Messgeräte für Gas	PTB-A 7.63
Anforderungen an Kalibriergase für Brennwert- und Gasbeschaffenheitsmessgeräte	Mai 2011*

Die PTB-Anforderungen (PTB-A) an Kalibriergase für Brennwert- und Gasbeschaffenheitsmessgeräte gelten für den Betrieb eichpflichtiger Brennwert- und Gasbeschaffenheitsmessgeräte und die damit verbundenen notwendigen Tätigkeiten (Eichung, Kalibrierung, Justierung, Korrekturwertermittlung, Wartung und Prüfung). Sie wurden von der Vollversammlung für das Eichwesen im November 2010 verabschiedet und im Mai 2011 berichtigt und ersetzen die bisherigen PTB-A 7.63 vom Januar 1998.

Inhaltsübersicht

- 1 Anwendungsbereich und Zweck
- 2 Begriffsbestimmungen
- 3 Verwendung von Kalibriergasen
- 4 Allgemeine Anforderungen
- 5 Kalibriergase für Gaskalorimeter
- 6 Kalibriergase für Prozessgaschromatographen (PGC)
- 7 Kalibriergase für andere Brennwert- oder Gasbeschaffenheitsmessgeräte
- 8 Kalibriergase für andere eichpflichtige Größen
- 9 Zertifizierung von Gebrauchsnormalen
- 10 Spezielle Anforderungen

Anhang

Beispiele für zurzeit verwendete Kalibriergase

- A) Kalibriergase für Gaskalorimeter
- B) Kalibriergase für Prozessgaschromatographen (PGC)

1 Anwendungsbereich und Zweck

Kalibriergase für Brennwert- und Gasbeschaffenheitsmessgeräte sind von amtlichen Stellen zertifizierte Referenzmaterialien (Reingase oder synthetisch hergestellte Gasgemische, die aus einem Grundgas und einer oder mehreren Beimengungen bestehen). Sie dienen als Normale zur Darstellung und Weitergabe der Einheit des Brennwertes und der Stoffmengenanteile von Gasgemischen.

Die Zusammensetzung und die Verwendung von Kalibriergasen für Brennwertmessgeräte werden von der PTB genehmigt oder vorgeschrieben.

Die relevanten physikalischen Größen dieser Gase müssen auf nationale Normale rückführbar sein.

Kalibriergase haben je nach Messgeräteart verschiedene Aufgaben:

1.1 Kalibriergase für Gaskalorimeter und sonstige Brennwertmessgeräte für die direkte Messung des Brennwertes

Dies sind entweder Reingase oder Gasgemische aus 2 oder 3 Komponenten. In der Regel bestehen die Gasgemische aus dem Grundgas Methan und Beimengungen von Stickstoff, Ethan oder Wasserstoff. Mit diesen Gasen wird das Brennwertmessgerät kalibriert und gegebenenfalls auf den richtigen Messwert justiert.

** Im Mai 2011 wurde die Ausgabe November 2010 in den Tabellen 3 bis 7 berichtigt, gekennzeichnet mit *.*

1.2 Kalibriergase für Prozessgaschromatographen (PGC), für die direkte Bestimmung der Stoffmengenanteile und daraus abgeleiteter Größen

Dies sind Gasgemische, die neben Methan alle relevanten Gaskomponenten enthalten. Mit den Stoffmengenanteilen dieser Gasgemische werden die Prozessgaschromatographen für jede zu messende Komponente kalibriert.

Kalibriergase werden je nach Verwendungszweck in die nachfolgend dargestellten Klassen eingeteilt.

2 Begriffsbestimmungen

2.1 Primärnormale (Kalibriergase 1. Ordnung)

– Reingase amtlich geprüfter Reinheit.

Der Brennwert dieser Gase ist den folgenden Normen zu entnehmen:

- DIN 51857 „Gasförmige Brennstoffe und sonstige Gase; Berechnung von Brennwert, Heizwert, Dichte, relativer Dichte und Wobbeindex von Gasen und Gasgemischen“, 3/1997.
- DIN EN ISO 6976 „Erdgas – Berechnung von Brenn- und Heizwert, Dichte, relative Dichte und Wobbeindex aus der Zusammensetzung“; Deutsche Fassung 9/2005.

Die Dichte ist der DIN 1871, „Gasförmige Brennstoffe und sonstige Gase – Dichte und andere volumetrische Größen“, 5/1999 zu entnehmen.

