

	Kälteanlagen und Wärmepumpen Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen Teil 2: Konstruktion, Herstellung, Prüfung, Kennzeichnung und Dokumentation Deutsche Fassung prEN 378-2:2003	DIN EN 378-2
ICS 27.080; 27.200	Entwurf Refrigerating systems and heat pumps — Safety and environmental requirements — Part 2: Design, construction, testing, marking and documentation; German version prEN 378-2:2003 Systèmes de réfrigération et pompes à chaleur — Exigences de sécurité et d'environnement — Partie 2: Conception, construction, essais, marquage et documentation; Version allemande prEN 378-2:2003 Anwendungswarnvermerk Dieser Norm-Entwurf wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt. Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren. Stellungnahmen werden erbeten — vorzugsweise als Datei per E-Mail an fnkae@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter http://www.din.de/stellungnahme abgerufen werden; — oder in Papierform an den Normenausschuss Kältetechnik (FNKä) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Kamekestraße 8, 50672 Köln. Nationales Vorwort Dieser europäische Norm-Entwurf ist vom Technischen Komitee CEN/TC 182 „Kälteanlagen, sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen“ (Sekretariat: DIN) unter deutscher Mitwirkung ausgearbeitet worden. Für die deutsche Mitarbeit ist der Arbeitsausschuss AA 1 „Sicherheit und Umweltschutz“ im Normenausschuss Kältetechnik (FNKä) verantwortlich. Für die im Abschnitt 2 zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechende Deutsche Norm hingewiesen: ISO 6708 siehe DIN EN ISO 6708 Fortsetzung Seite 2 und 63 Seiten prEN Normenausschuss Kältetechnik (FNKä) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.	Einsprüche bis 2003-11-30 Vorgesehen als Ersatz für DIN EN 378-2:2000-09

Änderungen

Gegenüber DIN EN 378-2:2000-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Die Norm wurde unter Berücksichtigung der relevanten Richtlinien überarbeitet und dem Stand der Technik angepasst.

Kälteanlagen und Wärmepumpen — Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen — Teil 2: Konstruktion, Herstellung, Prüfung, Kennzeichnung und Dokumentation

Systèmes de réfrigération et pompes à chaleur — Exigences de sécurité et d'environnement — Partie 2 : Conception, construction, essais, marquage et documentation

Refrigerating systems and heat pumps — Safety and environmental requirements — Part 2: Design, construction, testing, marking and documentation

ICS:

Deskriptoren

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Einleitung	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe	6
4 Allgemeines	6
4.1 Gefährdungen von Personen, Sachen und Umwelt	6
4.2 Kältemittel-Füllmenge.....	6
4.3 Energieaufnahme	6
4.4 Instandhaltung, Instandsetzung und Prüfung	6
4.5 Werkstoffe.....	7
5 Anforderungen an Bauteile und Rohrleitungen	7
5.1 Allgemeine Anforderungen	7
5.2 Besondere Anforderungen.....	8
6 Anforderungen an Gesamtkälteanlagen	14
6.1 Allgemeines	14
6.2 Konstruktion und Herstellung	14
6.3 Prüfung.....	33
6.4 Kennzeichnung und Dokumentation.....	37
Anhang A (normativ) Prüfliste für die äußere Sichtprüfung der Gesamtanlage	41
Anhang B (normativ) Prüfliste für die äußere Sichtprüfung	42
Anhang C (normativ) Zusätzliche Anforderungen an Kälteanlagen und Wärmepumpen, die Ammoniak (NH₃) enthalten	43
Anhang D (normativ) Festlegung von Kategorien für Kälteanlagen	45
Anhang E (normativ) Anforderungen für Prüfungen der Eigensicherheit	50
Anhang F (normativ) Zusätzliche Anforderungen an Kälteanlagen und Wärmepumpen mit brennbaren Kältemitteln	52
Anhang G (informativ)	54
Anhang H (informativ) Beispiele für die Anordnung von Druckentlastungseinrichtungen in Kälteanlagen	55
Anhang ZA (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 97/23/EG	59
Anhang ZB (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der Richtlinie 98/37/EG	61
Literaturhinweise	63

Vorwort

Dieses Dokument (prEN 378-2:2003) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 182 „Kälteanlagen, sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument ersetzt die EN 378-2:2000.

Dieses Dokument wurde im Rahmen eines Mandats, das dem CEN von der Europäischen Kommission und der Europäischen Freihandelszone erteilt wurde, erarbeitet und unterstützt grundlegende Anforderungen von EU-Richtlinie(n).

Zusammenhang mit EU-Richtlinie(n) siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieser Norm ist.

prEN 378:2003 besteht aus den folgenden Teilen unter dem allgemeinen Titel *„Kälteanlagen und Wärmepumpen — Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen“*

- *Teil 1: Grundlegende Anforderungen, Definitionen, Klassifikationen und Auswahlkriterien*
- *Teil 2: Konstruktion, Herstellung, Prüfung, Kennzeichnung und Dokumentation*
- *Teil 3: Aufstellungsort und Schutz von Personen*
- *Teil 4: Betrieb, Instandhaltung, Instandsetzung und Rückgewinnung*

Einleitung

Es gilt die Einleitung in prEN 378-1:2003.

1 Anwendungsbereich

Es gilt der Anwendungsbereich von EN 378-1.

Dieser Teil 2 der Europäischen Norm gilt für die Konstruktion, Herstellung und die Aufstellung von Kälteanlagen, einschließlich Rohrleitungen, Bauteile und Werkstoffe sowie mit diesen Anlagen direkt verbundene Zusatzausrüstungen, die nicht in prEN 378-1:2003, prEN 378-3:2003 oder prEN 378-4:2003 behandelt werden. Diese Norm legt außerdem Anforderungen an die Prüfung, Inbetriebnahme, Kennzeichnung und Dokumentation fest. Die Anforderungen an Sekundär-Wärmeträger-Kreisläufe sind mit Ausnahme aller mit der Kälteanlage verbundenen Sicherheitseinrichtungen ausgeschlossen.

