungsrate eines nicht viskosen Gases, welche mit eindimensionaler isentroper Strömung bei gleichen Bedingungen des Stauvordrucks erreicht werden würde

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser Koeffizient korrigiert Auswirkungen viskoser und Stömungsfeldkurven. Für in dieser Internationalen Norm spezifizierten jede Bauart von kritischen Düsen und deren Installationsbedingungen ist der Koeffizient allein abhängig von der Hals-Reynoldszahl.

3.5.7
kritische Strömung
maximale Strömungsgeschwindigkeit durch eine gegebene Düse unter bestimmten Vordruckbedingungen

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei kritischem Durchfluss ist die Halsgeschwindigkeit gleich des lokalen Wertes der Schallgeschwindigkeit, der Geschwindigkeit, zu der sich kleine Druckstörungen ausbreiten.

3.5.8
kritische Strömungsfunktion
C^*
dimensionslose Funktion, die die thermodynamischen Strömungseigenschaften einer isentropen eindimensionalen Strömung zwischen Einlass und Hals einer Düse charakterisiert

Anmerkung 1 zum Begriff: Sie ist abhängig von der Art des Gases und von den Staubedingungen (siehe Unterabschnitt 3.4.3 und 3.5.2).

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN ISO 6145-6:2016-05

3.5.9
kritischer Strömungskoeffizient eines realen Gases
C_R
alternative Form der kritischen Strömungsfunktion, die besonders für Gasgemische geeignet ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser Koeffizient kann aus der kritischen Strömungsfunktion mittels folgender Gleichung abgeleitet werden:

$$C_R = C_* \sqrt{z_0}$$

3.5.10
kritisches Druckverhältnis
r^*
Verhältnis des statischen Drucks am Hals der kritischen Düse zum Staudruck, für den der Massenstrom durch die kritische Düse am größten ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieses Verhältnis wird gemäß der in Abschnitt 4 angegebenen Gleichung berechnet.

3.5.11
Realgasfaktor
Z_0
Korrekturfaktor, der numerisch die Tatsache ausdrückt, dass bei Staudruck und -temperatur das Verhalten eines realen Gases von den Gesetzen des idealen Gases abweicht

Anmerkung 1 zum Begriff: Es wird durch folgende Gleichung definiert:

$$Z_0 = \frac{P_0 M}{\rho_0 R T_0}$$

Dabei ist R, die universelle Gaskonstante, gleich 8,314 51 J/(mol.K).

3.6 Symbole

Symbol	Definition	SI-Einheit
A	Halsfläche der kritischen Düse	m^2
a,b	Koeffizienten der Durchflusskoeffizientengleichung	-
c	Durchflusskoeffizient, der für die kritische Düse berechnet wurde	-
C_{*i}	kritische Strömungsfunktion für das Gas unter idealen Bedingungen in Abhängigkeit von P und T	-
C_R	kritischer Strömungskoeffizient für das Gas unter realen Bedingungen in Abhängigkeit von P und T	-
C_p	molare spezifische Wärmekapazität des Gases bei konstantem Druck	J/kg/K
C_V	molare spezifische Wärmekapazität des Gases bei konstantem Volumen	J/kg/K
d_N	Halsdurchmesser der kritischen Düse	M
d_t	Rohrdurchmesser vor der kritischen Düse	M
M	molare Masse des Gases	kg/mol
n	Koeffizient n der Durchflusskoeffizientengleichung der kritischen Düse	-
P_{in}	statischer Absolutdruck, gemessen vor der kritischen Düse	Pa
P_n	Absolutdruck unter normalen Bedingungen (101,325 kPa)	Pa
P_{out}	statischer Absolutdruck, gemessen hinter der kritischen Düse	Pa

