

DIN EN 1591-1

ICS 23.040.60

Entwurf

Einsprüche bis 2012-04-06
Vorgesehen mit
DIN EN 1591-1:2011-08
als Ersatz für
die 2011-08 zurückgezogene
Norm
DIN EN 1591-1:2009-10

**Flansche und ihre Verbindungen –
Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden
Flanschen und Dichtung –
Teil 1: Berechnung;
Deutsche Fassung prEN 1591-1:2012**

Flanges and their joints –
Design rules for gasketed circular flange connections –
Part 1: Calculation;
German version prEN 1591-1:2012

Brides et leurs assemblages –
Règles de calcul des assemblages à brides circulaires avec joint –
Partie 1: Méthode de calcul;
Version allemande prEN 1591-1:2012

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2012-01-16 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 nard@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder in Papierform an den Normenausschuss Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD) im DIN, 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 82 Seiten

Normenausschuss Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1591-1:2012) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 74 „Flansche und ihre Verbindungen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird.

Für die deutsche Mitarbeit ist der Arbeitsausschuss NA 082-00-16 AA „Flansche und ihre Verbindungen“ im Normenausschuss Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD) verantwortlich.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 1591-1:2001+A1:2009/AC:2011 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Anwendungsbereich um Unterabschnitt 1.4 zur Anwendung der Berechnungsmethode erweitert;
- b) Normative Verweisungen aktualisiert;
- c) Bild 1 zu Belastungen und Hebelarmen überarbeitet;
- d) Formeln überarbeitet;
- e) Unterabschnitt 4.2.3 zu geometrischen Kennwerten für Scheiben und Kontaktflächen und Unterabschnitt 4.2.4 zu axialem Elastizitätsmodul der Schrauben neu aufgenommen;
- f) neuer Unterabschnitt 4.3.2 zu Elastizitätsmodul der Dichtung bei Be- und Entlastung aufgenommen;
- g) Ausführungen zu Hebelarmen in neuem Unterabschnitt 4.3.5 zusammengefasst;
- h) Abschnitt 5 „Kräfte“ grundlegend überarbeitet;
- i) Unterabschnitt 6.3 zum Belastungsgrad für den Schrauben Anpressdruck mit und ohne Scheiben neu eingefügt;
- j) Anhang A entfernt; Anhang D in neuem Anhang B integriert, neue Anhänge E bis I aufgenommen;
- k) Literaturhinweise ergänzt.

CEN/TC 74

Datum: 2012-01

prEN 1591-1:2012

CEN/TC 74

Sekretariat: DIN

Flansche und Flanschverbindungen — Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtung — Teil 1: Berechnung

Brides et leurs assemblages — Règles de calcul des assemblages à brides circulaires avec joint — Partie 1 : Méthode de calcul

Flanges and their joints — Design rules for gasketed circular flange connections — Part 1: Calculation

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: CEN-Umfrage
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.4e - RC2

Inhalt

Seite

Vorwort	5
1 Anwendungsbereich	8
1.1 Allgemeines	8
1.2 Anforderung an die Anwendung dieser Berechnungsmethode	8
1.3 Gültigkeit	8
1.3.1 Geometrie	8
1.3.2 Werkstoffe	9
1.3.3 Belastungen	9
1.3.4 Mechanisches Modell	9
1.4 Anwendung der Berechnungsmethode	10
1.4.1 Erforderliche Prüfungen	10
1.4.2 Zu berechnende Lastfälle	10
1.4.3 Überprüfung der Baugruppe im Hinblick auf eine festgelegte Einbau-Anziehungskraft (bzw. auf ein Einbau-Drehmoment)	11
2 Normative Verweisungen	12
3 Nomenklatur	12
3.1 Anwendung der Bilder	12
3.2 Indizes und Sonderzeichen	13
3.2.1 Indizes	13
3.2.2 Sonderzeichen	14
3.3 Formelzeichen	14
3.4 Terminologie	19
3.4.1 Flansche	19
3.4.2 Belastungen	19
3.4.3 Belastungszustände	20
3.4.4 Nachgiebigkeit	20
4 Berechnungskennwerte	27
4.1 Flanschennwerte	27
4.1.1 Flanschring	28
4.1.2 Angeschlossene Schale	29
4.1.3 Elastizitätsbezogene Flanschennwerte	30
4.2 Schrauben- und Scheibennwerte	31
4.2.1 Effektive Querschnittsfläche der Schrauben	31
4.2.2 Axialer Elastizitätsmodul der Schrauben	31
4.2.3 Geometrische Kennwerte für Scheiben und Kontaktflächen	31
4.2.4 Axialer Elastizitätsmodul der Scheiben	32
4.3 Dichtungskennwerte	32
4.3.1 Theoretische Maße	32
4.3.2 Elastizitätsmodul der Dichtung bei Be- und Entlastung	32
4.3.3 Effektive Maße	33
4.3.4 Axialer Elastizitätsmodul der Dichtung	34
4.3.5 Hebelarme	36
5 Kräfte	37
5.1 Aufgebrachte Belastungen	37
5.1.1 Montagezustand ($I = 0$)	37
5.1.2 Folgezustände ($I = 1, 2, \dots$)	37
5.2 Nachgiebigkeit der Verbindung	38
5.3 Erforderliche Mindestkräfte für die Dichtung	39
5.3.1 Montagezustand ($I = 0$)	39
5.3.2 Folgezustände ($I = 1, 2, \dots$)	39
5.4 Innere Kräfte im Montagezustand ($I = 0$)	39

