

Gasturbinen
Abnahmeregeln für Gasturbinen
Grundlagen

DIN
4341
Teil 1

Gas turbines; acceptance tests
Turbines à gaz; essais de réception

Vorbemerkung

Diese Norm ist eine erweiterte und überarbeitete Fassung der Internationalen Norm ISO 2314, erste Ausgabe 1973-03-01

E: Gas turbines – Acceptance test

F: Turbines à gaz – Essais de réception

die vom ISO/TC 70 „Internal Combustion engines“ aufgestellt worden ist (siehe Erläuterungen).

Die deutschen Ergänzungen, die der Arbeitsausschuß Gasturbinen im Normenausschuß Maschinenbau erarbeitet hat, sind durch eine kleinere und gesperrt gedruckte Schrift kenntlich gemacht. Der übersetzte Text der Internationalen Norm ISO 2314 wurde dem deutschen Sprachgebrauch angepaßt.

Einzelheiten, bei denen ein Übereinkommen zwischen den Vertragsparteien zur Zeit des Abschlusses des Liefervertrags oder vor Beginn der Abnahmeversuche erreicht sein soll, sind durch eine vertikale Linie links neben dem entsprechenden Text gekennzeichnet.

Inhalt

	Seite
1 Geltungsbereich und Zweck	1
2 Mitgeltende Normen und Unterlagen	2
3 Begriffe und Formelzeichen	2
4 Vorbereitungen für Abnahmeversuche	7
5 Betriebsbedingungen für Abnahmeversuche	7
6 Meßgeräte und Meßmethoden	8
7 Versuchsdurchführung	13
8 Auswertung	15
9 Versuchsbericht	22
Anhang A	23
Anhang B	29
Weitere Normen und Unterlagen	30

1 Geltungsbereich und Zweck

1.1 Geltungsbereich

Diese Norm gilt für Gasturbinen, die im offenen Prozeß und mit normalem Verbrennungssystem arbeiten, und dient auch als Grundlage für die in geschlossenen oder halbgeschlossenen Prozessen arbeitenden Gasturbinen. Falls die Gasturbinen mit Freikolbenverdichtern oder mit besonderen Wärmequellen ausgerüstet sind (z. B. chemische Prozesse, Kernreaktoren, Feuerung eines druckgefeuerten Kessels), dann kann diese Norm als Grundlage dienen, muß aber entsprechend angepaßt werden.

1) Siehe Vorbemerkung

1.2 Zweck

In dieser Norm werden Verfahren und Regeln für „Durchführung und Dokumentation“ von Abnahmeversuchen an Gasturbinen angegeben, die dem Nachweis von Leistung, thermischem Wirkungsgrad und anderen zugesicherten Eigenschaften dienen. Weiterhin werden „Norm-Bezugsbedingungen“ definiert, die zu benutzen sind, wenn keine anderen Bezugsbedingungen zwischen den Parteien vereinbart sind ¹⁾. Schließlich werden „Verfahren zur Umrechnung“ der Meßergebnisse vom Meßzustand auf Norm-Bezugsbedingungen bzw. auf andere vereinbarte Bezugsbedingungen

Fortsetzung Seite 2 bis 30
Erläuterungen Seite 30

Normenausschuß Maschinenbau (NAM) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, gestattet.

angegeben. Es ist nicht beabsichtigt, mit dieser Norm Grundlagen für Versuche, die der Forschung und Entwicklung dienen, aufzustellen.

Die Abnahmebedingungen sind erfüllt, wenn gewährleistete Eigenschaften durch Pflicht-Abnahmeversuche nach Abschnitt 1.2.1 nachgewiesen worden sind.

Weiterhin können ergänzende Abnahmeversuche nach Abschnitt 1.2.2 bei der Abnahme vorgenommen werden. Sie sind notwendig, wenn die Parteien bei Abschluß des Vertrages dies ausdrücklich vereinbart haben.

1.2.1 Pflichtabnahmeversuche

Der Hauptzweck dieser Versuche ist es,

- die Leistung bei vereinbarten Betriebsbedingungen (die isentrope Expansionsleistung, wenn nur Turbogasgeneratoren geliefert wurden),
- den thermischen Wirkungsgrad, den bezogenen Wärmeverbrauch oder den Brennstoffverbrauch bei vereinbarten Betriebsbedingungen,
- die Funktionstüchtigkeit der wichtigen Überwachungs- und Schutzeinrichtungen, wie unter Abschnitt 7.1.3 definiert

nachzuweisen.

Unter vereinbarten Betriebsbedingungen sind z. B. die Norm-Bezugsbedingungen nach Abschnitt 3.3 und die vereinbarte Turbinenaustritts- oder -eintrittstemperatur zu verstehen. Die Turbineneintrittstemperatur kann auch nach Abschnitt 8.6.1 indirekt bestimmt werden.

1.2.2 Ergänzende Abnahmeversuche

Ergänzende Versuche können bei der Abnahme durchgeführt werden, aber nur dann, wenn die Parteien bei Abschluß des Vertrages diese ausdrücklich vereinbart haben. Dabei können Nachweise, die u. a. auch durch staatliche und behördliche Auflagen veranlaßt sind, eingeschlossen sein wie:

- Funktion der Regel- und Schutzeinrichtungen, wie in Abschnitt 7.2.1 und Abschnitt 7.2.2 angegeben,
- Betriebseigenschaften (z. B. Startverhalten, Belastungszeit) (siehe Abschnitt 7.2.3),
- Amplitude und Frequenz von Schwingungen (siehe Abschnitt 7.2.4),
- Abgasemissionen (siehe Abschnitt 7.2.5),
- Nachweis der Abwärmenutzung (siehe Abschnitt 7.2.6),
- Geräuschpegel (siehe Abschnitt 7.2.7),
- Wärmeabgabe an die Umgebung (siehe Abschnitt 7.2.8),