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 6145-6:2016-05

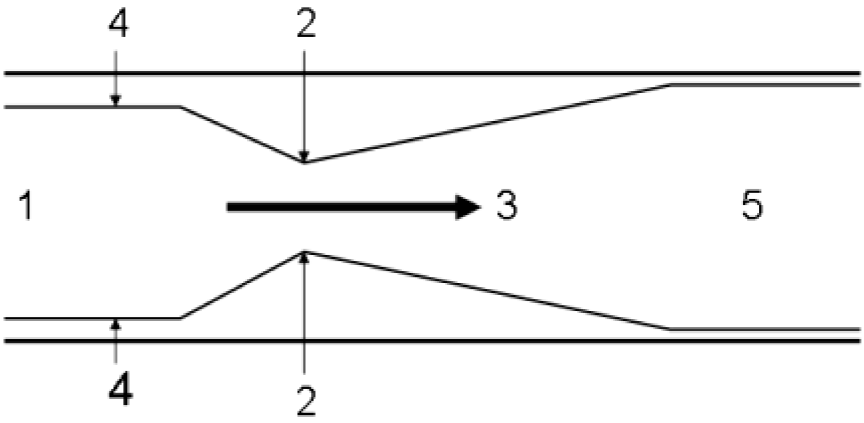
Symbol	Definition	SI-Einheit
P_0	absoluter Staudruck in Abhängigkeit von P_{in}, T_{in} und q_m	Pa
q_m	Massenstrom	kg/s
q_v	Volumenstrom	m^3/s
r^*	kritisches Druckverhältnis	-
R	universelle Gaskonstante	J/mol/K
R_e	Hals-Reynoldszahl kritischer Düsen	-
T_{in}	vor der kritischen Düse gemessene Temperatur	K
T_n	Temperatur unter normalen Bedingungen (273,15 K)	K
T_0	absolute Stautemperatur in Abhängigkeit von P_{in}, T_{in} und q_m	K
V_g	Gasgeschwindigkeit durch die kritischen Düsen	m/s
V_s	Schallgeschwindigkeit am Hals	m/s
z_n	Realgasfaktor unter normalen Bedingungen (T_n, P_n)	-
z_0	Realgasfaktor bei P_0, T_0	-
γ	isentroper Koeffizient in Abhängigkeit von P und T	-
η_0	dynamische Viskosität, berechnet für das Gas bei P_0 und T_0	Pa.s
ρ_0	Gasdichte bei Staubedingungen	kg/m^3
ρ_n	Gasdichte am Hals der kritischen Düsen	kg/m^3

4 Kurzbeschreibung

Wenn beim Strömen eines Gases durch eine kritische Düse der Eingangsdruck P_{in} steigt, so nimmt der Volumenstrom des Gases durch die Düse zu. Wenn das Verhältnis von Ausgangsdruck P_{out} und Eingangsdruck P_{in} der Düse den kritischen Wert erreicht hat, wird der Volumenstrom des Gases unabhängig von P_{out} und ist proportional zu P_{in}

Ein Beispiel einer kritischen Düse ist in Bild 1 dargestellt.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN ISO 6145-6:2016-05



Legende

1 Eingang
2 Halsdurchmesser der kritischen Düse (dN)
3 Strömungsrichtung
4 Rohrdurchmesser vor der kritischen Düse (dt)
5 Ausgang

Bild 1 — Beispiel einer kritischen Düse

Die Temperatur T_{in} und der Druck P_{in} werden in Punkt 4 gemessen, der Druck P_{out} wird in Punkt 5 gemessen.

Die Temperatur T_0 und der Druck P_0 werden in Punkt 2 berechnet (siehe Unterabschnitt 5.2).

Für ein gegebenes Gas bei konstanter Temperatur gilt folgendes kritisches Druckverhältnis:

$$r^* = \left(\frac{p_{out}}{p_{in}}\right)_{crit} = \left(\frac{2}{\gamma + 1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \quad (1)$$

Die verschiedenen Methoden zur Berechnung des isentropen Koeffizienten sind in Abschnitt A1 von Anhang A beschrieben.

Für einatomige, zweiatomige und dreiatomige Gase beträgt dieses kritische Druckverhältnis etwa 0,5, es ist jedoch von Druck- und Temperaturbedingungen abhängig.

AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 6145-6:2016-05

Tabelle 1 — Einfluss von Druck und Gasart auf das kritische Druckverhältnis

Gas	Temperatur °C	Druck (P_{in}) bar	Druck (P_{out}) bar	$\gamma = C_p/C_v$	kritisches Druck-verhältnis
Argon	20,0	2,1	1,0	1,6697	0,49
	20,0	10,3	5,0	1,6817	0,49
	20,0	20,7	10	1,6969	0,49
Stickstoff	20,0	1,9	1,0	1,4014	0,53
	20,0	9,5	5,0	1,4086	0,53
	20,0	19,0	10	1,4177	0,53
Kohlenstoff-dioxid	20,0	1,8	1,0	1,2967	0,55
	20,0	9,2	5,0	1,3222	0,54
	20,0	18,7	10	1,3589	0,54
ANMERKUNG Der γ-Wert basierend auf Daten der Datenbank NIST REFPROP V 9.0 berechnet.					

