

DIN EN ISO 10439

ICS 75.180.20

**Erdöl-, Chemie- und Erdgasindustrie –
Radial-Turbokompressoren (ISO 10439:2002); Deutsche und Englische
Fassung EN ISO 10439:2002**

Petroleum, chemical and gas service industries –
Centrifugal compressors (ISO 10439:2002); German and English version
EN ISO 10439:2002

Industries du pétrole, de la chimie et du gaz –
Compresseurs centrifuges (ISO 10439:2002);
Version allemande et anglaise EN ISO 10439:2002

Gesamtumfang 241 Seiten

Normenausschuss Erdöl- und Erdgasgewinnung (NÖG) im DIN
Normenausschuss Maschinenbau (NAM) im DIN



Die Europäische Norm EN ISO 10439:2002 hat den Status einer Deutschen Norm.

Nationales Vorwort

Diese Europäische Norm wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 12 „Materialien, Ausrüstungen und Off-shore-Bauwerke für die Erdöl-, petrochemische und Erdgasindustrie“ (Sekretariat: Frankreich) erstellt. Es handelt sich dabei um die unveränderte Übernahme von ISO 10439:2002, erarbeitet von ISO/TC 118 „Compressors, pneumatic tools and pneumatic machines“ und vom Technischen Komitee ISO/TC 67 „Materials, equipment and offshore structures for petroleum, petrochemical and natural gas industries“, Subkomitee SC 6 „Processing equipment and systems“ (Sekretariat: Frankreich).

Deutsche Fassung

Erdöl-, Chemie- und Erdgasindustrie - Radial-
Turbokompressoren (ISO 10439:2002)

Petroleum, chemical and gas service industries -
Centrifugal compressors (ISO 10439:2002)

Industries du pétrole, de la chimie et du gaz -
Compresseurs centrifuges (ISO 10439:2002)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 7. Oktober 2002 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 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, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.



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

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort.....	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe.....	6
4 Grundsätze der Auslegung	8
4.1 Allgemeines	8
4.2 Gehäuse	11
4.3 Zwischenböden und Eintrittsleitschaufeln.....	13
4.4 Gehäuseanschlüsse	13
4.4.1 Allgemeines	13
4.4.2 Hauptprozessanschlüsse.....	13
4.4.3 Anschlüsse für Zubehöreinrichtungen.....	14
4.5 Äußere Kräfte und Momente	14
4.6 Rotierende Elemente	15
4.7 Lager und Lagergehäuse	16
4.7.1 Allgemeines	16
4.7.2 Radiallager	16
4.7.3 Drucklager.....	17
4.7.4 Lagergehäuse	18
4.8 Wellendichtungen	19
4.8.1 Allgemeines	19
4.8.2 Anforderungen an die Wellendichtungsarten	19
4.8.3 Sonstige Anforderungen	25
4.9 Dynamik	25
4.9.1 Kritische Drehzahlen	25
4.9.2 Analyse der biegekritischen Drehzahl	27
4.9.3 Prüfstanderprobung zur Verifikation der Berechnung des unwuchtigen Rotors	29
4.9.4 Torsionsanalyse.....	31
4.9.5 Schwingungen und Auswuchtung	31
4.10 Schmier- und Dichtölsysteme.....	33
4.11 Werkstoffe.....	34
4.11.1 Allgemeines	34
4.11.2 Drucktragende Teile.....	35
4.11.3 Niedrige Temperatur	36
4.11.4 Werkstoffuntersuchung für drucktragende Teile	36
4.11.5 Laufräder.....	37
4.12 Typenschilder und Drehrichtungspfeile	37
5 Zubehör	38
5.1 Antriebe.....	38
5.2 Kupplungen und Schutzeinrichtungen	39
5.3 Montageplatten.....	39
5.3.1 Allgemeines	39
5.3.2 Grundplatten.....	40
5.3.3 Grundplatten und Bauuntergrundplatten	41
5.4 Steuerelemente und Geräteausstattung.....	42
5.4.1 Allgemeines	42
5.4.2 Steuersysteme.....	43
5.4.3 Instrumententafeln und Steuerpulte	43
5.4.4 Geräteausstattung	44
5.4.5 Alarm- und Abschaltvorgänge.....	45
5.4.6 Elektrische Systeme	46
5.4.7 Schwingungs-, Positions- und Lagertemperaturmessfühler	47
5.5 Rohrleitungen und Zubehör.....	47
5.5.1 Allgemeines	47

5.5.2	Rohrleitungen für Messgeräte	48
5.5.3	Prozessrohrleitungen	48
5.6	Sonderwerkzeuge	48
6	Inspektion, Prüfung und Vorbereitung für den Versand.....	48
6.1	Allgemeines	48
6.2	Inspektion	49
6.2.1	Allgemeines	49
6.2.2	Werkstoffkontrolle	50
6.3	Prüfung	50
6.3.1	Allgemeines	50
6.3.2	Hydrostatischer Test	51
6.3.3	Überdrehzahltest des Laufrades	51
6.3.4	Mechanischer Lauftest	51
6.3.5	Gaslecktest am zusammengebauten Kompressor.....	54
6.3.6	Wahlweise durchzuführende Tests	54
6.4	Vorbereitung für den Versand	56
7	Lieferantendaten	57
7.1	Allgemeines	57
7.2	Angebote.....	58
7.2.1	Allgemeines	58
7.2.2	Zeichnungen.....	58
7.2.3	Technische Daten	59
7.2.4	Kurven.....	60
7.2.5	Wahlmöglichkeiten	61
7.3	Vertragsangaben.....	61
7.3.1	Allgemeines	61
7.3.2	Zeichnungen.....	61
7.3.3	Technische Daten	61
7.3.4	Berichte über die Projektabwicklung.....	62
7.3.5	Empfohlene Teile	62
7.3.6	Betriebsanleitung für Installation, Betrieb, Instandhaltung und technische Daten.....	62
Anhang A (informativ) Typische Datenblätter		64
Anhang B (informativ) Werkstoffspezifikationen für die wichtigsten Bestandteile.....		89
Anhang C (normativ) Anforderungen an die vom Lieferanten übergebenen Turbokompressor-Zeichnungen und -Daten.....		92
Anhang D (normativ) Verfahren zur Bestimmung der Restunwucht		100
Anhang E (informativ) Logikdiagramme für das dynamische Verhalten des Rotors		107
Anhang F (informativ) Nomenklatur für Turbokompressoren		110
Anhang G (normativ) Kräfte und Momente.....		111
Anhang H (informativ) Checkliste für den Prüfer		114
Anhang I (informativ) Typische Überlegungen zum Gasdichtheitstest.....		116
Anhang J (informativ) Überlegungen zur Anwendung aktiver Magnetlager		118
Literaturhinweise		121

Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 10439:2002) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 118 „Compressors, pneumatic tools and pneumatic machines“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 12 „Materialien, Ausrüstungen und Offshore-Bauwerke für die Erdöl-, petrochemische und Erdgasindustrie“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis April 2003, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis April 2003 zurückgezogen werden.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Malta, die Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, die Schweiz, Spanien, die Tschechische Republik und das Vereinigte Königreich.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 10439:2002 wurde von CEN als EN ISO 10439:2002 ohne irgendeine Änderung angenommen.

Einleitung

Diese Internationale Norm basiert auf der sechsten Ausgabe von American Petroleum Institute standard API Std 617.

Anwender dieser Internationalen Norm sollten berücksichtigen, dass für individuelle Anwendungen weitere oder abweichende Anforderungen erforderlich sein können. Diese Internationale Norm ist kein Hinderungsgrund dafür, dass der Lieferant für bestimmte Anwendungen alternative Ausrüstungen oder technische Lösungen anbietet oder dass der Besteller diese annimmt. Das kann besonders dann angebracht sein, wenn innovative oder neu entwickelte Technologien eingesetzt werden. Falls eine Alternativlösung angeboten wird, sollte der Lieferant alle Abweichungen gegenüber dieser Internationalen Norm feststellen und entsprechende Details angeben.

1 Anwendungsbereich

In dieser Internationalen Norm werden Anforderungen an und Empfehlungen für Konstruktion, Werkstoffe, Fertigung, Inspektion, Prüfung und Versandvorbereitungen von Turbokompressoren festgelegt, die in der Öl- und Gasindustrie sowie in der chemischen Industrie eingesetzt werden. Diese Internationale Norm gilt nicht für Arbeitsmaschinen, die den Druck auf einen Wert erhöhen, der weniger als 35 kPa über dem atmosphärischen Druck liegt. Sie gilt ferner nicht für Turbo-Luftkompressoranlagen mit integriertem Getriebe, die in ISO 10442 behandelt werden.

ANMERKUNG Wenn möglich, werden in dieser Internationalen Norm die im US-Sprachraum gebräuchlichen Einheiten in Klammern angegeben.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil der vorliegenden Internationalen Norm sind. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Internationalen Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig. Alle Normen unterliegen der Überarbeitung. Vertragspartner, deren Vereinbarungen auf dieser Internationalen Norm basieren, werden gebeten, die Möglichkeit zu prüfen, ob die jeweils neuesten Ausgaben der im Folgenden genannten Normen angewendet werden können. Die Mitglieder von IEC und ISO führen Verzeichnisse der gegenwärtig gültigen Internationalen Norm.

ISO 1940-1¹⁾, *Mechanical vibration — Balance quality requirements of rigid rotors — Part 1: Determination of permissible residual unbalance.*

ISO 3744, *Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure — Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane.*

ISO 3977-5, *Gas turbines — Procurement — Part 5: Applications for petroleum and natural gas industries.*

ISO 5389, *Turbocompressors — Performance test code.*

ISO 7005-2, *Metallic flanges — Part 2: Cast iron flanges.*

ISO 8821, *Mechanical vibration — Balancing — Shaft and fitment key convention.*

ISO 9614 (beide Teile), *Acoustics — Determination of sound pressure level of noise sources using sound intensity.*

ISO 10437, *Petroleum and natural gas industries — Special-purpose steam turbines for refinery service.*

ISO 10438 (alle Teile), *Petroleum and natural gas industries — Lubrication, shaft sealing and control-oil systems.*

ISO 10441, *Petroleum and natural gas industries — Flexible couplings for mechanical power transmission — Special purpose applications.*

ISO 13691, *Petroleum and natural gas industries — High-speed special-purpose gear units.*

IEC 60079-10, *Electrical apparatus for explosive gas atmospheres — Part 10: Classification of hazardous areas.*

API²⁾ RP 550, *Manual on installation of refinery instruments and control systems.*

1) In Vorbereitung. (Überarbeitung von ISO 1940-1:1986).

2) American Petroleum Institute

API Std 670, *Vibration, axial position, and bearing temperature monitoring systems, vierte Ausgabe.*

ASME³⁾ PTC 10, *Test code on compressors and exhausters.*

ASTM⁴⁾ A 388/A 388M, *Standard practice for ultrasonic examination of heavy steel forgings.*

ASTM A 578/A 578M, *Standard specification for straight-beam ultrasonic examination of plain and clad steel plates for special applications.*

ASTM A 609/A 609M, *Standard practice for casting, carbon, low-alloy, and martensitic stainless steel, ultrasonic examination thereof.*

ASTM E 94, *Standard guide for radiographic examination.*

ASTM E 165, *Standard test method for liquid penetrant examination.*

ASTM E 709, *Standard guide for magnetic particle examination.*

ISA⁵⁾, RP 12.4, *Pressurized enclosures.*

NACE⁶⁾, MR 0175, *Sulfide stress cracking resistant metallic materials for oilfield equipment.*

NFPA⁷⁾ 496, *Standard for purged and pressurized enclosures for electrical equipment.*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Internationalen Norm gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Alarmzustand

Alarm, der ausgelöst wird, wenn für einen bestimmten Parameter ein voreingestellter Wert erreicht ist, um auf einen Zustand hinzuweisen, der ein Eingreifen erfordert

3.2

axial geteilt

Gehäuse oder anderes Bauteil mit einer zur Wellenachse parallelen Teilfuge

3.3

Arbeitspunkt des Kompressors

fiktiver Punkt auf der 100 %-Drehzahlkurve für einen spezifizierten Betriebspunkt mit dem größten Volumenstrom

ANMERKUNG Kombinationen mit dem Wort <<Berechnungs- bzw. Auslegungs->> (z. B. Auslegungsleistung, Berechnungsdruck, Berechnungstemperatur oder Berechnungsdrehzahl) sollten in der Spezifikation des Bestellers nicht angewendet werden. Diese Terminologie sollte dem Konstrukteur und Hersteller der Einrichtung vorbehalten bleiben.

3.4

Förderhöhe

spezifische Verdichtungsarbeit

3.5

Volumenstrom am Eintritt

Volumenstrom am Saugstutzen des Kompressors, bestimmt unter den vorliegenden Bedingungen für Druck, Temperatur, Kompressibilität und Gaszusammensetzung sowie Feuchtigkeit

3) American Society of Mechanical Engineers

4) American Society for Testing and Materials

5) Instrument Society of America

6) US National Association of Corrosion Engineers

7) US National Fire Protection Association

3.6**maximal zulässige Temperatur**

höchste Dauertemperatur, für die der Hersteller die Anlage (oder ein Teil, auf das sich die Benennung bezieht) unter Berücksichtigung des spezifizierten Mediums und des spezifizierten Drucks ausgelegt hat

3.7**maximal zulässiger Betriebsdruck**

höchster Dauerdruck, für den der Hersteller die Anlage (oder ein Teil, auf das sich die Benennung bezieht) bei Betrieb der Anlage mit maximal zulässiger Temperatur ausgelegt hat

3.8**maximale Dauerdrehzahl**

höchste Drehzahl, bei der ein Dauerbetrieb des Kompressors möglich ist

3.9**maximaler Abdichtungsdruck**

höchster Druck, dem die Dichtungen unter allen festgelegten Stillstands- oder Betriebsbedingungen und während des An- und Abfahrens standhalten müssen

3.10**kleinste zulässige Drehzahl**

niedrigste Drehzahl, bei der ein Dauerbetrieb des Kompressors möglich ist

3.11**üblicher Betriebspunkt**

Punkt, an dem im Allgemeinen der Betrieb erwartet und ein optimaler Wirkungsgrad gewünscht wird

ANMERKUNG Üblicherweise ist es der Punkt, für den der Lieferant bescheinigt, dass das Betriebsverhalten innerhalb der in dieser Internationalen Norm angegebenen Toleranzen liegt.

3.12**übliche Drehzahl**

Drehzahl, die den Anforderungen an den üblichen Betriebspunkt entspricht

3.13**100 %-Drehzahl**

höchste Drehzahl, die für einen festgelegten Betriebspunkt gefordert wird

3.14**Berechnungs-Vorschrift für Druckbehälter**

anerkannte, vom Besteller festgelegte oder in Absprache mit ihm ausgewählte Druckbehälter-Norm (z. B. ASME VIII)

3.15**radial geteilt**

Gehäuse oder anderes Bauteil mit einer zur Wellenachse rechtwinkligen Teilfuge

3.16**Stabilitätsbereich**

Differenz des Volumenstroms am Eintritt (angegeben als Prozentanteil des Rated-Volumenstroms entsprechend 3.3 am Eintritt) zwischen dem Rated-Volumenstrom am Eintritt und dem Volumenstrom an der Pumpgrenze bei Nenndrehzahl

3.17**Ausgleichsdruck**

Druck des Kompressorsystems im Stillstand des Kompressors

3.18**Abschalt-Bedingungen**

voreingestellter Wert für einen Parameter, bei dem eine automatische oder manuelle Abschaltung des Systems gefordert wird

3.19

Abschaltdrehzahl

Drehzahl, bei der ein unabhängiger Notfall-Überdrehzahlschutz den Hauptantrieb abschaltet

ANMERKUNG Für motorgetriebene Antriebe mit konstanter Drehzahl wird durch die Benennung Abschaltdrehzahl die Drehzahl gekennzeichnet, die der Synchroindrehzahl des Motors bei der maximalen Frequenz der elektrischen Energieversorgung entspricht.

3.20

Turndown

prozentualer Anteil der Veränderung des Volumenstroms am Eintritt (als Rated-Volumenstrom am Eintritt bezeichnet) zwischen dem Rated-Volumenstrom am Eintritt und dem Eintrittsvolumenstrom beim Erreichen der Pumpgrenze bei konstanter Förderhöhe, wenn Saugtemperatur und Gaszusammensetzung der Anlage unverändert eingehalten werden

3.21

Verantwortung für die Einheit

Verantwortlichkeit für die Koordinierung der technischen Aspekte für die Gesamtanlage und für alle Zubehöreinrichtungen

4 Grundsätze der Auslegung

4.1 Allgemeines

4.1.1 Ein Vollkreis (•) am Beginn eines Abschnitts bedeutet, dass der Besteller eine Entscheidung zu treffen oder Informationen zu liefern hat. Diese Informationen sollten in Datenblättern (siehe Anhang A) angegeben werden.

4.1.2 Die in dieser Internationalen Norm erfasste Einrichtung (einschließlich der Zusatzeinrichtungen) muss für eine Mindest-Lebensdauer von 20 Jahren und für mindestens 3 Jahre Dauerbetrieb konstruiert und gebaut werden.

4.1.3 Sofern nicht anders festgelegt, muss der Lieferant des Kompressors die Verantwortung für die Einheit übernehmen.

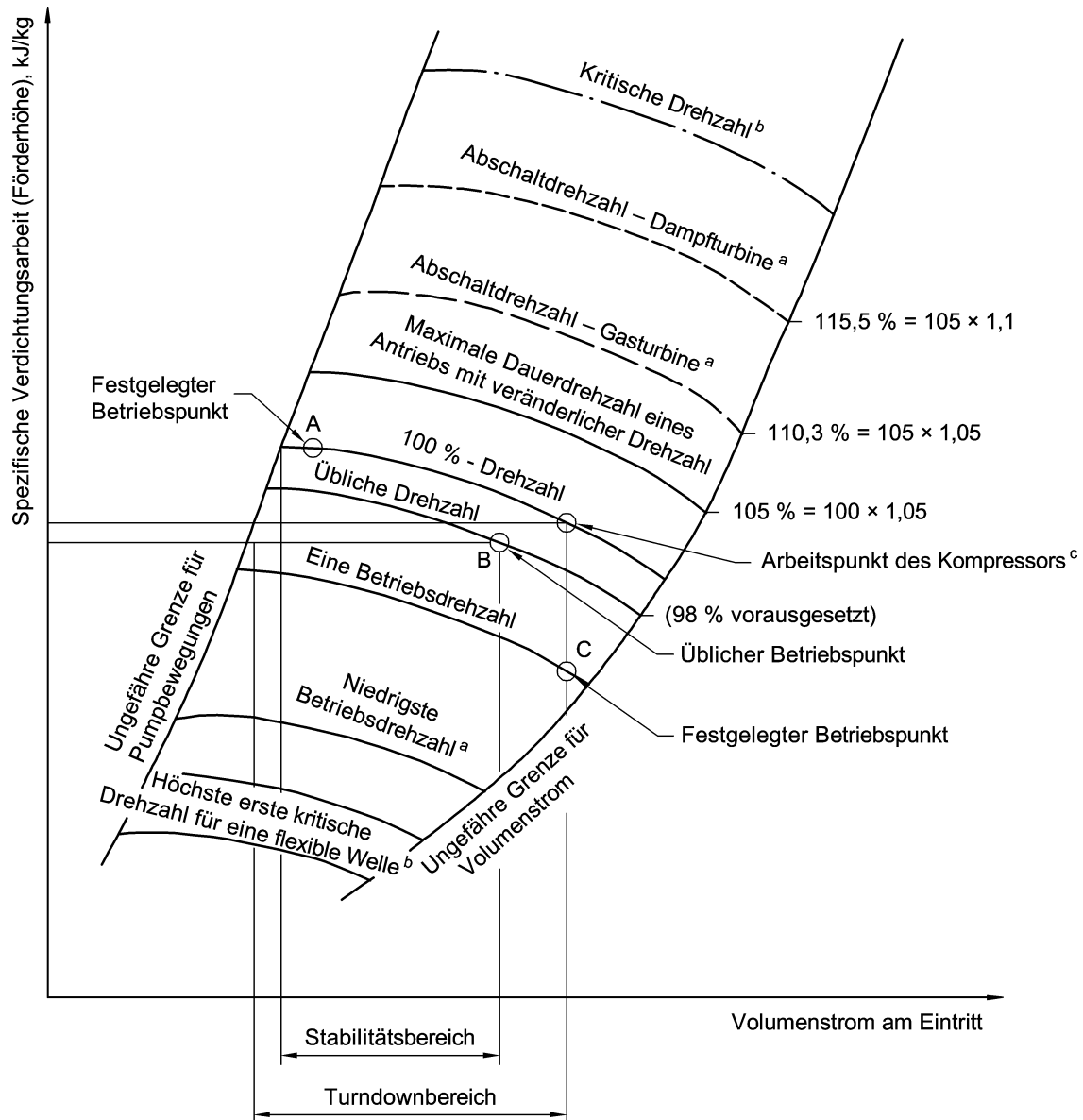
4.1.4 Der Kompressor muss so ausgelegt werden, dass er die für den üblichen Betriebspunkt geforderte Förderhöhe und den geforderten Volumenstrom ohne negative Toleranz erbringt. Die Eingangsleistung darf unter der oben aufgeführten Bedingung 104 % des für diesen Punkt vorhergesagten Wertes nicht überschreiten.

ANMERKUNG Kriterien für eine wahlweise durchzuführende Funktionsprüfung und Vorgehensweise bei sehr hoher Förderhöhe für Antriebe mit konstanter Drehzahl siehe 6.3.6.2.

4.1.5 Die Kurve der Förderhöhe über dem Volumenstrom (Bild 1) muss vom Arbeitspunkt bis zur vorhergesagten Pumpgrenze kontinuierlich ansteigen. Der Kompressor muss bei einem beliebigen Volumenstrom, der mindestens 10 % größer als die im Angebot angegebene Pumpgrenze ist, ohne Umführung für Dauerbetrieb geeignet sein.

4.1.6 Sofern nicht anders festgelegt, müssen Kühlwassersysteme, falls gefordert, für die in Tabelle 1 angegebenen Bedingungen ausgelegt werden. Es müssen Vorkehrungen getroffen werden, um eine vollständige Entlüftung und Entwässerung des Systems zu ermöglichen.

Der Lieferant muss den Besteller informieren, falls die Kriterien für den Mindesttemperaturanstieg und die Geschwindigkeit über die Wärmetauscherflächen zu Widersprüchen führen. Das Kriterium für die Geschwindigkeit über die Wärmetauscherflächen dient zur Minimierung des Kühlwassereinsatzes. Der Besteller muss die getroffene Auswahl genehmigen.



Die Kurve der Förderhöhe über dem Volumenstrom muss bei einer Drehzahl von 100 % mindestens 115 % des CRP überdecken. Für andere Drehzahlen müssen die Kurven der Förderhöhe über dem Volumenstrom bis zu dem Volumenstrom verlängert werden, die der jeweiligen Drehzahl entspricht. Beispielsweise muss die Kurve Förderhöhe/Volumenstrom für eine Drehzahl von 105 % verlängert werden, indem die Förderleistung beim CRP mit 1,05 und 1,15 multipliziert wird; die Kurve Förderhöhe/Leistung für eine Drehzahl von 90 % muss verlängert werden, indem die Förderleistung beim CRP mit 0,9 und 1,15 multipliziert wird usw. Diese Punkte definieren eine „Näherungskurve für die Volumenstromgrenze“.

Außer, wenn bestimmte zahlenmäßige Zusammenhänge angegeben werden, sind die im Bild angegebenen relativen Werte angenommene Werte, die lediglich der Veranschaulichung dienen.

Die 100 %-Drehzahl wird aus dem Betriebspunkt bestimmt, der die größte Förderhöhe erfordert, d. h. sie entspricht Punkt A im Bild.