2 Mitteltende Normen und Unterlagen

DIN 1945 Teil 1	(z. Z. noch Entwurf) Verdrängerverdichter; Thermodynamische Abnahme- und Leistungsversuche
DIN 4340	Gasturbinen; Begriffe, Benennungen,
DIN 45 635 Teil 15	(z. Z. noch Entwurf) Geräuschmessung an Maschinen; Luftschallmessung, Hüllflächen-Verfahren, Turbosätze
DIN 51 402	Bestimmung der Rußzahl in Abgasen von Ölfeuerungen
DIN 51 700	Prüfung fester Brennstoffe; Allgemeines und Übersicht über Untersuchungsverfahren
DIN 51 718	Feste Brennstoffe; Bestimmung des Wassergehalts
DIN 51 719	Prüfung fester Brennstoffe; Bestimmung des Aschegehalts

DIN 51 720	Prüfung fester Brennstoffe; Bestimmung des Gehaltes an flüchtigen Bestandteilen und der Asche an Tiegelkoks
DIN 51 900 Teil 1	Prüfung fester und flüssiger Brennstoffe; Bestimmung des Brennwertes mit dem Bomben-Kalorimeter und Berechnung des Heizwertes; Allgemeine Angaben, Grundgeräte, Grundverfahren
DIN 51 900 Teil 2	Prüfung fester und flüssiger Brennstoffe; Bestimmung des Brennwertes mit dem Bomben-Kalorimeter und Berechnung des Heizwertes; Verfahren mit isothermem Wassermantel
DIN 51 900 Teil 3	Prüfung fester und flüssiger Brennstoffe; Bestimmung des Brennwertes mit dem Bomben-Kalorimeter und Berechnung des Heizwertes; Verfahren mit adiabatischem Mantel
VDE 0530	Regeln für die Bewertung und Prüfung von elektrischen Maschinen
IEC-Publikation 34-2	Empfehlung für die Bestimmung des Wirkungsgrades umlaufender elektrischer Maschinen

3 Begriffe und Formelzeichen

3.1 Gasturbine

Die Gasturbine ist eine Wärmekraftmaschine mit rotierenden Laufteilen, die Wärmeleistung in mechanische Leistung umsetzt. Sie besteht aus einem oder mehreren Verdichtern, Einrichtungen zur Erhitzung und Kühlung des Arbeitsfluids, einer oder mehreren Turbinen, Regelanlagen und allen notwendigen Ausrüstungen, die eine Abgabe der mechanischen Leistung in brauchbarer Form ermöglichen. Ihr Arbeitsfluid durchströmt stetig einen Prozeß in gasförmigen Zustand und wird dabei zuerst verdichtet, dann erhitzt und anschließend unter Abgabe mechanischer Leistung wieder entspannt (nach DIN 4340). Jeder Wärmeaustauscher im Hauptstrom des Arbeitsfluids ist als Teil der Gasturbine anzusehen (Abwärmeaustauscher sind ausgeschlossen).

Soll die Arbeitsmaschine mit einbezogen werden, gelten folgende Definitionen (nach DIN 4340):

Ein Gasturbosatz ist eine Gasturbine mit angetriebener Arbeitsmaschine (u. U. einschließlich Getriebe).

Eine Gasturbinenanlage ist ein Gasturbosatz einschließlich aller für den Betrieb notwendigen Hilfseinrichtungen (z. B. Schalldämpfer, Abgaskamin, Brennstoffversorgung).

3.2 Turbogasgenerator

Wird dem Arbeitsfluid bei der Expansion nur die zum Antrieb des Verdichters erforderliche Arbeit entzogen, so daß die Abgase noch ein nutzbares Druckgefälle besitzen, dann spricht man von einem Turbogasgenerator. Zusammen mit einer Schubdüse bildet dieser eine Stahlturbine und zusammen mit einer festen Nutzleistungsturbine eine Zweiwellengasturbine mit freier Nutzleistungsturbine (nach DIN 4340).

3.3 Norm-Bezugsbedingungen

Wenn Leistung, Wirkungsgrad, bezogener Wärmeverbrauch oder bezogener Brennstoffverbrauch sich auf Norm-Bezugsbedingungen beziehen, sind folgende Werte einzusetzen:

- a) für den Eintritt in den Verdichter am Verdichterflansch bzw. am Verdichtereintrittsgehäuse nach Abschnitt 6.6.2 und Bild 1:
- Totaldruck 1,013 bar
 - Totaltemperatur 15 °C (Siehe Abschnitt 6.5)
 - relative Feuchte 60 %
- b) für den Austritt aus der Turbine am Turbinenflansch oder Austritt aus dem rekuperativen Wärmeaustauscher, sofern ein solcher vorhanden:
- statischer Druck 1,013 bar
- c) für Kühlwasser, wenn zur Kühlung des Arbeitsfluids vorgesehen:
- Temperatur 27 °C

Anmerkung: In Übereinstimmung mit DIN 4342, aber für Kühlwasser abweichend von ISO 2314 (15 °C)

Außer in Fällen, die in Abschnitt 8.3.5 angegeben sind kann der Einfluß der Luftfeuchtigkeit unberücksichtigt bleiben.

Bei Gasturbinen mit geschlossenem Prozeß gelten die unter a) genannten Zustände für die Umgebungsluft.

3.4 Leistung

Leistung (siehe Abschnitt 8.1) kann wie folgt angegeben werden:

- Leistungsabgabe an der Abtriebswelle,
- elektrische Leistung an den Generatorklemmen,
- isentrope Expansionsleistung von Turbogeneratoren und Gasturbinen, aus denen Druckluft entnommen wird.

3.5 Thermischer Wirkungsgrad und bezogener Wärmeverbrauch

Der thermische Wirkungsgrad und der bezogene Wärmeverbrauch sind auf den Heizwert bei konstantem Druck für flüssige, gasförmige und feste Brennstoffe zu beziehen.