– Von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) oder der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) gravimetrisch hergestellte und auf Massennormale rückgeführte Gasgemische. Brennwert und Dichte dieser Gasgemische sind mit dem in der DIN 51857 angegebenen Rechenverfahren zu berechnen.

2.2 Sekundärnormale (Kalibriergase 2. Ordnung)

– Reingase, die nicht mehr als 0,05 % Verunreinigungen enthalten (Qualität 3.5). Die Reinheit ist mit einem amtlichen Zertifikat nachzuweisen. Bei Reingasen mit einer Reinheit von 99,995 % (Qualität 4.5) oder besser genügt das Zertifikat eines Herstellers mit einem anerkannten Qualitätssicherungssystem. Brennwert und Dichte dieser Gase sind den in Abschnitt 2.2 zitierten Normen zu entnehmen bzw. danach zu berechnen.

– Gasgemische, deren Brennwert oder Dichte im Normzustand von der PTB bestimmt wurde.

– Gasgemische, deren quantitative Zusammensetzungen von der BAM oder der PTB bestimmt wurden. Brennwert und Dichte dieser Gasgemische werden mit dem in der DIN 51857 angegebenen Rechenverfahren berechnet.

2.3 Gebrauchsnormale (Kalibriergase 3. Ordnung)

– Reingase nach Abschnitt 2.2

– Gasgemische, deren Brennwert, Dichte im Normzustand oder Stoffmengenanteile der Komponenten durch Vergleich mit einem oder mehreren Kalibriergasen 2. Ordnung unter amtlicher Aufsicht bestimmt worden ist. Brennwert und Dichte dieser Gasgemische sind mit dem in der DIN 51857 angegebenen Rechenverfahren zu berechnen.

3 Verwendung von Kalibriergasen

Die Zusammensetzung von Kalibriergasen wird entsprechend der Charakteristik des betreffenden Brennwert- oder Gasbeschaffenheitsmessgerätes in Hinsicht auf den jeweiligen Verwendungszweck und Arbeitsbereich ausgewählt.

3.1 Eichung von Brennwert- und Gasbeschaffenheitsmessgeräten

Die Funktion und die Richtigkeit des Brennwert- oder Gasbeschaffenheitsmessgerätes werden während der eichtechnischen Prüfung mit Kalibriergasen überprüft.

3.2 Kalibrierung und Justierung von Brennwert- und Gasbeschaffenheitsmessgeräten

Brennwert- und Gasbeschaffenheitsmessgeräte werden während der Eichung oder regelmäßig während des Betriebes auf den richtigen Wert justiert. Die zur Kalibrierung/Justierung benötigten Gase werden vom Hersteller für das jeweilige Messgerät und die spezielle Anwendung ausgewählt.

Ist für den ordnungsgemäßen Betrieb der Messgeräte eine regelmäßige automatische Kalibrierung/Justierung mit fest angeschlossenen Kalibriergasen nötig, so werden diese Kalibriergase während der Eichgültigkeitsdauer fester und gesicherter Bestandteil des Messgerätes („*internes Kalibriergas*“).

3.3 Anwendung von Korrekturverfahren

Die Verwendung von Kalibriergasen im Zusammenhang mit Korrekturverfahren regelt die Technische Richtlinie der PTB G12 „Messgeräte für Gas. Korrektur der Messwerte von Brennwertmessgeräten (Gaskalorimeter) und Normdichtemessgeräten für Gase“ (Dezember 1993).

3.4 Vorgeschriebene Wartung von Brennwertmessgeräten

Bei einigen Brennwertmessgeräten sind während der Eichgültigkeitsdauer Wartungsarbeiten zur Aufrechterhaltung des ordnungsgemäßen Betriebes erforderlich, dabei ist die Verwendung von Kalibriergasen notwendig.