Der Arbeitspunkt des Kompressors (CRP) ist der Schnittpunkt auf der Drehzahlkurve für 100 %, die dem größten Durchfluss für einen beliebigen Betriebspunkt entspricht; im Bild ist das Punkt C. Siehe 3.4.

^a Für den Antrieb des Kompressors ist zur Bestimmung der Abschaltdrehzahl und der Untergrenzen für die Betriebsdrehzahl Bezug auf die jeweils zutreffende Norm zu nehmen (z. B. ISO 10437 oder ISO 3977-5).

^b Für die zulässige Spanne für die kritischen Drehzahlen im Bereich der Betriebsdrehzahlen ist auf 4.9 Bezug zu nehmen.

^c Die maximale Dauerdrehzahl muss für Antriebe mit veränderlicher Drehzahl 105 % betragen. Die maximale Dauerdrehzahl muss der Synchron Drehzahl des Motors entsprechen.

Bild 1 — Darstellung der Nomenklatur

Tabelle 1 — Kühlwassersysteme — Anforderungen an die Gestaltung

Geschwindigkeit über die Wärmetauscherflächen	1,5 m/s bis 2,5 m/s (5 ft/s bis 8 ft/s)
Maximal zulässiger Betriebsüberdruck	≥ 500 kPa (75 psi)
Prüf-Überdruck	≥ 750 kPa (110 psi)
Maximale Eintrittstemperatur	30 °C (90 °F)
Maximaler Temperaturanstieg	20 K (35 °F)
Wasserseitiger Verschmutzungsfaktor	0,35 m ² K/kW (0,002 h · ft ² °F/Btu)
Maximaler Druckabfall	100 kPa (15 psi)
Maximale Austrittstemperatur	50 °C (120 °F)
Kleinster Temperaturanstieg	10 K (20 °F)
Korrosionszuschlag für den Mantel	3,0 mm (1/8 in)

4.1.7 Die Anordnung der Einrichtung einschließlich der Rohrleitungen und des Zubehörs muss vom Besteller und Lieferanten gemeinsam festgelegt werden. Dabei müssen ausreichende Freiräume und ein sicherer Zugang für Betrieb und Instandhaltung eingehalten werden.

4.1.8 Alle Einrichtungen müssen so gestaltet werden, dass eine rasche und wirtschaftliche Instandhaltung möglich ist. Alle wichtigen Teile, z. B. Teile des Gehäuses und Lagergehäuse, müssen so gestaltet und hergestellt werden, dass ein Wiedereinbau mit genauer Ausrichtung sichergestellt ist. Zu diesem Zweck können Absätze, Zylinderpassstifte oder Passfedern angewendet werden.

4.1.9 Das innere Gehäuse vertikal geteilter Verdichter muss so gestaltet werden, dass es problemlos aus dem äußeren Gehäuse zu entnehmen und zur Inspektion oder zum Auswechseln von Teilen leicht zu demontieren ist.

● **4.1.10** Die Einrichtung und alle Zubehöerteile müssen für den Betrieb unter den vom Besteller festgelegten Umgebungsbedingungen geeignet sein. Zu diesen Bedingungen gehören der Standort der Einrichtung, d. h., ob die Installation innerhalb von Räumen (beheizt oder unbeheizt) oder im Freien (mit oder ohne Überdachung) erfolgt, ferner die auftretenden höchsten und niedrigsten Temperaturen, das Auftreten von ungewöhnlicher Feuchtigkeit, von sehr viel Staub oder von korrosiven Bedingungen. Als Hinweis für den Besteller muss der Lieferant im Angebot alle Sonderschutzeinrichtungen auflisten, die der Besteller bereitstellen muss.

4.1.11 Die Überwachung des Schalldruckpegels (SPL) der gelieferten Gesamteinrichtung muss gemeinsam von Besteller und Lieferant durchgeführt werden. Die vom Lieferanten gelieferte Einrichtung muss dem maximal zulässigen Schalldruckpegel entsprechen, der vom Besteller festgelegt wurde.

● **4.1.12** Der Besteller muss den Lieferanten über alle Anforderungen informieren, die für die Injektion von Flüssigkeiten gelten.

4.1.13 Die Anlage muss so gestaltet werden, dass sie ohne Beschädigung bis zur Abschaltzahl und beim maximal zulässigen Betriebsdruck läuft.

4.1.14 Kompressor und Kompressorantrieb müssen auf dem Prüfstand und auf dem für sie vorgesehenen Dauerfundament entsprechend der spezifizierten Abnahmekriterien funktionieren. Der Besteller und der Lieferant, der die Strangverantwortung trägt, sind nach der Installation gemeinsam für die Funktionsfähigkeit der kombinierten Einheiten verantwortlich.

4.1.15 Viele Faktoren (z. B. Rohrleitungslasten, Ausrichtung unter bestimmten Betriebsbedingungen, Stützkonstruktionen, Handhabung [Transport] während des Versands sowie Handhabung und Montage am Einsatzort) können die Funktionsfähigkeit am Einsatzort nachteilig beeinflussen. Um den Einfluss dieser Faktoren zu verringern, muss der Lieferant die vom Besteller für Rohrleitung und Fundament vorgelegten Zeichnungen überprüfen und kommentieren. Falls festgelegt, muss der Vertreter des Lieferanten:

- an einer Überprüfung der Rohrleitung beteiligt sein, bei der die Flansche abgetrennt werden;
- die Ausrichtung bei der Betriebstemperatur überprüfen und
- während der Erstüberprüfung der Ausrichtung anwesend sein.

● **4.1.16** Alle Motoren und alle übrigen elektrischen Teile und Installationen müssen für die Bereichsklassifikation (Zone) geeignet sein, die vom Besteller auf den Datenblättern festgelegt wurde; die Anforderungen von IEC 60079-10 und die vom Besteller festgelegten zutreffenden örtlichen Vorschriften und Regelungen müssen erfüllt werden.

4.1.17 Ersatzteile für den Kompressor und alle gelieferten Zubehöreinrichtungen müssen die Kriterien dieser Internationalen Norm erfüllen.

● **4.1.18** Falls festgelegt, muss/müssen der/die Kompressor(en) für den Betrieb in der Anlage mit Luft geeignet sein. Die Leistungsparameter einschließlich aller notwendigen Vorsichtsmaßnahmen müssen zwischen Besteller und Lieferant abgesprochen werden.

4.1.19 Eine Richtlinie für die Nomenklatur des Turbokompressors wird im Anhang F angegeben.

● **4.1.20** Die Druck-Berechnungs-Vorschrift muss vom Besteller festgelegt oder mit ihm vereinbart werden.

Druckteile müssen der Druck-Berechnungs-Vorschrift sowie den ergänzenden Anforderungen in dieser Internationalen Norm entsprechen.

● **4.1.21** Besteller und Lieferant müssen die Maßnahmen abstimmen, die zu ergreifen sind, um die staatlichen Vorschriften, Verordnungen oder Regeln zu erfüllen, die auf die Einrichtung anzuwenden sind.

4.2 Gehäuse

4.2.1 Die Dicke des Gehäuses muss für den maximal zulässigen Betriebsdruck und die Prüfdrücke geeignet sein; es muss ein Korrosionszuschlag von mindestens 3 mm vorgesehen werden. Die Dicke des Gehäuses darf nicht kleiner sein als die nach der Druck-Behälter-Vorschrift errechnete Dicke.

4.2.2 Die Füße der Einrichtung müssen mit Schrauben für eine vertikale Nivellierung und mit Führungsbohrungen ausgestattet sein, die zugänglich sein müssen, wenn die endgültige Befestigung erfolgt.

4.2.3 Unterstützung und Schrauben zur Ausrichtung müssen ausreichend biegesteif sein, um eine Bewegung des Kompressors durch Einsatz der seitlichen und axialen Nivellierschrauben zu ermöglichen.

● **4.2.4** Der maximal zulässige Betriebsdruck des Gehäuses muss mindestens der für das Überdruckventil festgelegten Einstellung entsprechen; falls keine Einstellung für das Überdruckventil festgelegt ist oder kein Überdruckventil eingebaut wurde, muss der maximal zulässige Betriebsdruck mindestens das 1,25fache des maximal spezifizierten Austrittsdrucks betragen.

ANMERKUNG Ein Systemschutz wird üblicherweise vom Besteller bereitgestellt.

4.2.5 Gehäuse, die für mehr als eine maximal zulässige Druckstufe (unterschiedliche Druckklassen innerhalb eines Gehäuses) ausgelegt werden, sind ohne ausdrückliche Zustimmung des Bestellers nicht zulässig, und wenn die Zustimmung des Bestellers vorliegt, muss der Lieferant die physikalischen Grenzwerte und den maximal zulässigen Betriebsdruck für jedes Teil des Gehäuses festlegen.

4.2.6 Alle horizontal geteilten Gehäuse müssen ausreichend biegesteif sein, um eine Demontage/Montage der oberen Hälfte ohne Beeinträchtigung der Betriebsspiele zwischen Läufer und Statorteilen und der Lagerausrichtung zu ermöglichen.

4.2.7 Gehäuse müssen aus Stahl hergestellt werden, wenn folgende Medien unter folgenden Bedingungen anzuwenden sind:

- a) Luft oder nicht entflammbares Gas bei einem maximal zulässigen Betriebsüberdruck über 2 500 kPa (360 psi);
- b) Luft oder nicht entflammbares Gas bei einer errechneten Austrittstemperatur, die an einem beliebigen Punkt innerhalb des Betriebsbereichs bei maximaler Dauerdrehzahl über 260 °C (500 °F) liegt;
- c) entflammbares oder giftiges Gas.

4.2.8 Für andere als die in 4.2.7 festgelegten Betriebsbedingungen dürfen Gussmetalle oder andere Konstruktionswerkstoffe angewendet werden.

4.2.9 Sofern nicht anders festgelegt, müssen die Gehäuse radial geteilt sein, wenn der Partialdruck des Wasserstoffs (beim maximal zulässigen Betriebsüberdruck) 1 400 kPa (200 psi) überschreitet.

ANMERKUNG Der Partialdruck des Wasserstoffs wird errechnet, indem der höchste für Wasserstoff festgelegte Wert in Mol-Prozent (Volumen-%) mit dem maximal zulässigen Betriebsdruck multipliziert wird.

4.2.10 Horizontale Gehäuseteilungen müssen als Metall gegen Metall Fuge ausgeführt werden (mit einem geeigneten Teilfugendichtmittel), deren Dichtheit durch Verschraubung sichergestellt wird. In der Teilfuge dürfen keine Flachdichtungen (auch kein Dichtband) angewendet werden. O-Ringe und in die Dichtfläche des Flansches eingearbeitete Nuten dürfen für horizontale Gehäuseteilungen angewendet werden, wenn die Zustimmung des Bestellers vorliegt. Falls zwischen den Enddeckeln und dem zylindrischen Mantel vertikaler Gehäuseteilungen Flachdichtungen angewendet werden, müssen sie auf geeignete Weise gesichert werden. Die Dichtungswerkstoffe müssen für alle festgelegten Einsatzbedingungen geeignet sein.

4.2.11 Stellschrauben, Führungsstangen und Passstifte zur Gehäuseausrichtung müssen vorgesehen werden, um die Demontage und eine erneute Montage zu erleichtern. Falls Stellschrauben zum Trennen der Berührungsflächen angewendet werden, muss eine der Flächen hinterarbeitet sein (angesenkt oder ausgespart), um eine durch eine Beschädigung einer Fläche bedingte undichte Verbindung oder eine ungenaue Passung zu verhindern. Die Führungsstangen müssen ausreichend lang sein, um eine Beschädigung der Einbauteile oder der Gehäusestehbolzen bei Demontage und erneuter Montage zu verhindern. Zum Anheben des Gehäuseoberteils müssen Ösen oder Ringschrauben an der oberen Hälfte des Gehäuses angebracht werden. Die Verfahren zum Anheben des zusammengebauten Kompressors müssen vom Lieferanten festgelegt werden.

4.2.12 In Druckteilen müssen möglichst wenige Gewindelöcher vorgesehen werden. Um Undichtheiten in den Druckbereichen des Gehäuses zu verhindern, muss Metall um und unter den gebohrten und mit Gewinde versehenen Löchern in einer Dicke vorhanden sein und bleiben, die zusätzlich zum Korrosionszuschlag mindestens dem halben Schrauben-Nenndurchmesser entspricht. Die Gewindelöcher müssen eine Tiefe haben, die mindestens dem 1,5fachen Stehbolzendurchmesser entspricht.

4.2.13 Eine Abdichtung von Stehbolzen-Durchgangslöchern zur Verhinderung von Undichtheiten ist unzulässig.

4.2.14 Die Montageflächen des Kompressors müssen so bearbeitet werden, dass sie eine Oberflächengüte erreichen, die durch einen arithmetischen Mittenrauwert (R_a) von 3,2 µm bis 6,4 µm (125 Mikrozoll bis 250 Mikrozoll) gekennzeichnet ist. Schraubenlöcher für Halte- oder Fundamentschrauben müssen rechtwinklig zur der/den Montagefläche(n) gebohrt und auf einen Durchmesser plangesenkt werden, der dem dreifachen Lochdurchmesser entspricht.

4.2.15 Stehbolzenverbindungen müssen mit eingeschraubten Stehbolzen geliefert werden. Blindlöcher für Stehbolzen sollten nur so tief gebohrt werden, dass die bevorzugte Einschraubtiefe erreicht wird, die dem 1,5fachen Außendurchmesser des Stehbolzens entspricht; die ersten 1,5 Gewindegänge an beiden Enden des Stehbolzens müssen entfernt werden.

4.2.16 Die externen und internen Schraubenverbindungen müssen entsprechend den Festlegungen in 4.2.16a) bis einschließlich 4.2.16d) geliefert werden.

- a) Externe Verbindungen zum Gehäuse müssen der Druck-Berechnungs-Vorschrift entsprechen. Für interne Verbindungen muss die gleiche Gewindeform angewendet werden.
- b) An Stelle von Kopfschrauben sollten Stehbolzen (nur für externe Verbindungen) angewendet werden.
- c) Für eine Verschraubung muss ein ausreichender Abstand vorgesehen werden, um die Anwendung von Steck- oder Ringschlüsseln (nur für externe Verbindungen) zu ermöglichen.
- d) Eine Verschraubung mit Innensechskantschrauben, Schlitzmuttern oder Schrauben mit Sechskantkopf darf nur angewendet werden, wenn die ausdrückliche Zustimmung des Bestellers vorliegt (nur für externe Verbindungen).

4.3 Zwischenböden und Eintrittsleitschaufeln

● **4.3.1** Zwischenböden und Eintrittsleitschaufeln müssen für alle festgelegten Betriebsbedingungen, für Anfahren, Abfahren, Schnellabschaltung, Ausgleichsvorgänge und für momentanes Pumpen geeignet sein. Falls zwischen den Hauptprozessanschlüssen weitere Anschlüsse vorgesehen werden, muss der Besteller für jeden Anschluss die größten und die kleinsten Drücke festlegen. Der Lieferant muss bestätigen, dass die gelieferten Böden für den maximalen Differenzdruck geeignet sind.

4.3.2 Innere Teilfugen müssen so gestaltet werden, dass Leckagen minimiert werden und eine leichte Demontage möglich ist.

4.3.3 Austauschbare Labyrinth müssen an allen Stellen mit kleinem Spiel zwischen Rotor und Stator vorgesehen werden, um innere Leckagen zu minimieren. Sie müssen leicht ersetzbar sein.

4.3.4 Die Böden müssen axial geteilt sein, sofern vom Besteller nicht anders vorgesehen. Die Böden müssen mit Gewindelöchern für Ringschrauben oder andere Einrichtungen zur Erleichterung des Ausbaus geliefert werden.

4.3.5 Falls eine Kühlung der Böden festgelegt ist, müssen die oberen und unteren Hälften der geteilten Böden unabhängige Durchgänge für das Kühlmittel haben. Alle Kühlmittel-Eintritts- und -Austrittsanschlüsse müssen sowohl mit dem oberen als auch mit dem unteren Teil jedes Gehäuses verbunden sein.

4.4 Gehäuseanschlüsse

4.4.1 Allgemeines

4.4.1.1 Alle Prozessgasanschlüsse an das Gehäuse müssen für den maximal zulässigen Betriebsdruck des Gehäuses geeignet sein (siehe 4.2.4).

4.4.1.2 Alle vom Besteller festgelegten Anschlüsse müssen zu Instandhaltungsarbeiten zugänglich sein, ohne dass der Kompressor bewegt werden muss.

4.4.1.3 Die Nennweiten DN 32 (NPS 1 ¼), DN 65 (NPS 2 ½), DN 90 (NPS 3 ½) oder DN 125 (NPS 5) dürfen für Anschlüsse, Rohre, Armaturen und Fittings nicht angewendet werden.

4.4.1.4 Für Schweißanschlüsse am Gehäuse gelten die Anforderungen an den Werkstoff und die Kerbschlagzähigkeitswerte, die an das Gehäuse, nicht an die angeschlossenen Rohre gestellt werden.

4.4.1.5 Alle Schweißungen an den Anschlüssen müssen vor dem hydrostatischen Test durchgeführt werden (siehe 6.3.2).

4.4.2 Hauptprozessanschlüsse

● **4.4.2.1** Eingangs- und Ausgangsanschlüsse müssen nach den Festlegungen in den Datenblättern als Flansch oder spanend bearbeitet und mit Stehbolzen versehen ausgeführt werden. Eingangs- und Ausgangsanschlüsse für Topfverdichter müssen im äußeren Gehäuse und nicht in den Deckeln angeordnet werden. An radial geteilten Kompressoren mit fliegend gelagerten Laufrädern darf der Prozesseinlassanschluss im Deckel liegen.

● **4.4.2.2** Flansche müssen der Druck-Berechnungs-Vorschrift entsprechen. Falls festgelegt, muss der Lieferant alle Gegenflansche einschließlich der Bolzen und Muttern liefern.

4.4.2.2.1 An Gehäusen dürfen, außer an Gusseisengehäusen, Flansche mit glatter Anschlussfläche und mit einer Flanschdicke entsprechend Flanschausführung mit Rücksprung angewendet werden.

4.4.2.2.2 Sofern nicht anders festgelegt, dürfen Flansche angewendet werden, die eine größere Dicke oder einen größeren Außendurchmesser haben als nach der Druck-Berechnungs-Vorschrift gefordert.

4.4.2.3 Gusseisenflansche müssen eine glatte Anschlussfläche haben und die Maßanforderungen von ISO 7005-2 erfüllen. Flansche der Klasse 125 müssen für Nennweiten bis $\leq$ DN 200 eine der Klasse 250 entsprechende Mindestdicke haben.

4.4.2.4 Die Konzentrität des Schraubenlochkreises und der Bohrung für alle Gehäuseflansche muss so sein, dass der Bereich der bearbeiteten Dichtungsfläche geeignet ist, eine komplette übliche Flachdichtung so aufzunehmen, dass die Dichtung nicht in den Medienstrom hineinreicht.

4.4.2.5 Die Oberflächenbeschaffenheit aller Flansche und Stutzen muss den jeweils zutreffenden Anforderungen von 4.4.2.2 an den gelieferten Werkstoff sowie an die Oberflächenrauheit des Flansches entsprechen.

4.4.3 Anschlüsse für Zubehöreinrichtungen

4.4.3.1 Zu den Anschlüssen für Zubehöreinrichtungen können z. B. die Anschlüsse für Be-/Entlüftungen, für die Injektion von Flüssigkeiten, Ablassöffnungen (siehe 4.4.3.2), für Wasserkühlung, für Schmier- und Sperröl, für Spülmedien, für Puffergas und die Öffnung zur Kammer für den Ausgleichskolben gehören.

● **4.4.3.2** In Gehäusen mit horizontaler Teilfuge muss der Lieferant Anschlüsse zur vollständigen Entwässerung aller Gasdurchgänge vorsehen. In Gehäusen mit vertikaler Teilfuge müssen die Ablassöffnungen an den jeweils niedrigsten Stellen aller Eintrittsabschnitte, dem tiefsten Punkt zwischen dem inneren und dem äußeren Gehäuse und aller Austrittsabschnitte angeordnet werden. Falls festgelegt, müssen individuelle Entwässerungen für alle Stufen sowie eine Entwässerung für die Kammer hinter dem Ausgleichskolben vorgesehen werden.

4.4.3.3 Flansche müssen der Druck-Berechnungs-Vorschrift entsprechen.

4.4.3.4 Anschlüsse für Zubehöreinrichtungen müssen mindestens eine Nennweite von DN 20 (NPS $\frac{3}{4}$) (siehe 4.4.1.3) haben und mit einem Vorschweißanschluss und Flanschen versehen werden, oder sie müssen bearbeitet und mit Stehbolzen ausgerüstet werden. Bei der Ausführung mit Vorschweißanschluss muss zwischen Rohrende und unterem Teil des Vorschweißanschlusses im Gehäuse ein Spalt gelassen werden, dessen Breite bei einer Messung vor dem Schweißen 1,5 mm beträgt.

4.4.3.5 Falls weder Vorschweißanschlüsse und Flansche noch bearbeitete und mit Stehbolzen ausgestattete Öffnungen geliefert werden können, dürfen mit Gewinde versehene Öffnungen mit Nennweiten von DN 20 (NPS $\frac{3}{4}$) bis DN 40 (NPS $1\frac{1}{2}$) angewendet werden, sofern der Besteller zugestimmt hat. Diese mit Gewinde versehenen Öffnungen müssen nach den Festlegungen in 4.4.3.5, a) bis einschließlich 4.4.3.5, c) eingebracht werden.

- a) Mit Gewinde versehene Öffnungen und für Rohrgewinde vorgesehene Vorsprünge müssen der Druck-Berechnungs-Vorschrift entsprechen.
- b) Als Rohrgewinde müssen Kegelgewinde (z. B. nach ISO 7 oder ASME B 1.20.1) angewendet werden, die der Druck-Berechnungs-Vorschrift entsprechen.
- c) Für entflammbare oder giftige Medien dürfen keine Gewindeanschlüsse angewendet werden. Wenn Gewindeverbindungen zulässig sind, dürfen sie nicht dichtgeschweißt werden.

4.4.3.6 Ein Rohrnippel, der nicht mehr als 150 mm (6 Zoll) lang sein sollte, muss in eine Öffnung mit Gewinde oder in eine Öffnung mit Schweißmuffe eingebracht werden. Rohrnippel müssen für Gewindeanschlüsse mindestens Schedule 160 für nahtlose Rohre und für Muffenschweißverbindungen mindestens Schedule 80 entsprechen. Jeder Rohrnippel muss mit einem Vorschweiß-, Muffen- oder Aufsteckflansch geliefert werden.

ANMERKUNG Diese Angaben sind aus den Festlegungen von ASME B 36.10M entnommen.

4.4.3.7 Öffnungen mit Gewinde, die nicht mit der Rohrleitung verbunden sind, müssen mit massiven Stopfen aus Stahl verschlossen werden. Diese Stopfen müssen mindestens den Werkstoffanforderungen entsprechen, die an das Gehäuse gestellt werden. Stopfen, deren Entfernung zu einem späteren Zeitpunkt gefordert werden kann, müssen aus korrosionsbeständigem Werkstoff bestehen. Die Gewinde müssen geschmiert werden. Kleband darf nicht auf Gewinde von Stopfen aufgebracht werden, die in Öldurchgänge eingeschraubt werden. Kunststoffstopfen dürfen nicht angewendet werden.

4.5 Äußere Kräfte und Momente

4.5.1 Der Kompressor muss so gestaltet werden, dass er den äußeren Kräften und Momenten standhält, die nach Anhang G für jeden Stutzen errechnet werden. Der Lieferant muss die zulässigen Kräfte und Momente für jeden Stutzen in tabellarischer Form zusammen mit den jeweiligen Koordinaten angeben.

4.5.2 Gehäuse und Abstützungen müssen so ausgelegt werden, dass sie eine ausreichende Festigkeit und Steifigkeit haben, um den durch Aufbringung der zulässigen Kräfte und Momente verursachten Kupplungsversatz auf 50 µm (0,002 Zoll) zu begrenzen.