Der Heizwert ist auf 1,013 bar und 15 °C zu beziehen. Fühlbare Wärme über und unter + 15 °C ist in der Rechnung einzubeziehen.

Anmerkung: Der Heizwert, bezogen auf die Masse, wurde früher als unterer Heizwert bezeichnet.

3.6 Bezugsstellen im Gasturbinenprozeß

Den in dieser Norm verwendeten Bezugsstellen im Gasturbinenprozeß sind Zahlen zugeordnet und in Bild 1 dargestellt.

Es bedeuten:

- 1 äußere Umgebung der Gasturbinenanlage, dort wird der Außenluftzustand gemessen.
- 2 Bezugsstellen für Zustandswerte am Verdichterein- und -austritt. Für den Fall, daß mehrere Verdichter vorhanden sind, wird der Austritt des ersten Verdichters mit 2.1 und der Eintritt in den zweiten Verdichter mit 2.2 bezeichnet.

Ist jedoch zwischen zwei Verdichtern ein Zwischenkühler angeordnet, so wird der Eintritt in den Kühler mit 2.2, der Austritt mit 2.3 und der Eintritt in den nächsten Verdichter mit 2.4 bezeichnet.

- 4 Eintritt in den direkten Erhitzer (Brennkammer) (nach Abgaswärmeaustauscher, wenn vorhanden).

- 5 Austritt aus dem direkten Erhitzer (Brennkammer)

- 6 Eintritt in die Turbine. Für den Fall, daß mehrere Turbinen vorhanden sind, wird der Austritt aus der ersten Turbine mit 6.1 und der Eintritt in die zweite Turbine mit 6.2 bezeichnet. Ist jedoch im Prozeß ein direkter Erhitzer zwischen zwei Turbinen angeordnet, so wird der Eintritt in diesen mit 6.2, der Austritt aus dem direkten Erhitzer mit 6.3 und der Eintritt in die nächste Turbine mit 6.4 bezeichnet.

- 7 Bezugsstelle für die Bestimmung des Zustandes des Abgases beim Austritt aus der Turbine.

Für den Fall, daß Abgaswärmeaustauscher im Gasturbinenprozeß verwendet werden, wird deren Eintritt mit 7.1 und deren Austritt mit 7.2 bezeichnet.

- 8 Bezugsstelle beim Austritt des Abgases aus dem Kamin.

In Ergänzung dazu bezeichnen die folgenden Buchstaben die Art des Arbeitsfluids in verschiedenen Bereichen des Prozesses:

f = Brennstoff

g = Gas hinter direktem Erhitzer (Brennkammer)

a = Luft (oder entsprechend anderes Arbeitsfluid)

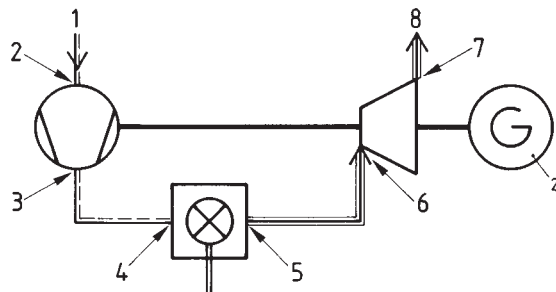


Bild 1. Bezugsstellen im Gasturbinenprozeß Begriff nach DIN 4320

2) Stromerzeuger oder andere Arbeitsmaschine

3.7 Formelzeichen

Tabelle 1.

Formelzeichen	Bedeutung	Einheit	siehe Abschnitt
c_{pe}	Spezifische Wärmekapazität des Kühlfluids	kJ/kg K)	8.5.7
h	Spezifische Totalenthalpie	kJ/kg	
h_{a0}	Spezifische Totalenthalpie der Luft bei der Normbezugstemperatur	kJ/kg	8.5.1 8.6.1
h_{a1}	Spezifische Totalenthalpie der Luft beim Eintritt in das Kontrollvolumen	kJ/kg	8.5.1
h_{a3}	Spezifische Totalenthalpie der Luft beim Austritt aus dem Verdichter	kJ/kg	8.6.3
h_{a4}	Spezifische Totalenthalpie der Luft beim Eintritt in den direkten Erhitzer (Brennkammer) und nach dem Austritt aus dem Wärmeaustauscher	kJ/kg	8.6.1
h_{ae}	Spezifische Totalenthalpie der Luft, die aus dem Kontrollvolumen entnommen wird	kJ/kg	8.5.1
h_{f0}	Spezifische Totalenthalpie des Brennstoffes bei 15 °C	kJ/kg	8.2.1 8.3.3 e) 8.5.1
h_{f4}	Spezifische Totalenthalpie des Brennstoffes beim Eintritt in den direkten Erhitzer (Brennkammer)	kJ/kg	8.2.1 8.5.1
h_{g0}	Spezifische Totalenthalpie der Verbrennungsprodukte bei der Normbezugstemperatur	kJ/kg	8.5.1
h_{g5}	Mittelwert der spezifischen Totalenthalpie des Gases beim Austritt aus dem direkten Erhitzer (Brennkammer)	kJ/kg	8.6.1
h_{g6}	Mittelwert der spezifischen Totalenthalpie des Gases beim Eintritt in die Turbine	kJ/kg	8.6.1
$h_{g6.1}$	Spezifische Totalenthalpie des Gases beim Austritt aus der Verdichter-Antriebsturbine	kJ/kg	8.6.3
$h_{g6.2}$	Spezifische Totalenthalpie des Gases beim Eintritt in die Nutzlleistungsturbine	kJ/kg	8.5.12
h_{g7}	Spezifische Totalenthalpie des Gases beim Austritt aus der Nutzlleistungsturbine	kJ/kg	8.5.12
h_{g8}	Spezifische Totalenthalpie des Abgases	kJ/kg	8.5.1
h_{gin}	Spezifische Totalenthalpie des Gases der Arbeitsmaschine am Eintritt in das angetriebene Aggregat	kJ/kg	8.5.11
h_{gout}	Spezifische Totalenthalpie des Gases der Arbeitsmaschine beim Austritt aus dem angetriebenen Aggregat	kJ/kg	8.5.11
$\dot{m}_f$	Massenstrom des verbrauchten Brennstoffes	kg/s	8.2.1
$\dot{m}_{a1}$	Massenstrom der Luft beim Eintritt in das Kontrollvolumen	kg/s	8.5.1
$\dot{m}_{a2}$	Massenstrom der Luft beim Eintritt in den Verdichter	kg/s	8.6.1
$\dot{m}_{a3}$	Massenstrom der Luft beim Austritt aus dem Verdichter	kg/s	8.6.1
$\dot{m}_{a4}$	Massenstrom der Luft beim Eintritt in den direkten Erhitzer (Brennkammer)	kg/s	8.6.1
$\dot{m}_c$	Massenstrom des Kühlfluids für das Schmieröl-Kühlsystem	kg/s	8.5.1 8.5.7
$\dot{m}_e$	Massenstrom der Sperr-, Leck-, Anzapf- und Ladeluft beim Austritt aus dem Kontrollvolumen	kg/s	8.5.1 8.5.2 8.6.3