5.4.1	Erforderliche Kräfte	39
5.4.2	Berücksichtigung der Streuung der Schraubenkraft bei Montage	40
5.5	Innere Kräfte in Folgezuständen ($I = 1, 2, \dots$)	41
6	Belastungsgrenzen	42
6.1	Allgemeines	42
6.2	Schrauben	43
6.3	Belastungsgrad für den Schrauben-Anpressdruck mit und ohne Scheiben	43
6.3.1	Allgemeines	43
6.3.2	Verschrauben ohne Scheiben	44
6.3.3	Verschrauben mit Scheiben	44
6.4	Dichtung	45
6.5	Integrierter Flansch und Bund/Bördel	46
6.6	Blindflansch	47
6.7	Looser Flansch mit Bund/Bördel	48
Anhang A (informativ) Maße für genormte metrische Schrauben		49
Anhang B (informativ) Anziehen der Schrauben		51
B.1	Streuung der Einbau-Schraubenkraft einer einzelnen Schraube — Richtwerte ε_{1-} und ε_{1+} für eine einzelne Schraube	51
B.2	Streuung der Gesamt-Schraubenkraft aller Schrauben	51
B.3	Unkontrolliertes Anziehen von Hand	52
B.4	Montage mittels Drehmomentschlüssel	52
B.5	Montage mittels Schraubenspannvorrichtung	53
Anhang C (informativ) Drehungen des Flansches		55
C.1	Allgemeines	55
C.2	Anwendung der Flanschdrehung	55
C.3	Berechnung der Flanschdrehung	55
Anhang D (informativ) Flussdiagramm für die Berechnungsmethode		57
Anhang E (informativ) Beispiele für Reibungskoeffizienten zwischen Dichtungs- und Flanschdichtfläche		59
Anhang F (normativ) Anwendung des Kriechfaktors P_{QR}		60
Anhang G (informativ) Dichtungskennwerte, wenn keine Leckagerate festgelegt ist		61
Anhang H (informativ) Alternative Berechnung mit Berücksichtigung der plastischen Verformung der Dichtung in nachfolgenden Belastungszuständen (nach dem Montagezustand)		62
H.1	Einleitung	62
H.2	Durchführung der Berechnung	62
H.2.1	Allgemeine Beschreibung	62
H.2.2	Keine zusätzliche plastische Verformung	63
H.2.3	Zusätzliche plastische Verformung	63
H.3	Flachdichtungen	63
H.3.1	Flachdichtungen mit geringen oder mittleren Verformungen	63
H.3.2	Flachdichtungen mit größeren Verformungen	65
H.4	Metalldichtung mit gekrümmten Oberflächen (Bild 3b), c), e), f))	66
H.5	Metalldichtungen mit achteckigem Querschnitt (Bild 3d))	66
Anhang I (informativ) Verfügbare, noch unvollständige Modelle zur Umrechnung der Leckagerate für unterschiedliche Bedingungen (basierend auf bestimmten Strömungsmodellen)		67
I.1	Einleitung und Warnhinweis	67
I.2	Grundlagen der Strömungslehre	67
I.2.1	Transportarten	67
I.2.2	Parallelkapillarenmodell	68
I.2.3	Dusty-Gas-Modell	68
I.3	Einflussfaktoren der Leckagerate von Dichtungen und Verbindungen mit Dichtungen	69
I.3.1	Liste der ermittelten Faktoren	69
I.3.2	Grenzen und Einschränkungen der vorgeschlagenen Modelle	69
I.3.3	Abhängigkeit vom Druck	69

I.3.4	Abhängigkeit von der Temperatur	71
I.3.5	Abhängigkeit von der Art des Mediums	71
I.3.6	Einfluss der Dichtungsdicke	72
I.3.7	Einfluss der Dichtungsbreite	73
I.3.8	Einfluss der Dichtungsspannung	73
I.3.9	Einfluss sonstiger Faktoren	73
I.3.10	Zusammenfassung zu den Einflussfaktoren	74
I.4	Praktische Anwendung für Berechnungen nach EN 1591-1	74
I.4.1	Bestimmung einer Leckageraten-Tendenz für die Flanschverbindung bei „tatsächlichen“ anhand von „Bezugs-“Bedingungen	75
I.4.2	Bestimmung einer Leckageraten-Tendenz für die Flanschverbindung bei „Bezugs-“Bedingungen anhand von „tatsächlichen“ Bedingungen	76
I.5	Quellen	77
Anhang ZA (informativ)	Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der EU-Richtlinie 97/23/EG	79
Literaturhinweise		80

Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1591-1:2012) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 74 „Flansche und Flanschverbindungen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 1591-1:2001+A1:2009 ersetzen.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinien.