4.6 Rotierende Elemente

4.6.1 Wellen müssen aus einem Stück eines wärmebehandelten Stahls bestehen, das auf geeignete Weise bearbeitet ist. Wellen mit einem Fertigdurchmesser größer als 200 mm (8 Zoll) sollen aus geschmiedetem Stahl sein. Wellen, die einen Fertigdurchmesser von 200 mm (8 Zoll) oder weniger haben, müssen aus Schmiedestahl oder, wenn die Zustimmung des Bestellers vorliegt, aus warm gewalztem Stangenmaterial bestehen, sofern dieses Stangenmaterial alle Kriterien erfüllt, die für Qualität und Wärmebehandlung geschmiedeter Wellen festgelegt sind.

4.6.2 Wellenenden für Kupplungen müssen ISO 10441 entsprechen.

4.6.3 Sofern der Besteller keinem anderen Wellenschutz zugestimmt hat, müssen, wenn keine umlaufenden Dichtungen angewendet werden, für alle Bereiche mit kleinem Spiel auswechselbare Wellenhülsen vorgesehen werden. Die Wellenhülsen müssen aus einem Werkstoff bestehen, der für den vorgesehenen Einsatz ausreichend korrosionsbeständig ist. Die Hülsen, die für die Enddichtungen von Durchführungen mit kleinem Spiel eingesetzt werden, müssen geeignet behandelt werden, um dem auftretenden Verschleiß standzuhalten, und sie müssen geeignet abgedichtet werden, um eine Leckage zwischen Welle und Hülse zu verhindern (Grenzwerte siehe 4.11.1.7).

4.6.4 Die Baugruppen Welle-Hülse-Laufrad müssen so gestaltet werden, dass der zusammengebaute Rotor keine zeitweiligen oder bleibenden Verformungen erfährt. Das Laufrad muss so befestigt werden, dass unter allen festgelegten Betriebsbedingungen einschließlich einer Überdrehzahl und bis zur Abschaltzahl eine ausreichende Konzentrität und ein mechanisches Gleichgewicht aufrechterhalten werden.

4.6.5 Die Messbereiche auf der Rotorwelle, an der mit Hilfe von radialen Schwingungsaufnehmern der Rotor überwacht wird, müssen konzentrisch zu den Lagerzapfen angeordnet werden. Alle zu erfassenden Bereiche der Welle (sowohl zur Überwachung der radialen Schwingungen als auch der axialen Position) müssen frei von Stempel- und Anreißmarken oder sonstigen Oberflächenunregelmäßigkeiten sein, z. B. Ölkanälen oder Keilnuten. Diese Bereiche dürfen weder mit Metallüberzügen noch mit Hülsen versehen oder elektrolytisch beschichtet werden. Die endgültige Oberflächengüte muss durch eine Mittenrauheit R_a von 0,4 µm bis 0,8 µm (16 Mikrozoll bis 32 Mikrozoll) gekennzeichnet sein, die vorzugsweise durch Hohnen oder Feinrollen erreicht wird. Diese Wellenbereiche müssen vorschriftsmäßig entmagnetisiert oder auf andere Weise so behandelt werden, dass die kombinierte elektrische und mechanische Unrundheit 25 % des maximal zulässigen Spitzenwertes für die Schwingungsamplitude oder den folgenden Wert, sofern er größer ist, nicht überschreitet:

- a) für Bereiche, die durch radiale Schwingungsmessfühler zu überwachen sind: 6 µm (250 micro-inches);
- b) für Bereiche, die durch axiale Positionsmessfühler zu überwachen sind: 13 µm (500 micro-inches).

Falls diese Grenzwerte bei angemessenem Aufwand nicht einzuhalten sind, müssen Lieferant und Besteller alternative Abnahmekriterien vereinbaren.

4.6.6 Jeder Rotor muss mit einer eindeutigen Kenn-Nummer versehen werden. Diese Nummer muss an dem der Kupplung gegenüberliegenden Wellenende oder auf einem zugänglichen Bereich angegeben werden, der für Beschädigungen bei Instandhaltungsaktivitäten nicht anfällig ist.

4.6.7 Die Laufräder können geschlossen sein und aus einer Rotorscheibe, Schaufeln und einer Deckscheibe bestehen, oder es werden halb offene Bauarten angewendet, die aus einer Rotorscheibe und Schaufeln bestehen. Die Laufräder müssen geschweißt, gelötet, gefräst oder gegossen ausgeführt werden. Weitere Herstellungsverfahren, z. B. Elektroerosion und Nieten, können zulässig sein, wenn die Zustimmung des Bestellers vorliegt. Jedes Laufrad muss mit einer eindeutigen Kenn-Nummer versehen werden.

4.6.8 Geschweißte, gelötete und genietete Laufräder dürfen aus geschmiedeten und gegossenen Bauteilen bestehen. Schweißnähte in den Gasdurchgängen müssen glatt und frei von Schweißspritzern sein. Nach dem Schweißen oder Löten müssen die Laufräder wärmebehandelt und spannungsarm geglüht werden. Die Schaufel-ein- und -austrittsränder dürfen nicht scharfkantig sein.

4.6.9 Gegossene Laufräder müssen auf allen Flächen fertig bearbeitet werden, außer in den Gasdurchgängen. Ein Schweißen zur Eigenschaftsverbesserung oder ein Reparaturschweißen darf nur zugelassen werden, wenn die Zustimmung des Bestellers vorliegt.

4.6.10 Für Laufräder ist Schweißen zum Zweck des Auswuchtens nicht zulässig.

4.6.11 Für die geometrische Gestaltung der beanspruchten Teile ist eine exakte Beurteilung des Spannungskonzentrationsfaktors (SCF) erforderlich. Bei Gestaltung der rotierenden beanspruchten Teile müssen auch Auskehlungen berücksichtigt werden, die den SCF begrenzen.

ANMERKUNG Zu den betroffenen Bereichen gehören die Schnittfläche Laufradschaufel/Rad- und Deckscheibe, Keilnuten und Querschnittsänderungen der Welle.

4.6.12 Integrale Spurscheiben werden bevorzugt. Montierbare Spurscheiben müssen ausgeführt werden, wenn die Montage und Demontage von Schwimmringdichtung, Gleitringdichtung oder Gasdichtungen es erfordern. Falls integrale Spurscheiben vorhanden sind, müssen sie eine zusätzliche Materialdicke von mindestens 3 mm (1/8 Zoll) haben, um beschädigte Spurscheiben nachbearbeiten zu können. Falls (für Montage- und Instandhaltungszwecke) auswechselbare Spurscheiben geliefert werden, müssen sie formschlüssig mit der Welle verbunden werden, um Reibkorrosion zu verhindern.

4.6.13 Beide Flächen der Spurscheiben müssen eine Oberflächengüte mit einem Mittenrauwert R_a von maximal 0,4 µm (16 micro-inches) aufweisen, und der angezeigte axiale Rundlauffehler darf auf keiner Fläche 13 µm (500 mikro-inches) überschreiten.

4.6.14 Kompressorbauarten, die keinen Ausgleichskolben erfordern, sind zulässig.

4.6.15 Bei Bedarf müssen ein Ausgleichskolben, eine Ausgleichsleitung, eine Auslass- und Einlassöffnung vorgesehen werden, um axiale Lasten auf die Drucklager zu begrenzen. Ein gesonderter Druckmessanschluss oder mehrere gesonderte Druckmessanschlüsse müssen vorgesehen werden, damit der Druck der Ausgleichskammer, nicht der Ausgleichsleitung, angezeigt wird.

4.6.16 Die Ausgleichsleitung muss mit Flanschen versehen und so bemessen werden, dass eine Gasleckage über den Ausgleichskolben aufgenommen wird, die dem doppelten Wert des nominalen Labyrinthspiels entspricht, ohne dass die Nennbelastung der Drucklager überschritten wird (siehe 4.7.3.3). Falls in die Ausgleichsleitung ein vom Besteller gewünschter Anschluss einzubringen ist, müssen die Anschlussgrößen in den Datenblättern angegeben werden.

Um den Aufbau möglicher elektrischer Spannungen in der Welle zu verhindern, darf der Restmagnetismus der rotierenden Elemente 0,000 5 Tesla (5 Gauss) nicht überschreiten.

4.7 Lager und Lagergehäuse

4.7.1 Allgemeines

4.7.1.1 Sofern vom Besteller nicht die spezifische Zustimmung zu einer anderen Lösung gegeben wird, müssen hydrodynamische Radiallager und Drucklager vorgesehen werden.

ANMERKUNG Im Anhang J werden Überlegungen für die Anwendung aktiver Magnetlager angegeben, wenn diese spezifiziert sind. Sie stellen derzeit eine technologische Neuentwicklung dar.

4.7.2.2 Sofern nicht anders festgelegt, müssen Drucklager und Radiallager mit nach API Std 670 zu installierenden Messwertaufnehmern zur Ermittlung der Steintemperatur des Lagers ausgestattet werden.

4.7.2 Radiallager

4.7.2.1 Es müssen Radiallager mit Lagerschalen oder Kippsegmenten eingesetzt werden, die zur Erleichterung der Montage geteilt sein müssen. Die Anwendung nicht geteilter Ausführungen erfordert die Zustimmung des Bestellers. Die Lager müssen eine Präzisionsbohrung haben, eine Stützscheibe aus Stahl mit Weißmetall, und mit auswechselbaren Einsätzen, Kippsegmenten, Lagerschalen ausgestattet sein. Die Lager müssen durch Stifte gegen Drehungen und durch ein formschlüssiges Element gegen axiale Verschiebungen gesichert werden.

4.7.2.2 Durch die Gestaltung der Lager müssen hydrodynamische Instabilitäten unterdrückt werden, und es muss eine ausreichende Dämpfung über den gesamten Bereich der zulässigen Lagerspiele geboten werden, um Schwingungen des Rotors auf die maximal zulässigen Amplituden zu begrenzen (siehe 4.9.5.6), während die Einrichtung belastet oder unbelastet bei einer beliebigen Drehzahl innerhalb des festgelegten Drehzahlbereichs arbeitet (siehe 4.9.1.3).

4.7.2.3 Die Einsätze, Kippsegmente oder Lagerschalen müssen in horizontal geteilte Lagergehäuse so eingebracht werden, dass sie problemlos ausgewechselt werden können. Um diese Elemente auswechseln zu können, muss nicht der Abbau der oberen Gehäusehälfte bei horizontal geteilten Maschinen oder des Enddeckels bei vertikal geteilten Maschinen erforderlich sein. Sofern vom Besteller nicht ausdrücklich genehmigt, darf bedingt durch die Konstruktion des Lagers nicht die Demontage der Kupplungsnahe erforderlich sein, um Einsätze, Kippsegmente oder Lagerschalen auswechseln zu können.

4.7.2.4 Kompressoren, die mit Radiallagern mit Lagerschalen ausgestattet sind, müssen so gestaltet werden, dass die Installation von Kippsegment-Radiallagern ohne Nachbearbeitung des Lagerbockes möglich ist.

4.7.3 Drucklager

4.7.3.1 Hydrodynamische Drucklager müssen in der Bauart mit mehrfachen Stahlelementen mit Weißmetall ausgeführt sein; sie müssen für eine gleiche Druckbelastbarkeit in beide Richtungen ausgelegt und so angeordnet werden, dass für jede Seite eine Dauerdruckschmierung möglich ist. Beide Seiten müssen Kippsegmente enthalten, die einen selbsttätigen Horizontalausgleich bewirken um sicherzustellen, dass jeder Lagerstein gleiche Anteile der Druckbelastung aufnimmt, auch bei geringfügiger Veränderung der Dicke des Lagersteins.

4.7.3.2 Alle Lagersteine müssen so gestaltet und hergestellt werden, dass die Maße (Dickenschwankung) exakt eingehalten werden, um einen Austausch oder einen Ersatz einzelner Steine zu ermöglichen.

4.7.3.3 Axialdrucklager müssen für Dauerbetrieb unter den festgelegten ungünstigsten Betriebsbedingungen dimensioniert werden. In die Berechnung der Druckkraft müssen u. a. die folgenden Faktoren einbezogen werden:

- a) maximal errechnetes Spiel der internen Abdichtung und ihre Verdopplung;
- b) Abstufungen der Durchmesser des unter Druck stehenden Rotors;
- c) die maximalen Differenzdrücke der Stufen;
- d) die spezifizierten maximalen Schwankungen des Eintritts-, Zwischen- und des Austrittsdrucks;
- e) die äußeren Kräfte, die durch Kupplungen übertragen werden;
- f) die maximale Kraft vom Antriebsmotor, wenn der Motor direkt angeschlossen ist.

4.7.3.4 Für eine Zahnkupplung muss die äußere Kraft nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$F = \frac{(0,25) \times (9\,550) P_r}{N_r \times D} \quad (1)$$

In im US-Sprachraum gebräuchlichen Einheiten:

$$F = \frac{(0,25) \times (63\,300) P_r}{N_r \times D}$$

Dabei sind:

- F die äußere Kraft, in kN (lbf);
- P_r die Nennleistung, in kW (horse power);
- N_r die Nenndrehzahl, in min^{-1} ;
- D der Wellendurchmesser der Kupplung, in mm (inches).

4.7.3.5 Horizontale Kräfte für Kupplungen mit flexiblen Elementen müssen auf der Grundlage der vom Kupplungshersteller festgelegten maximal zulässigen Auslenkung errechnet werden.

4.7.3.6 Falls zwei oder mehrere horizontale Rotor-Kräfte von einem Axialdrucklager aufzunehmen sind (z. B. in einem Getriebe), muss die Resultierende der Kräfte angewendet werden, wenn die Kräfte in die gleiche Richtung wirken; anderenfalls muss die größte Kraft angewendet werden.

4.7.3.7 Hydrodynamische Axialdrucklager müssen so ausgewählt werden, dass die Last unter allen Betriebsbedingungen 50 % des vom Hersteller des Lagers angegebenen Grenzlasterwertes nicht überschreitet. Der Grenzlasterwert ist die Last, bei der die geringste zulässige Schmierfilmdicke erreicht wird, bei der während des Dauerbetriebs kein Versagen auftritt oder die größte Last, bei der noch kein Kriechen auftritt oder die Streckgrenze des Weißmetalls erreicht wird, an dem die maximale Temperatur auftritt, wobei jeweils die Last gilt, die kleiner ist. Bei der Bemessung von Axialdrucklagern müssen für alle spezielle Anwendungen beachtet werden:

- a) die Wellendrehzahl;
- b) die Temperatur des Weißmetallausgusses des Lagers;
- c) die Durchbiegung der Lagersteine;
- d) die kleinste Schmierfilmdicke;
- e) Zuführgeschwindigkeit, Viskosität und Zuführungstemperatur des Schmieröls;
- f) die konstruktive Gestaltung des Lagers;
- g) die Weißmetalllegierung und der Werkstoff für den Lagerstein;
- h) die Turbulenz des Schmierölfilms.

Die Grundlagen für die Bemessung der Axialdrucklager müssen vom Besteller geprüft und genehmigt werden.

4.7.3.8 Axialdrucklager müssen so ausgeführt werden, dass eine axiale Positionierung jedes Rotors bezogen auf das Gehäuse und eine Einstellung des Lagerspiels möglich ist.

4.7.4 Lagergehäuse

4.7.4.1 Die Teile für die Rotorlagerung (Lager, Lagergehäuse, Lagerschalen und Lagerböcke) müssen in einer Konstruktion mit horizontaler Teilung vorliegen; sie müssen druckfrei (belüftet zur Atmosphäre) und mit Anschlüssen ausgestattet sein, die mit einem Stopfen zu verschließen sind, um eine Spülung aller atmosphärischen Labyrinthdichtungen mit trockener Luft oder inertem Gas zu ermöglichen. Horizontal geteilte Lagergehäuse müssen mit einer Metall auf Metall-Teilfuge ausgestattet werden, wobei die Lagerhälften mit Passstiften zueinander ausgerichtet und fixiert werden.

4.7.4.2 Die Lagergehäuse von Kompressoren, die halb geschlossene trennende Kupplungsschutzeinrichtungen anwenden, müssen mit auswechselbaren Labyrinthdichtungen und Leitblechen ausgestattet werden, deren Welle durch das Gehäuse passt; Lippendichtungen dürfen nicht angewendet werden. Dichtungen und Leitbleche müssen aus nicht funkenbildenden Werkstoffen bestehen. Dichtungen und Leitbleche müssen so gestaltet werden, dass das Schmieröl im Gehäuse zurückgehalten wird und keine Fremdstoffe in das Gehäuse eindringen können.

4.7.4.3 Lagergehäuse für druckgeschmierte hydrodynamische Lager müssen so angeordnet werden, dass die Bildung von Schaum minimiert wird. Das Ablaufsystem muss geeignet sein, einen bestimmten Öl- und Schaumpegel unter den Wellenenddichtungen beizubehalten. An gefluteten Axialdrucklagern müssen die Ölabblassöffnungen tangential in der oberen Hälfte des Kontrollringes oder, falls keine Kontrollringe angewendet werden, in der Drucklagerkapselung angeordnet werden.

4.7.4.4 Der Anstieg der Öltemperatur beim Durchgang durch Lager und Gehäuse darf unter den ungünstigsten festgelegten Betriebsbedingungen 30 °C (50 °F) nicht überschreiten. Die Öltemperatur am Lagerölablauf darf 85 °C (180 °F) nicht überschreiten. Falls die Eintrittstemperatur des Öls über 50 °C (120 °F) liegt, müssen Konstruktion des Lagers, Öldurchfluss und zulässiger Temperaturanstieg besonders beachtet werden.

4.7.4.5 Mit dem Gehäuse verschraubte Wellenstützkonstruktionen müssen aus Stahl bestehen.

4.7.4.6 Schmierölanschlüsse der Lagergehäuse müssen 4.4.3 entsprechen.

4.7.4.7 In allen Lagergehäusen müssen zwei radiale Schwingungsaufnehmer, auf der Axiallagerseite jedes Kompressors zwei Aufnehmer zur Ermittlung der axialen Position und am Wellenstrang aller Kompressoren ein Aufnehmer zur Feststellung eines bestimmten Ereignisses je Umdrehung angebracht werden. Die Installation der Messfühler muss nach den Festlegungen in API Std 670 durchgeführt werden.

4.8 Wellendichtungen

4.8.1 Allgemeines

● **4.8.1.1** Wellendichtungen müssen vorgesehen werden, um über den für die Betriebsbedingungen festgelegten Bereich einschließlich des An- und des Abfahrens eine Leckage des Prozessgases in die Atmosphäre oder eine Leckage des Dichtfluids in den Prozessgasstrom zu begrenzen oder zu verhindern. Die Dichtfunktion muss für die festgelegten Änderungen der Saugbedingungen geeignet sein, die während des Anfahrens, Abfahrens oder Ausgleichens sowie während aller anderen, vom Besteller festgelegten Bedingungen, z. B. langsame Drehbewegungen oder Rückwärtsdrehung, auftreten können. Der maximale Dichtungsdruck muss mindestens dem Ausgleichsdruck entsprechen. Die Wellendichtungen und das Dichtungssystem müssen so gestaltet werden, dass eine sichere Druckbeaufschlagung des Kompressors vor Anfahren des Prozesses bei arbeitendem Dichtsystem möglich ist.

Der Besteller sollte für den Ausgleichsdruck einen realistischen Wert festlegen. Der Wert sollte in den Datenblättern angegeben werden.

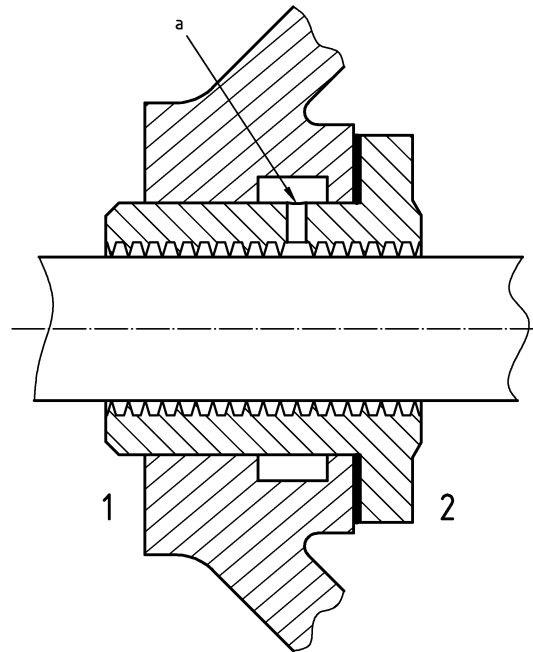
● **4.8.1.2** Die Wellendichtungen, und, wenn festgelegt, die Wellenhülsen müssen für Inspektion und Auswechslung zugänglich sein, ohne dass eine Demontage der oberen Hälfte des Gehäuses eines horizontal geteilten Kompressors oder der Deckel einer vertikal geteilten Maschine erforderlich ist.

ANMERKUNG Es ist zu beachten, dass diese Anforderung für fliegend gelagerte Bauarten oder aufgeschrumpfte Hülsen möglicherweise nicht einzuhalten ist.

● **4.8.1.3** Wellendichtungen dürfen als eine oder eine Kombination der in 4.8.2.1 bis einschließlich 4.8.2.5 beschriebenen Ausführungen nach den Festlegungen des Bestellers in den Datenblättern angewendet werden. Die Werkstoffe für die Einzelteile müssen für den jeweiligen Einsatz geeignet sein.

4.8.2 Anforderungen an die Wellendichtungsarten

4.8.2.1 Die Labyrinthdichtung (eine typische Dichtung wird im Bild 2 dargestellt) kann zusätzlich zu den Labyrinth Kohleringe enthalten, falls der Besteller dieser Ausführung zugestimmt hat. Labyrinth können feststehend oder umlaufend sein. Saugstrahl- oder Injektionssysteme müssen, falls angewendet, komplett mit Verrohrung, einer Regelung, mit Regelventilen, Manometern, Siebfiltern usw. geliefert werden. Jeder Ausrüstungsgegenstand muss mit Rohren und mit Armaturen ausgestattet werden, um seinen Ausbau auch während des Betriebs des Kompressors zu ermöglichen. Wenn Gas als Antriebsenergie für eine Saugstrahleinrichtung von der Druckseite des Kompressors angewendet wird, müssen Vorkehrungen für das Abdichten während des An- und Abfahrens getroffen werden (siehe 4.8.3.4 und 5.5.1.6).