2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschließlich Änderungen).

EN 292-1; *Sicherheit von Maschinen; Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze — Teil 1: Grundsätzliche Terminologie, Methodologie.*

EN 292-2; *Sicherheit von Maschinen; Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze — Teil 2: Technische Leitsätze und Spezifikationen.*

EN 294; *Sicherheit von Maschinen — Sicherheitsabstände gegen das Erreichen von Gefahrstellen mit den oberen Gliedmaßen.*

prEN 378-1:2003, *Kälteanlagen und Wärmepumpen — Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen — Teil 1: Grundlegende Anforderungen, Definitionen, Klassifikationen und Auswahlkriterien.*

prEN 378-3:2003, *Kälteanlagen und Wärmepumpen — Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen — Teil 3: Aufstellungsort und Schutz von Personen.*

prEN 378-4:2003, *Kälteanlagen und Wärmepumpen — Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen — Teil 4: Betrieb, Instandhaltung, Instandsetzung und Rückgewinnung.*

EN 563; *Sicherheit von Maschinen — Temperaturen berührbarer Oberflächen — Ergonomische Daten zur Festlegung von Temperaturgrenzwerten für heiße Oberflächen.*

EN 764-7; *Druckgeräte — Teil 7: Sicherheitseinrichtungen für unbefeuerte Druckgeräte.*

EN 809; *Pumpen und Pumpenaggregate für Flüssigkeiten — Allgemeine sicherheitstechnische Anforderungen.*

EN 837-1; *Druckmessgeräte — Teil 1: Druckmessgeräte mit Rohrfedern — Maße, Messtechnik, Anforderungen und Prüfung.*

EN 954-1; *Sicherheit von Maschinen — Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen — Teil 1: Allgemeine Gestaltungsleitsätze.*

EN 1290; *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Magnetpulverprüfung von Schweißverbindungen.*

EN 1435, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Durchstrahlungsprüfung von Schmelzschweißverbindungen.*

EN 1563, *Gießereiwesen — Gusseisen mit Kugelgraphit.*

EN 1714, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Ultraschallprüfung von Schweißverbindungen.*

EN 1736, *Kälteanlagen und Wärmepumpen — Flexible Rohrleitungsteile, Schwingungsabsorber und Kompensatoren — Anforderungen, Konstruktion und Einbau.*

EN 1861, *Kälteanlagen und Wärmepumpen — Systemfließbilder und Rohrleitungs- und Instrumentenfließbilder — Gestaltung und Symbole.*

prEN 12178:1995, *Kälteanlagen und Wärmepumpen — Flüssigkeitsstandanzeiger — Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung.*

EN 12263, *Kälteanlagen und Wärmepumpen — Sicherheitsschalteneinrichtungen zur Druckbegrenzung — Anforderungen und Prüfungen.*

prEN 12284:2003, *Kälteanlagen und Wärmepumpen — Ventile — Anforderungen, Prüfung und Kennzeichnung.*

EN 12517, *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen — Durchstrahlungsprüfung von Schweißverbindungen — Zulässigkeitsgrenzen.*

prEN 12693:1996, *Kälteanlagen und Wärmepumpen — Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen — Kältemittel-Verdichter.*

EN 12735-1, *Kupfer und Kupferlegierungen — Nahtlose Rundrohre aus Kupfer für die Kälte- und Klimatechnik — Teil 1: Rohre für Leitungssysteme.*

EN 12735-2, *Kupfer und Kupferlegierungen — Nahtlose Rundrohre aus Kupfer für die Kälte- und Klimatechnik — Teil 2: Rohre für Apparate.*

EN 12799, *Hartlötten — Zerstörungsfreie Prüfung von Hartlötverbindungen.*

EN 13136, *Kälteanlagen und Wärmepumpen — Druckentlastungseinrichtungen und zugehörige Leitungen — Berechnungsverfahren.*

EN 13202, *Ergonomie der thermischen Umwelt — Temperaturen berührbarer heißer Oberflächen — Leitfaden zur Festlegung der Temperaturgrenzwerte von Oberflächen in Produktnormen unter Anwendung von EN 563.*

EN 13313, *Kälteanlagen und Wärmepumpen — Sachkunde von Personal.*

EN 13445 (alle Teile), *Unbefeuerte Druckbehälter.*

prEN 13480-6:2002, *Metallische industrielle Rohrleitungen — Teil 6: Zusätzliche Anforderungen für erdverlegte Rohrleitungen.*

prEN 14276-1:2001, *Druckgeräte für Kälteanlagen und Wärmepumpen — Teil 1: Behälter; Allgemeine Anforderungen.*

prEN 14276-2:2003, *Druckgeräte für Kälteanlagen und Wärmepumpen — Teil 2: Rohrleitungen; Allgemeine Anforderungen.*

EN 60204-1, *Sicherheit von Maschinen — Elektrische Ausrüstung von Maschinen — Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 60204-1:1997).*

EN 60335-1, *Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke — Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 60335-1:2001, modifiziert).*

EN 60335-2-24, *Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke — Teil 2-24: Besondere Anforderungen für Kühl-/Gefriergeräte, Speiseeis- und Eisbereiter (IEC 60335-2-24:2000).*

EN 60335-2-34, *Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke — Teil 2-34: Besondere Anforderungen für Motorverdichter (IEC 60335-2-34:2002).*

EN 60335-2-40, *Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke — Teil 2-40: Besondere Anforderungen für elektrisch betriebene Wärmepumpen, Klimageräte und Raumluft-Entfeuchter (IEC 60335-2-40:1995, modifiziert).*

EN 60335-2-89, *Sicherheit elektrischer Geräte für den Hausgebrauch und ähnliche Zwecke — Teil 2-89: Besondere Anforderungen für gewerbliche Kühl-/Gefriergeräte mit eingebautem oder getrenntem Verflüssigersatz oder Motorverdichter (IEC 60335-2-89:2002).*

prEN ISO 4126-1:2003, *Sicherheitseinrichtungen gegen unzulässigen Überdruck — Teil 1: Sicherheitsventile (ISO/FDIS 4126-1:2003).*

EN ISO 4126-2, *Sicherheitseinrichtungen gegen unzulässigen Überdruck — Teil 2: Berstscheibeneinrichtungen (ISO 4126-2:2003).*

ISO 817, *Organic refrigerants — Number designation.*

ISO 6708, *Pipework components — Definition and selection of DN (nominal size).*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gelten die in prEN 378-1:2003 enthaltenen Begriffe.