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinien siehe informativen Anhang ZA, der Bestandteil dieses Dokuments ist.

EN 1591 besteht aus folgenden Teilen:

- EN 1591-1: *Flansche und Flanschverbindungen — Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtung — Teil 1: Berechnung*
- EN 1591-2: *Flansche und ihre Verbindungen — Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtung — Teil 2: Dichtungskennwerte*
- CEN/TS 1591-3: *Flansche und ihre Verbindungen — Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtung — Teil 3: Berechnungsmethode für Flanschverbindungen mit Dichtungen im Kraft-Nebenschluss*
- prEN 1591-4: *Flansche und ihre Verbindungen — Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtung — Teil 4: Qualifizierung der Befähigung von Personal zur Montage von Schraubverbindungen im Geltungsbereich der Druckgeräte-Richtlinie*
- CEN/TR 1591-5: *Flansche und Flanschverbindungen — Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtung — Teil 5: Berechnungsmethode für Flanschverbindungen mit vollflächiger Dichtung*

Die Berechnungsmethode erfüllt sowohl die Kriterien der Dichtheit als auch der Festigkeit. Betrachtet wird das Verhalten des Gesamtsystems Flansche/Schrauben/Dichtung. Die berücksichtigten Kennwerte sind nicht nur grundsätzlicher Art wie:

- Druck des Mediums;
- Festigkeitswerte der Flansch-, Schrauben- und Dichtungswerkstoffe;
- Faktoren der Dichtungspressung;
- Nenn-Schraubenkraft;

sondern auch:

- mögliche Streuung durch das Schrauben-Anziehverfahren;
- Änderungen der Dichtungskraft bei Verformung aller Teile der Flanschverbindung;
- Einfluss der angeschlossenen Schale oder des angeschlossenen Rohrs;

- Einfluss äußerer Axial- und Querkkräfte sowie Torsions- und Biegemomente;
- Einfluss von Temperaturdifferenzen zwischen Schrauben und Flanschring.

EN 1591-1 basiert auf dem Grundsatz der Einhaltung einer gewählten Leckagerate. In diesem Fall müssen die Dichtungskoeffizienten der Dichtung in Prüfungen nach EN 13555 ermittelt oder direkt aus EN 1591-2:2008 entnommen werden.

Besteht allerdings keine Anforderung an eine Begrenzung der Leckagerate, kann die Berechnung mit Dichtungskoeffizienten erfolgen, die nicht mit der Leckagerate zusammenhängen (siehe Tabelle in Anhang G); die übrigen Koeffizienten sind nach EN 13555 zu ermitteln oder direkt EN 1591-2:2008 zu entnehmen. In diesem Fall kann die beabsichtigte Leckagerate aus dem berechneten Anpressdruck der Dichtung und dem Dichtheitsdiagramm ermittelt werden, das für diese spezielle Dichtungsform in Prüfungen nach EN 13555 erhaltenen wurde.

Die Berechnungsmethode kann auch dazu genutzt werden, das Verhalten und die Zulässigkeit einer verschraubten Flanschverbindung für eine bestimmte Einbauschraubenkraft einzuschätzen (siehe 1.4.3).

Die Berechnung der Funktionsfähigkeit der Dichtung beruht auf der Elastizitätsanalyse des Verhältnisses Belastung/Verformung zwischen allen Teilen der Flanschverbindung, gegebenenfalls korrigiert um das plastische Verhalten des Dichtungswerkstoffs. Die Berechnung der mechanischen Festigkeit beruht auf Analyse der (plastischen) zulässigen Verformung der Kombination Flansch/Schale. Sowohl innere als auch äußere Belastungen werden berücksichtigt. Die berücksichtigten Belastungszustände sind Montagezustand, hydrostatische Prüfung und alle nachfolgenden wesentlichen Betriebszustände. Im Wesentlichen werden die folgenden Berechnungsschritte durchgeführt:

- 1) zunächst wird die (beim Anziehen der Schrauben zu erreichende) erforderliche Mindest-Einbauschraubenkraft bestimmt, sodass in jedem nachfolgenden festgelegten Belastungszustand die auf die Dichtung wirkende Restkraft nie kleiner als die für die Dichtung erforderliche mittlere Mindestkraft ist (Werte der Dichtungsdaten z. B. nach EN 1591-2). Die Bestimmung dieser Schraubenkraft erfolgt iterativ, da sie von der effektiven Dichtungsbreite abhängt, die wiederum von der Einbau-Schraubenkraft abhängig ist;
- 2) anschließend werden die inneren Kräfte, die aus den ausgewählten Werten der Einbau-Schraubenkräfte resultieren, für alle Belastungszustände berechnet, und die Zulässigkeit äußerer und innerer Kräfte in Kombination wird wie folgt geprüft:
 - Montagezustand: Prüfung unter Annahme der maximal möglichen Schraubenkraft, die durch das Montageverfahren (Schrauben-Anziehverfahren) erreicht werden kann;
 - Prüf- und Betriebszustände: Prüfung unter Annahme der erforderlichen Mindestkräfte (außer bei Anwendung des besonderen Verfahrens mit festgelegter Schraubenkraft, siehe 1.4.3), um sicherzustellen, dass die Verbindung diese Mindestkräfte abgesehen von örtlich stark begrenzten Stellen ohne Verziehen aufbauen kann. Höhere tatsächliche Einbau-Schraubenkräfte führen zu (begrenzter) plastischer Verformung in Folgezuständen (Prüfzustand, Betriebszustand). Die so festgelegten Prüfungen stellen jedoch sicher, dass diese Verformungen die Schraubenkräfte nicht auf einen Wert unterhalb der Mindestkraft reduzieren.

Bei Bedarf können die Flanschdrehungen bei allen Lastzuständen nach Anhang C geschätzt und die erzielten Werte mit möglicherweise geltenden Anwendungsgrenzen von Dichtungen verglichen werden.

Prüfungen der Zulässigkeit von Belastungen setzen Sicherheitsbeiwerte voraus, die auch auf die Streckgrenze bzw. Dehngrenze des Werkstoffs bei der Bestimmung der Nenn-Berechnungsspannungen in der Berechnungsmethode angewendet werden.

ANMERKUNG Für Flansche, die zur Erfüllung anderer Regelwerke eingesetzt werden, ergibt die Berechnungsmethode keine Werte für Nennspannungen.

Da jedoch alle wesentlichen Auslegungskennwerte in der Berechnungsmethode berücksichtigt werden, ist es möglich, durch besondere Anwendung der Nenn-Berechnungsspannungen niedrige Sicherheitsbeiwerte einzusetzen:

- im Montagezustand entsprechen die Nenn-Berechnungsspannungen den Werten für die Druckprüfung (üblicherweise größer als im Betriebszustand);
- für Schrauben werden die Nenn-Berechnungsspannungen auf der Grundlage der gleichen Regeln wie für die Flansch- und Schalenwerkstoffe, z. B. gleicher Sicherheitsbeiwert für die Streckgrenze, berechnet.

Die Anwendung dieser Berechnungsmethode ist vor allem nützlich für Verbindungen, bei denen die Schraubkraft während des Anziehens gemessen wird. Je größer hier die Genauigkeit ist, desto nutzbringender ist die Anwendung der Berechnungsmethode.

Beim gegenwärtigen Entwicklungsstand ist die Berechnungsmethode nicht anwendbar auf Flanschverbindungen mit einem schmalen metallischen Dichtflächenkontakt und auf Flanschverbindungen, deren Steifigkeit über die Dichtungsbreite stark schwankt.

Ein Flussdiagramm für den Berechnungsprozess ist in Anhang D angegeben.

Die mit den in dieser Norm beschriebenen Verfahren berechnete Kraft stellt die Mindest-Schraubkraft dar, die auf die Dichtung aufgebracht werden sollte, um die erforderliche Dichtheitsklasse zu erreichen. Eine innerhalb zulässiger Belastungsgrade steigende Schraubkraft an Flanschen/Schraube/Dichtung verringert Leckageraten und ergibt eine konservative Konstruktion. Der Konstrukteur kann eine Schraubkraft wählen, die zwischen der Last zum Erreichen der Dichtheitsklasse und der durch die Belastungsgrade begrenzten Last liegt.

Das Leckageverhalten der Dichtung wird nach EN 13555 mit Helium gemessen. Verfügbare, noch unvollständige Modelle zur Umrechnung der Leckagerate sowie deren Grenzen sind in Anhang I angegeben.

1 Anwendungsbereich

1.1 Allgemeines

Diese Europäische Norm legt eine Berechnungsmethode für Flanschverbindungen mit runden Flanschen, Schrauben und Dichtung fest. Sie hat den Zweck, die Festigkeit der Konstruktion sicherzustellen und die Dichtigkeit zu kontrollieren. Die folgenden Gleichungen verwenden Dichtungskennwerte, die auf Definitionen und Prüfverfahren nach EN 13555 beruhen.

1.2 Anforderung an die Anwendung dieser Berechnungsmethode

Diese Berechnungsmethode bietet, sofern zulässig, eine Alternative zum Nachweis der Gültigkeit der Auslegung mit anderen Mitteln, z. B.:

- besondere Prüfung;
- bewährte Praxis;
- Verwendung genormter Flansche unter zulässigen Bedingungen.