Legende

- 1 Gas-Innendruck
- 2 Atmosphäre

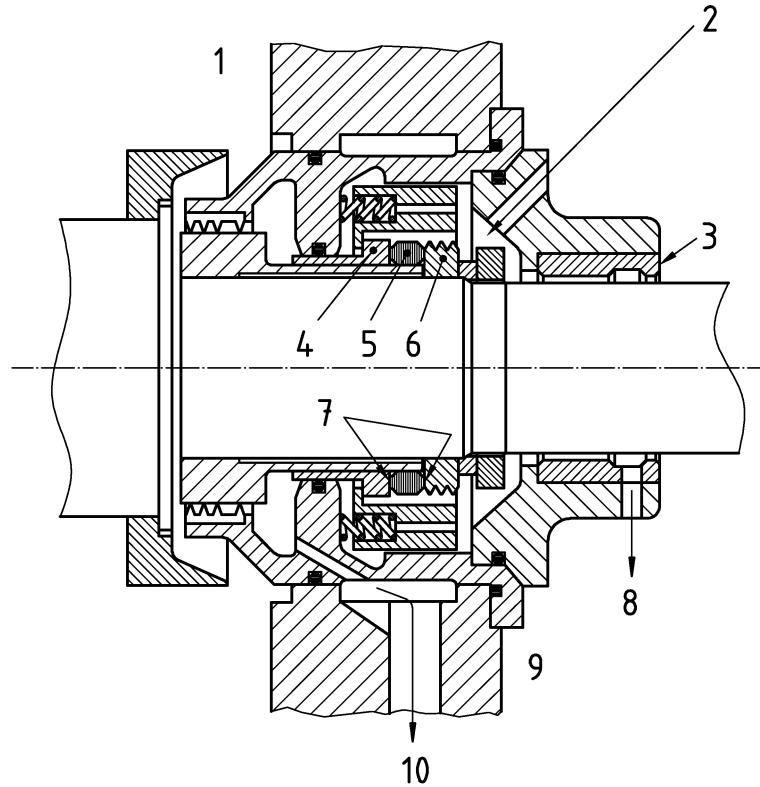
^a Es dürfen zusätzliche Öffnungen für eine Spülung und/oder eine Abdichtung mit inertem Gas vorgesehen werden

Bild 2 — Labyrinth-Wellendichtung

● **4.8.2.2** Die mechanische (Gleitring-)Dichtung (siehe Bild 3) muss mit Labyrinth und Ölschleuderring ausgestattet werden. Das Schmieröl oder ein anderes geeignetes unter Druck stehendes Mittel darf den umlaufenden Dichtflächen von einem Schmierölsystem oder von einem unabhängigen Dichtsystem zugeführt werden. Mechanische Dichtungen müssen so gestaltet werden, dass eine Gasleckage bei einem Dichtölausfall verhindert wird, während der Kompressor unter Druck steht, während des Abfahrens und nachdem er stillgesetzt wurde. Verschiedene Zusatzeinrichtungen können vorgesehen werden, um die Dichtwirkung sicherzustellen, wenn der Kompressor unter Druck steht, aber nicht arbeitet und das Dichtölsystem abgeschaltet ist. Der Besteller muss festlegen, ob eine Einrichtung dieser Art vorzusehen ist. Die endgültige Gestaltung muss zwischen Besteller und Lieferant abgesprochen werden.

4.8.2.3 Die Spaltringdichtung (siehe Bild 4) muss Ringe aus Kohlenstoff oder einem anderen geeigneten Material enthalten, die in Halteringe oder in Distanzhülsen eingebracht werden. Die Dichtung darf trocken betrieben werden, wie bei Labyrinthdichtungen oder mit einem Dichtfluid, wie bei mechanischen Dichtungen oder mit einem Sperrgas.

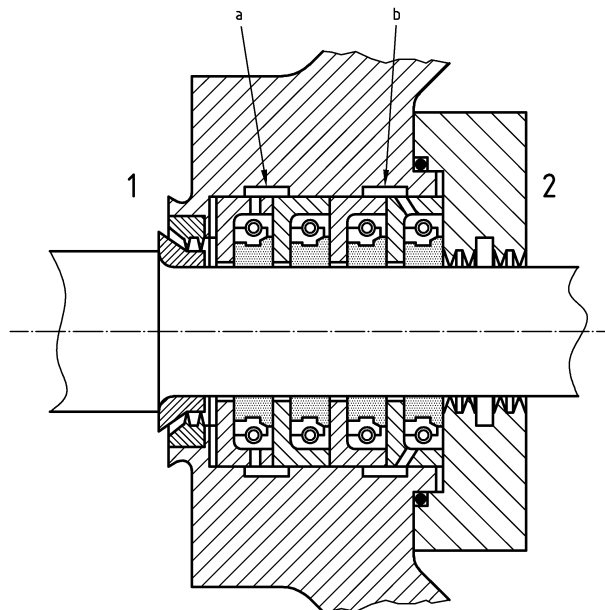
4.8.2.4 Die Schwimmringdichtung (siehe Bilder 5 und 6) muss mit Dichtringen oder Buchsen und Labyrinth ausgestattet werden. Wie bei mechanischen Dichtungen muss eine Dichtflüssigkeit zugeführt werden. Schwimmringdichtungen können in der Bauart als zylindrische Buchsendichtungen nach Bild 5 oder in der Pumpen-Bauart nach Bild 6 vorliegen. Es muss ein höher gelegener Behälter zur Aufrechterhaltung einer statischen Förderhöhe über dem Dichtungsdruck des Kompressors vorgesehen werden. Der Lieferant muss angeben, in welcher Höhe der Behälter über der Mittellinie des Kompressors anzuordnen ist. Mit Zustimmung des Bestellers dürfen andere Möglichkeiten zur Beibehaltung dieses Differenzdruckes und einer formschlüssigen Abdichtung angewendet werden.



Legende

- | | |
|---------------------------------|--|
| 1 Gas-Innendruck | 6 Umlaufender Dichtring |
| 2 Eintritt für sauberes Sperröl | 7 Laufflächen |
| 3 Druckhaltering | 8 Schmierölaustritt |
| 4 Feststehende Sitzfläche | 9 Atmosphäre |
| 5 Dichtungsring | 10 Austritt für verunreinigtes Schmieröl |

Bild 3 — Mechanische (Gleitring-)Wellendichtung

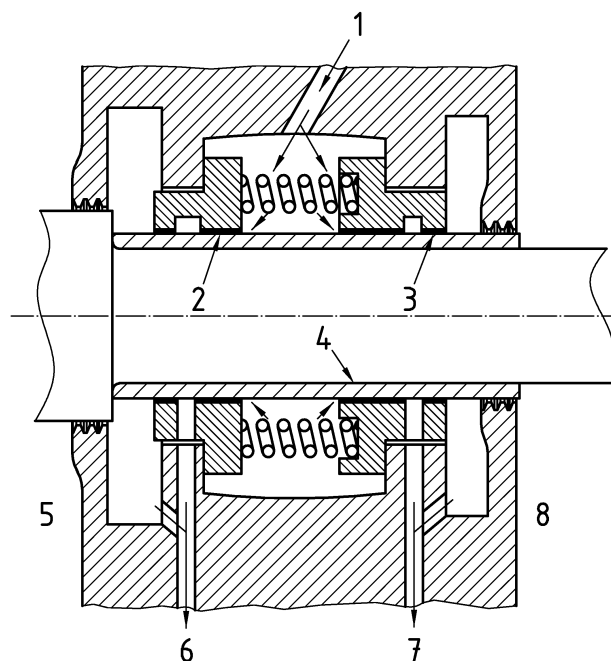


Legende

- 1 Gas-Innendruck
- 2 Atmosphäre

- ^a Anschlüsse für die Dichtungen dürfen zusätzlich eingebracht werden.
- ^b Für Vakuumanwendungen darf ein Spülanschluss eingebracht werden.

Bild 4 — Spaltring-Wellendichtung

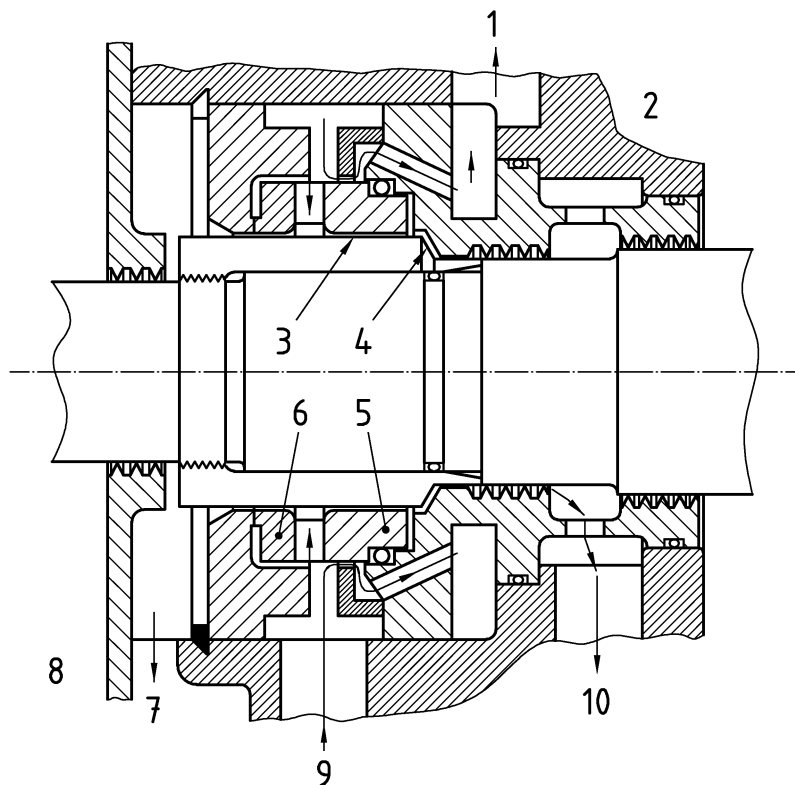


Legende

- 1 Eintritt für sauberes Schmieröl
- 2 Innenbuchse
- 3 Außenbuchse
- 4 Wellenhülse

- 5 Gas-Innendruck
- 6 Austritt für verunreinigtes Schmieröl
- 7 Schmierölaustritt
- 8 Atmosphäre

Bild 5 — Schwimmring-Wellendichtung mit Zylinderbuchsen



Legende

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1 Rückführung für sauberes Schmieröl | 6 Außenbuchse |
| 2 Gas-Innendruck | 7 Schmierölaustritt |
| 3 Wellenhülse | 8 Atmosphäre |
| 4 Pumpbereich | 9 Eintritt für sauberes Schmieröl |
| 5 Innenbuchse | 10 Austritt für verunreinigtes Schmieröl |

Bild 6 — Schwimmringdichtung mit Pumpbuchse

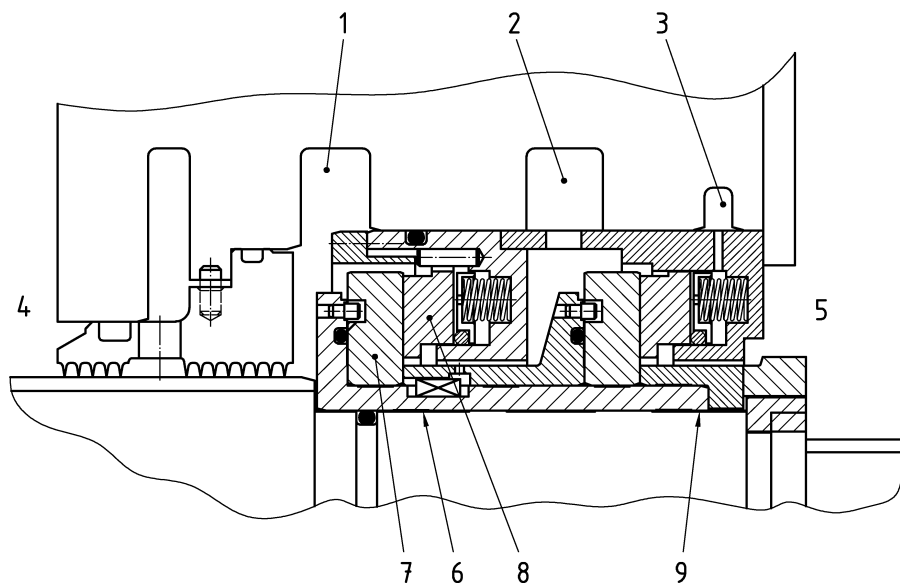
4.8.2.5 Wenn eine selbsttätige Gasdichtung angewendet wird, kann die Zuführung von sauberem Dichtgas gefordert sein, während keine Flüssigkeitsschmierung benötigt wird. Der Besteller darf die Dichtungsanordnung festlegen. In den Bildern 7 und 8 werden typische Tandem-Dichtungsanordnungen gezeigt. Bei diesen Anordnungen werden zwei gleiche Dichtungen hintereinander als Primär- und als Sicherheitsdichtung angebracht, entweder ohne (Bild 7) oder mit Innenlabyrinth (Bild 8). Falls keine Leckage giftiger oder entflammbarer Gase zur Atmosphäre erlaubt ist, muss die im Bild 8 dargestellte Anordnung ausgewählt werden. Eine Trenndichtung ist erforderlich, um eine Leckage zur Atmosphäre oder zum Lagergehäuse sowie eine Ölleckage zur Dichtung zu verhindern.

Das Dichtgas (Reingas) muss filtriert werden, so dass es frei von allen Verunreinigungen ist, die Rückstände bilden können. Das Dichtgas darf an der Austrittsseite des Kompressors oder aus einer Zwischenstufe entnommen werden. Eine alternative Dichtgasquelle darf angewendet und möglicherweise auch während des An- und Abfahrens gefordert werden. Es müssen geeignete Maßnahmen ergriffen werden, um die Dichtungen gegen eine Beaufschlagung durch Umkehrdruck zu schützen. Das Überprüfungssystem muss zwischen Besteller und Lieferant vereinbart werden. Im Anhang I werden für diesen Dichtungstyp Hinweise auf Prüfungen im Werk des Dichtungsherstellers sowie im Anhang A auf Eintragungen in den Datenblättern angegeben.

Andere Anordnungen, z. B. Einfach-, Doppel- (back-to-back) oder Dreifachdichtungen dürfen in Abhängigkeit von der jeweiligen Anwendung ausgewählt werden.

ANMERKUNG 1 Bei bestimmten Anwendungen ist möglicherweise eine externe Kühlung der Dichtungen erforderlich.

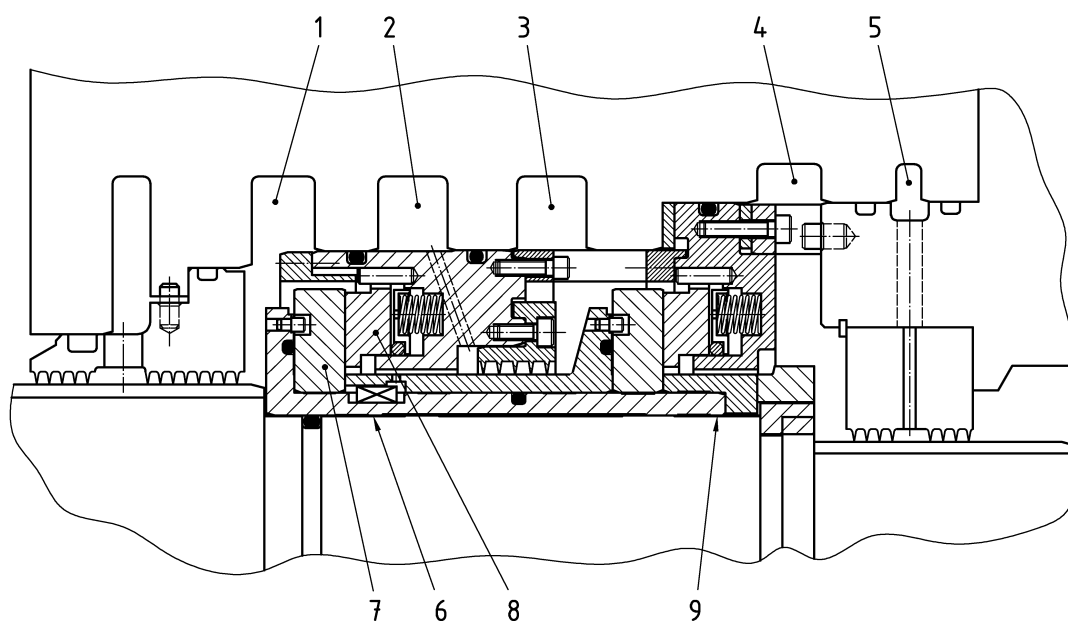
ANMERKUNG 2 Die Dichtung hat eine geringfügige Leckage von Dichtgas.



Legende

- | | | | |
|---|---------------------------------|---|-------------------------|
| 1 | Eintritt für Dichtgas (Reingas) | 6 | Primärdichtung |
| 2 | Leckage der Primärdichtung | 7 | Umlaufender Dichtring |
| 3 | Zuführung des Sperrgases | 8 | Feststehender Dichtring |
| 4 | Gas-Innendruck | 9 | Sicherheitsdichtung |
| 5 | Atmosphäre oder Lagergehäuse | | |

Bild 7 — Selbsttätige Tandem-Gasdichtung



Legende

- | | | | |
|---|---------------------------------|---|-------------------------|
| 1 | Eintritt für Dichtgas (Reingas) | 6 | Primärdichtung |
| 2 | Leckage der Primärdichtung | 7 | Umlaufender Dichtring |
| 3 | Sperrgas | 8 | Feststehender Dichtring |
| 4 | Entlüftung zur Atmosphäre | 9 | Sicherheitsdichtung |
| 5 | Puffergas | | |

Bild 8 — Selbsttätige Tandem-Gasdichtung mit Innenlabyrinth

4.8.3 Sonstige Anforderungen

4.8.3.1 Für alle Wellenenddichtungen, die eine Dichtflüssigkeit anwenden, muss für jede Dichtung die Leckage nach innen mit Hilfe von Rohren zu einem unabhängigen Ablassbehälter geführt werden. Die einzelnen Leckagen nach innen am Wellenende müssen ausreichend sein, um eine Migration des Prozessgases nach außen zu verhindern. An keiner Wellenenddichtung darf die Leckrate mehr als 70 % der an allen Wellenenddichtungen in einem einzigen Kompressor erwarteten Gesamtleckage betragen.

4.8.3.2 Durch das Prozessgas verunreinigtes Schmieröl, das Bauteile, z. B. Lager, Dichtungsringe, O-Ringe und Kupplungen schädigen würde, muss mit Hilfe einer Rohrleitung zur Entsorgung oder Wiederaufarbeitung abgeführt werden.

4.8.3.3 Leitungen zum Ausgleich des Dichtungsdrucks und die zugehörigen Gasdurchgänge (einschließlich der Durchgänge für das Referenzgas und zum Ausgleich des Axialschubes) müssen so bemessen werden, dass das Betriebsverhalten der Wellenenddichtung bei einer Verdoppelung der maximalen errechneten Spiele beibehalten wird. Leitungen und Durchgänge müssen ferner so bemessen werden, dass während des Beschleunigens an beiden Wellenenddichtungen im Wesentlichen gleiche Drücke beibehalten werden.

● **4.8.3.4** Sofern nicht anders festgelegt, muss bei Gestaltung der Dichtung eine Möglichkeit zum Einspeisen von Puffergas vorgesehen werden. Der Besteller muss spezifizieren, ob eine Puffergaseinspeisung durchzuführen ist und falls ja, die Zusammensetzung des Gases. Außerdem muss der Lieferant angeben, ob für die festgelegten Betriebsbedingungen eine Puffergasinjektion erforderlich ist. Wird sie für notwendig erachtet (siehe Bild 8), muss der Lieferant die Anforderungen an das Gas festlegen und, falls vorgeschrieben, eine vollständige Übersicht über das Überwachungssystem sowie eine Werkstoffliste liefern. Das Überwachungsverfahren muss zwischen Lieferant und Besteller vereinbart werden.

● **4.8.3.5** Falls für Kompressoren ein Druck unter dem atmosphärischen Druck an den Wellenenddichtungen spezifiziert wird, müssen Vorkehrungen getroffen werden, um diese Dichtungen mit Gas zu beaufschlagen, das einen höheren als atmosphärischen Druck hat.

4.9 Dynamik

4.9.1 Kritische Drehzahlen

4.9.1.1 Wenn die Frequenz periodisch erzwungener Schwingungserscheinungen (Anregungsfrequenz), die auf ein Rotor-Lager-Stützsystem wirkt, der Eigenfrequenz dieses Systems entspricht, kann Resonanz auftreten.

4.9.1.2 In einem Rotor-Lager-Stützsystem, das sich im Resonanzzustand befindet, verstärkt sich die schwingungsbedingte übliche Verschiebung. Die Größe der Verstärkung und die Änderungsrate des Phasenwinkels hängen vom Umfang der Schwingungsdämpfung des Systems und der vom Rotor aufgenommenen Form des Schwingungswellentyps ab.

ANMERKUNG Die Schwingungstypformen werden im Allgemeinen als erster starrer Typ (Translations- oder Aufprallschwingung), als zweiter starrer Typ (Kegel- oder Pendelschwingung) und als (erster, zweiter, dritter, ... n-ter) Biegeschwingungstyp bezeichnet.

4.9.1.3 Wenn der Rotor-Verstärkungsfaktor (siehe Bild 9), der am Prüfstand mit Hilfe eines Schwingungsaufnehmers gemessen wird, gleich oder größer als 2,5 ist, wird diese Frequenz als kritische Frequenz und die entsprechende Rotationsfrequenz der Welle als kritische Drehzahl bezeichnet. Im Rahmen dieser Internationalen Norm wird ein System als kritisch gedämpft bezeichnet, wenn der Verstärkungsfaktor weniger als 2,5 beträgt.

4.9.1.4 Kritische Drehzahlen müssen analytisch durch eine Untersuchung der Reaktion eines gedämpften, unwichtigen Rotors bestimmt und durch die am Prüfstand ermittelten Daten bestätigt werden.

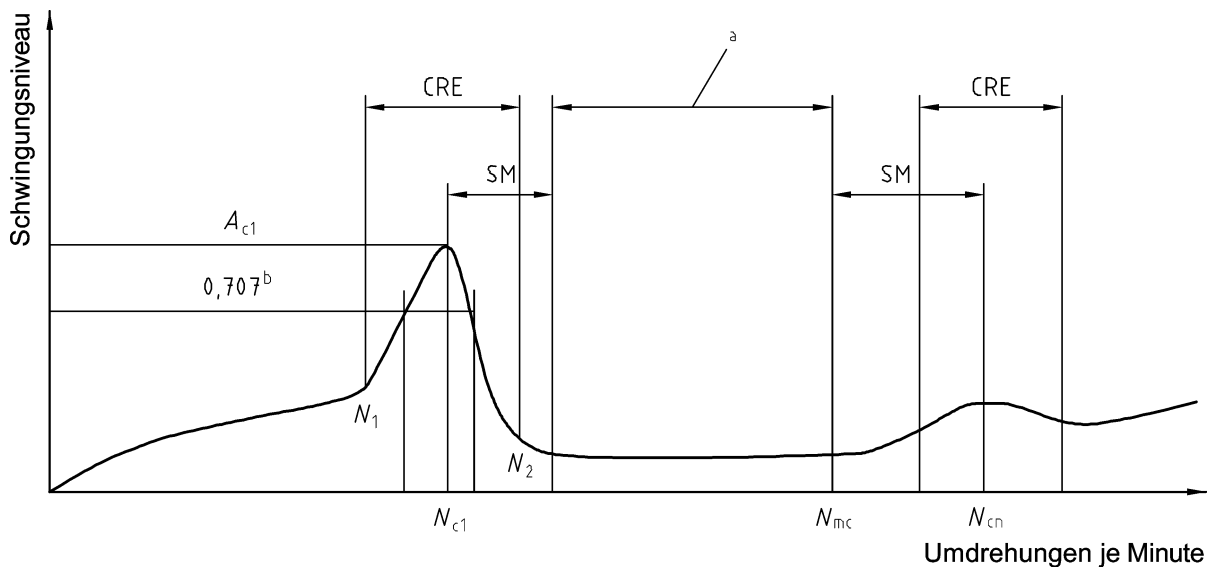
4.9.1.5 Die Erregerfrequenz darf kleiner oder größer als oder ebenso groß wie die Rotordrehzahl sein. Die potenziell erzwungenen und die Selbsterregungsfrequenzen, die bei der Konstruktion des Systems zu erwägen sind, müssen u. a. folgende Quellen berücksichtigen:

- a) Unwucht im Rotorsystem;
- b) Instabilitäten des Schmierölfilms (Wirbel);

- c) interne Scheuerstellen;
- d) Durchgangsfrequenzen von Flügel, Schaufel, Stutzen und Diffuser;
- e) Frequenzen durch Eingriff der Getriebeverzahnung und Seitenbandfrequenzen;
- f) Kupplungsversatzfrequenzen;
- g) lose Teile im Rotorsystem;
- h) Hysterese- und Reibungswirbel;
- i) Abtrennung von Grenzschichtströmungen;
- j) akustische und aerodynamische Kreuzkupplungskräfte;
- k) asynchrone Wirbel.

4.9.1.6 Im festgelegten Drehzahlbereich oder innerhalb der festgelegten Trenngrenzen dürfen im Bereich des Lieferumfangs keine Resonanzen mit dem Stützsystems auftreten, sofern sie nicht kritisch gedämpft sind.

