

DIN EN ISO 15971

ICS 75.060

**Erdgas –
Messung der Eigenschaften –
Wärmewerte und Wobbe-Index (ISO 15971:2008);
Deutsche Fassung EN ISO 15971:2014**

Natural gas –
Measurement of properties –
Calorific value and Wobbe index (ISO 15971:2008);
German version EN ISO 15971:2014

Gaz naturel –
Mesurage des propriétés –
Pouvoir calorifique et indice de Wobbe (ISO 15971:2008);
Version allemande EN ISO 15971:2014

Gesamtumfang 61 Seiten

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

Nationales Vorwort

Diese Europäische Norm wurde vom CEN/SS N21 „Gaseous fuels and combustible gas“ aus der Arbeit des ISO/TC 193 „Natural gas“ übernommen.

Im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ist im Normenausschuss Gastechnik (NAGas) hierfür der NA 032-03-05 AA „Gasförmige Brennstoffe“ zuständig.

Es gibt keine Vorgängerausgabe. Grundlage für die Übernahme ist ISO 15971:2008, die inhaltlich unverändert übernommen wurde.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 5167-1, *Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt — Teil 1: Allgemeine Grundlagen und Anforderungen*

DIN EN ISO 6976, *Erdgas — Berechnung von Brenn- und Heizwert, Dichte, relativer Dichte und Wobbeindex aus der Zusammensetzung*

DIN EN ISO 10715, *Erdgas — Probenahmerichtlinien*

DIN EN ISO 12213-1, *Erdgas — Berechnung von Realgasfaktoren — Teil 1: Einführung und Leitfaden*

DIN EN ISO 12213-2, *Erdgas — Berechnung von Realgasfaktoren — Teil 2: Berechnungen basierend auf einer molaren Gasanalyse als Eingangsgröße*

DIN EN ISO 12213-3, *Erdgas — Berechnung von Realgasfaktoren — Teil 3: Berechnungen basierend auf physikalischen Stoffeigenschaften als Eingangsgrößen*

DIN EN ISO 14532, *Erdgas — Begriffe*

E DIN EN 1776:2014-01, *Gasinfrastruktur — Erdgasmesssysteme — Funktionale Anforderungen; Deutsche Fassung prEN 1776:2013*

DIN EN 60079-0, *Explosionsgefährdete Bereiche — Teil 0: Betriebsmittel — Allgemeine Anforderungen*

DIN EN 60079-1, *Explosionsfähige Atmosphären — Teil 1: Geräteschutz durch druckfeste Kapselung "d"*

DIN EN 60079-11, *Explosionsgefährdete Bereiche — Teil 11: Geräteschutz durch Eigensicherheit "i"*

DIN EN 60079-14, *Explosionsgefährdete Bereiche — Teil 14: Projektierung, Auswahl und Errichtung elektrischer Anlagen*

DIN EN 60079-15, *Explosionsfähige Atmosphäre — Teil 15: Geräteschutz durch Zündschutzart "n"*

DIN EN 60751 *Industrielle Platin-Widerstandsthermometer und Platin-Temperatursensoren*

DIN EN 60770-1, *Messumformer für industrielle Prozessleittechnik — Teil 1: Methoden für die Bewertung des Betriebsverhaltens*

DIN EN 60770-2, *Messumformer für industrielle Prozessleittechnik — Teil 2: Verfahren für Abnahme und Stückprüfung*

DIN IEC 60381-1, *Analoge Signale für Regel- und Steueranlagen; Analoge Gleichstromsignale*

DIN IEC 60381-2, *Analoge Signale für Regel- und Steueranlagen — Teil 2: Analoge Gleichspannungssignale*

BS 1042-1: *Measurement of fluid flow in closed conduits. Pressure differential devices. Guide to the use of devices specified in sections 1.1 and 1.2* ist zurückgezogen; siehe:

DIN EN ISO 5167-1 *Durchflussmessung von Fluiden mit Drosselgeräten — Teil 1: Blenden, Düsen und Venturirohre in voll durchströmten Leitungen mit Kreisquerschnitt*

DIN 1871, *Gasförmige Brennstoffe und sonstige Gase — Dichte und andere volumetrische Größen*

ISO 4006:1991, *Measurement of fluid flow in closed conduits — Vocabulary and symbols*, siehe:

DIN EN 24006:1993-08, *Durchflussmessung von Fluiden in geschlossenen Leitungen — Begriffe und Formelzeichen (ISO 4006:1991); Deutsche Fassung EN 24006:1993)*

Deutsche Fassung

Erdgas - Messung der Eigenschaften - Wärmewerte und Wobbe-
Index (ISO 15971:2008)

Natural gas - Measurement of properties - Calorific value
and Wobbe index (ISO 15971:2008)

Gaz naturel - Mesurage des propriétés - Pouvoir calorifique
et indice de Wobbe (ISO 15971:2008)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 16. Februar 2014 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN-CENELEC oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
3.1 Wärmewerte und Wobbeindex	6
3.2 Wassergehalt des Gases	7
3.3 Leistungsklassifizierung	7
3.4 Messtechnische Begriffe	8
4 Messprinzipien	9
4.1 Einleitung.....	9
4.2 Direkte Verbrennungskalometrie	10
4.3 Indirekte Verfahren	10
4.3.1 Allgemeines	10
4.3.2 Stöchiometrische Verbrennung	11
4.3.3 Katalytische Verbrennung	11
4.4 Herleitungsverfahren	11
5 Leistungsbeurteilung und Abnahmeprüfungen	12
5.1 Leistungsbeurteilung für die Messgeräteauswahl	12
5.1.1 Allgemeines	12
5.1.2 Stetigkeit des Betriebs	14
5.1.3 Richtigkeit des Wärmewerts	17
5.1.4 Wiederholpräzision	18
5.1.5 Ansprechdauer	19
5.1.6 Temperaturabhängigkeit	20
5.1.7 Luftdruckabhängigkeit	22
5.1.8 Andere Umgebungsfaktoren	22
5.1.9 Installationsfaktoren	23
5.1.10 Auswirkung von Nicht-Alkan-Gasen	24
5.1.11 Unversehrtheit der berechneten Mittelwerte	24
5.1.12 Sicherheit von Messgerät und dessen Aufzeichnungen	25
5.1.13 Ausfallsicherer Betrieb	25
5.2 Werks- und Vor-Ort-Abnahmeprüfung	26
5.2.1 Allgemeines	26
5.2.2 Werksabnahmeprüfung	27
5.2.3 Wareneingangsprüfung	28
5.2.4 Vor-Ort-Abnahmeprüfung	28
6 Probenahme- und Installationsanleitungen	28
6.1 Probenahme	28
6.2 Installationsanleitungen	29
6.2.1 Verbrennungskalorimeter	29
6.2.2 Messgeräte mit stöchiometrischer Verbrennung	30
6.2.3 Messgeräte mit katalytischer Verbrennung	31
6.2.4 Inferentielle Messgeräte	31
7 Kalibrierung	32
7.1 Kalibrierverfahren	32
7.1.1 Allgemeines	32