4 Allgemeines

4.1 Gefährdungen von Personen, Sachen und Umwelt

Kälteanlagen und Bauteile für Kälteanlagen müssen so konstruiert und hergestellt werden, dass mögliche Gefährdungen von Personen, Sachen und Umwelt ausgeschlossen sind. Außerdem ist darauf zu achten, übermäßige Geräuschentwicklung und Schwingungen zu vermeiden.

4.2 Kältemittel-Füllmenge

Muss den grundlegenden Anforderungen nach prEN 378-1:2003 entsprechen.

4.3 Energieaufnahme

Muss den grundlegenden Anforderungen nach prEN 378-1:2003 entsprechen.

4.4 Instandhaltung, Instandsetzung und Prüfung

Müssen den Anforderungen nach prEN 378-4:2003 entsprechen.

4.5 Werkstoffe

Konstruktions-, Schweiß- und Lötwerkstoffe müssen den vorhersehbaren mechanischen, thermischen und chemischen Beanspruchungen standhalten. Sie müssen mit den Kältemitteln und Kältemittel-Ölgemischen mit den möglichen Verschmutzungen und Verunreinigungen sowie mit den Wärmeträgern kompatibel sein.

Die Verwendung von Werkstoffen muss der Richtlinie des Rates 76/769/EU vom 27. Juli 1976 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten für Beschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe und Zubereitungen entsprechen.

5 Anforderungen an Bauteile und Rohrleitungen

5.1 Allgemeine Anforderungen

Bauteile und Rohrleitungen müssen den in Tabelle 1 angegebenen Normen bzw. Anforderungen entsprechen. Anforderungen an Bauteile, die nicht in Tabelle 1 enthalten sind, sind unter 5.2.6, Verschiedene Bauteile, angegeben.

Tabelle [D1]1 — Anforderungen an Bauteile und Rohrleitungen

Bauteil	Normen / Anforderungen
Wärmeaustauscher, beheizt	EU Richtlinie 97/23/EU
Wärmeaustauscher: — Rohrschlange ohne Luft (Rohr-in-Rohr) — Mehrfach-Rohrbündel-Wärmeaustauscher (Mantel und Rohrbündel)	prEN 14276-1 bzw. EN 13445, falls zutreffend, mit 5.2.5 der vorliegenden Norm
Platten-Wärmeaustauscher	prEN 14276-1 oder EN 13445, falls zutreffend, mit 5.2.5 der vorliegenden Norm
Sammler und Rohrschlangen mit Luft als Sekundär-Fluid	prEN 14276-2 mit 5.2.5 der vorliegenden Norm
Flüssigkeitssammler/Speicher/Vorwärmer	prEN 14276-1 oder EN 13445, falls zutreffend, mit 5.2.5 der vorliegenden Norm
Ölabscheider	prEN 14276-1 oder EN 13445, falls zutreffend, mit 5.2.5 der vorliegenden Norm
Trockner	prEN 14276-1 oder EN 13445, falls zutreffend, mit 5.2.5 der vorliegenden Norm
Filter	prEN 14276-1 oder EN 13445, falls zutreffend, mit 5.2.5 der vorliegenden Norm
Schalldämpfer	prEN 14276-1 oder EN 13445, falls zutreffend, mit 5.2.5 der vorliegenden Norm
Hermetischer Verdrängerverdichter	EN 60335-2-34
Halbhermetischer Verdrängerverdichter	EN 60335-2-34 oder prEN 12693
Offener Verdrängerverdichter	prEN 12693
Strömungsverdichter	prEN 14276-1 oder EN 13445, falls zutreffend, mit EN 60204-1

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Bauteil	Normen / Anforderungen
Pumpe	
Allgemeine Anforderungen	EN 809 mit EN 60204-1, und mit 5.2.4 und 5.2.5. der vorliegenden Norm (prEN 378-2:2003)
Zusätzliche Anforderungen für NH ₃ Anlagen	Anhang C
Rohrleitung	prEN 14276-2 oder prEN 13480-6
Rohrleitungs-Verbindungen	
Nicht lösbare Verbindungen	prEN 14276-2
Lösbare Verbindungen	5.2.1 und 5.2.6 der vorliegenden Norm
Flexible Rohrleitungen	EN 1736
Ventil	prEN 12284
Sicherheitsventil	EN 13136 und prEN ISO 4126-1 mit 5.2.5 der vorliegenden Norm
Sicherheitsschalteneinrichtung zur Druckbegrenzung	EN 12263 mit 5.2.5 der vorliegenden Norm
Steuerdruckschalter	5.2.6 der vorliegenden Norm
Absperrventile	prEN 12284 mit 5.2.2
Handbetätigte Ventile	prEN 12284
Ventile mit Kappe	prEN 12284
Berstscheibe	EN ISO 4126-2 und EN 13136 mit 5.2.5 der vorliegenden Norm
Schmelzpfropfen	EN 13136 mit 5.2.3 und 5.2.5 der vorliegenden Norm
Flüssigkeitsstandanzeiger	prEN 12178 mit 5.2.5 der vorliegenden Norm
Druckmessgeräte	EN 837-1 bis -3 mit 5.2.5 der vorliegenden Norm
Lötwerkstoffe	5.2.6.1.1.3 e) der vorliegenden Norm
Schweißwerkstoffe	prEN 14276-2

Wenn das Bauteil elektrische Teile enthält und die Bauteil-Norm die elektrische Sicherheit nicht abdeckt, muss das Bauteil den Anforderungen in EN 60335-2-40, EN 60335-2-24 oder EN 60204-1 entsprechen.