4 Allgemeine Anforderungen

- Die Gasgemische müssen als homogene verdichtete Gase vorliegen.
- Die Komponenten des Gasgemisches dürfen nicht untereinander chemisch reagieren.
- Die Bestandteile dürfen die Behälter- und Armaturenwerkstoffe nicht chemisch angreifen und sie dürfen durch diese Werkstoffe nicht beeinflusst werden.
- Die quantitative Zusammensetzung darf sich bei den üblichen Lager- und Beförderungstemperaturen nicht ändern. Die Tautemperatur des Gases, die nicht höher als 0 °C liegen sollte, darf während der Verwendungsdauer des Gases in keinem Fall erreicht oder unterschritten werden. Lässt sich dies auf Grund spezieller Anforderungen an das Gasgemisch nicht gewährleisten, so kann die PTB besondere Vorschriften für Handhabung und Transport dieser Gase festlegen.
- Die Abschätzung des Taudrucks des Gasgemisches hat gemäß DIN 1871 „Gasförmige Brennstoffe und sonstige Gase – Dichte und andere volumetrische Größen“ (5/1999) oder gemäß der GERG 2004 – Zustandsgleichung zu geschehen. Danach wird der maximale Fülldruck vom Hersteller für jedes Gasgemisch individuell festgelegt.
- Die quantitative Zusammensetzung darf sich bei den üblichen Drücken sowie bei dem durch die Entnahme des Kalibriergases sinkenden Gasdruck nicht verändern. Retrograde Kondensation sowie Kondensation durch adiabatische Expansion müssen ausgeschlossen sein.
- Bei der Entnahme des Kalibriergases darf ein Restdruck von 5 bar nicht unterschritten werden.
- Die Verwendungsdauer von Kalibriergasen richtet sich nach dem Herstellerzertifikat. Sie wird zusätzlich auf maximal 3 Jahre nach der Zertifizierung begrenzt. Die BAM oder die PTB können die Verwendungsdauer auch gas- und flaschenspezifisch abweichend festlegen.
- Bei allen Arbeiten mit Kalibriergasen sind die anerkannten Regeln der Technik für den Umgang mit Gasen zu beachten (DIN EN ISO 16664 „Gasanalyse – Handhabung von Kalibriergasen und Gasgemischen – Richtlinien; Deutsche Fassung 11/2008) und VDI-Richtlinie 3490-3 „Messen von Gas. Prüfgase. Anforderungen und Maßnahmen für den Transfer“; 12/1980).

4.1 Herstellverfahren

Kalibriergase sollten bevorzugt gravimetrisch gemäß DIN ISO 6142 „Gasanalyse - Herstellung von Prüfgasen - Wägevverfahren“ (Mai 1985) hergestellt werden.

5 Kalibriergase für Gaskalorimeter

Beispiele für bereits zugelassene Kalibriergase sind im Anhang A aufgeführt.

5.1 Kalibriergase zur Eichung

Die für die Eichung von Gaskalorimetern benötigten Kalibriergase werden in der Zulassung des Brennwertmessgerätes von der PTB festgelegt.

5.2 Kalibriergase zur Kalibrierung/Justierung und Wartung

Die zur Kalibrierung/Justierung und zur vorgeschriebenen Wartung von Gaskalorimetern gewählten Kalibriergase müssen dem Betriebsgas möglichst ähnlich sein. Der Unterschied zwischen dem mittleren Brennwert des Betriebsgases und dem Brennwert des Kalibriergases ($\Delta H_{s,n}$) muss bei Kalibriergasen zur Kalibrierung/Justierung oder Wartung kleiner als 1 kWh/m^3 (Bezugszustände $T_b=25^\circ\text{C}$, $T_v=0^\circ\text{C}$, $p_v=p_b=101,325 \text{ kPa}$) sein. Die Zusammensetzung dieser Gase muss von der PTB genehmigt werden.

5.3 Kalibriergase zur Korrektur

Für die Anwendung von Korrekturverfahren können vom Anwender ausgewählte Kalibriergase (Reingase oder Gasgemische) verwendet werden. Die gewählten Kalibriergase müssen dem Betriebsgas möglichst ähnlich sein. Der Unterschied zwischen dem mittleren Brennwert des Betriebsgases und dem Brennwert des Kalibriergases ($\Delta H_{s,n}$) muss kleiner als $0,5 \text{ kWh/m}^3$ (Bezugszustände $T_b=25^\circ\text{C}$, $T_v=0^\circ\text{C}$, $p_v=p_b=101,325 \text{ kPa}$) sein. Die gewählten Zusammensetzungen müssen von der PTB genehmigt sein.

5.4 Geforderte Reinheit der Grundgase und der Beimengungen

Für die Herstellung der Gasgemische sind Reingase der Reinheitsklasse 3.5 oder besser zu verwenden.