4.9.1.7 Der Lieferant, der die Verantwortung für die Einheit hat, muss bestimmen, ob die kritischen Drehzahlen des Antriebssystems (biegekritische Drehzahl des Rotors, Torsion des Systems, Flügelarten usw.) mit den kritischen Drehzahlen der Kompressoren kompatibel sind, die geliefert werden und ob die Kombination für den festgelegten Bereich der Betriebsdrehzahlen unter Einbeziehung der Anforderungen an die Rastpunkte (Haltepunkte) bei der Anfahrtdrehzahl des Systems geeignet ist. Eine Auflistung aller nicht erwünschten Drehzahlen von null bis zur Abschalt-drehzahl muss dem Besteller zur Überprüfung vorgelegt und in das Anleitungshandbuch aufgenommen werden (siehe Anhang C).



Legende

- N_{c1} erste kritische mittlere Frequenz des Rotors, Zyklen je Minute
 N_{cn} n -te kritische Drehzahl
 N_{mc} maximale Dauerdrehzahl, 105 %
 N_1 (kleinere) Anfangsdrehzahl beim 0,707fachen Wert der (kritischen) Peakamplitude
 N_2 (größere) Enddrehzahl beim 0,707fachen Wert der (kritischen) Peakamplitude
 $N_2 - N_1$ Peakbreite in der Hälfte der Energiequelle

μ Verstärkungsfaktor: $\mu = \frac{N_{c1}}{N_2 - N_1}$

- SM Trenngrenze
 CRE Hüllkurve für kritisches Verhalten
 A_{c1} Amplitude bei N_{c1}
 A_{cn} Amplitude bei N_{cn}

ANMERKUNG Die Kurvenform dient nur der Veranschaulichung und kennzeichnet nicht unbedingt das tatsächliche Verhalten des Rotors.

- ^a Betriebsdrehzahlen
^b Spitzenwert (Peak)

Bild 9 — Graphische Darstellung des Rotorverhaltens

4.9.2 Analyse der biegekritischen Drehzahl

4.9.2.1 Der Lieferant muss für jeden Kompressor eine Untersuchung der Reaktion eines gedämpften, unwuchtigen Systems vorlegen um sicherzustellen, dass bei allen Drehzahlen von null bis zur Abschalt-drehzahl zulässige Schwingungsamplituden nicht überschritten werden. Ein Beispiel für das Ablaufdiagramm einer Analyse der biegekritischen Drehzahl und die entsprechenden Prüfverfahren werden im Anhang E angegeben.

4.9.2.2 Bei der Untersuchung der Reaktion eines gedämpften, unwuchtigen Systems müssen u. a. folgende Punkte berücksichtigt werden:

- die Steifigkeit der Abstützung (Fundament, Gestell und Lagergehäuse), Masse und Dämpfungskennwerte einschließlich der Wirkungen von Drehzahländerungen. Der Lieferant muss die für das Stützsystem erwarteten Werte angeben;
- die Steifigkeit des Lagerschmierfilms und Änderungen der Dämpfung bedingt durch Drehzahl, Last, Steingeometrie (preload), Temperaturen des Schmieröls, summierte Montagetoleranzen und größtes bis kleinstes Lagerspiel;
- die Drehzahl einschließlich verschiedener Rastpunkte für die Anlauf-drehzahl, für die Betriebsdrehzahl- und Lastbereiche (einschließlich der vereinbarten Prüfbedingungen, falls sie sich von den festgelegten Bedingungen unterscheiden), Abschalt-drehzahl und Abfahrbedingungen;

- d) die Rotormassen einschließlich des Massenmoments der Kupplungshälften, Wirkungen von Steifigkeit und Dämpfungseinflüsse (z. B. summierte Passungstoleranzen und Wirkungen von Rahmen und Gehäuse);
- e) der Einfluss der über den gesamten Betriebsbereich errechneten Werte für die hydrodynamische Steifigkeit und für die Dämpfung, die durch Gehäuse, Dichtungen und Labyrinth erzeugt wird.

● **4.9.2.3** Falls festgelegt, müssen die Wirkungen anderer Bauteile des Systems bei der Untersuchung der Reaktion eines gedämpften, unwuchtigen Systems ebenfalls erfasst werden (d. h., es muss eine Analyse der biegekritischen Drehzahl des Systems durchgeführt werden).

BEISPIEL Für Systeme mit starrer Kupplung sollte eine Analyse der biegekritischen Drehzahl des gesamten Systems vorgeschrieben werden.

4.9.2.4 Bei der Untersuchung des Verhaltens eines gedämpften, unwuchtigen Systems müssen die nachfolgend angegebenen Punkte a) bis einschließlich e) erfasst werden. (Siehe Anhang C).

- a) Graphische Darstellung und Kennzeichnung der Eigenform bei jeder Resonanzdrehzahl (kritisch gedämpft oder nicht) von null bis zur Abschalt-drehzahl sowie der Eigenform, die oberhalb der Abschalt-drehzahl auftritt;
- b) Frequenz, Phase und Angaben zur Amplitude an der Position des Schwingungsaufnehmers über den Bereich der jeweiligen kritischen Drehzahl unter Anwendung der folgenden Unwuchtanordnung für die jeweilige Eigenform. Die Unwucht muss ausreichend sein, um die Verschiebung des Rotors an der Position der Schwingungsaufnehmer bis zu der durch die folgende Gleichung festgelegten Schwingungsgrenze zu erhöhen:

$$L_v = 25,4 \sqrt{12\,000 / N} \quad (2)$$

In im US-Sprachraum gebräuchlichen Einheiten:

$$L_v = \sqrt{12\,000 / N} \quad (3)$$

Dabei sind:

L_v der Schwingungsgrenzwert (Amplitude der ungefilterten Schwingung), in μm (mil) peak-peak;

N die Betriebsdrehzahl, die der betrachteten kritischen Drehzahl am nächsten liegt, in Umdrehungen je Minute.

Die Unwucht darf nicht kleiner sein als das Doppelte des in 4.9.5.3 festgelegten Grenzwertes. Die Masse(n) der Unwucht muss/müssen innerhalb des Lagerabstandes an der/den analytisch ermittelten Position(en) angeordnet werden, die für die jeweilige Eigenform am ungünstigsten ist/sind (z. B. in der Mitte des Lagerabstandes für Biegeschwingungen oder in der Nähe der beiden Enden und 180° phasenversetzt für kegelförmige Starrkörperschwingungen). Für Biegeschwingungen mit maximalen Durchbiegungen an den Wellenenden muss die Größe der Unwucht durch die fliegend angeordnete Masse und nicht durch die statische Lagerbelastung bestimmt werden.

- c) Schwingungsformen für alle im Punkt b) angegebenen Eigenformen unter Angabe der Phase und der Hauptachsen-Amplitude in allen Kupplungseingriffsebenen, für die Mittellinien der Lager, für die Positionen der Schwingungsaufnehmer und für alle Dichtungsbereiche des gesamten Kompressors. Das kleinste diametrale Betriebsspiel für die Dichtungen muss ebenfalls angegeben werden.
- d) Erstellung einer weiteren graphische Darstellung im Rahmen des Verifizierungstests (siehe 4.9.3) für eine Testunwucht nach den Festlegungen im Punkt b) (basierend auf der statischen Lagerbelastung für starre Schwingungstypen oder basierend auf der fliegend angeordneten Masse für Biegeschwingungstypen). Diese Testmasse muss mindestens das Zweifache und höchstens das Achtfache des in 4.9.5.3 festgelegten Grenzwertes für die Unwucht betragen; sie muss an der durch den Hersteller bestimmten Position angeordnet werden.

- e) ● Falls festgelegt, ist eine Übersicht über das Steifigkeitsverhalten eines ungedämpften Rotors, aus dem die Untersuchung der Reaktion eines gedämpften, unwichtigen Systems abgeleitet wurde, die im Punkt c) festgelegt ist, zu erstellen. Diese graphische Darstellung muss die Frequenz über der Steifigkeit des Lagersystems zeigen, der die Kurven für die errechnete Steifigkeit des Lagersystems überlagert werden.

4.9.2.5 Die Untersuchung des Verhaltens eines gedämpften, unwichtigen Systems muss darstellen, dass der Kompressor in dem in 4.9.2.4, b) beschriebenen unwichtigen Zustand folgende Abnahmekriterien erfüllen muss (siehe Bild 9):

- a) Falls der Verstärkungsfaktor kleiner als 2,5 ist, wird das Verhalten als kritisch gedämpft angesehen, und es wird kein Resonanzabstand gefordert.
- b) Falls der Verstärkungsfaktor zwischen 2,5 und 3,55 liegt, wird ein Resonanzabstand gefordert, der 15 % über der höchsten Dauerdrehzahl und 5 % unter der kleinsten Betriebsdrehzahl liegt.
- c) Falls der Verstärkungsfaktor 3,55 überschreitet und die Resonanzspitze unter der kleinsten Betriebsdrehzahl liegt, gilt für den geforderten Resonanzabstand (ein Prozentanteil der kleinsten Drehzahl) folgende Gleichung:

$$SM = 100 - \left(84 + \frac{6}{\mu - 3} \right) \quad (4)$$

- d) Falls der Verstärkungsfaktor 3,55 überschreitet und die Resonanzspitze über der Abschalt-drehzahl liegt, gilt für den Resonanzabstand (ein Prozentanteil der maximalen Dauerdrehzahl) folgende Gleichung:

$$SM = \left(126 + \frac{6}{\mu - 3} \right) - 100 \quad (5)$$

4.9.2.6 Die errechneten Spitzenamplituden (peak to peak) des unwichtigen Rotors [siehe 4.9.2.4, b)] bei einer beliebigen Drehzahl zwischen null und der Abschalt-drehzahl dürfen 75 % des kleinsten errechneten diametralen Betriebsspiels für den gesamten Kompressor (mit Ausnahme der Stellen, an denen Schwimmringe und einlauf-fähige Dichtungen angeordnet sind) nicht überschreiten.

4.9.2.7 Falls die Analyse ergibt, nachdem sich Besteller und Lieferant darüber einig sind, dass alle durch-führbaren Möglichkeiten bei der Konstruktion ausgeschöpft wurden, dass die Resonanzabstände zur Betriebsdreh-zahl nicht mehr erfüllt werden können oder dass eine kritische Resonanzspitze in den Betriebsdrehzahlbereich fällt, müssen die zulässigen Amplituden, die den Anforderungen von 4.9.2.6 unterliegen, zwischen Besteller und Liefe-rant vereinbart werden.

● **4.9.2.8** Falls festgelegt, oder wenn die mittlere Gasdichte in einem Kompressorgehäuse 60 kg/m^3 ($3,75 \text{ lb/ft}^3$) überschreitet, muss der Lieferant eine Stabilitätsanalyse für den Rotor durchführen. Sie wird für Kompressoren mit konstanter Drehzahl bei der Nenndrehzahl und für Kompressoren mit veränderlicher Drehzahl über den Drehzahl-bereich von der kleinsten bis zu größten Dauerdrehzahl durchgeführt. Die Analyse muss zunächst ohne und dann mit destabilisierenden aerodynamischen Effekten unter Berücksichtigung der höchsten Dichte des Gases durch-geführt werden. Die Ergebnisse sind in Form graphischer Darstellungen vorzulegen, in denen die gedämpften kritischen Drehzahlen und das logarithmische Dekrement als Funktion der Drehzahl angegeben werden. Der Liefe-rant sollte die Annehmbarkeit des für das logarithmische Dekrement errechneten Wertes durch einen Vergleich mit ähnlichen, zufrieden stellend arbeitenden Kompressoren nachweisen. Der Nachweis sollte sich über den Dreh-zahlbereich von der kleinsten bis zur größten Dauerdrehzahl erstrecken. Bei der Stabilitätsanalyse sollten auch alle in 4.9.2.2 aufgeführten Punkte berücksichtigt werden.

4.9.3 Prüfstanderprobung zur Verifikation der Berechnung des unwichtigen Rotors

● **4.9.3.1** Falls festgelegt, muss der Lieferant die Genauigkeit der Berechnung der Unwuchtschwingungen des Systems nachweisen, indem er die Reaktion eines unwichtigen Systems nach 4.9 nachweist.

4.9.3.2 Die tatsächlichen kritischen Drehzahlen, die auf dem Prüfstand bei einer Rotor-Unwucht in der in 4.9.2.4, d) angegebenen Größenordnung in einer vom Lieferanten festgelegten Position (im Allgemeinen an der Kupplung) ermittelt werden, gelten als Kriterien für die Bestätigung der Richtigkeit der durchgeführten Berechnung eines gedämpften, unwichtigen Systems.

ANMERKUNG Es ist zu beachten, dass das dynamische Verhalten des Kompressors auf dem Prüfstand eine Funktion der vereinbarten Prüfbedingungen ist und dass die ermittelten Ergebnisse von den auf dem Feld bestimmten Ergebnissen abweichen können, falls nicht die gleichen Bedingungen für Druck, Temperatur, Drehzahl und Last vorliegen, die auf dem Feld erwartet werden.

4.9.3.3 Während des Tests müssen die Drehzahl und die Schwingungsamplituden der Welle mit der entsprechenden Phase ermittelt werden. Die Schwingungsamplituden und die Phase für jedes Messwert-aufnehmerpaar zur Ermittlung der x - y -Schwingungen müssen für jeden Spitzenwert vektoriell summiert werden, um die maximale Schwingungsamplitude zu bestimmen. Die Amplitude der Hauptachse darf für alle Schwingungsspitzenwerte die in 4.9.2.6 festgelegten Grenzwerte nicht überschreiten. Die Verstärkung des verwendeten Aufzeichnungsgeräts muss vor dem Test bestimmt und so voreingestellt werden, dass die höchste Schwingungsspitze innerhalb von 60 % bis 100 % des gesamten Skalenbereichs des Aufzeichnungsgeräts beim Abfahren (beim Verlangsamen) der zu testenden Einheit liegt.

ANMERKUNG 1 Es ist zu beachten, dass für diese Verifizierung die gesamte elektrische und mechanische Unrundheit bei langsamen Rollbewegungen (300 min^{-1} bis 600 min^{-1}) immer und bei Bewegungen des Lagergehäuses üblicherweise vektoriell subtrahiert werden muss.

ANMERKUNG 2 Die Phase für alle Schwingungssignale x oder y ist das in Grad angegebene Winkelmaß der Phasendifferenz (Verzögerung) zwischen einem Phasen-Bezugssignal (das nach der Beschreibung in API Std 670 von einem Phasen-Messwertaufnehmer erfasst wird, der eine bestimmte Marke bei jeder Umdrehung abtastet) und dem nächsten positiven Spitzenwert, der gleichzeitig mit dem drehfrequenten Schwingungssignal (I_x) auftritt. (Falls benachbarte Messwertaufnehmer angewendet werden, ist das der Verzögerungswinkel zwischen dem Schwingungsaufnehmer und der Unwucht des Rotors).

ANMERKUNG 3 Die Amplitude für die Hauptachse ist aus einer Lissajous-Figur (Orbit) auf einem Oszilloskop, einem Oszillographen oder einer ähnlichen Einrichtung exakt zu bestimmen. Falls der Phasenwinkel zwischen dem x - und dem y -Signal von 90° abweicht, kann die Amplitude der Hauptachse näherungsweise durch $(x^2 + y^2)^{1/2}$ erfasst werden. Falls der Phasenwinkel zwischen dem x - und dem y -Signal 90° beträgt, entspricht der Hauptachsenwert dem größeren der beiden Schwingungssignale.

4.9.3.4 Eine zusätzliche Prüfung und eine Korrektur der ursprünglich durchgeführten Untersuchung des Verhaltens eines gedämpften, unwichtigen Rotors ist für den Fall erforderlich, dass aus den Daten der oben beschriebenen Prüfung und/oder aus der Anzeige für die Phase oder die Amplitude bei dieser Untersuchung [basierend auf den in 4.9.2.4, b) angegebenen Unwuchtbedingungen] zu ersehen ist, dass eine der folgenden Bedingungen vorliegt:

- a) Eine der kritischen Drehzahlen erfüllt nicht die Anforderungen an den Resonanzabstand (siehe 4.9.2.5) oder fällt in den Betriebsdrehzahlbereich;
- b) die Anforderungen von 4.9.2.6 wurden nicht erfüllt.

Die Unwuchtmassen müssen entsprechend der zwischen Besteller und Lieferant getroffenen Vereinbarung bestimmt und angeordnet werden [siehe 4.9.2.4, b) und d)]. Die Größen der Unwucht müssen durch Einstellung der Restunwucht realisiert werden, die aus dem Erstlauf des Rotors vorhanden ist, um die Auslenkung des Rotors an den Positionen der Messwertaufnehmer in Richtung des Schwingungsgrenzwertes zu vergrößern, der nach der Gleichung in 4.9.2.4, b) bei der maximalen Dauerdrehzahl bestimmt wird. Die Messungen aus diesem Test, der nach 4.9.3.2 durchgeführt wird, müssen folgende Abnahmekriterien für den Kompressor anzeigen:

- a) Bei keiner Drehzahl dürfen die Auslenkungen der Welle 90 % der kleinsten errechneten Betriebsspiele überschreiten;
- b) bei keiner Drehzahl innerhalb des Betriebsdrehzahlbereichs dürfen die Auslenkungen der Welle 55 % der kleinsten errechneten Betriebsspiele oder 150 % des zulässigen Schwingungsgrenzwerts an den Messwertaufnehmern überschreiten [siehe 4.9.2.4, b)].

Die Grenzwerte für die interne Auslenkung, die in den Punkten a) und b) ermittelt werden, müssen auf Basis der errechneten Verhältnisse zwischen den Positionen der Messwertaufnehmer und den in 4.9.2.4, c) gekennzeichneten Bereichen bestimmt werden. Die tatsächlichen internen Auslenkungen für diese Tests müssen errechnet werden, indem diese Verhältnisse mit den Amplituden für die Hauptachsen multipliziert werden (siehe 4.9.3.2). Als Kriterium für die Abnahme werden diese errechneten Auslenkungen herangezogen, während eine Inspektion der Dichtungen nach dem Test nicht als Abnahmekriterium dient; eine Beschädigung eines beliebigen Bereichs des Kompressors als Folge des Tests muss jedoch dazu führen, dass der Test als nicht bestanden gilt. Geringfügige interne Kontaktstellen an den Dichtungen, die keine Veränderungen des Spiels außerhalb der vom Lieferanten für das neue Teil angegebenen Toleranz veranlassen, stellen keine Beschädigung dar.

4.9.4 Torsionsanalyse

4.9.4.1 Anregungen für eine Torsionseigenfrequenz können auf verschiedene Quellen zurückgeführt werden, die bei der Untersuchung berücksichtigt werden sollten. Zu diesen Quellen können u. a. die folgenden Quellen gehören:

- a) Getriebeprobleme, z. B. Unwucht und Unrundheit des Wälzkreises;
- b) Abfahrbedingungen, z. B. Drehzahlhaltepunkte (unter Massenträgheitsmomenten) und sonstige Torsionsschwingungen;
- c) Torsionseinschwingvorgänge, z. B. beim Einschalten und beim Kurzschließen aller Arten von Elektromotoren, beim Anfahren, beim Betrieb und bei transienten Vorgängen für Elektromotoren mit veränderlicher Drehzahl sowie beim Anfahren von Synchronmotoren.

4.9.4.2 Die Torsionseigenfrequenz des kompletten Systems muss mindestens 10 % über oder 10 % unter allen möglichen Anregungsfrequenzen innerhalb des festgelegten Betriebsdrehzahlbereichs liegen (von der kleinsten bis zur größten Dauerdrehzahl).

4.9.4.3 Torsionskritische Drehzahlen bei den zweifachen Betriebsdrehzahlen sowie bei der ein- und zweifachen Netzfrequenz für motorgetriebene Systeme müssen nach Möglichkeit vermieden werden, oder es muss für Systeme, in denen die entsprechenden Anregungsfrequenzen auftreten, nachgewiesen werden, dass sie keinen nachteiligen Einfluss ausüben. Zusätzlich zu den Mehrfachen der Betriebsdrehzahlen müssen Torsionsanregungsfrequenzen, die keine Funktion der Betriebsdrehzahlen sind oder die nicht synchron zur Eigenfrequenz sind, falls sie auftreten, bei der Torsionsanalyse berücksichtigt werden. Die Festlegung dieser Frequenzen muss zwischen Besteller und Lieferant vereinbart werden.

4.9.4.4 Für die Torsionsanalyse von Kompressoren, die durch einen Motor mit veränderlicher Drehzahl angetrieben werden, muss der Anbieter zusammen mit dem Lieferanten dieses Motors alle Anregungsfrequenzen und ihre Auswirkungen auf das Antriebssystem kennzeichnen. Zu diesen Frequenzen gehören u. a.:

- nicht von der Drehzahl abhängige Anregungsfrequenzen, z. B. Brummstörungen;
- ganzzahlige harmonische Oberschwingungen;
- nicht ganzzahlige harmonische Oberschwingungen;
- Oberschwingungen mit harmonischer Trägerfrequenz;
- Harmonische infolge von Umschaltvorgängen in Drehzahlfenstern des Umrichters.

4.9.4.5 Falls bei Berechnungen festgestellt wird, dass Torsionsresonanzen in den oben beschriebenen Grenzbereich fallen (und falls Besteller und Lieferant übereinstimmen, dass alle Anstrengungen unternommen wurden, um die kritischen Werte aus dem Grenzfrequenzbereich zu verschieben), muss der Lieferant nachweisen, dass die Resonanzen keinen nachteiligen Einfluss auf das komplette System ausüben.

● **4.9.4.6** Für motorgetriebene Einheiten und Einheiten mit Getriebe oder nach entsprechender Festlegung auch für Einheiten mit Turbinenantrieb muss der Lieferant eine Untersuchung der Torsionsschwingungen für das komplette System durchführen, und er ist verantwortlich dafür, dass die zur Erfüllung der Anforderungen von 4.9.4.1 bis einschließlich 4.9.4.4 notwendigen Modifikationen umgesetzt werden.

4.9.4.7 Außer den nach den in 4.9.4.2 bis einschließlich 4.9.4.5 geforderten Untersuchungen der Torsionsschwingungen muss der Lieferant für motorgetriebene Einheiten die transienten Torsionseinschwingvorgänge untersuchen. Die Abnahmekriterien für diese Untersuchung müssen zwischen Besteller und Lieferant vereinbart werden.

4.9.5 Schwingungen und Auswuchtung

4.9.5.1 Die wesentlichen Teile der Rotationsteile, z. B. Welle, Ausgleichskolben und Laufräder, müssen einzeln dynamisch ausgewuchtet werden, bevor der Zusammenbau entsprechend der Qualitätsklasse G2.5 nach ISO 1940-1 (mit Bezug auf die maximale Dauerdrehzahl) oder nach einer höheren Qualitätsklasse erfolgt. Falls eine blanke Welle mit einer einzigen Keilnute dynamisch ausgewuchtet wird, muss in der Keilnute eine halbe Pass-

feder so befestigt werden, dass nach ISO 8821 die Keilnut der Welle über ihre gesamte Länge ausgefüllt ist. Eine Welle mit um 180° versetzten Keilnuten, die jedoch nicht in der gleichen Querebene liegen, müssen auf die gleiche Weise mit halben Passfedern gefüllt werden. Die ursprüngliche Auswuchtkorrektur der blanken Welle muss aufgezichnet werden.

4.9.5.2 Der vollständige Rotor muss entweder bei niedriger Drehzahl nach 4.9.5.3 oder bei hoher Drehzahl nach 4.9.5.5 ausgewuchtet werden.