1.3 Gültigkeit

1.3.1 Geometrie

Die Berechnungsmethode ist anwendbar bei Konfigurationen mit:

- Flanschen, deren Querschnitt angegeben oder auf die in Bild 4 bis Bild 12 dargestellten Flansche zurückzuführen ist;
- vier oder mehr gleichmäßig verteilten identischen Schrauben;
- Dichtung, deren Querschnitt und Einbaulage unter Belastung durch eine der Konstruktionen in Bild 3 dargestellt werden kann;
- Flanschmaßen, die folgende Bedingungen erfüllen:

a) $0,2 \leq b_F / e_F \leq 5,0; 0,2 \leq b_L / e_L \leq 5,0$

b) $\cos \varphi \geq 1 / (1 + 0,01 \frac{d_s}{e_s})$

ANMERKUNG 1 Zur Bedeutung der Formelzeichen siehe Abschnitt 3.

ANMERKUNG 2 Die Bedingung $b_F / e_F \leq 5,0$ braucht bei Bundcn oder Bördeln in Verbindung mit losen Flanschen nicht eingehalten zu werden.

ANMERKUNG 3 Wurden die Auswirkungen von Korrosion in der Auslegung berücksichtigt, sollten diese Zuschläge bei der Berechnung wieder abgezogen werden. Eventuell ist auch auf die Auswirkungen von Maßtoleranzen zu achten; andere Regelwerke, nach denen die Berechnung erfolgt ist, sollten berücksichtigt werden, zum Beispiel sind Werte in EN 13445 und EN 13480 angegeben.

Die folgenden Konfigurationen liegen außerhalb des Anwendungsbereichs dieser Berechnungsmethode:

- Flansche mit im Wesentlichen nicht axialsymmetrischer Geometrie, z. B. geteilte lose Flansche, mit Stegen verstärkte Flansche;
- Verbindungen, bei denen die Flansche direkten oder indirekten metallischen Kontakt zueinander innerhalb und/oder außerhalb der Dichtung, innerhalb und/oder außerhalb des Lochkreisdurchmessers haben.

1.3.2 Werkstoffe

Werte für Nenn-Berechnungsspannungen sind in dieser Berechnungsmethode nicht festgelegt. Sie sind abhängig von anderen Regelwerken, die angewendet werden; diese Werte sind z. B. in EN 13445 und EN 13480 angegeben.

Nenn-Berechnungsspannungen für Schrauben sind wie für Flansche und Schalen zu ermitteln. Die Dichtung wird dargestellt durch elastisches Verhalten mit einer Korrektur für den plastischen Anteil.

Bei Dichtungen in unelastischen Werkstoffen, die starke Verformungen zulassen (z. B. Flachdichtungen, die größtenteils aus Gummi bestehen), können die Ergebnisse nach dieser Berechnungsmethode übermäßig konservativ sein (d. h. erforderliche Schraubenkraft zu hoch, zulässiger Mediendruck zu gering, erforderliche Flanschdicke zu groß usw.), da die Methode diese Eigenschaften vernachlässigt.

1.3.3 Belastungen

Die Berechnungsmethode gilt für folgende Belastungsarten:

- Mediendruck: innen oder außen;
- äußere Belastungen: Axial- und Querkräfte, Torsions- und Biegemomente;
- axiale Ausdehnung von Flanschen, Schrauben und Dichtungen, vor allem infolge von Temperatureinwirkungen.

In der Berechnung sind alle Betriebszustände (Anfahren, Prüfung, Betrieb, Reinigung, Instandhaltung, Abfahren und sonstige außergewöhnliche Zustände) zu berücksichtigen, soweit sie sich auf die Konstruktion auswirken.

1.3.4 Mechanisches Modell

Die Berechnungsmethode beruht auf dem folgenden mechanischen Modell:

- a) die Geometrie der Flansche und der Dichtung ist axialsymmetrisch. Kleine Abweichungen, z. B. aufgrund einer begrenzten Anzahl von Schrauben, sind zulässig. Geteilte lose Flansche oder ovale Flansche sind unzulässig;
- b) der Querschnitt des Flanschrings (radialer Schnitt) bleibt unverformt. Nur Umfangsspannungen und -zugkräfte im Ring werden behandelt; radiale und axiale Spannungen sowie Zugkräfte werden vernachlässigt. Diese Annahme erfordert die Einhaltung der Bedingung 1.3.1 a);
- c) der Flanschring ist an eine zylindrische Schale angeschlossen. Ein konischer Ansatz wird wie eine äquivalente zylindrische Schale mit berechneter Wanddicke behandelt, die für elastisches und plastisches Verhalten unterschiedlich ist, jedoch immer zwischen der tatsächlichen Mindest- und Höchstdicke liegt. Kegelschalen und Kugelschalen werden wie zylindrische Schalen mit gleicher Wanddicke behandelt; Unterschiede zu zylindrischen Schalen werden explizit in den Formeln berücksichtigt. An der Verbindung von Flanschring und Schale wird die Beibehaltung von radialer Verschiebung und Drehung in der Berechnung berücksichtigt;
- d) die Dichtung berührt die Flanschdichtfläche auf einer (berechneten) kreisförmigen Fläche. Die effektive Dichtungsbreite (radial) b_{Ge} kann geringer als die tatsächliche Dichtungsbreite sein. Diese effektive Dichtungsbreite b_{Ge} wird für den Montagezustand ($I = 0$) berechnet und es wird angenommen, dass sie für alle nachfolgenden Belastungszustände ($I = 1, 2 \dots$) unverändert bleibt, selbst wenn die Dichtungsspannung in einem der Folgezustände höher ist (betroffene Änderungen der E_G -Werte sind für das Rechenergebnis vernachlässigbar.) Für die Benummerung der Folgezustände ist keine chronologische Reihenfolge festgelegt. Die Berechnung von b_{Ge} schließt die elastische Drehung beider Flansche sowie die elastische und plastische Verformung der Dichtung (näherungsweise) im Montagezustand mit ein;