7.1.2	Mehrpunktkalibrierung.....	32
7.1.3	Einpunktkalibrierung.....	33
7.1.4	Kalibrierhäufigkeit	33
7.2	Kalibriergase.....	33
8	Verifizierung	34
8.1	Verifizierungsverfahren	34
8.1.1	Allgemeines	34
8.1.2	Einpunktverifizierung.....	35
8.1.3	Mehrpunktverifizierung.....	35
8.2	Verifizierungsgase.....	36
9	Instandhaltung	36
9.1	Vorbeugende Instandhaltung.....	36
9.2	Instandsetzungswartung	36
10	Qualitätskontrolle	36
10.1	Allgemeines	36
10.2	Umgebungsparameter und Zusatzausrüstung	38
10.2.1	Allgemeines	38
10.2.2	Umgebungsbedingungen	38
10.2.3	Beschaffenheit der Verbrennungsluft.....	38
10.2.4	Kalibrier- und Verifizierungsgase.....	38
10.2.5	Zustand der Zusatzausrüstung.....	38
10.2.6	Anormale elektrische Übertragung	39
10.3	Gerätefaktoren	39
Anhang A (normativ) Formelzeichen und Einheiten.....		40
Anhang B (informativ) Beispiele für Baumusterzulassungs- und technische Spezifikationen		41
B.1	Beispiel einer Baumusterzulassungsspezifikation.....	41
B.2	Beispiel einer technischen Spezifikation	41
Anhang C (informativ) Massebezogene Kalorimetrie der Klasse 0		43
C.1	Prinzip.....	43
C.2	Allgemeines Verfahren.....	43
C.3	Kalibrierung	46
C.3.1	Elektrisches Heizverfahren	46
C.3.2	Verbrennungsverfahren.....	46
Anhang D (informativ) Direkte Verbrennungskalorimetrie		47
Anhang E (informativ) Stöchiometrische Verbrennungsgeräte		50
Anhang F (informativ) Auswirkung von Nicht-Alkan-Gasen auf die stöchiometrische Verbrennung		54
Anhang G (informativ) Messung des Wobbeindex		55
Literaturhinweise.....		56

Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 15971:2014) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 193 „Natural gas“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/SS 21 „Gaseous fuels and combustible gas“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis September 2014, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis September 2014 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 15971:2008 wurde vom CEN als EN ISO 15971:2014 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Einleitung

Die von einem strömenden Erdgas gelieferte Energie wird oft als Produkt aus geliefertem Volumen und Wärmewert je Gasvolumeneinheit bestimmt. Es ist daher wichtig, genormte Verfahren zur Bestimmung des Wärmewertes zur Verfügung zu haben. In vielen Fällen ist es möglich, den Wärmewert des Erdgases bei bekannter Zusammensetzung mit ausreichender Genauigkeit zu berechnen (siehe ISO 6976). Es ist jedoch auch möglich und manchmal vorzuziehen, den Wärmewert mit einer von mehreren Techniken, die keine Zusammensetzungsanalyse erfordern, zu messen. In der vorliegenden Norm werden die derzeit gebräuchlichen Verfahren und die vielen Faktoren, die bei Auswahl, Bewertung, Leistungsbeurteilung, Installation und Betrieb eines geeigneten Messgeräts berücksichtigt werden müssen, genau behandelt. Die Messung des Wobbeindex, einer mit dem Heizwert eng verwandten Eigenschaft, wird in einem informativen Anhang kurz beschrieben, in den normativen Teilen dieser Internationalen Norm aber nicht detailliert behandelt.

1 Anwendungsbereich

Die vorliegende Internationale Norm behandelt die Messung des Wärmewerts von Erdgas und Syntheseeerdgasen mit nicht-trennenden Verfahren, d. h. Verfahren, die weder eine Bestimmung der Gaszusammensetzung noch eine Berechnung aus dieser erfordern. Die Norm beschreibt die Prinzipien des Betriebs einer Auswahl von für diesen Zweck gebräuchlichen Messgeräten und enthält Anleitungen für die Auswahl, Bewertung, Leistungsbeurteilung, Installation und den Betrieb dieser.

Wärmewerte können auf Grundlage der Masse, Stoffmenge oder Volumen angegeben werden, wobei Letztgenanntes die gebräuchlichste Form ist. Der Arbeitsbereich für den volumenbezogenen Brennwert von Erdgas liegt üblicherweise zwischen 30 MJ/m^3 und 45 MJ/m^3 bei Standardbezugsbedingungen (siehe ISO 13443). Der zugehörige Bereich für den Wobbeindex liegt gewöhnlich zwischen 40 MJ/m^3 und 60 MJ/m^3 .

Durch diese Internationale Norm werden die Behauptungen eines gewerblichen Herstellers bezüglich der Leistung eines Messgeräts weder bestätigt noch angefochten. Die zentrale Behauptung ist, dass die Zweckmäßigkeit für eine bestimmte Anwendung (definiert in Form einer Reihe von spezifischen Betriebsanforderungen) nur mit Hilfe eines sorgfältig gestalteten Programms von experimentellen Untersuchungen beurteilt werden kann. Für diese Prüfungen werden Anleitungen bezüglich des sachgerechten Inhalts bereitgestellt.