Tabelle 1. (Fortsetzung)

Formel- zeichen	Bedeutung	Einheit	siehe Abschnitt
$\dot{m}_{f4}$	Massenstrom des Brennstoffes beim Eintritt in das Kontrollvolumen	kg/s	8.5.1 8.6.1
$\dot{m}_{g5}$	Massenstrom des Gases beim Austritt aus dem direkten Erhitzer (Brennkammer)	kg/s	8.6.1 8.6.3
$\dot{m}_{g6}$	Massenstrom des Gases beim Eintritt in die Turbine	kg/s	8.6.1
$\dot{m}_{g7}$	Massenstrom des Abgases beim Austritt aus der Turbine	kg/s	8.5.1
$\dot{m}_{g8}$	Massenstrom des Abgases beim Austritt aus dem Kontrollvolumen	kg/s	8.5.12
$\dot{m}_{in}$	Massenstrom des Fluids	kg/s	8.5.11
$\dot{m}_{fm}$	Gemessener Massenstrom des verbrauchten Brennstoffes	kg/s	8.3.3 e)
$\dot{m}_{f\tau}$	Masse des in der Versuchszeit τ verbrauchten Brennstoffes	kg	8.2.1
M	Drehmoment	kN·m	8.1.1
n	Drehzahl	1/s (1/min)	8.1.1
n_0	Drehzahl bei Bezugsbedingungen	1/s (1/min)	8.3.3 a)
n_t	Drehzahl während des Versuches	1/s (1/min)	8.3.3 a)
P	Nutzleistung	kW	8.2.2 8.2.3
P_c	Auf Bezugsbedingungen umgerechnete Nutzleistung	kW	8.3.3 c)
P_{gr}	Brutto-Wellenleistung	kW	8.1.1
P_m	Gemessene Wellenleistung	kW	8.6.2
P_s	Kupplungsleistung (Antriebsleistung des angetriebenen Aggregates)	kW	8.5.1 8.5.11 8.5.12
P_t	Im Versuch bestimmte Nutzleistung	kW	8.3.3 c) 8.3.3 e)
p_t''	Sättigungsdruck des Wasserdampfes bei der Ansaugtemperatur während des Versuches	bar	8.3.5
Q_w	Wärmeleistung	kW	8.2.2 8.2.3
q_p	Bezogene Wärmeleistung	1	8.2.3
Q_{l0}	Heizwert des Brennstoffes bei 15 °C und konstantem Druck	kJ/kg	8.3.3 e)
Q_m	Leistungsverluste	kW	8.5.1
$Q_{m(c)}$	Leistungsverluste des angetriebenen Verdichters ohne Getriebeverluste	kW	8.5.11 8.6.3
$Q_{m(t)}$	Leistungsverluste der Nutzleistungsturbine einschließlich Getriebeverluste	kW	8.5.12
Q_{mv}	Leistungsverluste der Verdichterantriebsturbine		8.6.3
Q_r	Wärmeleistungsverluste durch Strahlung und Konvektion aus dem Kontrollvolumen	kW	8.5.1
$Q_{r(c)}$	Wärmeleistungsverluste des angetriebenen Verdichters durch Strahlung und Konvektion	kW	8.5.11
Q_{re}	Wärmeleistungsverluste durch Strahlung und Konvektion am direkten Erhitzer (Brennkammer)		8.2.1 8.5.1

Tabelle 1. (Fortsetzung)