4.9.5.3 Beim Auswuchten mit niedriger Drehzahl muss das Rotationsteil während des Zusammenbaus in mehreren Ebenen dynamisch ausgewuchtet werden. Das wird durch das Hinzufügen von höchstens zwei wichtigen Teilen erreicht. Eine Korrektur der Unwucht darf nur an den zugefügten Teilen durchgeführt werden. Für andere Teile können während der Endauswuchtung von Einbauteilen des Rotors geringfügige Korrekturen gefordert werden (siehe 4.9.5.1). Bei sequenziellen Auswuchtvorgängen müssen alle halben Passfedern, die für das Auswuchten der blanken Welle benutzt wurden, so lange weiter angewendet werden, bis sie durch die endgültige Passfeder und des zugehörige Element ersetzt werden. Die Masse aller bei der endgültigen Auswuchtung des zusammengebauten Elements verwendeten halben Passfedern muss in das Arbeitsblatt für die Restunwucht eingetragen werden (siehe Anhang D). Die maximal zulässige Restunwucht je Ebene (Wellenlager) muss nach folgender Gleichung errechnet werden:

$$U_{\max} = 6\,350\, W / N$$

In im US-Sprachraum gebräuchlichen Einheiten:

$$U_{\max} = 4\, W / N$$

Dabei sind:

$U_{\max}$ die Restunwucht, in g · mm (oz · in);

W die statische Last der Masse an der Lagerstelle, in kg (lb);

N die maximale Dauerdrehzahl, in min⁻¹.

Falls Ersatzrotoren geliefert werden, müssen sie nach den gleichen Toleranzen wie der Hauptrotor dynamisch ausgewuchtet werden.

4.9.5.4 Nach Abschluss des Endauswuchtens aller eingebauten Rotationsteile bei niedriger Drehzahl muss eine Überprüfung der Restunwucht durchgeführt und nach der Beschreibung im Anhang D aufgezeichnet werden.

4.9.5.5 Es darf ein Auswuchten bei hoher Drehzahl durchgeführt werden (Auswuchtung in einer schnell laufenden Auswuchteinrichtung bei der Betriebsdrehzahl). Die Abnahmekriterien für dieses Auswuchten müssen zwischen Besteller und Lieferant vereinbart werden.

4.9.5.6 Während des Werkstatttests des Kompressors, in den der ausgewuchtete Rotor eingebaut wurde, der bei seiner größten Dauerdrehzahl oder bei einer anderen Drehzahl im festgelegten Betriebsdrehzahlbereich arbeitet, darf die Spitzenamplitude (peak to peak) der ungefilterten Schwingung in einer beliebigen Ebene, die an den benachbarten Stellen zu den Radiallagern gemessen wird, den folgenden Wert oder 50 µm (2,0 mil) nicht überschreiten, wenn dieser Wert der kleinere ist:

$$A = 25,4 \sqrt{12\,000 / N}$$

In im US-Sprachraum gebräuchlichen Einheiten:

$$A = \sqrt{12\,000 / N}$$

Dabei sind:

- A die Amplitude der ungefilterten Schwingung, in μm (mil) peak to peak;
- N die maximale Dauerdrehzahl, in min^{-1} .

Bei allen Drehzahlen über der maximalen Dauerdrehzahl bis zur und einschließlich der Abschalt-drehzahl des Antriebs darf die Schwingung 150 % des maximalen Wertes nicht überschreiten, der bei der maximalen Dauerdrehzahl aufgezeichnet wurde, sofern die Untersuchung des Unwuchtverhaltens keinen steileren Anstieg des Schwingungsniveaus zeigt; in diesem Fall ist entweder der errechnete Wert der Grenzwert, oder falls er kleiner ist, der Wert, der 150 % des nach der Gleichung in 4.9.5.6 ermittelten Wertes beträgt.

ANMERKUNG Diese Grenzen dürfen nicht mit den Grenzen verwechselt werden, die in 4.9.3 für die Werkstattverifizierung unausgewuchteter Systeme festgelegt wurden.

4.9.5.7 Die elektrische und die mechanische Unrundheit müssen bestimmt und protokolliert werden.

4.9.5.8 Falls der Lieferant zeigen kann, dass eine elektrische und mechanische Unrundheit vorhanden ist, darf ein Wert von maximal 25 % des nach der Gleichung in 4.9.5.6 errechneten Wertes oder $6,5\ \mu\text{m}$ (0,25 mil), wenn dieses der größere Wert ist, vektoriell von dem während der Werkstattprüfung gemessenen Schwingungssignal subtrahiert werden.

4.10 Schmier- und Dichtölsysteme

4.10.1 Sofern nicht anders festgelegt, muss ein druckbeaufschlagtes Ölsystem oder müssen mehrere druckbeaufschlagte Ölsysteme geliefert werden, um das Schmieröl unter einem geeigneten Druck oder, falls zutreffend, unter geeigneten Drücken, den folgenden Stellen zuzuführen:

- a) den Lagern der antreibenden und der angetriebenen Einrichtung (einschließlich aller Getriebe);
- b) den kontinuierlich geschmierten Kupplungen;
- c) dem Steuer- und Regelungsölsystem;
- d) dem Dichtölsystem;
- e) dem vom Besteller festgelegten Steuersystem (falls ein hydraulisches Steuersystem verwendet wird).

4.10.2 Ölbehälter und Gehäuse um bewegliche geschmierte Teile (z. B. Lager, Wellendichtungen), hochglanzpolierte Teile, Messgeräte und Steuerelemente müssen so gestaltet werden, dass während des Betriebs oder während des Leerlaufs eine Verunreinigung durch Feuchtigkeit, Staub und andere Fremdstoffe minimiert wird.

● **4.10.3** Der Besteller muss festlegen, ob Dichtöl- und Schmierölsystem zu trennen oder zu kombinieren sind. Falls getrennte Systeme festgelegt werden, müssen die Einrichtungen, die einen Austausch des Öls zwischen den beiden Systemen verhindern, im Angebot des Lieferanten beschrieben werden.

4.10.4 Sofern nicht anders festgelegt, müssen Lager und Lagergehäuse für eine Schmierung mit Kohlenwasserstofföl ausgelegt werden.

4.10.5 Sofern nicht anders festgelegt, müssen druckbeaufschlagte Schmierölsysteme den Anforderungen von ISO 10438 entsprechen. Falls die Zustimmung des Bestellers vorliegt, darf ein druckbeaufschlagtes integrales Ölsystem für einen geschlossenen Kreislauf eines Kältesystems mit kohlenwasserstofffreien Kältemitteln vorgesehen werden.

4.11 Werkstoffe

4.11.1 Allgemeines

4.11.1.1 Konstruktionswerkstoffe müssen der Norm des Herstellers für die festgelegten Betriebsbedingungen entsprechen, wobei jedoch die Anforderungen oder Verbote zu beachten sind, die in den Datenblättern oder in dieser Internationalen Norm festgelegt werden. In Tabelle B.1 im Anhang B werden Werkstoffspezifikationen angegeben, die bei Anwendung geeigneter Anforderungen an die Wärmebehandlung oder/und den Kerbschlagversuch im Allgemeinen als für die wesentlichsten Teile zulässig angesehen werden. Andere internationale Werkstoffspezifikationen sind nach einer entsprechenden Vereinbarung zwischen Besteller und Lieferant für die wesentlichsten Teile zulässig. Die metallurgischen Bedingungen für alle wesentlichen Teile müssen im Angebot des Lieferanten eindeutig angegeben werden. Anforderungen an Werkstoffe für Zusatzrohrleitungen: siehe 5.5.

4.11.1.2 Werkstoffe und Werkstoffsorte müssen im Angebot unter Anwendung der festgelegten internationalen, nationalen oder in der Industrie üblichen Bezeichnungen gekennzeichnet werden. Falls es keine entsprechende Bezeichnung gibt, muss die Werkstoffspezifikation des Lieferanten, die Angaben zu den physikalischen Eigenschaften, der chemischen Zusammensetzung und den Prüfanforderungen enthält, in das Angebot einbezogen werden.

● **4.11.1.3** Kupfer und Kupferlegierungen (mit Ausnahme von Monel oder entsprechenden Legierungen, von Lagerweißmetall und von ausscheidungsgehärteten nicht rostenden Stählen) dürfen für die Teile des Kompressors oder für die Zubehörteile nicht angewendet werden, die mit korrosivem Gas oder mit Gasen in Berührung kommen, die explosive Kupferverbindungen bilden können. Der Besteller muss bei seiner Anfrage die entsprechenden Eigenschaften des Gases in den Datenblättern angeben.

4.11.1.4 Der Lieferant muss die wahlweise durchzuführenden Tests und die Abnahmeverfahren festlegen, die notwendig sind um sicherzustellen, dass die Werkstoffe für den vorgesehenen Einsatz geeignet sind. Die Tests und Abnahmen müssen im Angebot aufgeführt werden. Der Besteller sollte die Festlegung weiterer Tests und Inspektionen erwägen, besonders für Werkstoffe unter kritischen Einsatzbedingungen.

4.11.1.5 Die Auswahl von Gusswerkstoffen wird durch die in 4.2.7 und 4.2.8 festgelegten Grenzen eingeschränkt.

4.11.1.6 Werkstoffe, die kerbempfindlich sind und bei Umgebungstemperaturen zu Sprödbbruch neigen (z. B. ASTM A 515), dürfen nicht angewendet werden.

● **4.11.1.7** Werkstoffe, die beim Einsatz der in NACE MR 0175 definierten Einwirkung von H₂S ausgesetzt sind müssen den Anforderungen entsprechen, die in NACE MR 0175 festgelegt werden. Eisenwerkstoffe, die in NACE MR 0175 nicht erfasst werden, dürfen eine Streckgrenze von höchstens 620 MPa (90 000 psi) und eine Rockwellhärte von höchstens HRC 22 haben. Geschweißte Bauteile müssen bei Bedarf spannungsarm gegläut werden, so dass sowohl die Schweißnähte als auch die wärmebeeinflussten Zonen die Anforderungen erfüllen, die an Streckgrenze und Härte gestellt werden. Der Besteller muss in den Datenblättern angeben, ob im Prozessgas H₂S enthalten ist.

ANMERKUNG Für Kompressorwellen in der Ausführung mit Lagern an den Wellenenden dürfen die für Streckgrenze und Härte angegebenen Grenzwerte überschritten werden, weil für Wellenbereiche mit reduziertem Querschnitt in der Nähe der Kupplungen und wegen der geringen Betriebsspannung im Wellenbereich zwischen den Lagern eine höhere Festigkeit gefordert wird.

● **4.11.1.8** Der Besteller muss angeben, ob im Prozessgas, im Prozessstrom und in der Umgebung korrosive Mittel sowie Bestandteile enthalten sind, die Spannungsrissskorrosion verursachen können.

4.11.1.9 Falls Teile aus austenitischen nicht rostenden Stählen Prozessgasen oder Umgebungsbedingungen ausgesetzt werden, durch die Korrosion begünstigt wird und falls diese Teile fabrikmäßig hergestellt, mit einem härtesteigernden Auftrag beschichtet, reparatur- oder auftragsgeschweißt werden könnten, werden stabilisierte Sorten oder Sorten mit geringem Kohlenstoffgehalt gefordert.

4.11.1.10 Austenitische Stähle dürfen nicht angewendet werden, wenn bei den Einsätzen die Möglichkeit des Auftretens einer Spannungsrissskorrosion besteht.

ANMERKUNG Auftrag- oder Hartauftragschweißungen, die mehr als 0,10% Kohlenstoff enthalten, können sowohl Werkstoffsorten mit geringem Kohlenstoffgehalt als auch stabilisierte Sorten von austenitischen nicht rostenden Stählen sensibilisieren, sofern keine Zwischenschicht aufgetragen wird, die für interkristalline Korrosion unanfällig ist.

4.11.1.11 Für Einsätze unter Einwirkung von Wasserstoffgas sind bei Partialdrücken von mehr als 700 kPa (100 psi) oder bei Konzentrationen über 90 Mol-% bei einem beliebigen Druck Laufradwerkstoffe verboten, deren Streckgrenze mehr als 830 MPa (120 000 psi) oder deren Rockwellhärte mehr als HRC 34 beträgt.

4.11.1.12 Werkstoffe, Gussfaktoren und die Qualität aller Schweißungen müssen der Druck-Berechnungs-Vorschrift entsprechen.

4.11.1.13 Außenteile, die Dreh- oder Gleitbewegungen ausgesetzt sind (z. B. Teile des Verbindungsgestänges und Verstelleinrichtungen) müssen aus korrosionsbeständigen Werkstoffen bestehen, die für die jeweilige Umgebung geeignet sind.

4.11.1.14 Kleinere Teile, die nicht gekennzeichnet sind (z. B. Muttern, Federn, Unterlegscheiben, Dichtungen und Passfedern), müssen die gleiche Korrosionsbeständigkeit haben wie die übrigen Teile in derselben Umgebung.

4.11.1.15 Werkstoffe für Verschraubungselemente, die für Druckverbindungen vorgesehen sind, müssen der Druck-Berechnungs-Vorschrift entsprechen.

4.11.1.16 Falls zuzufügende Teile, z. B. Stehbolzen und Muttern, aus austenitischem nicht rostendem Stahl oder aus Werkstoffen mit einer entsprechenden Neigung zum Festfressen angewendet werden, müssen sie mit einem geeigneten Antifressmittel geschmiert werden, das mit den Prozessbedingungen kompatibel ist.

ANMERKUNG Drehmoment-Belastungswerte unterscheiden sich mit und ohne Anwendung eines Antifressmittels beträchtlich.

4.11.1.17 O-Ringe müssen mit allen festgelegten Einsatzbedingungen kompatibel sein. Für Hochdruck-Einsätze müssen O-Ringe besonders sorgfältig ausgewählt werden um sicherzustellen, dass sie bei einer raschen Druckentlastung des Kompressors nicht beschädigt werden.

4.11.2 Drucktragende Teile

4.11.2.1 Der Lieferant muss in den Datenblättern für die Gussteile die Werkstoffsorte angeben (siehe Anhang A).

4.11.2.2 Das Schweißen von Rohrleitungen und drucktragenden Teilen sowie Schweißungen an allen unterschiedlichen Metallen und Schweißreparaturen müssen von Schweißern und nach Verfahren durchgeführt und untersucht werden, die entsprechend der Druck-Berechnungs-Vorschrift geeignet sind.

4.11.2.3 Der Lieferant ist für die Festlegung der Schweißreparaturverfahren verantwortlich, die der Druck-Berechnungs-Vorschrift entsprechen sowie für die Durchführung von Reparaturen nach diesen Verfahren, für die Fehlerbeschreibung und, falls erforderlich, für die Wärmebehandlung nach der Reparatur sowie für die zerstörungsfreie Untersuchung der Reparaturschweißnähte. Bevor eine Reparatur durchgeführt wird, muss der Besteller die Eignung der entsprechenden Verfahren überprüfen.

4.11.2.4 Gussteile müssen frei von Fehlern, Porosität, Warmrissen, Lunkern, Gasblasen, Zunder, Gussblasen und ähnlich ungünstig wirkenden Fehlern sein. Die Oberflächen der Gussteile müssen durch Strahlen mit Sand oder anderen geeigneten Mitteln, durch chemische Reinigung, Beizen oder andere genormte Verfahren gereinigt werden. Beim Trennen von Gussteil und Form entstandene Gussgrate und Reste von Anschnitten und Steigern müssen abgemeißelt, abgefeilt oder bündig abgeschliffen werden.

4.11.2.5 Die Anwendung von Kernstützen in Druckgussteilen muss minimiert werden. Die Kernstützen müssen sauber und korrosionsfest sein (eine Beschichtung ist zulässig) und eine Zusammensetzung haben, die mit dem Gussteil kompatibel ist.

4.11.2.6 Gussteile aus Gusseisen mit Lamellen- oder Kugelgraphit dürfen nicht durch Schweißen, Hämmern, Abbrennen oder Imprägnieren repariert werden.

4.11.2.7 Schweißbare Stahlgussteile dürfen durch Schweißen unter Anwendung geeigneter Schweißverfahren nach der Druck-Berechnungs-Vorschrift repariert werden.

4.11.2.8 Im Rahmen der in der zutreffenden Werkstoffspezifikation festgelegten Grenzen dürfen Gussteile aus Lamellen- oder Kugelgraphit durch Verstopfen repariert werden. Die für die Stopfen gebohrten Löcher müssen unter Anwendung eines flüssigen Eindringmittels sorgfältig untersucht werden um sicherzustellen, dass das gesamte fehlerhafte Material abgetragen wurde. Alle Reparaturen, die in den Spezifikationen nicht erfasst werden, benötigen die Zustimmung des Bestellers.

4.11.2.9 Vollständig umschlossene Kernhohlräume sowie durch Lochschweißen verschlossene Hohlräume sind unzulässig.

4.11.2.10 Gussteile aus Gusseisen mit Kugelgraphit müssen der Druck-Berechnungs-Vorschrift oder einer Norm entsprechen, die mit dem Besteller vereinbart wurde (z. B. ASTM A 395).

4.11.2.11 Drucktragende Gussteile aus warm geformten (geschmiedeten) Werkstoffen oder Kombinationen von warm geformten und gegossenen Werkstoffen müssen den in 4.11.2.11, a) bis einschließlich 4.11.2.11, e) beschriebenen Bedingungen entsprechen.

- a) Die Ränder von Blechen müssen mit Magnetpulver oder flüssigem Eindringmittel nach der Druck-Berechnungs-Vorschrift untersucht werden.
- b) Zugängliche Oberflächen von Schweißnähten müssen nach dem Ausfugen oder Aushobeln und ein weiteres Mal nach dem Spannungsarmglühen mit Magnetpulver oder flüssigem Eindringmittel untersucht werden.
- c) Drucktragende Schweißnähte sowie Schweißnähte an horizontalen und vertikalen Anschlussflanschen müssen (an der gesamten Verbindung) eine vollständige Durchdringung haben, sofern der Besteller vor Durchführung aller fabrikationsmäßigen Schweißungen nichts anderes festgelegt hat. Ausnahmen siehe 4.4.3.
- d) Gebaute Gehäuse sowie die Hauptstutzen müssen unabhängig von ihrer Dicke einer Wärmebehandlung nach dem Schweißen unterzogen werden. Ausnahmen siehe 4.4.3.
- e) Geschweißte Gussteile müssen einer Durchstrahlungs- oder einer Ultraschallprüfung unterzogen werden (siehe 4.11.4). Alle drucktragenden Schweißnähte müssen nach der Druck-Berechnungs-Vorschrift untersucht werden. Anforderungen an weitere Untersuchungen müssen zwischen Lieferant und Besteller vereinbart werden.

● **4.11.2.12** Falls festgelegt, müssen die Konstruktionen für die vorgesehenen Anschlüsse dem Besteller vor der fabrikationsmäßigen Herstellung zur Genehmigung vorgelegt werden. In den Konstruktionszeichnungen müssen die Schweißnahtentwürfe, die Größe, die Werkstoffe sowie die Wärmebehandlungen vor und nach dem Schweißen angegeben werden.

4.11.3 Niedrige Temperatur

● Für Betriebstemperaturen unter -30 °C (-20 °F) oder falls festgelegt, auch für andere niedrige Umgebungstemperaturen, müssen die Stähle bei der niedrigsten festgelegten Temperatur eine Kerbschlagzähigkeit haben, die ausreicht, um ihre Eignung für die in der Druck-Berechnungs-Vorschrift nach dem Charpy-Schlagversuch festgelegten Mindestanforderungen an die Kerbenergie zu bestätigen. Für Werkstoffe und Dicken, die in der Druck-Berechnungs-Vorschrift nicht erfasst werden, muss der Besteller die Anforderungen in den Datenblättern festlegen.

4.11.4 Werkstoffuntersuchung für drucktragende Teile

4.11.4.1 Unabhängig von den allgemein geltenden Grenzen ist der Lieferant dafür verantwortlich, die Berechnungsgrenzwerte für alle Gussteile für den Fall zu überprüfen, dass strengere Anforderungen festgelegt werden.

4.11.4.2 Falls für Schweißnähte oder Werkstoffe eine Durchstrahlungs-, eine Ultraschall-, Magnetpulver- oder Eindringmittelprüfung gefordert oder festgelegt wird, müssen die in 4.11.4.2, a) bis einschließlich 4.11.4.2, d) angegebenen Verfahren und Abnahmekriterien mit der angegebenen Ausnahme (siehe 6.2.2.1.2) angewendet werden.

- a) Die Durchstrahlungsprüfung muss nach der Druck-Berechnungs-Vorschrift durchgeführt werden. Für eine stichprobenweise Durchstrahlungsprüfung muss mindestens ein Röntgenbild für einen Bereich von 150 mm (6 in) für alle 7,5 m (25 ft) Schweißnaht an jedem Gehäuse angefertigt werden. Für drucktragende Schweißnähte wird mindestens ein Röntgenbild für jedes Schweißverfahren und für jeden Schweißer gefordert.

- b) Die Ultraschallprüfung muss nach der Druck-Berechnungs-Vorschrift durchgeführt werden.
- c) Die Magnetpulverprüfung muss nach der Druck-Berechnungs-Vorschrift durchgeführt werden. Lineare Fehleranzeigen müssen nur dann als relevant angesehen werden, wenn das Hauptmaß 1,5 mm (1/16 in) überschreitet. Anzeigen für einzelne Fehler, die in einem Abstand von weniger als 1,5 mm (1/16 in) angeordnet sind, müssen als kontinuierliche Fehler angesehen werden.
- d) Die Eindringmittelpfung muss nach der Druck-Berechnungs-Vorschrift durchgeführt werden.

4.11.4.3 Gegossene Teile eines Gehäuses müssen nach dem Magnetpulververfahren untersucht werden. Falls eine Untersuchung mit Magnetpulver nach der Beschreibung in ASTM E 709 gefordert wird, basiert die Annahme der Fehler auf einem Vergleich mit den Photographien in ASTM E 125. Für alle Fehlerarten darf der Schweregrad des Fehlers die in Tabelle 2 angegebenen Grenzen nicht überschreiten. Fehler, bei denen die Grenzen überschritten werden, müssen so aufgearbeitet werden, dass sie den oben genannten Qualitätsanforderungen entsprechen, die durch eine weitere Magnetpulverprüfung vor dem Reparaturschweißen bestimmt werden.

Tabelle 2 — Maximaler Schweregrad der Fehler in Gussteilen

Fehlerart	Fehler	Schweregrad
I	Lineare Unstetigkeiten	0 Nicht zulässig
II	Lunkerbildung	2
III	Einschlüsse	2
IV	Abschreckschichten und Kernstützen	1
V	Porosität	1
VI	Schweißungen	1

4.11.5 Laufräder

4.11.5.1 An geschweißten Laufrädern müssen alle zugänglichen Bereiche der Schweißnähte einer Magnetpulver- oder Eindringmittelpfung unterzogen werden.

4.11.5.2 Gegossene Laufräder müssen vor der Fertigbearbeitung einer Prüfung durch ein Durchstrahlungs- oder ein Ultraschallverfahren unterzogen werden. Einzelheiten zu Prüfverfahren und Abnahmekriterien müssen zwischen Lieferant und Besteller vereinbart werden.

4.11.5.3 Hartgelötete Laufräder müssen einer Prüfung durch ein Ultraschallverfahren unterzogen werden. Einzelheiten zu Prüfverfahren und Abnahmekriterien müssen zwischen Lieferant und Besteller vereinbart werden.

4.11.5.4 Nach dem in 6.3.3 beschriebenen Überdrehzahltest muss jedes Laufrad komplett einer Magnetpulver- oder Eindringmittelpfung unterzogen werden.

4.12 Typenschilder und Drehrichtungspfeile

4.12.1 Ein Typenschild muss fest und gut sichtbar an der Einrichtung und an allen wichtigen Teilen der Zusatzeinrichtungen angebracht werden.

4.12.2 Drehrichtungspfeile müssen an allen wichtigen Teilen der umlaufenden Einrichtung eingegossen oder auf andere Weise aufgebracht werden. Typenschilder und Drehrichtungspfeile (falls zusätzlich angebracht) müssen aus austenitischem nicht rostendem Stahl oder aus einer Nickel-Kupfer-Legierung (aus Monel oder einer entsprechenden Legierung) bestehen. Die zur Anbringung verwendete Stifte müssen aus dem gleichen Werkstoff bestehen.