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 5725-6, *Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results — Part 6: Use in practice of accuracy values*

ISO 6976:1995, *Natural gas — Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe index from composition*

ISO 14532: 2001, *Natural gas — Vocabulary*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1 Wärmewerte und Wobbeindex

3.1.1

Brennwert

Wärmemenge, die bei vollständiger Verbrennung einer gegebenen Gasmenge (auf Stoffmengen-, Masse- oder Volumenbasis) in Luft frei werden würde, wobei der Druck p , bei dem die Reaktion abläuft, konstant bleibt, und alle Verbrennungsprodukte auf die gleiche gegebene Temperatur T wie die der Reaktionspartner zurückgeführt werden; alle diese Verbrennungsprodukte liegen gasförmig vor, mit Ausnahme des bei der Verbrennung entstandenen Wassers, das bei der Temperatur T in den flüssigen Zustand kondensiert

Siehe ISO 6976.

3.1.2

Heizwert

Wärmemenge, die bei vollständiger Verbrennung einer gegebenen Gasmenge (auf Stoffmengen-, Masse- oder Volumenbasis) in Luft frei werden würde, wobei der Druck p , bei dem die Reaktion abläuft, konstant bleibt, und alle Verbrennungsprodukte auf die gleiche gegebene Temperatur T wie die der Reaktionspartner zurückgeführt werden; dabei liegen alle diese Verbrennungsprodukte gasförmig vor

Siehe ISO 6976.

3.1.3

Wobbeindex

Quotient aus dem volumenbezogenen Brennwert bei gegebenen Referenzbedingungen und der Quadratwurzel aus der relativen Dichte bei gleichen gegebenen Referenzbedingungen für die Volumenmessung

Siehe ISO 6976.

3.1.4

Standardbezugsbedingungen

Temperatur, $T = 288,15$ K, und (absoluter) Druck, $p = 101,325$ kPa, für das trockene reale Gas

Siehe ISO 13443.

ANMERKUNG Die Standardbezugsbedingungen (oder Grundzustände) für Temperatur, Druck und Feuchte (Grad der Sättigung) sind lediglich für die Anwendung bei Erdgas und ähnliche Anwendungen festgelegt. Für den volumenbezogenen Wärmewert gelten diese Bedingungen für die Volumenmessung und die Verbrennung des Gases. Für die Angabe physikalischer Größen in dieser gesamten Internationalen Norm gelten diese Standardbezugsbedingungen entsprechend ihrer Definition in ISO 13443.

3.2 Wassergehalt des Gases

3.2.1

gesättigtes Gas

Erdgas, das unter den festgelegten Bedingungen von Temperatur und Druck seinen Wasser-Taupunkt hat

3.2.2

trockenes Erdgas

Erdgas, bei dem der Stoffmengenanteil von Wasserdampf maximal 0,000 05 beträgt

Siehe ISO 6976.

3.2.3

partiell gesättigtes oder nasses Gas

Erdgas, das unter den festgelegten Bedingungen von Temperatur und Druck eine Menge an Wasserdampf zwischen der des gesättigten Gases und der des trockenen Gases enthält

3.3 Leistungsklassifizierung

ANMERKUNG Das folgende Klassifizierungsschema wurde aufgenommen, um die mit der Messung von Wärmewerten verbundenen Unsicherheiten einzustufen. Die zugehörigen Anmerkungen dienen der Erklärung und sind nicht Teil der Begriffsdefinitionen. Die angegebenen Werte beziehen sich auf eine erweiterte Unsicherheit mit einem Erweiterungsfaktor von 2.

3.3.1

Klasse 0

Leistung, mit der Unsicherheitsgrenzen von höchstens $\pm 0,1$ % im Wärmewert verbunden sein können

ANMERKUNG Eine Leistung dieser Qualität kann derzeit nur von Messgeräten erreicht werden, in denen alle Vorgänge unter strenger Einhaltung der besten messtechnischen Praktiken erfolgen und in denen alle relevanten physikalischen Messungen direkt auf metrologische Primärnormale zurückgeführt werden können. Ein derartiges Messgerät ist üblicherweise eine Einzelanfertigung und wird in einem zweckentsprechend gebauten Speziallaboratorium mit Klimaregelung installiert; ein speziell ausgebildeter und benannter Bediener kann notwendig sein. Messgeräte dieser Art werden manchmal als „Referenzkalorimeter“ bezeichnet und alle, zumindest bis heute, messen diskontinuierlich Einzelproben des Gases.

3.3.2

Klasse 1

Leistung, mit der Unsicherheitsgrenzen von höchstens $\pm 0,1$ MJ/m³ im volumenbezogenen Wärmewert (etwa 0,25 %) verbunden sein können

ANMERKUNG Dies ist das geringste Niveau der Messunsicherheit für alle derzeit im Handel erhältlichen Arten von Messgeräten, die im Feld (d. h. nicht im Laboratorium) routinemäßig betrieben werden. Selbst für diese wenigen Messgerätetypen, die an sich diese Leistung erzielen können, ist es unwahrscheinlich, dass sie die Leistung erreichen, solange die Installation nicht den Herstelleranweisungen und den Prinzipien dieser Internationalen Norm entspricht und der Betrieb nicht in Übereinstimmung mit den in dieser Internationalen Norm beschriebenen Verfahren für Kalibrierung, Verifizierung, Instandhaltung und Qualitätskontrolle erfolgt.

3.3.3 **Klasse 2**

Leistung, mit der Unsicherheitsgrenzen von höchstens $\pm 0,2 \text{ MJ/m}^3$ im volumenbezogenen Wärmewert (etwa 0,5 %) verbunden sein können

3.3.4 **Klasse 3**

Leistung, mit der Unsicherheitsgrenzen von höchstens $\pm 0,5 \text{ MJ/m}^3$ im volumenbezogenen Wärmewert (etwa 1,0 %) verbunden sein können

3.4 Messtechnische Begriffe

ANMERKUNG Die folgenden Begriffsdefinitionen, einschließlich zugehöriger Anmerkungen (Anmerkung zu 3.4.6 ausgenommen), wurden EN ISO 14111 entnommen, in der zusätzliche Erläuterungen enthalten sind.