5.5 Herstellungstoleranz

Bei der Herstellung muss die gewünschte Zusammensetzung der Gase so genau eingehalten werden, dass der tatsächliche Brennwert um weniger als 1 % vom vorgegebenen Sollbrennwert abweicht.

6 Kalibriergase für Prozessgaschromatographen (PGC)

Beispiele für bereits zugelassene Kalibriergase sind im Anhang B aufgeführt.

6.1 Kalibriergase zur Eichung

Die für die Eichung von Prozessgaschromatographen benötigten Kalibriergase werden von der PTB in der Zulassung des Brennwert- oder Gasbeschaffenheitsmessgerätes oder der Technischen Richtlinie „Eichung und Prüfung von Gasbeschaffenheitsmessgeräten“ festgelegt.

6.2 Kalibriergase zur Kalibrierung/Justierung

Die gewählten Zusammensetzungen der Kalibriergase müssen alle relevanten Bestandteile des zu messenden Betriebsgases enthalten. Die Zusammensetzungen werden von der PTB in der Zulassung des Brennwert- oder Gasbeschaffenheitsmessgerätes festgelegt.

6.3 Geforderte Reinheit der Grundgase und der Beimengungen

Die Gasgemische sind aus Reingasen herzustellen.

Für die einzelnen Bestandteile sind mindestens die nachfolgend in Tabelle 1 aufgeführten Reinheitsklassen einzuhalten:

Tabelle 1: Reinheitsanforderungen für die Ausgangsgase bei der Gemischherstellung

Komponente	Reinheitsklasse	Reinheit in %	Fremdanteile in 10^{-6} mol/mol
Methan	4.5	99,995	50
Stickstoff	5.0	99,999	10
Kohlenstoffdioxid	5.0	99,999	10
Ethan	3.5	99,95	50
Propan	3.5	99,95	50
Butan	3.5	99,95	50
Isobutan	3.5	99,95	50

Für alle anderen Komponenten gilt die Minimalanforderung der Reinheitsklasse 2.0, Reinheit 99,0 % entsprechend Fremdanteilen von 1 %.

6.4 Herstellungstoleranz

Bei der Herstellung der Gasgemische ist für Komponenten mit einem Stoffmengenanteil von $\geq 0,1 \%$ eine Abweichung von maximal 5 % (relativ) vom Sollwert einzuhalten. Bei Komponenten mit kleineren Stoffmengenanteilen darf die Herstellungstoleranz maximal 10 % (relativ) betragen.

7 Kalibriergase für andere Brennwert- oder Gasbeschaffenheitsmessgeräte

Die Kalibriergase für andere Brennwert- oder Gasbeschaffenheitsmessgeräte werden in der Zulassung festgelegt. Es ist jedoch anzustreben, bereits vorhandene Kalibriergase zu benutzen. Für diese Gase gelten, soweit in der Bauartzulassung keine andere Regelung festgelegt wurde, die Anforderungen nach Abschnitt 4 und 5.

8 Kalibriergase für weitere eichpflichtige Größen

Werden von Brennwert- oder Gasbeschaffenheitsmessgeräten weitere eichpflichtige Größen bestimmt, so werden die Kalibriergase in der Zulassung festgelegt. Es ist jedoch anzustreben, bereits vorhandene Kalibriergase zu benutzen. Für diese Gase gelten die Anforderungen nach Abschnitt 4, 5 und 6.

9 Zertifizierung von Kalibriergasen 3. Ordnung

Die Zertifizierung von Kalibriergasen 3. Ordnung (Gebrauchsnormale) wird durch die Eichbehörden oder durch Staatlich anerkannte Prüfstellen für Messgeräte für Gas durchgeführt. Das Verfahren muss von der PTB anerkannt sein. Die Zertifizierung kann auch durch die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) oder die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) erfolgen.

9.1 Herstellerzertifikat

Die Zusammensetzung des Kalibriergases muss durch ein Herstellerzertifikat nach DIN EN ISO 6141 „Gasanalyse – Anforderungen an Zertifikate für Kalibriergase und Kalibriergasgemische“, Deutsche Fassung 11/2006, dokumentiert sein. Das Herstellerzertifikat muss als Anlage dem Kalibrierschein für Gebrauchsnormale beigelegt werden.