Formelzeichen	Bedeutung	Einheit	siehe Abschnitt
$Q_{r(t)}$	Wärmeleistungsverluste der Nutzleistungsturbine zwischen den Temperaturmeßstellen $T_{6,2}$ und T_7 durch Strahlung und Konvektion	kW	8.5.12
T	Absolute Totaltemperatur	K	8.3.3 b)
T_{a1}	Massenstrom-gemittelte Totaltemperatur der Luft beim Eintritt in das Kontrollvolumen	K	8.5.1
T_{a4}	Totaltemperatur der Luft beim Eintritt in den direkten Erhitzer (Brennkammer)	K	8.6.1
T_e	Totaltemperatur der Sperr-, Leck-, Anzapf- und Ladeluft beim Austritt aus dem Kontrollvolumen	K	8.5.1
T_f	Totaltemperatur des Brennstoffes beim Eintritt in das Kontrollvolumen	K	8.5.1
T_{f4}	Totaltemperatur des Brennstoffes beim Eintritt in den direkten Erhitzer (Brennkammer)	K	8.6.1
T_{g6}	Totaltemperatur des Gases beim Eintritt in die Turbine	K	8.6.1
$T_{g6(t)}$	Totaltemperatur des Gases beim Eintritt in die Turbine während des Versuches	K	8.6.1
$T_{g6(0)}$	Totaltemperatur des Gases beim Eintritt in die Turbine bei Bezugsbedingungen	K	8.6.1
T_{g7}	Totaltemperatur des Gases beim Austritt aus der Turbine	K	8.5.1
$T_{g7(t)}$	Totaltemperatur des Gases beim Austritt aus der Turbine während des Versuches	K	8.5.1
$T_{g7(0)}$	Totaltemperatur des Gases beim Austritt aus der Turbine bei Bezugsbedingungen	K	8.5.1
T_{in}	Totaltemperatur des Kühlfluids für Schmieröl beim Eintritt	K	8.5.1
T_{out}	Totaltemperatur des Kühlfluids für Schmieröl beim Austritt	K	8.5.1
$T_{out} - T_{in}$	Totaltemperaturanstieg des Kühlfluids im Schmierölkühler	K	8.5.7
T_t	Absolute Totaltemperatur während des Versuches	K	8.3.3 b)
δ	Verhältnis der absoluten Umgebungsdrücke bei Versuchs- und Bezugsbedingungen	1	8.3.3 c)
η_{tc}	Ausbrenngrad	1	8.5.1 8.6.1
η_{th}	Thermischer Wirkungsgrad	1	8.2.2 8.3.3 e)
$\eta_{th(0)}$	Thermischer Wirkungsgrad bei Bezugsbedingungen	1	8.3.5
$\eta_{th(t)}$	Thermischer Wirkungsgrad während des Versuches	1	8.3.5
$\eta_{th(c)}$	Auf Bezugsbedingungen umgerechneter thermischer Wirkungsgrad	1	8.3.5
φ_t	Relative Feuchte der angesaugten Luft während des Versuches	1	8.3.5
Θ	Verhältnis der absoluten Umgebungstemperaturen bei Versuchs- und Bezugsbedingungen	1	8.3.3 a)
τ	Versuchszeit	s	8.2.1
ω	Winkelgeschwindigkeit	rad/s	8.1.1

Anmerkung: Gegenüber ISO 2314 wird auf folgende Änderungen hingewiesen:

Massenströme werden nach DIN 5492 mit einem „Punkt“ gekennzeichnet.

T_{g8} wurde in T_{g7} geändert, als geeignetere Meßstelle (siehe Abschnitt 3.6).

q_r wurde in Q_w geändert (siehe Abschnitt 8.2.1)

Entgegen DIN 5492 wurde hier die Totalzustandsgröße nicht besonders durch den Index t gekennzeichnet, ausgenommen die Drücke im Anhang. Wärmeströme werden in dieser Norm als Leistungen definiert und nicht mit einem Punkt gekennzeichnet.

4 Vorbereitungen für Abnahmeversuche

4.1 Zeitpunkt, Reinigung

Nach Abschluß der Inbetriebnahme durch den Hersteller soll der Abnahmeversuch üblicherweise sofort durchgeführt werden, in jedem Fall aber, wenn nicht anders zwischen den Parteien vereinbart, innerhalb von 3 Monaten nach Beendigung der Inbetriebnahme.

Die Gasturbine muß vor Beginn des Abnahmeversuchs dem Hersteller zur Prüfung und Reinigung zur Verfügung gestellt werden.

4.2 Herstellung des Garantiezustandes für Bypass- oder Anzapfbetrieb

In Fällen, in denen Rohrleitungen oder Gasführungen zur Umgehung einer Komponente oder zum Abblasen benutzt werden, müssen Ventile in Führungen oder Leitungen so eingestellt werden, daß garantierte Betriebsbedingungen hergestellt werden.

4.3 Überprüfung der Konstruktionsdaten

Abmessungen und technische Angaben von Teilen der Gasturbine, die für den Abnahmeversuch wichtig sind, sollen vor dem Versuch erfaßt und protokolliert werden. Fabriknummern und weitere Daten auf den Typenschildern der Hilfsausrüstung der Gasturbine müssen ebenfalls protokolliert werden.

4.4 Vorversuche

Es können Vorversuche mit der Gasturbinenanlage durchgeführt werden, um

- a) zu entscheiden, ob die Gasturbinenanlage mit allen peripheren Geräten in dem Zustand ist, daß Abnahmemessungen ohne Beanstandung durchgeführt werden können,
- b) die Instrumentierung zu prüfen,
- c) sich mit der Durchführung der Abnahmeversuche vertraut zu machen.

Nach Durchführung eines Vorversuchs kann dieser durch Übereinkunft zwischen den Parteien als Abnahmeversuch gewertet werden.

5 Betriebsbedingungen für Abnahmeversuche

5.1 Allgemeines

5.1.1 Bezugszustand und -brennstoff

Die Abnahmeversuche sind so nahe bei den Bezugsbetriebsbedingungen durchzuführen, wie es sich mit vertretbarem Aufwand erreichen läßt (bei Norm-Betriebsbedingungen oder bei anderen Bedingungen, die bei Vertragsabschluß vereinbart wurden).

Der verwendete Brennstoff muß, wenn immer möglich, der Spezifikation entsprechen, die bei Abschluß des Vertrages zwischen den Parteien vereinbart wurde. In den Fällen, wo dieses nicht möglich ist, muß vor dem Versuch eine Übereinkunft zwischen den Parteien erzielt werden, welcher Brennstoff bei den Abnahmeversuchen verwendet werden und wie das Ergebnis beurteilt werden soll.