- e) der Elastizitätsmodul der Dichtung bei Entlastung (E_G) kann mit der auf die Dichtung wirkenden Druckspannung Q ansteigen. Dieser Elastizitätsmodul ist der elastisch-plastische Sekantenmodul bei Entlastung, gemessen zwischen 100 % und 33 % bei mehreren Dichtungsspannungswerten. Die Berechnungsmethode verwendet den höchsten Spannungswert (Q) im Montagezustand.
- f) das Kriechen der Dichtung unter Pressung kann durch einen Kriechfaktor P_{QR} näherungsweise berücksichtigt werden (siehe Anhang F);
- g) thermische und mechanische axiale Verformungen von Flanschen, Schrauben und Dichtung werden berücksichtigt;
- h) die Belastung der Flanschverbindung ist axialsymmetrisch. Nicht axialsymmetrische Biegemomente werden durch eine äquivalente axiale Kraft ersetzt, die axialsymmetrisch nach Gleichung (99) ist;
- i) Lastwechsel zwischen verschiedenen Belastungszuständen bewirken interne Änderungen der Schrauben- und Dichtungskräfte. Diese werden unter Berücksichtigung der elastischen Verformungen aller Bauteile berechnet. Für die Sicherstellung der Dichtheit wird die erforderliche Einbau-Montagekraft berechnet (siehe 5.4), um sicherzustellen, dass die erforderlichen Kräfte, die auf die Dichtung wirken, unter allen Bedingungen erreicht werden (siehe 5.3 und 5.5);
- j) Nachweise der Belastungsgrenze beruhen auf den Belastungsgrenzen jedes Bauteils. Übermäßige Verformungen werden dadurch verhindert. Grenzen für Dichtungen, die von Q_{smax} abhängen, sind nur Näherungen.

Folgendes wird bei diesem Modell nicht berücksichtigt:

- k) Biegesteifigkeit und Biegefestigkeit der Schrauben. Dies ist eine konservative Vereinfachung. Allerdings schließt die Zugsteifigkeit der Schrauben (näherungsweise) die Verformung der mit den Muttern oder Gewindelöchern in Kontakt stehenden Schraubenpartie mit ein (siehe Gleichung (42));
- l) Kriechen von Flanschen und Schrauben (unter der Annahme, dass die Werkstoffe so gewählt wurden, dass übermäßiges Kriechen vermieden wird);
- m) unterschiedliche radiale Verformungen an der Dichtung (Vereinfachung ohne Auswirkungen bei gleichen Flanschen);
- n) Ermüdungsnachweise (üblicherweise nicht in Berechnungsregeln wie dieser berücksichtigt).

1.4 Anwendung der Berechnungsmethode

1.4.1 Erforderliche Prüfungen

Die Schraubenkraft im Montagezustand muss ausreichen, um die Dichtheit für alle nachfolgenden Belastungszustände sicherzustellen. Darüber hinaus wird empfohlen, das Anziehverfahren für die Schrauben zusammen mit den erforderlichen Kennwerten (z. B. Drehmoment, Spannung usw.) festzulegen.

- Die Belastungsgrade für Schrauben, Scheiben (sofern verwendet), Dichtung und beide Flansche sind für alle Belastungszustände zu prüfen (einschließlich Montage- und Belastungszustände).
- Ist keine Leckagerate festgelegt, kann die voraussichtliche Leckagerate in allen Situationen aus der berechneten Dichtungsbelastung ermittelt werden, und zwar mit Hilfe von nach EN 13555 bestimmten Leckagedaten für die Dichtung.

1.4.2 Zu berechnende Lastfälle

Berechnungen müssen mindestens für die Montagezustände, die Hauptbetriebs- und die Einbauprüfzustände durchgeführt werden. Ist die Prüfung zu keinem Zeitpunkt zu wiederholen, dürfen die Berechnungen in zwei Gruppen unterteilt werden:

— A: Montage + Betrieb;

— B: Montage + Prüfung.

Anzuwenden ist die jeweils höhere Schraubenkraft im Montagezustand.