ANMERKUNG Bauteile, für die eine Erklärung vorliegt, dass sie den einschlägigen Richtlinien entsprechen und die die Anforderungen der vorgenannten Normen nach einem anderen Verfahren erfüllen, entsprechen ebenfalls den Anforderungen dieser Norm.

5.2 Besondere Anforderungen

Zusätzlich zu den Anforderungen in 5.1 können die folgenden Anforderungen für die Kälteanlage aufgenommen werden.

5.2.1 Rohrleitungsverbindungen

Verbindungen müssen so konstruiert sein, dass sie durch außen gefrierendes Wasser nicht beschädigt werden. Sie müssen für die Rohre, den Rohrleitungswerkstoff und den Druck, die Temperatur und das Fluid geeignet sein.

Beschichtete (z. B. verzinkte) Rohre dürfen nicht geschweißt werden, außer die Beschichtung wurde von der Verbindungsfläche vollständig entfernt. Schweißverbindungen müssen entsprechend geschützt sein.

5.2.2 Absperrventile

Ventile, die zum Trennen benutzt werden, müssen in Geschlossenstellung den Durchfluss in jede Richtung verhindern.

5.2.3 Schmelzpfropfen

Der Nennwert der Schmelztemperatur und des Arbeitsdrucks des Schmelzwerkstoffs müssen auf dem nicht schmelzbaren Teil des Pfropfens gekennzeichnet sein.

5.2.4 Kältemittel-Flüssigkeitspumpen

Kältemittel-Flüssigkeitspumpen müssen mindestens mit folgenden haltbaren und dauerhaft angebrachten Angaben versehen sein:

- a) Hersteller;
- b) Typbezeichnung;
- c) Serien-Nummer;
- d) Baujahr;
- e) Konstruktionsdruck oder maximal zulässiger Druck PS.

5.2.5 Dichtheit

Die Dichtheit muss durch Prüfung nach einem für das Bauteil und das Kältemittel geeigneten Verfahren sichergestellt werden.

ANMERKUNG Dieses Verfahren kann in der Bauteil-Norm festgelegt werden (siehe Tabelle 1).

ANMERKUNG Siehe auch EN 1779

Falls vom Hersteller der Anlage festgelegt, können einige oder alle Prüfungen an der Anlage durchgeführt werden (siehe 6.3).

5.2.6 Verschiedene Bauteile

5.2.6.1 Werkstoffe

5.2.6.1.1 Allgemeines

Alle Werkstoffe müssen den Anforderungen in 4.5 entsprechen.

ANMERKUNG Nach der Druckgeräterichtlinie sind Werkstoffe für Druckgeräte entweder

- Werkstoffe, die harmonisierten Normen entsprechen;
- Werkstoffe, für die eine europäische Werkstoffzulassung vorliegt;
- Werkstoffe, die ein Einzelgutachten haben.

5.2.6.1.2 Eisenwerkstoffe

a) Gusseisen und Temperguss

Gusseisen und Temperguss dürfen nur dann verwendet werden, wenn ihre Eignung für den jeweiligen Anwendungsfall nach den Anforderungen dieser Norm erwiesen ist.

ANMERKUNG 1 Da einige Güteklassen von Gusseisen spröde sind, ist ihre Anwendung abhängig von Temperatur, Spannung und Konstruktion.

ANMERKUNG 2 Temperguss besitzt zwei generelle Klassifizierungen mit jeweils mehreren unterschiedlichen Güteklassen. Diese können sehr verschiedene mechanische Eigenschaften aufweisen.

b) Stahl, Stahlguss, unlegierter und niedriglegierter Stahl

Stahl und Stahlguss, unlegierter und niedriglegierter Stahl ist für alle kältemittelführenden Teile sowie für Wärmeträgerkreisläufe anwendbar. Bei einer Kombination von niedrigen Temperaturen und hohem Druck und/oder Korrosionsgefahr und/oder thermischer Beanspruchung muss Stahl mit einer angemessenen Kerbschlagzähigkeit unter Berücksichtigung der Dicke, der niedrigsten Betriebstemperatur und der Schweißeseigenschaften eingesetzt werden.

c) Hochlegierter Stahl

Hochlegierter Stahl kann dort erforderlich sein, wo eine Kombination von niedrigen Temperaturen und hohem Druck und/oder Korrosionsgefahr und/oder thermische Beanspruchung vorhanden ist. Je nach speziellem Einsatzfall muss die Kerbschlagzähigkeit ausreichend und der Werkstoff gegebenenfalls zum Schweißen geeignet sein.

d) Nichtrostender Stahl

Wenn Stahl eingesetzt wird, ist sicherzustellen, dass die Güteklasse des nichtrostenden Stahls mit den Prozessfluiden und möglichen atmosphärischen Verunreinigungen, z. B. Natriumchlorid (NaCl), Schwefelwasserstoff (H_2SO_4), verträglich ist.

5.2.6.1.3 Nichteisenwerkstoffe und deren Legierungen (gegossen, geschmiedet, gewalzt und gezogen)

a) Kupfer und Kupferlegierungen

Kupfer, das mit Kältemitteln in Berührung kommt, muss sauerstofffrei oder desoxidiert sein.

Kupfer und Kupferlegierungen mit einem hohen Anteil an Kupfer dürfen nicht für Teile verwendet werden, die das Kältemittel Ammoniak enthalten, es sei denn, ihre Verträglichkeit wurde vorher festgestellt.

b) Aluminium und Aluminiumlegierungen

Für Dichtungen eingesetztes Aluminium muss für die Anwendung mit Ammoniak eine Reinheit von mindestens 99,5 % haben. Aluminiumlegierungen mit mehr als 2 % Magnesium dürfen nicht mit halogenierten Kältemitteln verwendet werden, ohne dass ihre Verträglichkeit vorher festgestellt wurde.