5.1.2 Brennstoff für Dual-Brennstoffversorgung

Zur Vereinfachung können Wirkungsgradnachweise bei Dual-Brennstoffversorgung nur mit einem Brennstoff durchgeführt werden, aber nur nach vorheriger Übereinkunft beider Parteien.

5.1.3 Abweichende Einstellungen

Einstellungen, die für den üblichen Betrieb nicht vorgesehen sind, müssen schriftlich vereinbart werden.

5.1.4 Dokumentation der Meßergebnisse

Die Meßwerte der Abnahmeversuche sollen in sorgfältig vorbereitete Formblätter eingetragen werden. Diese gelten gleichzeitig als Original-Versuchsprotokolle und müssen vom Ableser unterschrieben werden. Diese Originale sowie andere Versuchsaufzeichnungen sollen mechanisch oder fotografisch zu vervielfältigen sein. Abschriften sind nicht statthaft.

Nach Durchführung der Abnahmeversuche wird beiden Parteien jeweils ein vollständiger Satz unveränderter Meßprotokolle und sonstiger Versuchsaufzeichnungen ausgehändigt. Zu den Aufzeichnungen gehören Datum und Uhrzeit. Es sind die abgelesenen Werte ohne Instrumentenkorrektur einzutragen. Die Meßprotokolle und alle sonstigen Versuchsaufzeichnungen bilden die vollständigen Versuchsprotokolle.

Andere Registrierverfahren können vereinbart werden.

5.1.5 Widersprüchliche Meßergebnisse

Wird während der Abnahmemessungen oder bei der nachfolgenden Analyse der Meßergebnisse eine offensichtliche Unstimmigkeit gefunden, die die Richtigkeit der Messungen in Frage stellt, so soll jeder vertretbare Versuch unternommen werden, sie zu klären oder durch gemeinsame Übereinkunft zu beseitigen. Bei Uneinigkeit wird der Lauf oder der Versuch ungültig.

5.2 Betriebsbedingungen

5.2.1 Versuche bei Beharrungszustand

Gewisse Versuche, wie beispielsweise die unter Abschnitt 1.2.1 a) und b) und Abschnitt 1.2.2 c), e) und f) genannten, werden üblicherweise im Beharrungszustand durchgeführt.

Sollen solche Versuche vor Erreichen des Beharrungszustandes durchgeführt werden, müssen sich die Parteien vorher auf die Art der Durchführung und der Auswertung einigen.

5.2.2 Definition der Beharrung

Beharrung ist erreicht, wenn die Gasturbinenanlage solange gefahren worden ist, bis sich die Hauptparameter, die mit dem Versuchsziel in Verbindung stehen, stabilisiert haben.

Stabilität ist erreicht, wenn die fortlaufenden Aufzeichnungen zeigen, daß sich die Abweichungen während eines Zeitabschnittes, auf den sich die Parteien vor dem Versuch geeinigt haben, innerhalb der maximal zulässigen Abweichungen in Übereinstimmung mit dem folgenden Abschnitt 5.2.3 und Tabelle 2 bewegen.

5.2.3 Dauer und Anzahl der Messungen

Die Bestimmung von allen gewährleisteten Leistungen und Wirkungsgraden für einen Versuchspunkt muß mindestens dreimal hintereinander erfolgen. Die Meßzeit der einzelnen Ablesungen für integrierende Meßgeräte soll nicht weniger als 6 Minuten und nicht mehr als 20 Minuten betragen. Die momentan anzeigenden Meßinstrumente sollen in dieser Zeit mindestens dreimal abgelesen werden. Die gesamte Zeitspanne für einen Versuchspunkt soll nicht weniger als 18 Minuten und nicht mehr als 60 Minuten betragen. Wird der Brennstoffverbrauch durch Wägen ermittelt, so kann die Meßzeit der Ablesungen mehr als 20 Minuten betragen, um ausreichende Genauigkeit zu erreichen.

Während der Ablesung soll die Schwankung der Leistung $\pm 1\%$ nicht überschreiten. Ist dieses nicht möglich, dann sollen mindestens 5 Ablesungen innerhalb der oben angegebenen Zeiten für jeden Versuchspunkt durchgeführt und die Meßergebnisse gemittelt werden. Überschreiten

die Schwankungen den Wert von $\pm 2\%$, sollten die Meßergebnisse nur bei beiderseitigem Einvernehmen akzeptiert werden.

Werden vor den Abnahmeversuchen keine besonderen Vereinbarungen zwischen den Parteien getroffen, so sollen die Betriebswerte während der Versuchszeit die Abweichungen, wie sie in Tabelle 2 festgelegt sind, nicht überschreiten.

Tabelle 2. Maximal zulässige Abweichungen der Betriebswerte

Lfd. Nr	Variable	Zulässige Abweichung einer Ablesung vom ermittelten mittleren Betriebswert während eines Abnahmeversuchs
1	Drehzahl der Nutzleistungs- welle ³⁾	$\pm 1\%$
2	Umgebungsluftdruck	$\pm 2\%$
3	Temperatur des Arbeitsfluids am Verdichter-Eintritt	$\pm 2\text{ K}$
4	Brennwert und Heizwert des flüs- sigen Brennstoffes	$\pm 2\%$
5	Brennwert und Heizwert des gas- förmigen Brennstoffes, ermittelt mit dem kontinuierlich arbei- tenden Kalorimeter ⁴⁾	$\pm 2\%$
6	Druck des gasförmigen Brenn- stoffes beim Eintritt in das Kon- trollvolumen ⁴⁾	$\pm 1\%$ ⁶⁾
7	Temperatur des Brennstoffes beim Eintritt in das Kontroll- volumen ⁴⁾	$\pm 3\text{ K}$
8	Statischer Druck des Abgases beim Austritt aus der Turbine	$\pm 1\%$ ⁶⁾
9	Druck des Arbeitsfluids beim Eintritt in den Verdichter	$\pm 1\%$ ⁶⁾
10	Temperatur des Kühlfluids beim Eintritt in das Kontrollvolu- men ⁵⁾	$\pm 3\text{ K}$
11	Temperaturerhöhung des Kühl- fluids	$\pm 2\text{ K}$

³⁾ Werden Abnahmeversuche an Gasturbinen für die Schiffsantriebsanlage im Rahmen der Bord-erprobung durchgeführt, so sind vor Versuchsbeginn besondere Vereinbarungen zwischen den Parteien zu treffen.