3.4.1 **Genauigkeit**

Ausmaß der Annäherung eines Messergebnisses an den wahren Wert der Messgröße

ANMERKUNG Wird der Begriff „Genauigkeit“ auf eine Serie von Messergebnissen angewendet, so umfasst er eine Kombination von Zufallskomponenten sowie eine gemeinsame systematische Abweichungskomponente.

3.4.2 **Richtigkeit**

Ausmaß der Annäherung des Mittelwerts einer großen Anzahl von Messergebnissen an den wahren Wert der Messgröße

ANMERKUNG Das Maß der Richtigkeit wird üblicherweise in Form der systematischen Abweichung (Bias) angegeben.

3.4.3 **systematische Abweichung** **Bias**

Differenz zwischen dem Erwartungswert der Messergebnisse und einem anerkannten Bezugswert

3.4.4 **Präzision**

Ausmaß der gegenseitigen Annäherung zwischen unabhängigen Messergebnissen, die unter festgelegten Bedingungen erhalten wurden

ANMERKUNG Die Präzision hängt ausschließlich von der Verteilung zufälliger Abweichungen ab und bezieht sich nicht auf den wahren Wert.

3.4.5 **Wiederholpräzision** **Wiederholbarkeit**

Präzision unter Bedingungen, bei denen mit dem gleichen Verfahren an identischen Messobjekten im selben Laboratorium durch den gleichen Ausführenden in kurzen Zeitabständen individuelle Messergebnisse erhalten werden

ANMERKUNG Die Wiederholpräzision wird auf Grundlage der Standardabweichung der Ergebnisse quantitativ angegeben.

3.4.6

Unsicherheit

Messunsicherheit

einem Messergebnis zugeordneter Schätzwert, der zur Kennzeichnung eines Wertebereichs für den wahren Wert der Messgröße dient

ANMERKUNG Eine alternative, aber gleichwertige Definition nach Literaturhinweis [1] lautet folgendermaßen: dem Messergebnis zugeordneter Parameter, der die Streuung der Werte kennzeichnet, die vernünftigerweise der Messgröße zugeordnet werden könnte.

3.4.7

Kalibrierung

Tätigkeiten zur Ermittlung des Zusammenhangs zwischen den ausgegebenen Werten eines Messgeräts oder einer Messeinrichtung oder den von einer Maßverkörperung oder von einem Referenzmaterial dargestellten Werten und den zugehörigen, durch Normale festgelegten Werten einer Messgröße unter vorgegebenen Bedingungen

3.4.8

Verifizierung

Bestätigung durch Untersuchung und Bereitstellung eines objektiven Nachweises, dass festgelegte Anforderungen erfüllt sind

4 Messprinzipien

4.1 Einleitung

Messgeräte, die die Leistung der Klasse 0 erbringen können (nachfolgend als Kalorimeter der Klasse 0 bezeichnet), wurden in einigen Speziallaboratorien realisiert; da sie aber zwangsläufig sehr arbeitsintensive Messgeräte für den Vor-Ort-Gebrauch und weder im Handel erhältlich noch für den Feldeinsatz geeignet sind, liegen die Einzelheiten zu deren Installation, Betrieb und Instandhaltung außerhalb vom Anwendungsbereich des Hauptteils der vorliegenden Internationalen Norm.

Dennoch können mit Kalorimetern dieser Art durchgeführte Messungen eine wichtige Rolle in der „alltäglichen“ Bestimmung von Wärmewerten spielen, hauptsächlich als ein mögliches zugelassenes Mittel für die Bereitstellung zertifizierter Kalibriergase (zertifizierte gasförmige Referenzmaterialien) mit Rückverfolgbarkeit auf internationale Messnormale (siehe 7.2). Sie können auch für Forschungszwecke und zur Lösung von Streitfragen verwendet werden.

Die Funktionsprinzipien von typischen Kalorimetern der Klasse 0 sind in Anhang C zusammen mit den Einzelheiten zu vielen anderen relevanten Faktoren angegeben. Alle bisher entwickelten Kalorimeter der Klasse 0 liefern als ihre primäre Bestimmung den Wärmewert auf Massebasis. Um für die meisten Routineanwendungen nützlich zu sein, ist es notwendig, diesen Wert durch Sekundärverfahren in den volumenbezogenen Wert zu überführen. Um einen volumenbezogenen Wert mit einer Unsicherheit von $\pm 0,1\%$ zu erhalten, ist es üblich, zusammen mit den Messgeräten dieses Typs ein Dichtemessgerät ausreichender Genauigkeit zu verwenden.

Kalorimeter, die die Leistung der Klasse 1, Klasse 2 oder Klasse 3 erbringen können, messen gewöhnlich den volumenbezogenen Wärmewert. Sie sind normalerweise für den stetigen, unbeaufsichtigten Feldeinsatz ausgelegt und liefern eine im Wesentlichen ununterbrochene Aufzeichnung des Wärmewerts. Mit Ausnahme von Prozessgaschromatographen (die nicht Gegenstand dieser Internationalen Norm sind) stellen sie die einzigen Arten von Messgeräten dar, die für Routinemessungen des Wärmewerts von Erdgas, das durch Fernleitungs- und Verteilungssysteme strömt, vernünftig eingesetzt werden können.

Die Funktionsweise kann entweder direkt, indirekt oder inferentiell (Messung durch Herleitung) sein, wobei die Bedeutung dieser Begriffe ISO 14532 entspricht. Diese Internationale Norm betrifft hauptsächlich die Leistung dieser Art Messgeräte. Einige Messgeräte haben eine zusätzliche Einrichtung zum Messen der relativen Dichte; in diesen Fällen ist die Fähigkeit gleichwertig zur Bereitstellung der Bestimmung des massebezogenen Wärmewerts sowie des Wobbeindex.

In Abhängigkeit von der jeweiligen Anwendung können Messgeräte zum Aufzeichnen des Brennwertes oder Heizwertes erforderlich sein. Obwohl jeder einzelne Messgerätetyp im Prinzip auf den einen oder anderen dieser Werte anspricht, können die meisten Typen so eingestellt werden, dass sie den anderen Wert bei typischen Erdgasen mit geringem Genauigkeitsverlust aufzeichnen können. Um dies zu erreichen, muss das Messgerät als Hauptanforderung mittels entsprechend zertifizierten Kalibriergasen eingerichtet werden (siehe auch 5.1.10.2).