Aluminium und seine Legierungen dürfen nicht eingesetzt werden, wenn sie mit Methylchlorid (CH_3Cl) in Berührung kommen.

ANMERKUNG Aluminium und Aluminiumlegierungen können in jedem Teil des Kältemittelkreislaufs eingesetzt werden, wenn ihre Festigkeit entsprechend hoch ist und sie mit den verwendeten Kältemitteln und Schmierstoffen verträglich sind.

c) Magnesium und Magnesiumlegierungen

Magnesium und Magnesiumlegierungen dürfen nicht verwendet werden, ohne dass ihre Verträglichkeit mit Kältemitteln vorher festgestellt wurde.

d) Zink und Zinklegierungen

Zink darf nicht eingesetzt werden, wenn es mit den Kältemitteln Ammoniak und Methylchlorid (CH_3Cl) in Berührung kommt.

ANMERKUNG 1 Außengalvanisierung von Bauteilen ist möglich.

ANMERKUNG 2 Galvanisches Verzinken von Bauteilen ist möglich.

e) Weichlötlegierungen

Weichlötlegierungen dürfen nicht verwendet werden, außer bei innerer Anwendung.

f) Hartlötlegierungen

Hartlötlegierungen dürfen nicht verwendet werden, ohne dass ihre Verträglichkeit mit Kältemitteln und Schmierstoffen vorher festgestellt wurde.

g) Zinn und Blei-Zinn-Legierungen

Zinn und Blei-Zinn-Legierungen können durch halogenierte Kältemittel korrodieren und dürfen nicht verwendet werden, ohne dass ihre Verträglichkeit vorher festgestellt wurde.

ANMERKUNG Kupferfreies Bleiantimon bzw. Blei-Zinn-Legierungen können für Ventilsitze verwendet werden.

5.2.6.1.4 Nichtmetallische Werkstoffe

a) Dichtungsstoffe

Dichtungsstoffe zum Abdichten von Verbindungen sowie zum Abdichten von Stopfbuchsen an Ventilen usw. müssen gegen die verwendeten Kältemittel, Öle und Schmierstoffe beständig sowie für die auftretenden Drücke und Temperaturen geeignet sein.

b) Glas

Glas darf in den Kältemittelkreisläufen und für die Isolierung von Anschlüssen, Anzeigergeräte und Schaugläser verwendet werden, es muss jedoch den eventuell auftretenden Drücken, Temperaturen und chemischen Einwirkungen standhalten.

c) Asbest

Asbest darf nicht verwendet werden.

d) Kunststoffe

Werden Kunststoffe verwendet, müssen sie für die auftretenden mechanischen, elektrischen, thermischen, chemischen und Langzeitkriechspannungen geeignet sein und dürfen keine Brandgefahr bilden.

5.2.6.2 Prüfung

5.2.6.2.1 Prüfverfahren

Alle Bauteile sind den folgenden Prüfungen zu unterziehen:

- a) Prüfung der Druckfestigkeit (siehe 5.2.6.2.3);
- b) Dichtheitsprüfung (siehe 5.2.5);
- c) Funktionsprüfung.

Falls vom Hersteller der Anlage festgelegt, können einige oder alle Prüfungen an der Anlage durchgeführt werden (siehe 6.3).

5.2.6.2.2 Prüfergebnisse

Die Ergebnisse dieser Prüfungen müssen aufgezeichnet werden.

5.2.6.2.3 Prüfung der Druckfestigkeit für verschiedene Bauteile

- a) Bauteile von Kälteanlagen müssen
 - mit einer Dicke nach den für gleiche Bauteile in Tabelle 1 festgelegten Normen konstruiert sein und jedes Bauteil wird einzeln einer Prüfung der Druckfestigkeit bei 1,43fachen maximal zulässigem Druck unterzogen, oder
 - baumustergeprüft werden, indem die Prüfung bei 3fachem maximal zulässigem Druck durchgeführt wird, oder
 - baumustergeprüft werden, indem die in e) beschriebene Ermüdungsprüfung durchgeführt wird.
- b) Die Prüfung der Druckfestigkeit wird als hydrostatische Druckprüfung mit Wasser oder einer anderen geeigneten Flüssigkeit durchgeführt, es sei denn, ein Bauteil kann aus technischen Gründen nicht mit Flüssigkeit druckgeprüft werden. In diesem Fall ist mit Luft oder einem anderen ungefährlichen Gas zu prüfen. Es müssen ausreichende Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden, um eine Gefährdung von Personen zu verhindern und Sachschäden so gering wie möglich zu halten.

Werkstoffe wie Stahl, Kupfer und Aluminium haben Ermüdungseigenschaften, die bei den Dauerbetriebstemperaturen, die normalerweise bei den Betriebstemperaturbedingungen und den internen Anlagentemperaturen herrschen, praktisch temperaturunabhängig sind. Wenn die Dauerbetriebstemperatur bei Kupfer oder Aluminium weniger oder gleich 125 °C, bzw. bei Stahl 200 °C beträgt, muss die Prüftemperatur des Bauteils oder der Anlage mindestens 20 °C betragen. Wenn die Dauerbetriebstemperatur des Bauteils bei Kupfer oder Aluminium 125 °C, bzw. bei Stahl 200 °C überschreitet, muss die Prüftemperatur der Teile oder der Anlage, die diese Temperaturen aufweisen und mit dem Druck beaufschlagt werden, bei Kupfer oder Aluminium mindestens 150 °C und bei Stahl mindestens 260 °C betragen. Für andere Werkstoffe oder höhere Temperaturen müssen die Einflüsse der Temperatur auf die Ermüdungseigenschaften des Werkstoffs bewertet werden.