Folgende Angaben müssen enthalten sein:

- Eindeutige Kennzeichnung des Zertifikats
- Ausstellungsdatum des Zertifikats
- Kennzeichnung des Behälters
- Lieferant
- Behälterdaten (Volumen, Ventilanschlusstyp)
- Fülldruck mit Bezugstemperatur
- Soll- und Ist-Stoffmengenanteil der Komponenten (nicht für Reingase)
- Erweiterte Messunsicherheit der Stoffmengenanteile aller Komponenten (nicht für Reingase)
- Herstellungsverfahren (nicht für Reingase)
- Lagerungs- und Verwendungstemperatur
- Herstellungsdatum
- Verwendbarkeitsdauer

Die Komponenten sind dabei entsprechend der IUPAC-Nomenklatur zu benennen, Trivialnamen sind ergänzend möglich. Als Erweiterungsfaktor für die Messunsicherheit ist der Erweiterungsfaktor $k=2$ zu verwenden.

9.2 Genauigkeit von Kalibriergasen für Gaskalorimeter

Bei Kalibriergasen 3. Ordnung für Gaskalorimeter darf die Messunsicherheit des zu zertifizierenden Brennwertes maximal ein Drittel der Eichfehlergrenze für den Brennwert betragen.

9.3 Genauigkeit von Kalibriergasen für Prozessgaschromatographen

Für die Stoffmengenanteile der Komponenten von Kalibriergasen 3. Ordnung, die als Kalibriergase für Prozessgaschromatographen eingesetzt werden sollen, gelten die in der nachfolgenden Tabelle 2 angegebenen maximalen Unsicherheiten. Das eingesetzte Zertifizierungsverfahren muss diese Unsicherheiten gewährleisten.

Tabelle 2: Anforderungen an die Unsicherheit der Stoffmengenanteile in Gebrauchsnormalen

Komponente	rel. Unsicherheit in % (k=2)
Methan	$\leq 0,1 \%$
Stickstoff	$\leq 0,8 \%$
Kohlenstoffdioxid	$\leq 1 \%$
Ethan	$\leq 1 \%$
Propan	$\leq 1 \%$
Butan	$\leq 1 \%$
2-Methylpropan (Isobutan)	$\leq 1 \%$

Für alle anderen Beimengungen muss eine relative Unsicherheit von $\leq 3 \%$ ($k=2$) eingehalten werden.

Das Ergebnis ist durch ein direkt messendes Messgerät (z. B. Normdichtewaage oder Kalorimeter) auf Plausibilität zu kontrollieren. Die Abweichung des direkt gemessenen Wertes vom rechnerisch ermittelten Wert darf nicht mehr als ein Drittel der Eichfehlergrenze der jeweiligen Größe betragen.

9.4 Kalibrierschein

Als Ergebnis der Zertifizierung von Gebrauchsnormalen ist ein Kalibrierschein auszustellen.

Darin sind anzugeben:

- Kennzeichnung des Behälters
- Name oder Typ des Gases
- Auftraggeber der Prüfung
- Datum der Prüfung
- Flaschendruck am Ende der Prüfung
- Bezeichnung der prüfenden Stelle und verantwortliche Person

Bei Kalibriergasen für Gaskalorimeter ist zusätzlich anzugeben:

- Brennwert mit erweiterter Messunsicherheit (Erweiterungsfaktor $k=2$)

Bei Kalibriergasen für Gaschromatographen ist zusätzlich anzugeben:

- gemessene Stoffmengenanteile der Komponenten mit der erweiterten Messunsicherheit (Erweiterungsfaktor $k=2$)
- berechneter Brennwert und erweiterte Messunsicherheit (Erweiterungsfaktor $k=2$) mit Angabe des Berechnungsverfahrens
- berechnete Dichte im Normzustand und erweiterte Messunsicherheit (Erweiterungsfaktor $k=2$) mit Angabe des Berechnungsverfahrens

10 Spezielle Anforderungen

10.1 Personal

Arbeiten mit Kalibriergasen können vom Personal einer Eichbehörde oder einer staatlich anerkannten Prüfstelle für Messgeräte für Gas sowie durch sachkundiges und vom Betreiber eichpflichtiger Brennwert- oder Gasbeschaffenheitsmessgeräte gegenüber der Eichaufsichtsbehörde benanntes Personal ausgeführt werden.