4.2 Direkte Verbrennungskalometrie

Es fallen nur diejenigen Messgeräte in die Kategorie der direkten Messung, die wahre Verbrennungskalorimeter in dem Sinne darstellen, dass die als Wärme durch Verbrennung des Gases freigesetzte Energie mittels Temperaturmessung bestimmt wird. Alle derzeit im Handel erhältlichen Ausführungen bestimmen den volumenbezogenen Wärmewert.

Bei diesem Messgerätetyp wird die Gasprobe auf stetiger Basis volumetrisch gemessen, oft durch Gebrauch eines wasserdichteten Nassgaszählers (Literaturhinweis [2], Kapitel 4 und ISO 6145-1), bevor es zu einem Brenner geleitet wird. Die Hauptmessung besteht in dem quasi-stationären (Gleichgewichts-)Temperaturanstieg eines kontinuierlich strömenden (gemessenen) Wärmeaustauschmediums, mit dem sich die heißen Verbrennungsprodukte nicht mischen.

Das Wärmeaustauschmedium ist gewöhnlich Luft; (Wasser-)Strömungs-Kalorimeter (Junkers-Kalorimeter) gibt es in einer Vielzahl von Formen, jedoch sind all diese veraltet. Der Temperaturanstieg wird üblicherweise mit Widerstandsthermometrie gemessen. Die Kalibrierung erfolgt gewöhnlich durch Verwendung von gasförmigen Referenzmaterialien (Arbeitsnormale), die bezüglich des Wärmewerts zertifiziert sind.

Wärmewerte werden mit diesem Verfahren üblicherweise bei Umgebungsdruck und -temperatur gemessen. Es ist jedoch notwendig, die aufgezeichneten Werte sowohl für die Messung als auch Verbrennung auf festgelegte Referenzbedingungen von Temperatur und Druck zu beziehen. Aus diesem Grund können Vorabinformationen bezüglich der Stabilität des Ausgangs im Hinblick auf die Änderungen der Umgebungstemperatur wichtig sein (siehe 5.1.6).

Es ist außerdem wichtig, für das Gas die Referenzbedingung des Wassergehalts festzulegen, insbesondere wenn das Messgerät den Wassergehalt des Gases vor oder während des Messprozesses regelt (entweder durch Sättigen oder Trocknen). Bei Standardbezugsbedingungen beträgt die Differenz zwischen dem Brennwert eines trockenen Gases und dem eines gesättigten Gases etwa 1,7 %.

Messgeräte dieses Typs werden üblicherweise so eingerichtet, dass sie den Brennwert aufzeichnen. Einer der Hauptvorteile wahrer Verbrennungskalorimeter ist, dass es keine Einschränkungen bezüglich der Zusammensetzung des Probengases gibt, für das sie ein richtiges Ergebnis liefern sollen.

Auf dieser allgemeinen Methodik beruhende Kalorimeter (Literaturhinweis [2], Kapitel 10; Literaturhinweis [6], Kapitel 7; und Literaturhinweise [3] bis [5]) sind oft in der Lage, eine Leistung der Klasse 1 zu erbringen, zeigen jedoch auf Grund der thermischen Trägheit normalerweise ein ziemlich träges Ansprechverhalten auf Änderungen im Wärmewert.

Typische Beispiele für diese Art Kalorimeter sind in Anhang D beschrieben.

4.3 Indirekte Verfahren

4.3.1 Allgemeines

In die „indirekte“ Kategorie fallende Messgeräte messen eine gewisse physikochemische Eigenschaft des Gases und nutzen einen bekannten, durch praktische Beobachtung sowie theoretische Analyse hergestellten Zusammenhang zwischen Wärmewert und gemessener Eigenschaft, um den Wärmewert, entweder Brennwert oder Heizwert, des Gases herzuleiten.

4.3.2 Stöchiometrische Verbrennung

Messgeräte dieses Typs hängen von dem Prinzip ab, dass bei einem Gasgemisch, das ausschließlich Alkan-Kohlenwasserstoffe und inerte Bestandteile enthält, der volumenbezogene Wärmewert (entweder Brenn- oder Heizwert) eine lineare Funktion des Luft-Gas-Verhältnisses darstellt, das zum Erreichen einer stöchiometrischen Verbrennung notwendig ist.

Es gibt mindestens zwei Wege für die Umsetzung dieses Prinzip in einem praktischen Gerät. Bei der einen Umsetzung wird der stöchiometrische Punkt durch Ermitteln des Luft-Gas-Verhältnisses, bei dem die Menge des elementaren Sauerstoffs in den Produkten der vollständigen Verbrennung null ist, bestimmt. Bei der anderen Umsetzung wird der stöchiometrische Punkt durch Ermitteln des Luft-Gas-Verhältnisses bestimmt, bei dem die maximale Flammentemperatur erreicht wird.

Ein Nachteil der Messgeräte, die auf Grundlage dieses Prinzips arbeiten, ist die Anforderung der Bestätigung, dass das Probengas ausschließlich Alkane und inerte Bestandteile enthält. Jegliche anderen Bestandteile (zum Beispiel Alkene, Wasserstoff, Kohlenstoffmonoxid und schlimmstenfalls Sauerstoff) können am Messgerät die Ausgabe eines falschen Ablesewerts hervorrufen; in einigen Fällen können Fehler durch ein Korrekturverfahren berichtigt werden.

Auf diesem Prinzip beruhende Messgeräte [7] können leicht eine Leistung von mindestens der Klasse 2 erreichen und zeigen üblicherweise ein schnelles Ansprechen auf Änderungen im Wärmewert.

Einige praktische Einzelheiten dieser Geräte sind in Anhang E angeführt.

4.3.3 Katalytische Verbrennung

Messgeräte dieses Typs beruhen auf dem Prinzip, dass die Bestimmung der während der vollständigen Oxidation (Verbrennung) eines Gases an einer katalytischen Oberfläche freigesetzten Wärmemenge ein genau repräsentatives Maß für den Wärmewert des Gases ist.