- c) Wenn die hydrostatische Druckprüfung (Wasserdruckprüfung) für Bauteile nachteilig oder nicht durchführbar ist, muss die Druckfestigkeitsprüfung als Gasdruckprüfung mit einem Prüfdruck durchgeführt werden, der dem 1,1fachen maximal zulässigen Druck PS entspricht. Wird die Druckfestigkeitsprüfung als Gasdruckprüfung mit einem Prüfdruck von $1,1 \times PS$ durchgeführt, muss vor der Druckprüfung die nachfolgende zerstörungsfreie Prüfung durchgeführt werden:

- Wird die Gasdruckprüfung in einem Bereich durchgeführt, in dem sich während der Prüfung niemand aufhält (z. B. in einem Wassertank oder in einer Spezialekammer) müssen mindestens 10 % der Längsnähte und mindestens 10 % der Umfangsnähte einer zerstörungsfreien Prüfung unterzogen werden und zwar bei Hartlötverbindungen nach EN 12799 und bei Schweißverbindungen nach EN 12517.
- Wird die Gasdruckprüfung unter Berücksichtigung des Schutzes des Prüfpersonals durchgeführt, müssen 100 % der Längsnähte und mindestens 10 % der Umfangsnähte einer zerstörungsfreien Prüfung unterzogen werden und zwar bei Hartlötverbindungen nach EN 12799 und bei Schweißverbindungen nach EN 12517.
- Bei Bauteilen, die höchstens der Kategorie I entsprechen, muss eine Sichtprüfung der Längs- und Umfangsnähte durchgeführt werden.

d) Annahmekriterien

- Bei Einzelprüfungen der Druckfestigkeit bei $1,43 \times PS$:
Diese Prüfungen dürfen nicht zu bleibenden Verformungen führen.
- Bei der Baumusterprüfung:
Es wird davon ausgegangen, dass die Bauteile so konstruiert sind, dass sie
 - 1) ohne Bruch einem Druck standhalten, der mindestens dem dreifachen des maximal zulässigen Drucks des Bauteils entspricht;
 - 2) oder nach der Ermüdungsprüfung ohne Bruch einem Druck standhalten, der mindestens dem zweifachen des maximal zulässigen Drucks des Bauteils entspricht; der Nachweis wird durch Prüfung erbracht.

e) Ermüdungsprüfung

Als Alternative zu den vorgenannten Druckprüfungen sind die Bauteile einer Prüfung der Druckfestigkeit mit dem 2fachen PS zu unterziehen, vorausgesetzt, sie erfüllen die Anforderungen der nachstehend beschriebenen Ermüdungsprüfung:

Die Proben sind mit Flüssigkeit zu füllen und an einen Druckantrieb anzuschließen. Der Druck muss zwischen dem oberen und unteren Wert des Zyklus mit einer vom Hersteller festgelegten Geschwindigkeit über insgesamt 250 000 Zyklen erhöht und gesenkt werden. Während jedes Zyklus muss der gesamte festgelegte Druckbereich erfasst werden. Die folgenden Prüfdrücke sind aufzubringen:

ANMERKUNG Aus Sicherheitsgründen wird empfohlen, eine nicht-kompressible Flüssigkeit zu verwenden.

- für den ersten Zyklus ist der maximale PS für Bauteile der Niederdruckseite bzw. der maximale PS für Bauteile der Hochdruckseite aufzubringen;
- der Druck für die Prüfzyklen muss folgenden Werten entsprechen:
der obere Druckwert muss mindestens $0,7 \times PS$ betragen und der untere Druckwert darf $0,2 \times PS$ nicht überschreiten. Für Wasser-Wärmeaustauscher in Wärmepumpen muss der Druck $0,9 \times PS$ betragen;
- für den letzten Prüfzyklus muss der Druck auf $1,4 \times PS$ (2mal $0,7 \times PS$) erhöht werden. Für Wasser-Wärmeaustauscher in Wärmepumpen muss der Druck $1,8 \times PS$ (2mal $0,9 \times PS$) betragen.

Nach Beendigung dieser Prüfung darf das Bauteil nicht brechen, bersten oder undicht sein.

Die Prüfung der Druckfestigkeit bei $2 \times PS$ muss an drei Proben durchgeführt werden, die nicht der Ermüdungsprüfung unterzogen wurden.

5.2.6.3 Kennzeichnung

Für verschiedene Bauteile ist keine besondere Kennzeichnung erforderlich.

5.2.6.4 Dokumentation

Der Bauteil-Hersteller muss folgende Angaben bereithalten:

- a) Prüfergebnisse;
- b) Bescheinigungen über Werkstoffprüfungen sind vom Hersteller auf Verlangen des Käufers vorzulegen, damit dieser die Möglichkeit hat, sich zu vergewissern, dass der verwendete Werkstoff den geforderten Spezifikationen entspricht und vom Materialeingang über den Herstellungsprozess bis zur Endabnahme rückverfolgbar ist, vorzugsweise zum Zeitpunkt der Lieferung und spätestens zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme.

ANMERKUNG In der Regel werden Werkstoffbescheinigungen Typ 2.2 nach EN 10204 vorgelegt.

- c) Alle erforderlichen Bescheinigungen sind im Namen des Sachkundigen, der die Überwachung, Prüfung oder Kontrolle durchgeführt hat, auszustellen und von ihm zu unterzeichnen.
- d) Die Dokumentation muss die folgenden Angaben enthalten:
 - maximal zulässiger Druck;
 - maximal zulässige Temperatur;
 - verwendbares Kältemittel;
 - verwendbares Öl.

6 Anforderungen an Gesamtkälteanlagen

6.1 Allgemeines

Konstruktion, Herstellung, Prüfung, Aufstellung, Dokumentation und Kennzeichnung der Gesamtkälteanlage müssen diesem Abschnitt entsprechen.

Kälteanlagen mit Ammoniak (NH_3) als Kältemittel müssen ferner den in Anhang C festgelegten zusätzlichen Anforderungen entsprechen.

Die Festlegung der jeweiligen Kategorie der Gesamtanlage muss nach Anhang D erfolgen.

6.2 Konstruktion und Herstellung

6.2.1 Allgemeines

Alle für die Montage des Kältemittelkreislaufs gewählten Bauteile müssen den Anforderungen in Abschnitt 5 (Anforderungen an Bauteile und Rohrleitungen) der vorliegenden Norm entsprechen.