⁴⁾ Für andere gasförmige Brennstoffe als Erdgas sollten die erlaubten Abweichungen durch vorherige Übereinkunft festgelegt werden.

⁵⁾ Anzuwenden, wenn Vorkühler, Zwischenkühler oder Nachkühler benutzt werden.

⁶⁾ Vom mittleren absoluten Druck

Anmerkung: Frühere Benennung für den auf die Masse bezogenen Brennwert: Oberer Heizwert

Hinweis:

Wenn bei schnellen und unregelmäßigen Änderungen zu messen ist, sollen zweckmäßige Meßgeräte einer direkten Ablesung vorgezogen werden. In den Fällen, in denen Meßergebnisse als Berechnungsunterlagen verwendet und diese Ergebnisse dann gemittelt werden, müssen die Ablesungen bzw. Registrierungen gleichzeitig erfolgen. Sollen Ergebnisse durch Summen oder Differenzen gebildet werden, so ist eine Gleichzeitigkeit der Ablesungen unbedingt erforderlich.

6 Meßgeräte und Meßmethoden

6.1 Allgemeines;

In diesem Abschnitt werden die Meßgeräte, Meßmethoden und Prüfbedingungen beschrieben, die bei der Abnahme einer Gasturbinenanlage Verwendung finden. Werden in dieser Norm zur Durchführung der Abnahme notwendige Meßgeräte und Meßmethoden nicht genannt, so müssen diese vor den Abnahmemessungen von den Parteien festgelegt werden.

Können Messungen nach unterschiedlichen Normen – z. B. Volumenstrom nach DIN 1952 oder nach ISO/R 541 – durchgeführt werden, so sind Vereinbarungen zwischen den Parteien zu treffen.

6.2 Meßgeräte für Pflichtabnahmeversuche

- Geräte zum Messen der Gasturbinenleistung
- Geräte zum Messen des Brennstoffverbrauchs der Gasturbine oder der zugeführten Wärmemenge
- Geräte zur Bestimmung des Heizwertes, der Zusammensetzung und des Aschegehaltes des Brennstoffes
Alternativ können Brennstoffproben entnommen und in einem Laboratorium untersucht werden, auf das sich die Parteien vor Beginn der Abnahme geeinigt haben.
- Geräte zur Bestimmung der relativen Dichte (Wichte) des Brennstoffs
Alternativ können Brennstoffproben entnommen und in einem Laboratorium untersucht werden, auf das sich die Parteien vor Beginn der Abnahme geeinigt haben.
- Manometer oder Druckmeßgeräte zur Ermittlung von Drücken und Druckdifferenzen
(Für Druckmessungen, die in die Leistungsbewertung eingehen, sind Flüssigkeitsmanometer oder andere Meßgeräte mit vergleichbarer Genauigkeit zu verwenden.)
- Barometer
- Geräte zur indirekten Ermittlung der Temperatur des Arbeitsfluids beim Eintritt in die Turbine
- Instrument(e) zur Ermittlung der Temperatur des Arbeitsfluids (Luft) beim Eintritt in den Verdichter
 - Thermometer zur Ermittlung der Temperatur des Brennstoffes im Meßtank und der Temperatur des Kühlwassers in den Wärmeaustauschern
 - Mechanische oder elektronische Drehzahlanzeigergeräte und Umdrehungszähler
- Mutteruhr mit synchronisiertem Signalsystem oder, wenn nicht vorhanden, synchronisierte Uhren
- Hygrometer

6.3 Leistungsmessung ⁷⁾

6.3.1 Leistungsmessung, mechanisch

6.3.1.1 Drehmomentmessung

Jede in den folgenden Abschnitten genannte Einrichtung kann verwendet werden, um das Drehmoment zu messen, das zur Ermittlung der mechanischen Leistungsabgabe der Gasturbinen herangezogen wird.

6.3.1.1.1 Brems-Dynamometer

(mechanisch, elektrisch, hydraulisch oder eine Kombination davon)

Der Arbeitsbereich des verwendeten Dynamometers muß so gewählt werden, daß das kleinste zu messende Drehmoment bei jeder Drehzahl mindestens 20 % des Skalenendwertes beträgt. Um tangentiale Geschwindigkeitskomponenten zu vermeiden, müssen Brems-Dynamometer so konstruiert sein, daß das Kühlfluid in einer Ebene durch die Achse zu- und abfließt. Gleiche Vorsorge muß auch bezüglich des äußeren Ventilationsverlustes getroffen werden. Die von der Wasserzuleitung verursachte Tangentialkraft muß gemessen und bei der Kalibrierung berücksichtigt werden. Eventuell verwendete Schwingungsdämpfer müssen nachweislich gleichen Bewegungswiderstand in beiden Richtungen haben.

Der Meßfehler bei der Ermittlung der wirksamen Hebelarmlänge des Dynamometers darf nicht größer als $\pm 0,1$ % sein. Eine Bescheinigung des Herstellers kann als ausreichendes Beweismittel angesehen werden.

Die Kraftmeßeinrichtung muß mit geeichten Gewichtsstücken bei Be- und Entlastung geprüft worden sein. Der Fehler der Kraftmeßeinrichtung darf nicht größer als $\pm 0,1$ % der maximalen, im Versuch angezeigten Kraft sein. Der Mittelwert aus Be- und Entlastung darf als Kalibrierung nur anerkannt werden, wenn die Differenz nicht mehr als 0,3 % der maximalen Versuchskraft beträgt.