Sachkundige sind Personen, die auf Grund ihrer fachlichen Ausbildung, praktischen Tätigkeit und Erfahrung ausreichende Kenntnis auf dem Gebiet der zu prüfenden Objekte haben und mit den einschlägigen Vorschriften, Richtlinien und den allgemein anerkannten Regeln der Technik jederzeit soweit vertraut sind, dass sie den ordnungsgemäßen Zustand des zu prüfenden Objektes beurteilen und bei den durchzuführenden Maßnahmen selbstständig handeln können.

10.2 Eichtechnische Sicherung

Die Druckgasflasche mit dem Kalibriergas ist nach jeder Benutzung mit einer dicht schließenden Blindkappe amtlich verschließend oder mit einer Benutzersicherung (durch Personal entsprechend Abschnitt 10.1) zu sichern.

10.3 Anforderungen an Trägergase für Prozessgaschromatographen

Als Trägergase für Prozessgaschromatographen müssen mindestens Reingase der Qualität 5.0 verwendet werden. Die Reinheit ist durch ein Zertifikat eines Herstellers mit anerkanntem Qualitätssicherungssystem nachzuweisen.

Das Auswechseln der Trägergasflaschen muss ohne Verletzung von amtlichen Sicherungsstempeln durchgeführt werden können, wenn der Trägergasverbrauch einen Flaschenwechsel während der Eichgültigkeitsdauer nötig macht.

Anhang

In den folgenden Tabellen sind die Sollwerte der Zusammensetzung sowie die gem. DIN 51857 bzw. DIN EN ISO 6976 berechneten Brennwerte ($H_{s,n}$) und Dichten im Normzustand (ρ_n) der zurzeit verwendeten Kalibriergasgemische zusammengefasst. Alle Mengenangaben erfolgen in Stoffmengenanteilen in Prozent.

Anhang A: Kalibriergase für Gaskalorimeter

Tabelle 3: Kalibriergase und Kalibriergasgemische für Kalorimeter

Komponente	Formel	Methan	Wasserstoff	2H	2HL	2LH	2LHL	2L	2LL	3S
Stickstoff	N ₂	-	-	-	-	7,00	8,70	11,70	17,50	17,00
Wasserstoff	H ₂	-	99,999	-	-	-	-	-	-	49,00
Methan	CH ₄	99,995	-	87,70	93,50	93,00	91,30	88,30	82,50	34,00
Ethan	C ₂ H ₆	-	-	12,30	6,50	-	-	-	-	-
$H_{s,n}$ in kWh/m ³ *		11,064	3,542	12,096	11,609	10,288	10,099	9,767	9,124	5,490
ρ_n in kg/m ³		0,7175	0,0899	0,7952	0,7585	0,7548	0,7639	0,7799	0,8108	0,5001

Anhang B: Kalibriergase für Prozessgaschromatographen (PGC)

Tabelle 4: Kalibriergasgemische mit bis zu 7 Komponenten für PGC

Komponente	Formel	B-5K	B1-5K	6H	6L	P1-7K
Sauerstoff	O ₂	1,00	1,00	-	-	0,30 *
Stickstoff	N ₂	2,00	2,00	0,40	14,40	8,00
Kohlenstoffdioxid	CO ₂	5,50	0,40	1,80	1,00	4,00
Wasserstoff	H ₂	2,00	2,00	-	-	-
Methan	CH ₄	89,50	94,60	84,00	81,00	78,20
Ethan	C ₂ H ₆	-	-	9,40	3,00	5,00
Propan	C ₃ H ₈	-	-	3,40	0,50	4,00
Butan	C ₄ H ₁₀	-	-	1,00	0,10	0,50 *
$H_{s,n}$ in kWh/m ³		9,973 *	10,536	12,425	9,716	10,910 *
ρ_n in kg/m ³		0,7916	0,7277	0,8635	0,8339	0,9040 *