Für Stützen und Fundamente von Druckbehältern und Rohrleitungen, die in Gebieten mit einer möglichen Gefährdung durch Erdbeben errichtet werden, muss durch Berechnung festgelegt werden, ob die Anlage einem Erdbeben standhalten kann.

ANMERKUNG Derartige Kräfte können herrühren vom Gewicht des Druckbehälters, vom Gewicht der Füllung und der Ausstattungsteile, von Schneelast, Windlast, vom Gewicht von Stützen, Streben und Anschlussleitungen sowie von der temperaturbedingten Bewegung der Rohrleitungen und Bauteile.

6.2.2 Anforderungen an den Druck

6.2.2.1 Maximal zulässiger Druck (PS)

Der maximal zulässige Druck ist unter Berücksichtigung von Faktoren festzulegen wie:

- a) maximale Umgebungstemperatur;
- b) mögliches Entstehen von nicht kondensierbaren Gasen;
- c) Einstellung der Druckentlastungseinrichtung;
- d) Abtauverfahren;
- e) Anwendung (z. B. Kühlen oder Heizen);
- f) Sonneneinstrahlung (z. B. Auswirkung auf Eissportanlagen bei Stillstand der Anlage);
- g) Verschmutzung.

Ausgehend von der Kälteanlage muss der Konstrukteur die maximal zulässigen Drücke in den verschiedenen Anlagenteilen unter Berücksichtigung einer für den Aufstellungsort angemessenen maximalen Umgebungstemperatur festlegen.

Für die Festlegung des maximal zulässigen Druckes (PS) der verschiedenen Teile der Kälteanlage ist eines der folgenden Verfahren zugrunde zu legen.

— Verfahren 1

Der Konstrukteur muss die Festlegung des maximal zulässigen Druckes möglichst durch Berechnung oder Prüfung dokumentieren. Bei Berechnungen von Temperaturunterschieden muss das Verfahren durch Prüfung bestätigt werden.

Für bestimmte, auf der Niederdruckseite (mit oder ohne Verdichter) einer Kaskadenanlage verwendete Kältemittel, sollte der maximal zulässige Druck PS durch den Konstrukteur vorgegeben werden. Bei der Konstruktion sind die Bedingungen bei einem normalen Stillstand der Anlage sowie bei einem durch einen Notfall verursachten Stillstand der Anlage zu berücksichtigen, entweder durch einen Auslaufbehälter oder sicheres, kontrolliertes Abblasen des Sekundär-Kältemittels (falls zulässig) oder durch andere Maßnahmen.

— Verfahren 2

Wenn kein bestimmtes Verfahren für die Überprüfung angewendet wird, gilt Tabelle 2. Der Mindestwert für den maximal zulässigen Druck muss nach den in Tabelle 2 für die Bestimmung des Kältemittel-Sattdampfdrucks festgelegten Mindesttemperaturen bestimmt werden. Wenn die Verdampfer, z. B. beim Heißgasabtauen oder im Umschaltbetrieb dem Druck der Hochdruckseite ausgesetzt sein können, ist die für die Hochdruckseite festgelegte Temperatur anzuwenden.

Tabelle 2 — Festgelegte Konstruktionstemperaturen

Umgebungsbedingungen	≤ 32 °C	≤ 38 °C	≤ 43 °C	≤ 55
Hochdruckseite mit luftgekühltem Verflüssiger	55 °C	59 °C	63 °C	67 °C
Hochdruckseite mit wassergekühltem Verflüssiger und Wasser-Wärmepumpe	Maximale Austrittstemperatur + 8K			
Hochdruckseite mit Verdunstungsverflüssiger	43 °C	43 °C	43 °C	55 °C
Niederdruckseite mit Wärmeaustauscher, der den Umgebungs-temperaturbedingungen der Außenseite ausgesetzt ist	32 °C	38 °C	43 °C	55 °C
Niederdruckseite mit Wärmeaustauscher, der den Umgebungs-temperaturbedingungen der Innenseite ausgesetzt ist	27 °C	33 °C	38 °C	38 °C
ANMERKUNG 1 Für die Hochdruckseite werden die festgelegten Temperaturen als die höchsten angenommen, die während des Betriebs auftreten. Diese Temperatur ist höher als die Temperatur bei ausgeschaltetem Verdichter (Stillstand). Für die Niederdruckseite und/oder Zwischendruckseite genügt es, zur Berechnung des Druckes die Temperaturen zugrunde zu legen, die während des Verdichterstillstands erwartet werden. Diese Temperaturen sind Mindesttemperaturen und bestimmen somit, dass die Anlage nicht für einen maximal zulässigen Druck ausgelegt wird, der niedriger ist als der diesen Mindesttemperaturen entsprechende Sattedampfdruck des Kältemittels. ANMERKUNG 2 Die Anwendung von festgelegten Temperaturen führt nicht immer zum Kältemittel-Sattedampfdruck in der Anlage, z. B. bei einer Anlage mit begrenzter Füllmenge oder einer Anlage, die bei oder über der kritischen Temperatur betrieben wird. ANMERKUNG 3 Für zeotrope Gemische ist der maximal zulässige Druck (PS) der Druck am Siedepunkt.				

ANMERKUNG 1 Die Anlage kann in mehrere Abschnitte aufgeteilt sein (z. B. Hoch- und Niederdruckseite), wobei bei jedem Abschnitt ein anderer maximal zulässiger Druck möglich ist.

ANMERKUNG 2 Der Druck, bei dem die Anlage (oder Teilanlage) üblicherweise arbeitet, ist niedriger als der maximal zulässige Druck.

ANMERKUNG 3 Überbelastungen können sich durch pulsierendes Gas ergeben.

ANMERKUNG 4 Für die Ermittlung der Umgebungsbedingungen kann IEC 721-2-1 zugrunde gelegt werden.