1.4.3 Überprüfung der Baugruppe im Hinblick auf eine festgelegte Einbau-Anziehkraft (bzw. auf ein Einbau-Drehmoment)

EN 1591-1 basiert auf dem Grundsatz, dass eine gewählte Leckagerate zu erreichen ist. Dennoch kann, wenn das Berechnungsziel darin besteht, die Konstruktion im Hinblick auf einen bestimmten Wert der Schrauben-Anziehkraft bei Montage ($F_{B0,specified}$) zu überprüfen, die Berechnung mit der folgenden Gleichung (1) anstelle der in Abschnitt 4.3.3 gegebenen Gleichung (60) begonnen werden.

$$F_{G0} = F_{B0,specified} \times (1 - \varepsilon_-) - F_{R0} \quad (1)$$

ANMERKUNG Diese Gleichung umfasst den Streubereich des Schrauben-Anziehverfahrens, um die Dichtheitskriterien für den voraussichtlichen Mindestwert der Schrauben-Anziehkraft zu überprüfen.

Anschließend ist mit der Berechnung auf übliche Weise mit Gleichung (61) bis Gleichung (114) fortzufahren. Bei der in Gleichung (114) berechneten erforderlichen Einbau-Schraubenkraft sind zwei Fälle zu betrachten:

- wenn der durch Gleichung (114) gegebene Wert F_{G0req} höher ist als der durch Gleichung (1) gegebene Einbauwert F_{G0} , dann reicht der Wert von $F_{B0,specified}$ nicht aus, um die Dichtheitskriterien sicherzustellen. Um die Dichtheitskriterien zu erfüllen, sollte der Wert von $F_{B0,specified}$ also erhöht werden. Anschließend ist das Berechnungsverfahren von Gleichung (1) bis Gleichung (114) erneut durchzuführen;
- wenn der durch Gleichung (114) gegebene Wert F_{G0req} kleiner ist als der durch Gleichung (1) gegebene Einbauwert F_{G0} , dann reicht der Wert von $F_{B0,specified}$ aus, um die Dichtheitskriterien sicherzustellen; somit kann die Berechnung mit dem in Gleichung (1) berechneten Wert F_{G0} als der Dichtungskraft im Montagezustand ($I = 0$) fortgesetzt werden. In diesem Fall kann die Einbau-Schraubenkraft bei Montage erheblich größer sein als erforderlich, und Gleichung (122) muss durch die folgende Gleichung ersetzt werden, wobei die untere Grenze der aufgebrachten Einbau-Schraubenkraft in der Montagephase berücksichtigt wird:

$$F_{G0d} = \max\{F_{B0min} - F_{R0}; (2/3) \times (1 - 10 / N_R) \times F_{B0max} - F_{R0}\} \quad (2)$$

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 1092-1:2007, *Flansche und ihre Verbindungen — Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehörteile, nach PN bezeichnet — Teil 1: Stahlflansche*

EN 1092-2:1997, *Flansche und ihre Verbindungen — Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehörteile, nach PN bezeichnet — Teil 2: Gußeisenflansche*

EN 1092-3:2003, *Flansche und ihre Verbindungen — Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehörteile, nach PN bezeichnet — Teil 3: Flansche aus Kupferlegierungen*

EN 1092-4:2002, *Flansche und ihre Verbindungen — Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehörteile, nach PN bezeichnet — Teil 4: Flansche aus Aluminiumlegierungen*

EN 13555:2004, *Flansche und ihre Verbindungen — Dichtungskennwerte und Prüfverfahren für die Anwendung der Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtungen*

EN 1591-2:2008, *Flansche und ihre Verbindungen — Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtung — Teil 2: Dichtungskennwerte*

CEN/TS 1591-3:2007, *Flansche und ihre Verbindungen — Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtung — Teil 3: Berechnungsmethode für Flanschverbindungen mit Dichtungen im Kraft-Nebenschluss*

3 Nomenklatur

3.1 Anwendung der Bilder

Bild 1 bis Bild 12 veranschaulichen die Nomenklatur der geometrischen Kennwerte. Sie zeigen nur das Prinzip und legen nicht die Konstruktion fest. Es sind nicht alle möglichen Flanschtypen dargestellt, für die die Berechnungsmethode gilt.