Vor und nach den Abnahmeversuchen müssen die Dynamometer geprüft und der Gleichgewichtszustand der Hebelarme festgestellt werden. Versuchspunkte sind unbrauchbar, wenn durch Unregelmäßigkeiten in der Arbeitsweise des Dynamometers die angezeigten Drehmomente um mehr als ± 2 % schwanken, z. B. bei periodischen Kraftanstiegen oder Pulsationen, die aus der Wasserversorgung oder aus anderen Ursachen resultieren.

6.3.1.1.2 Drehmomentmeßwelle

Die Drehmomentmeßwelle ist vor Abnahmemessungen zu kalibrieren. Wenn die Kalibrierwerte der Drehmomentmeßeinrichtung temperaturabhängig sind, muß eine Nachkalibrierung nach der Abnahmemessung bei der Temperatur durchgeführt werden, bei der die Messung stattgefunden hat. Die Justierung der Drehmomentmeßeinrichtung darf zwischen der Überprüfung vor und nach den Messungen nicht verändert werden. Auf jeden Fall müssen die Beobachtungen bei einer Reihe von Lastaufnahmen vorgenommen werden, die ansteigen bis zu einem Wert, der oberhalb der maximalen Abnahmebelastung liegt, gefolgt von einer Reihe abnehmender Lastaufnahmen. Die Be- oder Entlastungen müssen immer in einer Richtung erfolgen.

Die Kalibrierung kann nur akzeptiert werden, wenn die gemessene Differenz zwischen zu- und abnehmender Belastung in den einzelnen Meßpunkten ± 1 % der maximalen Versuchslast nicht überschreitet. Dynamometerablesungen sind mit genügender Häufigkeit durchzuführen, damit der Durchschnitt aller Messungen nicht vom Durchschnitt der alternierenden Messungen (Mittelwert der ge-

raden, d. h. der 2., 4., 6., 8. usw. Ablesungen und der ungeraden, d. h. der 1., 3., 5. usw. Ablesungen) um mehr als 0,2 % differiert.

6.3.1.2 Drehzahlmessung

Ein Drehzahlanzeigergerät muß für die Ersteinstellung der Drehzahl und für die Überwachung der Drehzahlkonstanz während der Dauer der Messungen eingesetzt werden. Jede Welle einer Mehrwellengasturbine muß mit einer Drehzahlmeßeinrichtung ausgerüstet sein.

Zur Prüfung der Drehzahlkonstanz während der Dauer der Messungen werden, sowohl für die visuellen Ablesungen als auch zur Registrierung, Drehzahlmeßgeräte mit unterdrücktem Nullpunkt empfohlen. Periodische Kontrollen mit sehr genauen elektronischen Impulszählern können die erreichbare Genauigkeit der Registrierung verbessern.

Es müssen entweder formschlüssig getriebene oder kontaktlose Drehzahlmeßgeräte benutzt werden. Drehzahlmeßgeräte, die von Hand gehalten werden, sind wegen der Schlupfmöglichkeit nicht zu empfehlen.

Wenn die mittlere Drehzahl in das Versuchsergebnis eingeht, um ein von der Welle angetriebener, integrierender Drehzähler benutzt werden. Die Zähl- und Zeitgenauigkeit muß so groß sein, daß der Fehler der mittleren Drehzahl der Welle nicht mehr als $\pm 0,25$ % beträgt. Werden elektronische Impulzzähler bei der Bestimmung von Leistung und Wirkungsgrad benutzt, müssen die Ablesungen mit genügender Häufigkeit durchgeführt werden. Der Mittelwert aller Messungen darf nicht mehr als 0,25 % vom Mittelwert der alternierenden Messungen abweichen.

6.3.2 Leistungsmessung, elektrisch

Diese Messungen müssen in Übereinstimmung mit der Publikation 46 „Empfehlungen für Dampfturbinen, Teil 2, Regeln für Abnahmeversuche“ der International Electrotechnical Commission (IEC) durchgeführt werden.

6.3.3 Leistungsmessung, andere Verfahren

Wo die Leistungsabgabe nicht durch elektrische Energie erfolgt und wo es nicht möglich ist, die Leistungsabgabe an der Welle zu messen (z. B. Pumpen, Verdichter usw.), muß auf die jeweilige Abnahmeregel der angetriebenen Maschine Bezug genommen werden.

Solche Normen dürfen nur nach gegenseitigem Einverständnis der Vertragsparteien benutzt werden.

6.3.4 Leistungsbestimmung durch thermodynamische Berechnung

Wenn es nicht möglich ist, die Wellenleistung nach einem der vorher beschriebenen Verfahren zu messen (siehe Abschnitt 6.3.1, Abschnitt 6.3.2 und Abschnitt 6.3.3), kann man sie unter bestimmten Grenzbedingungen mit einem maximalen Fehler von ± 5 % aus den gemessenen Werten des Massenstromes des Arbeitsfluids, der Luft- und Gas-temperaturen, der Wärmeleistung, der erzeugten Reibungsverluste und der Turbinenwärmeleistungsverluste an die Umgebung errechnen. Diese Methode kann in dem Fall benutzt werden, wenn entsprechende Messungen an der Arbeitsmaschine nicht durchführbar sind, weil:

- a) Eigenschaften des Arbeitsfluids der Arbeitsmaschine ungenügend bekannt sind,
- b) der Temperaturanstieg des Arbeitsfluids in der Arbeitsmaschine zum Messen zu klein ist,

⁷⁾ Hinweis: Werden Leistungsmessungen an Gasturbinen für Schiffsantriebsanlagen im Rahmen der Borderprüfung durchgeführt, so sind vor Versuchsbeginn besondere Vereinbarungen zwischen den Parteien zu treffen.