Zur Herstellung von Kalibriergasgemischen mischt der Gasmischer das Komplementärgas, welches mit einer bekannten Geschwindigkeit aus einer oder mehreren kritischen Düse(n) fließt, und das zu mischende Gas, welches aus einer oder mehreren kritischen Düse(n) fließt. Die sich ergebende Mischung wird üblicherweise in einer Mischkammer homogenisiert.

Dieses Verfahren ist kein Absolutverfahren und jedes kritische Düsensystem sollte für das jeweilig verwendete Gas kalibriert werden, um eine optimale Genauigkeit mit minimaler Unsicherheit zu erzielen (nachweisbare Strömungskalibrierung oder analytischer Vergleich). Der Grund hierfür ist, dass die Gleichung für den Volumenstrom eines Gases die Molmasse enthält. Wird ein anderes Kalibriergas verwendet, muss ein Korrekturfaktor angewandt werden und Abweichungen dürfen nur für die entsprechende Unsicherheit vorgenommen werden.

Die Temperaturen aller kritischen Düsen müssen identisch sein, um mögliche Auswirkungen auf die Strömungsraten zu vermeiden.

Um gemäß des Anwendungsbereichs eine Strömungsrate von unter 10 l/min zu erhalten, sollte der Halsdurchmesser weniger als 0,2 mm betragen.

5 Berechnung des Massenstroms und des Volumenstroms

5.1 Allgemeines

Massen- und Volumenströme in kritischen Düsen sind direkt proportional zum Staudruck vor kritischen Düsen und umgekehrt proportional zur Quadratwurzel der Temperatur.

Die Strömungsraten durch eine kritische Düse bei Schallgeschwindigkeitsbedingungen (unter dem kritischen Druckverhältnis) können unter Verwendung von ISO 9300 sowohl unter idealen als auch realen Bedingungen berechnet werden. Die Strömungsrate unter realen Bedingungen ist in Anhang B angegeben; Beispiele für die Berechnung der Strömungsraten sowohl unter idealen als auch realen Bedingungen befinden sich in Anhang C.

Zur Berechnung des Massenstroms unter realen Bedingungen müssen zusätzliche Parameter (Viskosität, Oberflächenrauigkeit, Krümmung des Strömungsfeldes, Installationsbedingungen, ...) berücksichtigt werden.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN ISO 6145-6:2016-05

Aufgrund der Komplexität der Berechnung der Strömungsrate unter realen Bedingungen wird in dieser Norm lediglich die Berechnung der Strömungsrate unter idealen Bedingungen behandelt.

Die Berechnungsergebnisse unter sowohl idealen als auch realen Bedingungen können zu unterschiedlichen Strömungsraten führen. Das könnte die Genauigkeit der generierten Gasgemische beeinflussen. Durch Kalibrieren der Vorrichtung mit jedem verwendeten Gas werden diese Ungenauigkeiten vernachlässigbar.

Die Umwandlung des Massenstroms zum Volumenstrom wird in Unterabschnitt 5.2.2 behandelt.

5.2 Berechnung unter idealen Bedingungen

5.2.1 Berechnung des Massenstroms

Der Massenstrom eines Gases durch eine kritische Düse unter idealen Bedingungen ist durch folgende Gleichung gegeben:

$$q_m = \frac{AC_{*i}P_0}{\sqrt{\frac{T_0 R}{M}}} \tag{2}$$

Dabei ist:

q_m der Massenstrom;

A die Fläche des Düsenhalses;

C_{*i} die kritische Strömungsfunktion für das Kalibriergas, welche wie folgt berechnet wird:

$$C_{*i} = \sqrt{\gamma \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \tag{3}$$

ANMERKUNG 1 Die Fläche des Düsenhalses ist abhängig vom Wärmeausdehnungskoeffizienten der kritischen Düse. Es ist daher ratsam, die kritische Düse nur innerhalb des vom Hersteller angegebenen Temperaturbereiches zu verwenden.

ANMERKUNG 2 Bei unter einem Millimeter ist es besonders schwierig den Halsdurchmesser zu messen. Damit ist es schwierig, eine genaue Halsfläche zu erhalten.

γ ist der isentrope Koeffizient, der mit den verschiedenen in Anhang A beschriebenen Verfahren berechnet werden kann.