4.12.3 Auf dem Typenschild des Kompressors müssen die vom Besteller festgelegte Bestellnummer, der Name des Lieferanten, die Seriennummer sowie Größe und Bauart des Kompressors sowie die niedrigsten und die höchsten zulässigen Werte für Betriebsdruck und Betriebstemperatur, den hydrostatischen Prüfdruck und die kritische Drehzahl angegeben werden.

4.12.4 Alle biegekritischen Drehzahlen, die bei Lauftests bestimmt wurden, müssen gefolgt von der Benennung Test auf das Typenschild aufgestempelt werden. Kritische Drehzahlen, die durch Berechnung bestimmt sind, bis zu und einschließlich der kritischen Drehzahl über der Abschalt-drehzahl und die nicht durch einen Test zu ermitteln sind, müssen auf dem Typenschild als errechneter Wert angegeben werden.

5 Zubehör

5.1 Antriebe

● **5.1.1** Die Antriebsart muss vom Besteller festgelegt werden. Der Antrieb muss so dimensioniert werden, dass die festgelegten maximalen Nennbedingungen unter Berücksichtigung der externen Getriebe- und/oder der Kupplungsverluste erreicht werden, und es müssen die Festlegungen erfüllt werden, die bei Anfrage und Auftragserteilung angegeben werden. Der Antrieb muss für einen zufrieden stellenden Betrieb unter den vom Besteller für die Erprobung und für die auf der Baustelle im Betrieb festgelegten Bedingungen geeignet sein.

● **5.1.2** Erwartete Prozessveränderungen, die auf die Dimensionierung des Antriebs Einfluss nehmen können (z. B. Veränderungen des Drucks, der Temperatur oder der Eigenschaften des transportierten Mediums sowie besondere Anfahrbedingungen der Anlage) müssen vom Besteller festgelegt werden.

● **5.1.3** Die Anfahrbedingungen für die angetriebene Einrichtung müssen vom Besteller festgelegt werden, und das Anfahrverfahren muss zwischen Besteller und Lieferant vereinbart werden. Das mögliche Anfahr-drehmoment der antreibenden Einrichtung muss das für die Drehzahl der angetriebenen Einrichtung geforderte Drehmoment überschreiten.

5.1.4 Dampfturbinenantriebe müssen ISO 10437 entsprechen. Sie müssen so dimensioniert werden, dass sie ständig 110 % der maximalen Leistung (unter Einbeziehung von Getriebe-, Fluidkupplungs- und sonstigen Verlusten, sofern zutreffend) liefern können, die für einen Betrieb unter den vom Besteller festgelegten Bedingungen gefordert wird, während der Antrieb bei einer den festgelegten Dampfbedingungen entsprechenden Drehzahl arbeitet.

5.1.5 Für motorgetriebene Antriebseinheiten müssen die auf dem Motortypenschild angegebenen Nenndaten (abgesehen vom Überlastfaktor) mindestens 110 % der größten Leistung (unter Einbeziehung von Getriebe-, Fluidkupplungs- und sonstigen Verlusten, sofern zutreffend) entsprechen, die für alle festgelegten Betriebsbedingungen gefordert wird. Besonders beachtet werden sollte das Anfahren des Kompressors beim üblichen Saugdruck. Kompressoren, die durch einen Induktionsmotor angetrieben werden, müssen für den Nennlastzustand bei der tatsächlichen Motordrehzahl dimensioniert werden.

ANMERKUNG Falls damit zu rechnen ist, dass sich die Betriebsbedingungen ändern (z. B. die molare Masse), sollte der Besteller möglicherweise einen höheren Grenzwert festlegen.

● **5.1.6** Die Anforderungen an das Anfahr-drehmoment des Motors müssen bei einer reduzierten, vom Besteller festgelegten Spannung erfüllt werden, und der Motor muss innerhalb einer zwischen Besteller und Lieferant abgesprochenen Zeitspanne auf die volle Drehzahl zu beschleunigen sein.

ANMERKUNG Für die meisten Anwendungen beträgt die Anfahrspannung üblicherweise 80 % der üblichen Spannung, und die Zeitspanne, um auf die volle Drehzahl zu beschleunigen, beträgt im Allgemeinen weniger als 30 s.

5.1.7 Gasturbinenantriebe müssen ISO 3977-5 entsprechen und nach einer Abstimmung zwischen Besteller und Lieferant dimensioniert werden.

5.1.8 Drehzahlerhöhungs- und -verringerungseinrichtungen müssen ISO 13691 entsprechen. Umlaufrädergetriebe (Planetengetriebe) dürfen mit Zustimmung des Bestellers angewendet werden.

5.1.9 Für Antriebe mit veränderlicher Drehzahl gelten für die Abschalt-drehzahl die in Tabelle 3 angegebenen Werte.

Tabelle 3 — Werte für die Abschalt Drehzahl

Art des Antriebs	Abschaltgeschwindigkeit (Prozentanteil der maximalen Dauerdrehzahl)
Dampfturbine	110
Gasturbine	105
Motor mit veränderlicher Drehzahl	105
Kolbenmaschine	110

5.2 Kupplungen und Schutzeinrichtungen

5.2.1 Sofern nicht anders festgelegt, muss der Lieferant des Kompressors alle Kupplungen und alle Schutzeinrichtungen für die gesamte Kompressoranlage und für die Getriebe liefern, wenn sie Teil der Kompressoranlage sind. Der Lieferant muss für die komplette Bearbeitung aller Kupplungshälften Vorsorge treffen, muss die Kupplungshälften montieren und für den Einbau der Kupplungen in das Antriebssystem sorgen.

● **5.2.2** Kupplungen müssen ISO 10441 entsprechen. Bauart, Bauausführung und Wellen/Nabenverbindungen der Kupplungen müssen zwischen dem Besteller und den Lieferanten der antreibenden und der angetriebenen Einrichtungen vereinbart werden. Die Schutzeinrichtungen müssen der festgelegten nationalen Vorschrift entsprechen.

5.2.3 Die Verbindung Kupplung/Welle muss so konstruiert und hergestellt werden, dass eine Leistung zu übertragen ist, die mindestens der Kupplungsnennleistung entspricht.

● **5.2.4** Falls ein Betrieb im ungekuppelten Zustand festgelegt ist, müssen bei Bedarf Leerlaufadapter (Einzeladapter) und/oder Simulatoren für die Kupplungsmasse nach ISO 10441 vorgesehen werden, damit der Antrieb und alle Getriebe oder alle Durchtriebs-Gehäuse ungekuppelt laufen können.

● **5.2.5** Grenzlehndorne und Grenzlehringe müssen nach ISO 10441 geliefert werden.

5.3 Montageplatten

5.3.1 Allgemeines

● **5.3.1.1** Die Einrichtung muss entsprechend der Festlegungen in den Datenblättern mit Grundplatten oder mit einer Fundamentplatte geliefert werden (siehe Anhang A).

5.3.1.2 In den folgenden Punkten gilt die Benennung „Montageplatte“ sowohl für Fundament- als auch für Grundplatten.

- Für alle Komponenten in dem Kompressorstrang müssen axial, seitlich und vertikal wirkende Stellschrauben vorgesehen werden. Vertikale Stellschrauben müssen so angeordnet werden, dass die Unterlagsflächen nicht zerkratzt werden.
- Auflagen für Kompressoren müssen mit paketierte Beilagescheiben aus austenitischem nicht rostendem Stahl mit einer Dicke von 3 mm bis 15 mm (1/8 Zoll bis 1/2 Zoll) ausgerüstet sein und zur Erleichterung der Entnahme oder der Einbringung mit vertikalen Stellschrauben geliefert werden. Alle Beilagescheiben müssen gleichmäßig unter den Halte- und Stellschrauben verteilt angeordnet werden.
- Die oberen und die unteren Flächen von Lagerböcken und Montageplatten müssen parallel zueinander bearbeitet werden.
- Falls Abstützungen an der Mittellinie vorgesehen sind, müssen sie so konstruiert und hergestellt werden, dass der Kompressor durch Betätigung der horizontalen Stellschrauben zu bewegen ist.
- Zur Befestigung der Kompressoren auf den Montageplatten dürfen keine Ankerschrauben angewendet werden.

- f) Die Montageplatten dürfen nicht mit Bohrungen versehen werden, wenn die Einrichtung durch andere Firmen zu montieren ist. Montageplatten, die auf Beton zu installieren sind, müssen mit Nivellierschrauben geliefert werden. Montageplatten, in die Mörtel einzupressen ist, müssen an den äußeren Ecken (in der Draufsicht) mit einem Radius von 50 mm (2 Zoll) abgerundet werden. Siehe Bilder 10 und 11.
- g) Ankerschrauben müssen vom Besteller bereitgestellt werden.
- h) Befestigungselemente für die Anbringung von Teilen auf den Montageplatten und Stellschrauben zur Ausrichtung der Lagerbock-Grundplatten müssen vom Lieferanten geliefert werden.
- i) In den Füßen der Komponenten müssen Führungslöcher vorgesehen werden, die gut zugänglich sind, wenn die endgültige Befestigung erfolgt.
- j) ● Falls in den Datenblättern die Einpressung von Epoxidharz festgelegt wird, muss der Lieferant alle einzu-
gießenden Flächen auf den Montageplatten mit einer katalytischen Epoxidgrundierung versehen, die auf das
entfettete Metall aufgebracht wird. Der Besteller muss die Grundierung und das Auftragsverfahren festlegen.
- k) Montageflächen, die nicht für eine Harzeinpressung vorgesehen sind, müssen unmittelbar nach der
spanenden Bearbeitung mit einem Rostschutzmittel beschichtet werden.

5.3.2 Grundplatten

5.3.2.1 Eine Grundplatte muss eine einzelne, vorgefertigte Platte aus Stahl sein, sofern Besteller und Lieferant nicht vereinbart haben, dass sie aus mehreren Abschnitten hergestellt werden darf. Grundplatten aus mehreren Abschnitten müssen bearbeitete und mit Passstiften versehene Passflächen haben, damit sie am Aufstellungsort leicht und exakt montiert werden können.

ANMERKUNG Wegen Einschränkungen während des Versands kann verlangt werden, dass Grundplatten mit einer Nennlänge von mehr als 12 m (40 Fuß) oder einer Nennbreite von mehr als 3,5 m (12 Fuß) aus mehreren Abschnitten bestehen.

● **5.3.2.2** Falls festgelegt, müssen die Fundamentplatten mit nivellierbaren Unterlagsstücken oder mit Zielmarken ausgestattet werden, die durch abnehmbare Abdeckungen geschützt werden. Die Unterlagsstücke oder die Zielmarken müssen für eine Nivellierung nach Aufstellung der Einrichtung am Aufstellungsort auch dann noch zugänglich sein, wenn die Einrichtung zusammengebaut und die Fundamentplatte auf dem Fundament angeordnet ist.

● **5.3.2.3** Falls festgelegt, muss die Grundplatte für eine Mehrpunktauflage geeignet sein (d. h. sie muss eine ausreichende Steifigkeit besitzen, um an festgelegten Punkten abgestützt werden zu können) ohne durchgängige Aufbringung von Vergussmörtel unter den Bauteilen. Die Gestaltung der Fundamentplatte muss zwischen Besteller und Lieferant abgestimmt werden.

5.3.2.4 Die Fundamentplatte muss mit Hebeösen mindestens für eine Vierpunktanhebung ausgestattet werden. Beim Anheben der Fundamentplatte, auf die alle vorgesehenen Ausrüstungen und Ausrüstungsteile montiert wurden, dürfen weder die Fundamentplatte noch die auf ihr montierten Maschinen dauerhaft verformt oder auf andere Weise beschädigt werden.

5.3.2.5 Die Unterseite der Fundamentplatte muss zwischen den Stützelementen offen sein. Falls die Fundamentplatte auf einem Betonfundament aufgestellt wird, muss sichergestellt werden, dass alle lastaufnehmenden Bauelemente für das Einbringen von Vergussmörtel zugänglich sind. Die auf der Unterseite der Fundamentplatte montierten Unterlagsstücke müssen in einer Ebene angeordnet werden, um die Anwendung eines Fundaments auf einem ausgeglichenen Niveau zu erlauben.

5.3.2.6 Falls nicht anders festgelegt, muss die Oberseite der Fundamentplatte mit rutschfesten Abdeckungen auf allen Lauf- und Arbeitsflächen ausgestattet werden.

5.3.2.7 Ölbehälter müssen von der Fundamentplatte getrennt sein (siehe ISO 10438), sofern der Abnehmer keiner anderen Lösung zugestimmt hat.

● **5.3.2.8** Falls festgelegt, muss die Fundamentplatte im Bedarfsfall so erweitert werden, dass sie den Antrieb, andere Kompressoren, Getriebebaugruppen und/oder das Steuerpult aufnehmen kann.

5.3.3 Grundplatten und Bauuntergrundplatten

5.3.3.1 Falls Grundplatten festgelegt werden, müssen sie außer den in 5.3.2 angegebenen Anforderungen auch die in 5.3.3.1.1 bis einschließlich 5.3.3.1.4 angegebenen Anforderungen erfüllen.

- a) Grundplatten müssen größer sein als die Einzelgrundplatten für alle zugehörigen Einzelkomponenten.
- b) Für Halte- und Nivellierschrauben müssen Arbeitsfreiräume vorgesehen werden.
- c) Grundplatten müssen aus Stahl bestehen, der ausreichend dick ist, um die erwarteten Lasten aufzunehmen, die von den Füßen der Einrichtung auf das Fundament übertragen werden, wobei die Dicke keinesfalls geringer als 40 mm (1,5 in) sein darf. Siehe Bilder 10 und 11.
- d) Die Ecken müssen, wie in der Draufsicht erkennbar, mit einem Radius von mindestens 50 mm (2 in) abgerundet werden (siehe Bild 10).

● **5.3.3.2** Falls festgelegt, müssen Bauuntergrundplatten geliefert werden. Dabei handelt es sich um Stahlplatten mit einer Dicke von mindestens 25 mm (1 in), deren Passfläche eine Oberflächengüte hat, die der Oberflächengüte der Fundamentplatten entspricht.

Maße in Millimeter

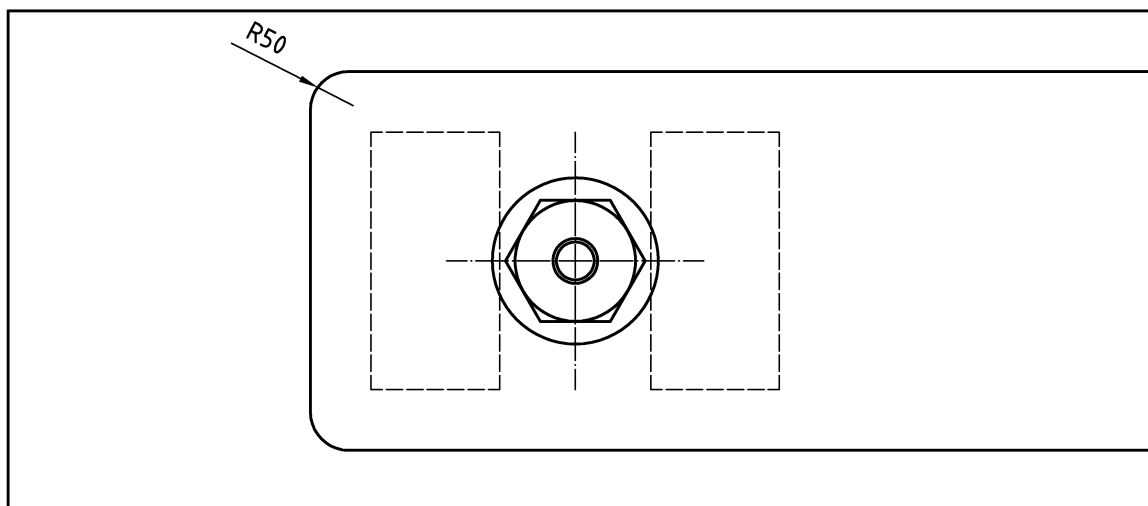
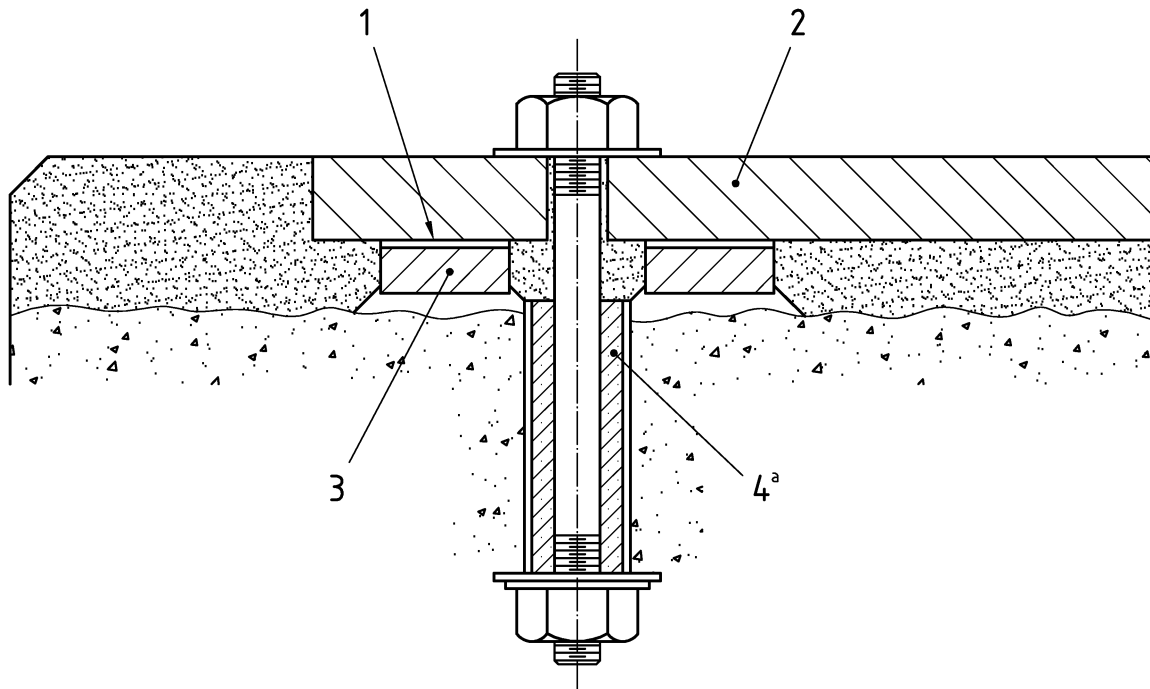


Bild 10 — Anordnung der Grundplatten (Draufsicht)



Legende

- 1 Beilagescheibenpaket
- 2 Grundplatte
- 3 Bauuntergrundplatte
- 4 Typische Hülse für Ankerschrauben

^a Diese Bereiche müssen mit Verpressmörtel gefüllt werden, der auszuhärten ist, und dann müssen die üblichen Fundamentplattenflächen verpresst werden.

Bild 11 — Anordnung der Grundplatte (Schnittdarstellung)

5.4 Steuerelemente und Geräteausstattung

5.4.1 Allgemeines

● **5.4.1.1** Der Besteller muss bei der Anfrage die für die Steuerung zu befolgende Philosophie festlegen. Der Lieferant muss (nach Abschnitt 7) eine ausreichende Menge von Leistungsdaten für den Kompressor vorlegen, um den Besteller in die Lage zu versetzen, ein Steuersystem für den Anfahrvorgang, für alle festgelegten Betriebsbedingungen, für das Abfahren und für die Verhinderung von Pumpvorgängen exakt zu planen. Falls vom Besteller gefordert, muss der Lieferant das gesamte vom Abnehmer für den Kompressor vorgesehene Steuersystem auf Verträglichkeit mit den vom Lieferanten gelieferten Steuereinrichtungen überprüfen.

● **5.4.1.2** Die Messgeräte und ihre Installation müssen allen vom Besteller bei der Anfrage detailliert aufgeführten Festlegungen entsprechen. Wenn keine detaillierten Festlegungen vereinbart wurden, müssen die Messgeräte und ihre Installation den Anforderungen von ISO 10438 entsprechen.

5.4.1.3 Falls zutreffend, müssen die Steuerelemente und die Geräte API RP 550 entsprechen.

5.4.1.4 Falls nicht anders festgelegt, müssen Steuerelemente und Messgeräte für eine Installation im Freien geeignet sein.

5.4.1.5 Geräte und Elektroleitungen müssen so verlegt und geschützt werden, dass Übereinstimmung mit den entsprechenden Normen (siehe 2.2) besteht; sie müssen so gestaltet werden, dass sie ohne Beschädigung leicht demontiert werden können; bei ihrer Anordnung muss berücksichtigt werden, dass sie den Ausbau von Lagern, Dichtungen oder Einbauteilen des Kompressors nicht behindern.

5.4.1.6 Falls festgelegt wird, dass zur Betätigung ein Distributed Control System (DCS) ((dezentralisiertes Steuersystem)) anzuwenden ist, muss der Lieferant alle Signale angeben, um die Maschinen von diesem DCS aus zu betreiben.

- **5.4.1.7** Falls festgelegt, muss eine dynamische Simulation durchgeführt werden um zu verifizieren, dass das System zur Verhinderung von Pumpvorgängen und das Prozesssteuersystem unter allen Betriebsbedingungen zufrieden stellend funktionieren.

5.4.2 Steuersysteme

- **5.4.2.1** Der Kompressor darf mit Hilfe des Eintrittsdrucks, des Austrittsdrucks, des Durchflusses oder einer Kombination der aufgeführten Parameter gesteuert werden. Das kann erreicht werden, indem vor dem Saugstutzen oder nach dem Druckstutzen gedrosselt wird, durch Verstellung der Eintrittsleitschaukeln, durch Drehzahländerung, durch Abblasen an der Austrittsseite (falls ein Antrieb mit konstanter Drehzahl angewendet wird) oder durch eine gekühlte Umführung zwischen Förder- und Saugseite. Das Steuersystem kann mechanisch, pneumatisch, hydraulisch, elektrisch oder durch eine Kombination der aufgeführten Möglichkeiten betätigt werden. Es darf ein manuelles oder ein automatisches System mit manueller Eingriffsmöglichkeit angewendet werden. Der Besteller muss die Quelle für das Steuersignal festlegen, seine Empfindlichkeit und seinen Bereich sowie die vom Lieferanten zu liefernden Ausrüstungsgegenstände.

ANMERKUNG Eine Kombination der Steuerarten kann für Antriebe mit eingeschränktem Drehzahlbereich und bei Anwendungen mit mehreren verschiedenen Einsatzbedingungen oder Strömungen erforderlich werden.

- **5.4.2.2** Falls festgelegt, muss ein System zur Verhinderung von Pumpvorgängen vorgesehen werden.

ANMERKUNG Systeme zur Verhinderung von Pumpvorgängen sind im Allgemeinen erforderlich, um einen Betrieb in instabilen Bereichen zu verhindern, durch den eine Beschädigung des Kompressors verursacht werden kann.

- **5.4.2.3** Falls als Antrieb ein Elektromotor und eine automatische Regelung der Fördermenge mit automatischer Steuerung eines Eingriffs von außen festgelegt sind, muss durch die Eingriffssteuerung eine Überlastung des Motors verhindert werden. Die Eingriffssteuerung muss den Motorstrom begrenzen, um ein Ausschalten des Motors bei zu hohem Strom zu verhindern. Zu diesen Steuerelementen gehören:

- a) ein Gerät zur Anzeige des Motorstroms am Steuerpult des Kompressors;
- b) ein Stromtransformator/Stromwandler im Schaltgetriebe des Motors, der ein Milliampere-Signal für die Steuerung des Stromanzeigegeräts erzeugt.