Bei einer Umsetzung wird ein semi-kontinuierlich gemessener Durchfluss des Brenngases (d. h. EIN-AUS-EIN) an der Oberfläche eines katalysatorbeschichteten Leiters oxidiert, und die durch diesen Verbrennungsprozess freigesetzte Wärme erhöht die Temperatur des Leiters und beeinflusst somit dessen elektrischen Widerstand. Der elektrische Widerstand kann zum Verfolgen des Temperaturanstiegs über die EIN-Periode des Gasstroms direkt herangezogen werden und der integrierte Temperaturanstieg für diese Periode kann anschließend als ein Indikator des Heizwertes verwendet werden.

Bei einer anderen Umsetzung erfolgt der Oxidationsprozess innerhalb einer Packung von pulverförmigem Katalysatormaterial. Die Durchflussmenge des Brenngases (bei konstanter Durchflussmenge der Luft), die notwendig ist, um die Reaktionskammer bei einer konstanten Temperatur zu halten, wird gemessen und als Indikator des Heizwertes verwendet.

Die in diesem Unterabschnitt beschriebenen Messgeräte mit katalytischer Verbrennung [8] [9] befinden sich im fortgeschrittenen Entwicklungsstand, sind aber noch nicht im Handel erhältlich; daher kann ihr Leistungsvermögen derzeit nicht beurteilt werden.

4.4 Herleitungsverfahren

Die Trennlinie zwischen indirekten Verfahren und Herleitungsverfahren ist eher unscharf. Es kann logisch argumentiert werden, dass alle Bestimmungen des Wärmewerts in gewissem Sinne inferentiell sind. In diesem Dokument werden Herleitungsverfahren so verstanden, dass sie von einer empirischen (oder möglicherweise semi-empirischen) Beziehung zwischen Wärmewert und einer oder mehrerer anderer gemessener Eigenschaften abhängen.

Beispiele für relevante Eigenschaften, die in dieser Weise als Vorhersagevariable für den Wärmewert herangezogen werden können, sind Kompressibilitätsfaktor (der mit dem Wärmewert über die SGERG-88-Gleichung [10] im Zusammenhang steht) und Schallgeschwindigkeit. Keine dieser Eigenschaften ist allein für die eindeutige Bestimmung des Wärmewerts ausreichend (es sind weitere Informationen über die inerten Bestandteile erforderlich), und es wurde bisher kein handelsübliches Gerät hergestellt, das einen derartigen Zusammenhang nutzt. Allerdings lässt die große Genauigkeit, mit der die Schallgeschwindigkeit leicht gemessen werden kann, eine mögliche zukünftige Rolle für ein Verfahren auf Grundlage dieses Prinzips vermuten.

Derzeit sind jedoch Messgeräte, die am besten als inferentiell eingestuft werden können, sowohl im Prinzip als auch baulich viel primitiver. In typischen Messgeräten dieser Art wird eine vermutlich konstante Teilmenge der durch Verbrennung einer geregelten Durchflussmenge des Brenngases freigesetzten Wärme durch eine spezielle Einrichtung erfasst (aber nicht gemessen) und empirisch mit dem Wärmewert in Zusammenhang gestellt.

Bei einer seit langem realisierten Umsetzung dieses Prinzips (Literaturhinweis [2], Kapitel 10 und Literaturhinweis [6], Kapitel 6) stellt der aus zwei konzentrischen, starr am Boden verbundenen Metallröhren bestehende Rauchabzug des Brenners den Messgrößenfühler dar; die beiden Röhren dehnen sich in unterschiedlichen Ausmaß aus, das von der Wärme abhängt, die von den Brenngasen übertragen wird, und als Indikator für die Angabe des Wärmewerts herangezogen werden kann. Bei einer anderen Umsetzung [4] besteht der Messfühler aus einer einzigen Wärmedehnungs-Metallröhre, die im ausströmenden Gasstrom angeordnet ist; und bei einer etwas moderneren Umsetzung ist es eine ähnlich angeordnete Thermosäule, deren Ausgang als Indikator für den Wärmewert verwendet wird. In keinem dieser Messgeräte ist das Verbrennungswasser kondensiert; demzufolge sprechen im Prinzip alle Geräte auf den Heizwert an.

Als eine Folge ihrer bestätigten Einfachheit kann üblicherweise von keinem der Messgeräte diese Grundtyps erwartet werden, dass sie außer unter günstigsten Bedingungen eine bessere Leistung als Klasse 3 erreichen.

Über die Jahre wurden viele andere Funktionsprinzipien beschrieben, es wird hierin aber nicht beabsichtigt, Ideen zu beschreiben, die keine Anwendung mehr finden bzw. nie fanden oder die wahrscheinlich keine begründete weitläufige Anwendung finden werden. Es gibt zahllose dieser „bedeutungslosen“ Patente (Sackgassentechnologien).

5 Leistungsbeurteilung und Abnahmeprüfungen

Das in Bild 1 dargestellte Fließschema bietet einen Überblick der Verfahren, die üblicherweise durchgeführt werden müssen, um die Anforderungen an die Leistungsbeurteilung und Abnahmeprüfungen zu erfüllen. Spezifische Einzelheiten sind in 5.1 und 5.2 angeführt.

5.1 Leistungsbeurteilung für die Messgeräteauswahl

5.1.1 Allgemeines

Bei jeder Anwendung ist es notwendig, dass ein Messgerät zum Messen von Wärmewerten einige Annahmekriterien erfüllt. Zwei übliche Formen, die diese Kriterien für ein im Handel erhältliches Messgerät annehmen können, sind:

- a) eine Reihe von Anforderungen, die erfüllt werden müssen, damit das Messgerät eine Bauartzulassung erhält; in einigen Fällen kann diese von einer Körperschaft des öffentlichen Rechts, die für die Überwachung des eichpflichtigen Verkehrs oder Kundentarifizierung verantwortlich ist, ausgestellt werden;
- b) eine technische Spezifikation für Kaufvertragszwecke.