P_0 ist der absolute Staudruck unter folgenden Bedingungen:

$$P_0 = P_{in} \tag{4}$$

T_0 ist die absolute Stautemperatur unter folgenden Bedingungen:

$$T_0 = T_{in} \tag{5}$$

R ist die universelle Gaskonstante

M ist die molare Masse des Kalibriergases

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN ISO 6145-6:2016-05

5.2.2 Berechnung des Volumenstroms

Der Massenstrom geteilt durch die Dichte $\rho_n = \frac{P_n \times M}{R \times T_n}$ ergibt den Volumenstrom:

$$q_v = \frac{q_m}{\rho_n} = A \times C_{*i} \times \frac{P_0 \times T_n}{P_n} \times \sqrt{\frac{R}{M \times T_0}} \quad (6)$$

5.3 Berechnung des Massenstroms mithilfe von Strömungskalibrierung mit reinem Stickstoff

Aus praktischen Gründen erfolgt die Kalibrierung der Vorrichtung üblicherweise mit reinem Stickstoff. Bei Verwendung der Vorrichtung mit einem weiteren Gas G muss das Verhältnis K zwischen dem weiteren Gas G und dem Stickstoff berechnet werden. Die Berechnungen sind genau, wenn die Temperatur aller kritischen Düsen homogen ist. In diesem Fall kann die Kalibrierung bei einer beliebigen Temperatur erfolgen. Zur Vereinfachung wird die folgende Gleichung unter idealen Bedingungen verwendet:

$$K = \frac{q_{mG}}{q_{mN2}} \quad (7)$$

dabei ist

q_{mN2} = Massenstrom des Stickstoffs

$$q_{m_{N2}} = \frac{A \times C_{*iN2} \times P_{in(N2)}}{\sqrt{\frac{T_{in_{(N2)}} \times R}{M_{N2}}}} \quad (8)$$

q_{mG} = Massenstrom des Gases G

$$q_{mG} = \frac{A \times C_{*iG} \times P_{in^{(G)}}}{\sqrt{\frac{T_{in(G)} \times R}{M_G}}} \quad (9)$$

Davon ausgehend, dass T_0 und P_0 für beide Gase gleich sind und A und R konstant sind, wird aus der Gleichung (7):

$$K = \frac{C_{*iG} \times \sqrt{M_G}}{C_{*iN2} \times \sqrt{M_{N2}}} \quad (10)$$

Die Berechnung von C_{*G} und C_{*N2} erfolgt mit folgender Gleichung:

$$C_{*_G} = \sqrt{\gamma_G \times \left(\frac{2}{\gamma_G + 1}\right)^{\frac{\gamma_G + 1}{\gamma_G - 1}}} \quad (11)$$

$$C_{*_{N2}} = \sqrt{\gamma_{N2} \times \left(\frac{2}{\gamma_{N2} + 1}\right)^{\frac{\gamma_{N2} + 1}{\gamma_{N2} - 1}}} \quad (12)$$

Mit $\gamma_{N2} = \frac{Cp_{N2}}{Cv_{N2}}$

Mit $\gamma_G = \frac{Cp_G}{Cv_G}$

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN ISO 6145-6:2016-05

Das Verhältnis K zwischen Gas G und Stickstoff ist gegeben durch:

$$K = \frac{\sqrt{M_G \times \gamma_G \times \left(\frac{2}{\gamma_G + 1}\right)^{\frac{\gamma_G+1}{\gamma_G-1}}}}{\sqrt{M_{N2} \times \gamma_{N2} \times \left(\frac{2}{\gamma_{N2} + 1}\right)^{\frac{\gamma_{N2}+1}{\gamma_{N2}-1}}}} \quad (13)$$

Da dieses Verhältnis unter idealen Bedingungen und nicht unter realen Bedingungen berechnet wird, könnte die Genauigkeit der Strömungsratenberechnung beeinträchtigt werden. Durch Kalibrieren der Vorrichtung mit jedem verwendeten Gas können diese Ungenauigkeiten vernachlässigt werden.

5.4 Berechnung der Unsicherheit der Strömungsrate

Die Unsicherheit kann berechnet werden, indem das vom GUM definierte Ausbreitungsgesetz auf die Massenstromgleichung (2) und die Volumenstromgleichung (6) angewandt wird.

5.4.1 Unsicherheitsquellen

5.4.1.1 Temperatur der kritischen Düse

In sehr guter Näherung werden kleine Temperaturänderungen nur vernachlässigbare Änderungen bei Strömungsratenverhältnissen hervorrufen, sofern die Temperatur bei jeder Düse dieselbe ist.