- **5.4.2.4** Für einen Antrieb mit konstanter Drehzahl muss in Übereinstimmung mit den getroffenen Festlegungen das Steuersignal entweder ein vom Besteller eingebautes Steuerventil oder die vom Lieferanten als Teil des Kompressors gelieferten verstellbaren Eintrittsleitschaukeln betätigen. Im letzten Fall muss der Lieferant auch eine Positioniereinrichtung für die Leitschaukeln liefern, die mit dem vom Besteller festgelegten Steuersignal kompatibel ist sowie ein Handrad oder eine andere Einrichtung, die während des Betriebs einen manuellen Eingriff zulässt. Es muss eine direkt angetriebene Positionsanzeigeeinrichtung für die Leitschaukeln vorgesehen werden, die während des Betriebs des Kompressors sichtbar ist.

5.4.2.5 Für einen Antrieb mit veränderlicher Drehzahl muss das Steuersignal den Sollwert für das Drehzahlregelsystem des Antriebs beeinflussen. Sofern nicht anders festgelegt, müssen die Grenzen des Steuerbereichs von der größten Dauerdrehzahl bis zu 95 % der kleinsten, für einen bestimmten Betriebsfall geforderten Drehzahl reichen, oder falls diese Drehzahl niedriger ist, bis zu 70 % der höchsten Dauerdrehzahl.

5.4.2.6 Der vollständige Bereich für das vom Besteller festgelegte Steuersignal muss dem für die angetriebene Einrichtung geforderten Betriebsbereich entsprechen. Sofern nicht anders festgelegt, muss das festgelegte maximale Steuersignal der höchsten Dauerdrehzahl oder dem größten Durchfluss entsprechen.

5.4.3 Instrumententafeln und Steuerpulte

- **5.4.3.1** Wenn ein Steuerpult vorgeschrieben ist, muss es Geräte zur Steuerung aller Geräte für die angetriebene und für die antreibende Einrichtung enthalten. Die Steuerpulte müssen nach der Beschreibung des Bestellers konstruiert und hergestellt werden. Der Besteller muss festlegen, ob das Pult frei zu stehen hat oder auf der Grundfläche der Kompressoreinheit oder an einer anderen Stelle anzuordnen ist. Die Geräte am Steuerpult müssen vom Standort der Bedienkraft gut einzusehen sein. Ein Lampen-Prüfknopf muss vorgesehen werden. Die am Steuerpult anzuordnenden Messgeräte müssen vom Besteller in den Datenblättern festgelegt werden (siehe Anhang A).

● **5.4.3.2** Die Steuerpulte müssen vollständig verrohrt und verdrahtet werden, wobei nur der Anschluss an die vom Besteller festgelegten externen Rohrleitungen und Schaltkreise erforderlich ist. Falls für eine Einheit zur Steuerung oder zur Geräteausstattung mehr als eine Verdrahtungsstelle erforderlich ist, muss die Verdrahtung zu jedem Schalter oder Gerät von einem Anschlusskasten aus erfolgen, dessen Endklemmen an der Einheit (oder falls zutreffend, an der Grundfläche) angebracht werden. Der Besteller muss festlegen, ob ein Schutz für die Drähte durch Kanäle oder durch eine Umhüllung der Kabel vorzusehen ist. Alle Leitungen und Klemmen an den Klemmleisten, Schaltern und Geräten müssen mit einem Etikett versehen werden, das Daten zu ihrer Kennzeichnung enthält.

5.4.4 Geräteausstattung

5.4.4.1 Allgemeines

5.4.4.1.1 Sofern nicht anders festgelegt, müssen alle Leitungsdrähte an Klemmleisten, Schaltern und Geräten dauerhaft mit einem Etikett ausgestattet werden, das Daten zu ihrer Kennzeichnung enthält. Alle Klemmbretter in Anschlusskästen und Steuerpulten müssen mindestens 20 % Ersatz-Anschlussstellen haben.

● **5.4.4.1.2** Falls festgelegt, muss mit Luft gespült werden, um Probleme durch Feuchtigkeit zu vermeiden, auch dann, wenn wetterfeste und wasserdichte Gerätegehäuse angewendet werden. Die zum Spülen verwendete Luft muss sauber und trocken sein und ISA RP 12.4, Typ X und Y und NFPA 496 entsprechen.

5.4.4.2 Thermometer und Temperaturanzeigegeräte

5.4.4.2.1 Temperaturanzeigegeräte mit Skalen müssen hoch beanspruchbar und korrosionsbeständig sein. Ihr Durchmesser muss mindestens 125 mm (5 in) betragen, und sie müssen mit einem Bimetall oder mit einer Flüssigkeitsfüllung arbeiten.

ANMERKUNG Die Anzeige erfolgt üblicherweise in schwarzer Schrift auf einem weißen Hintergrund.

5.4.4.2.2 Die Messwertaufnehmer der Thermometer und der Temperaturanzeigegeräte müssen sich im Medienstrom befinden.

5.4.4.3 Temperaturmessstutzen

Thermometer und Temperaturanzeigegeräte, die mit entflammaren oder giftigen Medien in Berührung kommen oder die in druckbeaufschlagten oder gefluteten Leitungen angeordnet werden, müssen mit Temperaturmessstutzen aus massivem, austenitischem nicht rostendem Stahl in einer Ausführung als abnehmbarer Flansch mit einem Durchmesser von mindestens 19 mm (3/4 in) geliefert werden.

5.4.4.4 Thermoelemente und Messfühler für Widerstandsthermometer

Falls durchführbar, müssen Thermoelemente und Messfühler für Widerstandsthermometer mit Ausnahme der Temperaturaufnehmer für Lager (siehe 4.7.1.2) so konstruiert und angeordnet werden, dass eine Auswechslung während des Betriebs der Einrichtung möglich ist. Die Leitungsdrähte von Thermoelementen und Messfühlern für Widerstandsthermometer zwischen Temperaturmessstutzen oder Temperaturfühler und Anschlusskasten müssen dauerhaft verlegt werden. Von den Lötstellen der Thermoelemente zu einer oder mehreren auf der Fundamentplatte angeordneten Einziehdose(n) müssen Kabelstränge in einem Kabelkanal oder mit einer Schutzumhüllung vorgesehen werden.

5.4.4.5 Manometer

● Manometer (außer eingebaute Geräte mit Instrumentenluft) müssen, sofern nicht anders festgelegt, mit Bourdon-Röhren aus nicht rostendem Stahl Sorte 316 und Antriebsmechanismen aus nicht rostendem Stahl von 100 mm (4 1/2 in) [Skalen für eine Bewegung von 160 mm über einen Druckbereich oberhalb von 5 500 kPa (800 psi)] und mit Anschlüssen aus legiertem Stahl mit Rohrgewinde DN 12 (NPS 1/2) geliefert werden. Für Manometer ist schwarze Schrift auf einem weißen Hintergrund üblich. Falls festgelegt, müssen für schwingungsexponierte Lagen ölgefüllte Manometer geliefert werden. Die Messbereiche der Manometer müssen vorzugsweise so ausgewählt werden, dass der übliche Betriebsdruck in der Mitte des Messbereichs liegt. Keinesfalls darf jedoch die maximale Ablesung an der Skale kleiner sein als die vorgenommene Einstellung des Überdruckventils plus 10 %. Alle Manometer müssen mit einer Einrichtung zur Entlastung zu hoher Gehäusedrücke ausgestattet werden, z. B. einer Berstscheibe oder einer Ausblaseöffnung in der Rückwand.

ANMERKUNG Die Anzeige erfolgt üblicherweise in schwarzer Schrift auf einem weißen Hintergrund.

5.4.4.6 Magnetventile

5.4.4.6.1 Direkt betätigte Magnetventile dürfen nur für saubere, trockene Instrumentenluft angewendet werden, müssen eine Isolation mindestens nach Klasse F haben und für kontinuierliche Betriebsbedingungen vorgesehen sein. Falls sie für andere Einsätze benötigt werden, muss das Magnetventil als Servoventil für pneumatische, hydraulische oder entsprechende Ventile wirken.

5.4.4.6.2 Magnetventile dürfen nicht für Dauereinsätze angewendet werden, die den Betrieb beeinflussen, z. B. die Brennstoffsteuerung. Sie dürfen für Geräte mit intermittierendem Betrieb angewendet werden, z. B. zur Steuerung des Startzyklus.

5.4.5 Alarm- und Abschaltvorgänge

5.4.5.1 Allgemeines

● **5.4.5.1.1** Alle Alarmschalter und Abschalteinrichtungen müssen mit einem gesonderten Gehäuse ausgestattet werden, das so anzuordnen ist, dass Inspektion und Instandhaltung leicht möglich sind. Es müssen hermetisch abgedichtete, einpolige Schalter mit zwei Stellungen mit einer Mindestleistung von 5 A bei 120 V (Wechselstrom) angewendet werden. Sofern nicht anders festgelegt, dürfen keine Quecksilberschalter angewendet werden. Falls festgelegt, muss der Lieferant Messfühler und Messwertumformer für die notwendigen Alarm- und Abschaltfunktionen liefern. Am Aufstellungsort anzuwendende Geräte müssen elektronische Messwertumformer mit Analogsignalen für die Verbindung zum Steuersystem haben. Für die Abschaltfunktionen des Kompressors müssen gesonderte Messfühler und Messwertumformer angewendet werden. Für Steuer- und Alarmfunktionen können kombinierte Messfühler und Messwertumformer angewendet werden.

5.4.5.1.2 Sofern nicht anders festgelegt, müssen vom Lieferanten elektrische Schalter geliefert werden, die offen (stromlos) einen Alarm und eine Abschaltung auslösen.

5.4.5.1.3 Die Reihenfolge der Alarm- und Abschaltarbeitsgänge wird in 5.4.5.1.3, a) bis einschließlich 5.4.5.1.3, e) festgelegt.

- a) Alle Alarm- oder Abschaltzustände müssen mittels örtlich angebrachter Kontakte ausgelöst werden, sofern keine Messwertumformer angewendet werden.
- b) Alarm- und Abschaltanzeigen müssen aus einer Leuchtanzeige am Steuerpult und einem Signalton bestehen.
- c) Auf den Alarm- und/oder Abschaltzustand muss durch Betätigung eines Knopfes reagiert werden, der auf dem Steuerpult in einer geeigneten Lage angeordnet ist. Durch das Drücken dieses Knopfes muss der Signalton abgestellt werden.
- d) Nachdem der Alarmerregungszustand korrigiert wurde, muss die zugehörige Leuchtanzeige am Steuerpult weiter leuchten, bis ein am Steuerpult angebrachter Rückstellknopf gedrückt wird (manuelle Rückstellung). Wenn in der Zwischenzeit ein weiterer Alarmauslösungszustand gemeldet wird, müssen dadurch erneut ein akustisches Signal und die zugehörige(n) Leuchtanzeige(n) am Steuerpult aktiviert werden.
- e) Leuchten am Steuerpult, die einen Abschaltvorgang anzeigen, müssen nach dem „Zuerst-aus“-Prinzip arbeiten (d. h., nur die erste Abschaltleuchte muss leuchten). Nach Auftreten eines Abschaltvorgangs muss der Rückstellknopf betätigt werden, bevor die Einheit erneut angefahren werden kann.

5.4.4.1.4 Die Schaltungen müssen die Auslösung eines Fernalarms ermöglichen, wenn örtlich angezeigte Alarm- oder Abschaltvorgänge des Kompressors aktiviert werden.

5.4.5.2 Alarm- und Abschalteinrichtungen

5.4.5.2.1 Die Einstellungen für die Alarm- und Abschalteinrichtungen dürfen nicht von außerhalb des Gehäuses verstellbar sein. Alarm- und Abschalteinrichtungen müssen so angeordnet werden, dass eine Prüfung des Steuerkreises und nach Möglichkeit auch des Betätigungselements ohne Beeinträchtigung des üblichen Betriebs der Einrichtung durchführbar ist. Der Lieferant muss am Steuerpult eine Leuchte gut sichtbar anbringen, die anzeigt, ob sich die Abschaltkreise in der Prüfungs-Betriebsart befinden. Sofern nicht anders festgelegt, müssen Abschaltssysteme mit Schaltern oder anderen geeigneten Einrichtungen vorgesehen werden, die eine Prüfung und Abschalten der Einrichtung ermöglichen.

5.4.5.2.2 Messwertaufnehmer für den Druck müssen aus austenitischem nicht rostendem Stahl bestehen. Niederdruck-Alarmeinrichtungen müssen mit Anschlüssen für Ablass- oder Entlüftungsarmaturen ausgestattet werden, die eine kontrollierte Druckentlastung ermöglichen, so dass die Bedienkraft den Alarm-Einstelldruck am zugehörigen Manometer ablesen kann. Hochdruck-Alarmeinrichtungen müssen mit Anschlüssen für Prüfarmaturen so ausgestattet werden, dass eine transportable Prüfpumpe zur Druckerhöhung angewendet werden kann.

5.4.5.3 Ausbau von Geräten und Steuerelementen

Alle Geräte und Steuerelemente mit Ausnahme der Abschalttaster müssen unter Anwendung von Armaturen so installiert werden, dass ein Ausbau der Geräte aus einem arbeitenden System möglich ist.

5.4.5.4 Gehäuse für lichtbogenbildende Schalter

Die Anforderungen von 4.1.15 an die Kennwerte der Gehäuse für lichtbogenbildende Schalterarten, die in den zutreffenden Vorschriften angegeben werden, müssen unbedingt beachtet werden.

5.4.6 Elektrische Systeme

● **5.4.6.1** Die Kennwerte für die elektrische Stromversorgung von Motoren, Erhitzern und Geräten müssen vom Besteller festgelegt werden. An der Eintrittsseite aller Stromversorgungskreise muss eine Kontrollleuchte vorgesehen werden, die anzeigt, ob ein Strom fließt. Die Kontrollleuchten müssen an den Steuerpulten installiert werden.

● **5.4.6.2** Elektrische Ausrüstungen, die an der Einheit oder an einem gesonderten Steuerpult angeordnet sind, müssen für die festgelegte Bereichsklassifizierung geeignet sein (siehe 4.1.15). Die elektrischen Start- und Überwachungs-Steuerelemente dürfen an Wechsel- oder Gleichstrom anliegen.

5.4.6.3 Versorgungs- und Steuerleitungen innerhalb der Grenzen der Fundamentplatte müssen gegen Hitze, Feuchtigkeit und Abrieb beständig sein. Innerhalb der Grenzen der Fundamentplatte sowie in anderen, schwingungsexponierten Bereichen müssen gelitzte Leiter angewendet werden. Als Leitungen zu Messeinrichtungen und zu Fernsteuerpulten dürfen Vollleiter angewendet werden. Falls eine Gummiisolierung vorgesehen ist, sollte eine Neopren- oder eine gleichwertige thermoplastische, gegen hohe Temperatur beständige Schutzumhüllung angewendet werden. Die Leitungen müssen für die Umgebungstemperaturen geeignet sein.

5.4.6.4 Sofern nicht anders festgelegt, müssen alle Leitungsdrähte an Klemmenleisten, Schaltern und Geräten dauerhaft mit einem Etikett versehen werden, das Daten zu ihrer Kennzeichnung enthält. Alle Klemmbretter in Anschlusskästen und Steuerpulten müssen mindestens 20 % Ersatz-Anschlussstellen haben.

5.4.6.5 Um die Instandhaltung zu erleichtern, müssen für alle stromdurchflossenen Teile der Einrichtung (z. B. Anschlussblöcke und Relais) großzügige Abstände vorgesehen werden. Die für einen Betrieb bei 600 V erforderlichen Abstände müssen auch bei niedrigeren Spannungen beibehalten werden. Zum Schutz gegen eine unbeabsichtigte Berührung müssen für alle stromdurchflossenen Teile Umhüllungen vorgesehen werden.

● **5.4.6.6** Elektromaterialien, auch Isolationsmaterial, müssen so weit wie möglich korrosionsbeständig und nicht hygroskopisch sein. Falls für tropische Umgebungen festgelegt, müssen die Materialien auf folgende Weise behandelt werden:

- Die Teile (z. B. Spulen und Wicklungen) müssen gegen Pilzbefall geschützt werden;
- Oberflächen ohne einen Anstrich müssen gegen Korrosion durch eine elektrolytische oder eine sonstige geeignete Beschichtung geschützt werden.

● **5.4.6.7** Der Besteller muss festlegen, ob Leitungen für Steuereinrichtungen, Messgeräte und für die Stromversorgung (einschließlich der Leitungsdrähte zu Thermoelementen) innerhalb der Grenzen der Fundamentplatte in starren Kanälen installiert werden müssen oder in Kabelschutzrohren und Kabelkästen vorschriftsmäßig abgestützt zu verlegen sind, um Schwingungen zu minimieren und eine Isolation oder einen Schutz zu erreichen, um eine Beeinträchtigung zwischen unterschiedlichen Spannungspegeln zu vermeiden. Die Kanäle und die umhüllten Kabel dürfen (bzw. müssen, wenn es sich um temperaturbeanspruchte Enden von Thermoelementen handelt) in einem flexiblen metallischen Kanal enden, der lang genug ist, um für Instandhaltungszwecke einen Zugang zu der Einheit zu ermöglichen ohne dass der Kanal ausgebaut werden muss. Falls die Lötstellen der Thermoelemente Temperaturen über 60 °C (140 °F) ausgesetzt werden, müssen sie auf geeignete Weise geschützt werden.

5.4.6.8 Die Endabschlüsse von Stromdrähten und Steuerleitungen müssen zur Berücksichtigung der Bereichsklassifizierung flüssigkeitsdicht sein und den zutreffenden nationalen Vorschriften entsprechen.

5.4.7 Schwingungs-, Positions- und Lagertemperaturmessfühler

5.4.7.1 Sofern nicht anders festgelegt, müssen Messwertaufnehmer zur Erfassung der Schwingungen und der axialen Position nach API Std 670 geliefert, installiert und kalibriert werden.

● **5.4.7.2** Falls festgelegt, müssen Monitore für Schwingungen und die axiale Position nach API Std 670 geliefert und kalibriert werden.

● **5.4.7.3** Falls festgelegt, muss ein Monitor zur Überwachung der Lagertemperatur nach API Std 670 geliefert und kalibriert werden, siehe 4.7.1.2.

● **5.4.7.4** Falls festgelegt, müssen Schwingungsaufnehmer auf Basis der Beschleunigung nach API Std 670 geliefert, installiert und kalibriert werden.

● **5.4.7.5** Falls festgelegt, müssen Monitore nach API Std 670 geliefert, installiert und kalibriert werden.

5.5 Rohrleitungen und Zubehör

5.5.1 Allgemeines

5.5.1.1 Für alle vom Lieferanten bereitgestellten Zusatzrohrleitungen gilt ISO 10438.

5.5.1.2 Zusatzsysteme werden als Rohrleitungssysteme definiert, wenn sie für folgende Einsätze angewendet werden:

- Instrumenten- und Steuerluft;
- Schmieröl;
- Öl für Steuersysteme;
- Sperröl;
- Kühlwasser;
- Ausgleichsgas;
- Bezugsgas;
- Puffergas;
- Sperrgas;
- Trenngas;
- Entwässerungen.

ANMERKUNG Anschlüsse an Gehäuse werden in 4.4 behandelt.

● **5.5.1.3** Falls eine Grundplatte festgelegt wurde, muss der Lieferant das komplette Rohrleitungssystem einschließlich der montierten Zubehöerteile liefern, die innerhalb der Grenzen der Grundplatte angeordnet sind. Die Rohrleitungen müssen mit Flanschanschlüssen am Rand der Grundplatte enden. Der Besteller muss nur die Verbindungsrohrleitungen zwischen einzelnen Baugruppen der Einrichtung und den Einrichtungen bereitstellen, die außerhalb der Fundamentplatte angeordnet sind.

5.5.1.4 Gas- oder Ölleitungen zu den Messgeräten müssen an den Messstellen mit Absperrschiebern ausgerüstet werden.

● **5.5.1.5** Falls festgelegt, muss ein Manifold für die Injektion von Flüssigkeiten geliefert werden. Er muss an allen Injektionsstellen eine Drosselklappe, ein Durchflussmessgerät in einem Gehäuse, ein Rückschlagventil, ein Druckanzeigergerät und ein Trennventil enthalten.

● **5.5.1.6** Falls Gasmanifolds für Puffergas, Sperrgas oder Trenngas festgelegt werden, müssen die benötigten Einzelteile, z. B. Armaturen, Durchflussmessgeräte, Rückschlagventile, Druckanzeigergeräte, Steuerelemente und Steuerventile vom Lieferanten geliefert werden.

5.5.1.7 Während der Spülarbeitsgänge mit Öl müssen Möglichkeiten zur Umführung der Lager (und falls zutreffend, auch der Dichtungen) des Kompressors und der Antriebe vorgesehen werden.

5.5.2 Rohrleitungen für Messgeräte

5.5.2.1 Sofern nicht anders festgelegt, muss der Lieferant für alle Geräte die üblichen Rohrleitungen und Formstücke liefern.

5.5.2.2 Anschlüsse an druckbeanspruchte Einrichtungen, Rohrleitungen für Druckmessgeräte und die Prüfstellen müssen ISO 10438 entsprechen. Außer dem primären 19 mm (3/4 in)-Absperrventil dürfen Rohrleitungen, Armaturen und Formstücke in einer Nennweite von DN 12 (NPS 1/2) geliefert werden. Falls von Vorteil, darf ein gemeinsamer Anschluss für entfernt voneinander eingebaute Messgeräte angewendet werden, die den gleichen Druck messen. Gesonderte sekundäre 12 mm (1/2 in)-Absperrventile sind für alle Messgeräte erforderlich, die einen gemeinsamen Anschluss anwenden. Falls ein Manometer für einen Prüfdruckalarm oder einen Schalter zum Abschalten anzuwenden ist, werden gemeinsame Anschlüsse für das Manometer und für die Schalter benötigt.

5.5.3 Prozessrohrleitungen

● **5.5.3.1** Der Umfang der vom Lieferanten zu liefernden Prozessrohrleitungen muss vom Besteller festgelegt werden.

● **5.5.3.2** Falls festgelegt, muss der Lieferant eine Überprüfung des gesamten Rohrleitungssystems, aller Zubehörteile (Zwischenkühler, Nachkühler, Abscheider, Separatoren, Lufteintrittsfilter und Dehnungsausgleicher) und aller Behälter unmittelbar vor oder nach der Einrichtung sowie an allen Rohrabstützungen durchführen. Besteller und Lieferant müssen sich über den Umfang der Überprüfung einigen.

5.6 Sonderwerkzeuge

5.6.1 Falls Sonderwerkzeuge und Spannvorrichtungen zur Demontage, Montage oder Instandhaltung der Einheit erforderlich sind, müssen sie im Kostenvoranschlag enthalten sein und als Teil der Erstausrüstung des Kompressors geliefert werden. Für die Montage mehrerer Einheiten müssen die Anforderungen an die Mengen der zu liefernden Sonderwerkzeuge und Spannvorrichtungen zwischen Besteller und Lieferant vereinbart werden. Diese oder entsprechende Sonderwerkzeuge müssen bei der Werkstattmontage und bei der Demontage nach der Prüfung der Einrichtung angewendet werden.

5.6.2 Falls Sonderwerkzeuge bereitzustellen sind, müssen sie in einzelnen, robusten Kästen verpackt werden und als „Sonderwerkzeuge für (Kennzeichen/Artikel)“ gekennzeichnet werden. Jedes Werkzeug muss mit einer Stempelung oder einem Etikett ausgestattet werden, aus dem der für das Werkzeug vorgesehene Verwendungszweck zu ersehen ist.

6 Inspektion, Prüfung und Vorbereitung für den Versand

6.1 Allgemeines

6.1.1 Dem Besteller oder seinem Vertreter muss nach vorheriger Benachrichtigung Zutritt zu allen Fertigungsstätten des Lieferanten und seiner Subunternehmer gewährt werden, in denen die Herstellung, Prüfung oder Inspektion der Kompressoranlage erfolgt.

6.1.2 Die Weiterleitung der vom Besteller festgelegten Inspektions- und Prüfanforderungen an die Subunternehmer fällt in den Verantwortungsbereich des Lieferanten.