Anhang B enthält ein Beispiel einer typischen Spezifikation für die Bauartzulassung (Abschnitt B.1) und eine typische technische Spezifikation, die einen Teil der Kaufunterlagen bildet (Abschnitt B.2).

5.1 bezieht sich auf die Prüfungen zur Leistungsbeurteilung, die üblicherweise an (gewöhnlich) einem einzigen Messgerät als Baumuster dieses Typs durchgeführt werden müssen. 5.1.2 bis 5.1.13 werden als die Faktoren erachtet, die den am häufigsten festgelegten Faktoren in einem formalen Satz Anforderungen entsprechen, wie die in diesem Unterabschnitt angeführten. Ein zweckdienliches Prüfprogramm enthält wahrscheinlich die Untersuchung der meisten, wenn nicht aller, dieser Aspekte der Messgeräteleistung.

Das Prüfprogramm muss eine Spezifikation für die Kalibrier- und anderen Prüfgase enthalten, die für die Durchführung vieler Aspekte der detaillierten Prüfung und Kalibrierung erforderlich sind, obwohl einige Prüfgase möglicherweise keine Zertifizierung erfordern. Des Weiteren muss jede als Ergebnis des Prüfprogramms erstellte Dokumentation zur Typenzulassung eine Spezifikation für die Gase enthalten, die für die Neukalibrierung und die Verifizierungsverfahren vor Ort verwendet werden, damit die Erlangung und Beibehaltung der festgelegten Genauigkeit sichergestellt werden.

In dieser Internationalen Norm berücksichtigte Messgeräte aller Typen erbringen im Allgemeinen ihre optimale Leistung, wenn sie in stetigem On-line-Betrieb belassen werden; Anforderungen, die lediglich periodischen oder Off-line-Betrieb verlangen, erfordern besondere Sorgfalt und gesonderte Vorprüfungen (siehe 5.1.3).

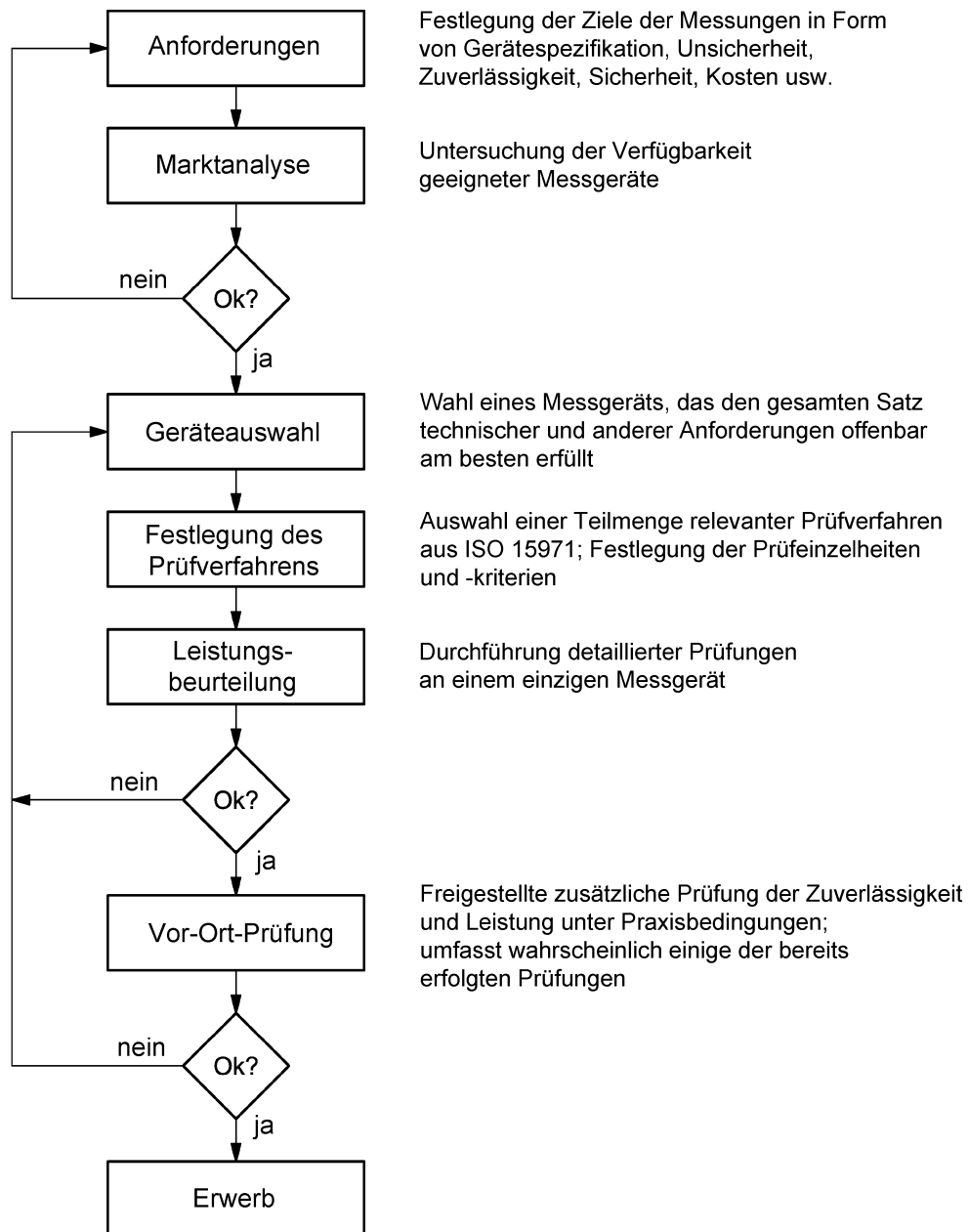


Bild 1 — Messgerätebewertung, Leistungsbeurteilung und Abnahmeprüfung

In Abhängigkeit von den jeweiligen Umständen kann eine Prüfung zur Leistungsbeurteilung durch eine Aufsichtsbehörde, ein unabhängiges zugelassenes Prüflaboratorium und/oder den Käufer durchgeführt werden. Bei Durchführung durch eine Aufsichtsbehörde können die Prüfungen zu einer Bauartzulassungsdokumentation führen. Es besteht ein deutlicher Kompromiss zwischen der für eine Reihe von Leistungsprüfungen eingeräumten Zeitspanne und dem Umfang an Einzelheiten, die dabei zu einem Messgerät erhalten werden. Wenn eine Aufsichtsbehörde eine gründliche Charakterisierung aller Leistungsaspekte fordert, kann sich das Prüfprogramm leicht über mehr als eine Zeit von einem Jahr oder länger erstrecken.