5.4.1.2 Eingangsdruck

Der Volumenstrom eines Gases durch eine kritische Düse hängt ab vom Eingangsdruck der kritischen Düse. Deshalb ist es unbedingt erforderlich, gute Druckregler zu verwenden (Wiederholbarkeit für den Eingangsdruck sollte unter 0,2 % liegen, um eine relative erweiterte Unsicherheit des Stoffmengenanteils von 0,5 % zu erhalten), um den Eingangsdruck auf einem konstanten Wert zu halten.

5.4.1.3 Düsenparameter

Die Unsicherheit der Halsfläche A der kritischen Düse und der Durchflusskoeffizient c sind aufgrund der geringen Größe des Halsdurchmessers d_N der kritischen Düse schwierig einzuschätzen.

5.4.1.4 Ausgangsdruck

Dieser Parameter hat keinen Einfluss, wenn die Schalldüse in der kritischen Strömung ist.

5.4.1.5 Temperaturdifferenzen der verschiedenen Gasgemischkomponenten

Ein Mischsystem für kritische Düsen sollte so beschaffen sein, dass die Temperatur an jeder kritischen Düsenöffnung identisch ist. Falls jedoch bei den beiden Komponenten zur Herstellung eines binären Gemischs eine Temperaturdifferenz auftritt, dann muss der Volumenstrom mit Hilfe eines thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Gases korrigiert werden. Bei einem idealen Gas beträgt der Koeffizient 0,003661 je Kelvin. Bei kleinen Temperaturdifferenzen (z. B. 2 K) zwischen den Gaskomponenten kann dieser Wert in sehr guter Näherung auch bei realen Gasen verwendet werden.

5.4.2 Unsicherheitsschätzung

Aufgrund der Komplexität der Einschätzung von Standardunsicherheiten für jeden Parameter in der Gleichung (2) und (6) kann ein weiterer Ansatz verwendet werden, der auf der Kalibrierung der Strömungsraten der Vorrichtung beruht.

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 6145-6:2016-05

Die im Kalibrierzertifikat angegebene Unsicherheit kann für die Unsicherheit der Strömungsrate verwendet werden. Diese relative Standardunsicherheit liegt gewöhnlich zwischen 0,2 % und 0,3 %.

6 Berechnung des Stoffmengenanteils und Volumenanteils und entsprechende Unsicherheitsschätzung

6.1 Allgemeines

Zur Herstellung von Kalibriergasgemischen werden das Gas A, welches aus einer kritischen Düse fließt, und das Komplementärgas B, welches aus einer weiteren kritischen Düse fließt, gemischt. Die sich ergebende Mischung wird in einer Mischkammer homogenisiert. Die Reinheit beider Gase muss beachtet werden, um die Volumen- oder Mengenanteile berechnen zu können. Die genaue Berechnung des Mengenanteils und der Unsicherheit jeder Komponente im hergestellten Gasgemisch hängt ab von der Bestimmung der Unreinheiten, die in jedem zur Herstellung verwendeten reinen Gas enthalten sind. Bezüglich der Reinheits- und Unsicherheitsberechnungen liefert die Norm ISO 19229 zusätzliche Informationen.

Es ist wichtig, zu verifizieren, dass die Bedingungen (p und T), unter welchen die Volumenanteile gegeben sind, denen entsprechen, unter welchen die Gase gemischt werden. Ansonsten muss eine Umwandlung des Volumenanteils der angegebenen Bedingungen in die gewünschten Bedingungen vorgenommen werden, z. B. mithilfe der Methode in ISO 14912.

6.2 Berechnung des Stoffmengenanteils und entsprechende Unsicherheit

6.2.1 Reine Gase (Reinheit ≥ 99,99 %)

Der Fall reiner Gase kann folgendermaßen dargestellt werden:

$$y_1 = \frac{\frac{q_{m,1}}{M_1}}{\frac{q_{m,1}}{M_1} + \frac{q_{m,2}}{M_{m,2}}} \tag{14}$$

Dabei ist $q_{m,1}$ der Massenstrom von Gas 1, $q_{m,2}$ der Massenstrom von Gas 2 (Komplementärgas), M_1 das Molekulargewicht von Gas 1 und M_2 das Molekulargewicht von Gas 2.