Tabelle 5: Kalibriergasgemische mit 8 oder 9 Komponenten für PGC

Komponente	Formel	L1-8K	L2-8K	H1-8K	H2-8K	9M	9E	P1-9K
Sauerstoff	O ₂	-	-	-	-	0,40	2,00 *	0,30
Stickstoff	N ₂	12,00	10,30	1,00	4,00	4,00	8,00	3,00
Kohlenstoffdioxid	CO ₂	4,50	1,00	0,90	1,50	2,50	2,00	3,50
Wasserstoff	H ₂	-	-	-	-	0,20	1,00	0,30
Methan	CH ₄	82,00	83,00	96,40	83,85	89,00	79,00	87,20
Ethan	C ₂ H ₆	0,75	4,00	1,00	8,20	2,50	4,00	0,35
Propan	C ₃ H ₈	0,30	1,25	0,25	2,00	1,00	3,00	4,75
Butan	C ₄ H ₁₀	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,50	0,30
2-Methylpropan (Isobutan)	HC(CH ₃) ₃	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,50	0,30
2-Methylbutan (Isopentan)	HC(CH ₃) ₂ C ₂ H ₅	0,05	0,05	0,05	0,05	-	-	-
$H_{s,n}$ in kWh/m ³		9,465	10,470	11,095	11,591	10,760	10,740	11,257

ρ_n in kg/m ³	0,8552	0,8348	0,7524	0,8435	0,8077	0,8752	0,8512
-------------------------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Tabelle 6: Kalibriergasgemische mit 11 Komponenten für PGC

Komponente	Formel	11M	11D	H1-11K	H1A-11K	H2-11K	H3-11K	L1-11K	L2-11K	P1-11K
Sauerstoff	O ₂	0,50	-	-	0,05	-	-	-	-	-
Stickstoff	N ₂	4,00	4,00	1,35	1,35	0,95	2,50	11,00	9,20	8,00
Kohlenstoffdioxid	CO ₂	1,50	1,50	0,35	0,35	1,45	1,00	1,55	1,80	3,00
Methan	CH ₄	88,45	88,90	97,30	97,30	85,00	88,075	86,00	85,10	79,25
Ethan	C ₂ H ₆	4,00	4,00	0,40	0,40	9,00	6,50	0,75	3,00	6,50
Propan	C ₃ H ₈	1,00	1,00	0,20	0,20	3,00	1,30	0,30	0,50	2,00
Butan	C ₄ H ₁₀	0,20	0,20	0,10	0,10	0,20	0,20	0,10	0,10	0,50
2-Methylpropan (Isobutan)	HC(CH ₃) ₃	0,20	0,20	0,10	0,10	0,20	0,25	0,10	0,10	0,50
Pentan	C ₅ H ₁₂	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,10
2-Methylbutan (Isopentan)	HC(CH ₃) ₂ C ₂ H ₅	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,025	0,05	0,05	0,10
2,2-Dimethylpropan (Neopentan)	C(CH ₃) ₄	-	0,05	0,05	-	0,05	0,05	0,05	0,05	0,025
Hexan	C ₆ H ₁₄	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,025
$H_{s,n}$ in kWh/m ³		11,054	11,126	11,062	11,040	12,223	11,611	9,905 *	10,299	11,056
ρ_n in kg/m ³		0,8107	0,8084	0,7433	0,7424	0,8485	0,8141	0,8132	0,8235	0,8895

Tabelle 7: Kalibriergasgemische mit mehr als 11 Komponenten für PGC

Komponente	Formel	13D	16M	17K
Helium	He	-	0,50	0,50
Sauerstoff	O ₂	-	0,50	0,50
Stickstoff	N ₂	4,00	5,00	5,00
Kohlenstoffdioxid	CO ₂	1,50	1,00	1,00
Kohlenstoffmonoxid	CO	0,50	0,50	0,50
Wasserstoff	H ₂	1,00	1,00	1,00
Methan	CH ₄	87,40	86,44	86,39
Ethen	C ₂ H ₄	-	0,50	0,50
Ethan	C ₂ H ₆	4,00	2,50	2,50
Propen	C ₃ H ₆	-	0,50	0,50
Propan	C ₃ H ₈	1,00	1,00	1,00
Butan	C ₄ H ₁₀	0,20	0,20	0,20
2-Methylpropan (Isobutan)	HC(CH ₃) ₃	0,20	0,20	0,20 *
Pentan	C ₅ H ₁₂	0,05	0,05	0,05
2-Methylbutan (Isopentan)	HC(CH ₃) ₂ C ₂ H ₅	0,05	0,05	0,05
2,2-Dimethylpropan (Neopentan)	C(CH ₃) ₄	0,05	-	0,05
Hexan	C ₆ H ₁₄	0,05	0,06	0,06
$H_{s,n}$ in kWh/m ³		11,012	10,813	10,829
ρ_n in kg/m ³		0,8048	0,8028	0,8041