6.2.2.2 Konstruktionsdruck der Bauteile

Der Konstruktionsdruck für jedes Bauteil darf nicht niedriger als der maximal zulässige Druck der Anlage oder der Teilanlage sein.

Verdichter, die die Anforderungen nach EN 60335-2-34 bzw. prEN 12693 erfüllen, entsprechen den Anforderungen dieses Abschnitts.

6.2.2.3 Verhältnis der Drücke zum maximal zulässigen Druck

6.2.2.3.1 Allgemeines

Anlagen und Bauteile müssen so konstruiert werden, dass sie dem in Tabelle 3 festgelegten Druckverhältnis entsprechen.

Tabelle 3 — Verhältnis der verschiedenen Drücke zum maximal zulässigen Druck (PS)

Konstruktionsdruck		$\geq PS$
Druckfestigkeitsprüfung		nach 6.3.3
Prüfdruck bei der Dichtheitsprüfung	für Bauteile	siehe 5.2.5
	für Baugruppen	siehe 6.3.4.2
Druckwächter für Anlagen mit Druckentlastungseinrichtung, Einstellung		$\leq 0,9 \times PS$
Druckwächter für Anlagen ohne Druckentlastungseinrichtung, Einstellung		$\leq 1,0 \times PS$
Druckentlastungseinrichtung, Einstellung		$1,0 \times PS$
Druckentlastungsventil, Abblasen erforderlich bei		$\leq 1,1 \times PS$

6.2.3 Rohrleitungen und Fittings

6.2.3.1 Vorhersehbarer Missbrauch der Rohrleitung

Bei einem vorhersehbaren Missbrauch der Rohrleitung, z. B. Ersteigen, Ablegen von Dingen, usw. müssen geeignete Gegenmaßnahmen getroffen werden, z. B. ausreichende Festigkeit, Schutz oder ein Warnhinweis.

6.2.3.2 Rohrleitungsverbindungen und Fittings

6.2.3.2.1 Allgemeines

Rohrleitungsverbindungen und Fittings müssen den Anforderungen nach prEN 14276-2 entsprechen.

Schnellkupplungen zum Einrasten oder Aufschieben sind nur für die Verbindung der Bauteile von Kältesätzen zu verwenden.

ANMERKUNG 1 Nichtlösbare Verbindungen werden lösbaren Verbindungen vorgezogen.

ANMERKUNG 2 Flanschverbindungen werden Bördel-, Schraub- oder Druckverbindungen vorgezogen, insbesondere, wenn Schwingungen erwartet werden.

ANMERKUNG 3 Schnellkupplungen zum Einrasten oder Aufschieben werden nicht empfohlen.

ANMERKUNG 4 Es wird empfohlen, bei wärmegeprägten Rohrleitungen die Lage von lösbaren Verbindungen dauerhaft zu kennzeichnen.

6.2.3.2.2 Nichtlösbare Verbindungen

Nichtlösbare Verbindungen müssen durch Schweißen oder Hartlöten hergestellt werden.

6.2.3.2.3 Lösbare Verbindungen

Im allgemeinen dürfen lösbare Verbindungen nur verwendet werden, wenn nichtlösbare Verbindungen nicht geeignet sind.

6.2.3.2.3.1 Flanschverbindungen

Flanschverbindungen sind so anzuordnen, dass die angeschlossenen Teile mit möglichst geringem Verspannen der Rohrleitungen abmontiert werden können.

ANMERKUNG 1 Vorzugsweise sind bei Stahlrohrleitungen genormte Flansche nach EN 1092-1 und bei Kupferrohrleitungen genormte Flansche nach prEN 1092-3 zu verwenden.

ANMERKUNG 2 Die Verbindungen sollten fest und so beständig sein, dass keine Gefahr besteht, dass die Dichtung herausgedrückt wird. Vorzugsweise werden Flansche mit Nut und Feder bzw. Vor- und Rücksprung eingesetzt. Die Demontage sollte ohne Kraftaufbringung auf die verbundenen Teile möglich sein. Es sollte darauf geachtet werden, dass durch Aufbringung einer festgelegten Vorspannung Schrauben durch Kälteeinwirkung nicht überbeansprucht werden.

6.2.3.2.3.2 Bördelverbindungen

Bördelverbindungen sind auf geglühte Rohre und auf Rohraußendurchmesser bis höchstens 20 mm zu beschränken.

Bei Rohrleitungen aus Kupfer müssen die Anforderungen in EN 12735-1 bzw. EN 12735-2 erfüllt werden.

Bei Bördelverbindungen von Kupferrohren gelten die in Tabelle 4 angegebenen Drehmomente und Bedingungen. Die Bördel müssen mit dem angegebenen Drehmoment mit einem Drehmomentschlüssel festgezogen werden.

Tabelle 4 — Anziehdrehmoment

Nenn-Außendurchmesser (nach EN 12735-1 und EN 12735- 2)			Mindest- Wanddicke (mm)	Anzieh- drehmoment (Nm)
Metrische Reihe (mm)	Inchmaße			
	mm	In		
6			0.80	14 — 18
	6,35	$\frac{1}{4}$	0.80	14 — 18
	7,94	$\frac{5}{16}$	0.80	33 — 42
8			0.80	33 — 42
	9,52	$\frac{3}{8}$	0.80	33 — 42
10			0.80	33 — 42
12			0.80	50 — 62
	12,7	$\frac{1}{2}$	0.80	50 — 62
15			0.80	63 — 77
	15,88	$\frac{5}{8}$	1.00	63 — 77
18			1.00	90 — 110
	19,06	$\frac{3}{4}$	1.15	90 — 110

ANMERKUNG 1 Bei Bördelverbindungen sollte darauf geachtet werden, dass die Aufweitung die genaue Abmessung hat und dass das Drehmoment zum Anziehen der Mutter nicht zu groß ist. Kaltgehärtete Rohrleitungen sollten nicht gebördelt werden.

ANMERKUNG 2 Die Rohre müssen rechtwinklige Enden haben und gratfrei sein.