In Gleichung (14) erscheinen die Stoffmengenanteile beider Gase, was dem Konzept des „reinen Gases“ widerspricht (für reine Gase sind beide Anteile Eins). Sollen die Daten zur Reinheit berücksichtigt werden (siehe Unterabschnitt 6.1), können stattdessen die Ausdrücke für Gasgemische verwendet werden.

Die Gleichung (14) kann verändert werden, indem die Strömung auf molarer Basis eingeführt wird, und indem $q_{n,1}$ gegen $q_{m,i/Mi}$ ausgetauscht wird, was Folgendes ergibt:

$$y_1 = \frac{q_{n,1}}{q_{n,1} + q_{n,2}} \tag{15}$$

Schreiben von Gleichung (15) als Gesamtdifferenz ergibt:

$$dy_1 = \frac{\partial y_1}{\partial q_{n,1}} dq_{n,1} + \frac{\partial y_2}{\partial q_{n,2}} dq_{n,2} \tag{16}$$

Nach Ableiten der Gleichung (16) ergibt sich:

$$dy_1 = \left(\frac{1}{q_{n,1} + q_{n,2}} + \frac{-q_{n,1}}{(q_{n,1} + q_{n,2})^2} \right) dq_{n,1} + \frac{-q_{n,1}}{(q_{n,1} + q_{n,2})^2} dq_{n,2} \tag{17}$$

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN ISO 6145-6:2016-05

Ersetzen von Gleichung (15) mit Gleichung (17) ergibt:

$$dy_1 = \left(\frac{y_1}{q_{n,1}} + \frac{-y_1}{q_{n,1} + q_{n,2}}\right) \times dq_{n,1} + \frac{-y_1}{q_{n,1} + q_{n,2}} dq_{n,2} \tag{18}$$

Mithilfe der Beziehung $q_{n,i} = q_{m,i}/M_i$, die partiellen Ableitungen hinsichtlich $q_{m,i}$ und M_i

$$dq_{n,1} = \frac{1}{M_i} dq_{m,1} + \frac{-q_{m,i}}{{M_i}^2} dM_i$$

Ersetzen dieses Ausdrucks mit Gleichung (18) ergibt:

$$dy_1 = \left(\frac{y_1}{q_{n,1}} + \frac{-y_1}{q_{n,1}+q_{n,2}}\right)\frac{1}{M_1} dq_{m,1} + \left(\frac{y_1}{q_{n,1}} + \frac{-y_1}{q_{n,1}+q_{n,2}}\right)\frac{-q_{m,1}}{{M_1}^2} dM_1 + \frac{-y_1}{q_{n,1}+q_{n,2}}\frac{1}{M_2} dq_{m,2} + \frac{-y_1}{q_{n,1}+q_{n,2}}\frac{-q_{m,2}}{{M_2}^2} dM_2 \tag{19}$$

Gleichung (19) enthält alle nötigen Ausdrücke für die Empfindlichkeitskoeffizienten.

$$\frac{\partial y_1}{\partial q_{m,1}} = \left(\frac{y_1}{q_{n,1}} + \frac{-y_1}{q_{n,1} + q_{n,2}}\right)\frac{1}{M_1}$$

$$\frac{\partial y_1}{\partial M_1} = -\left(\frac{y_1}{q_{n,1}} + \frac{-y_1}{q_{n,1} + q_{n,2}}\right)\frac{q_{m,1}}{{M_1}^2}$$

$$\frac{\partial y_1}{\partial q_{m,2}} = -\frac{y_1}{q_{n,1} + q_{n,2}}\frac{1}{M_2}$$

$$\frac{\partial y_1}{\partial M_2} = \frac{y_1}{q_{n,1} + q_{n,2}}\frac{q_{m,2}}{{M_2}^2}$$

Die oben genannten Ausdrücke können wie gewöhnlich verwendet werden, um die mit y_1 in Bezug stehende Unsicherheit zu bestimmen, indem das Ausbreitungsgesetz für Unsicherheit des GUM angewandt wird.

Im folgenden Beispiel wird angenommen, dass zwei Massenströme gemischt werden (siehe Tabelle 2). Die relative Standardunsicherheit, die mit dem Massenstrom in Bezug steht, beträgt 2.1 % Der erste Massenstrom ist Methan, der zweite ist Stickstoff. Es wird angenommen, dass die Gase vollkommen rein sind. Die Molekulargewichte werden mithilfe der Atomgewichte von 2007 berechnet.

Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN ISO 6145-6:2016-05