Eine Pro-forma-Prüfliste der in Tabelle 1 angegebenen Form kann ein hilfreiches Mittel zum Nachverfolgen des Prozesses und der Ergebnisse eines langandauernden Bewertungsprogramms sein.

5.1.2 Stetigkeit des Betriebs

Es ist wahrscheinlich, dass eine ausdrückliche Anforderung an das Messgerät darin besteht, dass es für eine festgelegte Zeitspanne (und in bei den meisten Anwendungen stetig) in Betrieb ist und richtig funktioniert. Wenn eine bestimmte Anwendung ausschließlich einen periodischen Betrieb erfordert, sollten die Richtigkeitsprüfungen (siehe 5.1.3) diesen erschwerenden Faktor als Priorität berücksichtigen, bevor mit weiteren Prüfungen fortgesetzt wird.

Im Fall des Dauerbetriebs sollte das Messgerät einfach durch Betreiben ohne Unterbrechung oder übermäßige Störung (wie unplanmäßige Änderungen an Einstellungen) für eine stetige Zeitspanne, die die geforderte Mindestbetriebsdauer um einen festgelegten Prozentwert überschreitet, geprüft werden. Dies kann in Abhängigkeit von der Anwendung zwischen einigen Tagen und mehreren Monaten beanspruchen. Es kann jedoch möglich sein, während dieser Zeit andere Prüfungen, zum Beispiel Richtigkeits- und Wiederholpräzisionsprüfungen, ohne Nachteil für die Stetigkeitsprüfung (Zuverlässigkeitsprüfung) durchzuführen.

Die mindestens einmalige Wiederholung der Stetigkeitsprüfung (Zuverlässigkeitsprüfung) nach einer planmäßigen Instandhaltung entsprechend den Herstelleranweisungen ist wahrscheinlich eine lohnenswerte Option. Wenn das Messgerät für die festgelegte Zeitspanne nicht ohne Ausfall oder offensichtliche Betriebsstörung betrieben werden kann, besteht es diese Prüfung nicht.

Die Ergebnisse einer abgeschlossenen Prüfung können ausgewertet werden, um die Zeitspanne zu ermitteln, für die die festgelegte Geräteleistung erreicht wurde. Wenn diese kürzer als die Mindestdauer ist, für die der ordnungsgemäße Betrieb gefordert wird, hat das Messgerät wieder versagt. In diesem Fall kann es immer noch möglich sein, das Messgerät in Anwendungen einzusetzen, bei denen eine kürzere Zeitspanne des zufriedenstellenden Dauerbetriebs vertretbar ist.

Wenn keine explizite Anforderung an eine Mindestbetriebsdauer gestellt wird, ist es möglich, die Bestimmung der Häufigkeit von Instandhaltungsarbeiten durch Betriebserfahrung zuzulassen, d. h. die Instandhaltungsarbeiten sind eher leistungsbezogen als anforderungsbedingt.

Tabelle 1 — Beispiel einer Prüfliste für die Bauartzulassungs- und Abnahmeprüfung

Eigenschaft oder Prüfung	Bauartzulassungsprüfung			Werksabnahmeprüfung			Vor-Ort-Abnahmeprüfung		
	gefordert	Ergebnis	be- standen/ versagt	festgelegt	Ergebnis	be- standen/ versagt	festgelegt	Ergebnis	be- standen/ versagt
1 Stetigkeit des Betriebs Dauerbetrieb innerhalb des festgelegten Höchstfehlers von 0,25 MJ/m ³ Prüfdauer	6 Monate	7 Monate	bestanden	1 Monat	1 Monat	bestanden	3 Monate	3 Monate	bestanden
2 Richtigkeit des Wärmewerts Anzahl an Prüfgasen Bereich, MJ/m ³ Linearität, MJ/m ³	7 31<WW<46 < 0,10			5 35<WW<42 < 0,10	0,05	bestanden	Anwendungsgase nicht geprüft		
3 Wiederholpräzision Mehrfachmessungen Typ b) Anzahl an Prüfmessungen Varianz, MJ/m ³	40 < 0,10	0,08	bestanden	20 < 0,10	0,05	bestanden	20 < 0,10	0,06	bestanden
4 Ansprechen auf sprunghafte Änderung des Wärmewerts Schritt, MJ/m ³ 95 % Ansprechdauer	38 bis 42 < 4 min	2 min 35 s	bestanden	40 bis 41 < 3 min	1 min 53 s	bestanden	40 bis 41 < 3 min	1 min 42 s	bestanden
5 Temperaturabhängigkeit maximaler Wärmewert-Fehler für Temperaturänderung									
5.1 Stationärer Zustand Bereich, °C Fehler, MJ/m ³	15 bis 30 < 0,10	0,13	versagt	15 bis 25 < 0,10	0,08	bestanden	natürliche Schwankungen (3 Monate) < 0,05 0,04 bestanden		
5.2 Dynamisch Bereich, °C Rate, K/h Fehler, MJ/m ³	15 bis 30 5 < 0,20	0,14	bestanden	natürliche Schwankungen nicht geprüft			natürliche Schwankungen (3 Monate) < 0,05 0,04 bestanden		
6 Luftdruckabhängigkeit Bereich, hPa Fehler MJ/m ³	970 bis 1 040 < 0,10	0,11	versagt	natürliche Schwankungen < 0,05 0,05 bestanden			natürliche Schwankungen (3 Monate) < 0,05 0,03 bestanden		
7 Andere Umgebungsfaktoren 7.1 Intervall der relativen Luftfeuchte Bereich, % Fehler, MJ/m ³	30 bis 80 < 0,10	0,05	bestanden	natürliche Schwankungen < 0,10 0,05 bestanden			natürliche Schwankungen < 0,10 0,03 bestanden		