Für genormte Flanschtypen nach EN 1092 gelten die folgenden Bilder:

Typ 01	Bild 8
Typ 02	Bild 10
Typ 04	Bild 10
Typ 05	Bild 9
Typ 07	Bild 10
Typ 11	Bild 4
Typ 12	Bild 11
Typ 13	Bild 12
Typ 21	Bild 4 bis Bild 7

3.2 Indizes und Sonderzeichen

3.2.1 Indizes

A	zusätzlich (F_A , M_A)
B	Schraube
C	Kriechen der Dichtung (Δe_{Gc})
D	äquivalenter Zylinder (konischer Ansatz + angeschlossene Schale) zur Berechnung der Belastungsgrenze
E	äquivalenter Zylinder (konischer Ansatz + angeschlossene Schale) zur Berechnung der Nachgiebigkeit
F	Flansch
G	Dichtung
H	Ansatz
I	Kennzahl für den Belastungszustand (mit den Werten 0, 1, 2 ...)
K	Kontakt (Schraube/Mutter/Scheibe/Flansch)
L	loser Flansch
M	Moment
P	Mediendruck
Q	resultierende axiale Kraft durch Druck
R	resultierende axiale Kraft durch äußere Kraft
S	Schale, Scherbeanspruchung
T	Schale, modifiziert
X	schwächster Flanschquerschnitt
W	Scheibe
Δ	Änderung oder Unterschied/Differenz
av	Mittelwert
c	berechnet
d	Auslegungswert, Berechnungswert
e	effektiv
i	Zwischenwert
max	Maximum, Höchstwert

min	Minimum, Mindestwert
nom	Nennwert
opt	optimal
req	erforderlich
s	Schaft (glatter Teil der Schraube)
t	theoretisch, Drehmoment, Gewinde
0	Einbauzustand ($I = 0$, siehe Index I)

3.2.2 Sonderzeichen

~	Zeichen, das über den Formelzeichen für die FlanschKennwerte steht und sich auf den zweiten Flansch der Verbindung bezieht, der sich möglicherweise vom ersten Flansch unterscheidet
---	--

3.3 Formelzeichen

Für Kennwerte mit Dimension ist die Einheit in eckigen Klammern angegeben. Bei dimensionslosen Kennwerten ist nichts angegeben.

A_B	effektive Gesamtquerschnittsfläche aller Schrauben [mm ²], Gleichung (41)
A_F, A_L	radiale Gesamtquerschnittsfläche des Flanschrings (einschließlich Schraubenlöcher), losen Flansches [mm ²], Gleichung (7) bis Gleichung (16)
A_{Ge}, A_{Gt}	Fläche der Dichtung, effektiv, theoretisch [mm ²], Gleichung (62), Gleichung (57)
A_Q	effektive Fläche für die axiale Kraft des Mediendrucks [mm ²], Gleichung (93)
D_G	Modul der Dichtung für die Belastung bei der betrachteten Temperatur unter Berücksichtigung der gepressten Einbaudicke [MPa], Gleichung (58), Bild 13 — Definitionen des Dichtungsmoduls
E_B, E_F, E_L, E_W	Elastizitätsmodul des mit dem entsprechenden Index bezeichneten Teils, bei der Temperatur des Teils [MPa]
E_G	Elastizitätsmodul der Dichtung für Entlastung/Wiederbelastung bei der betrachteten Temperatur unter Berücksichtigung der gepressten Einbaudicke [MPa], Gleichung (59), Bild 13 — Definitionen des Dichtungsmoduls
F_A	äußere axiale Zusatzkraft [N], Zugkraft > 0, Druckkraft < 0, siehe Bild 1, Gleichung (95) und Gleichung (99)
F_B	Schraubenkraft (Summe aller Schrauben) [N]
F_G	Dichtungskraft [N]
$F_{G\Delta}$	Mindestdichtungskraft [N] im Montagezustand, die nach allen Lastwechseln bei Folgezuständen die erforderliche Dichtungskraft sicherstellt, Gleichung (108), Gleichung (109)

F_L	aus den radialen Zusatzkräften resultierende Kraft [N], Gleichung (96), Gleichung (107)
F_Q	axiale Kraft des Mediendrucks [N], Gleichung (94)
F_R	aus den äußeren Zusatzbelastungen resultierende Kraft [N], Gleichung (99)
F_X, F_Y, F_Z	Kraft auf der X-, Y- und Z-Achse an der Dichtungsschnittstelle [N], Gleichung (95) und Gleichung (96)
I	Nummer des Belastungszustands, Montagezustand: $I = 0$, Folgezustände: $I = 1, 2, 3, \dots$
M_A	äußeres Zusatzbiegemoment [$N \times mm$], Bild 1, Gleichung (97)
M_t	Schrauben-Drehmoment [$N \times mm$], Gleichung (B.4), Anhang B
$M_{t,B}$	Torsionsmoment [$N \times mm$] am Schraubenschaft infolge der Montage der Schraubenverbindung mit Drehmoment M_t , Gleichung (B.9), Anhang B
M_{TG}	externes Zusatztorsionsmoment infolge von Reibung, Gleichung (98)
N_R	Anzahl der Montage- und Nachziehvorgänge während der Lebensdauer einer Verbindung, Gleichung (123), Gleichung (2)
P	Mediendruck [MPa], Innendruck > 0 , Außendruck < 0 (1 bar = 0,1 MPa), Gleichung (94)
ANMERKUNG	P entspricht in dieser Norm dem maximal zulässigen Druck PS nach der DGRL.
P_{QR}	Kriechfaktor als Verhältnis von Rest- und ursprünglicher Dichtungsflächenpressung unter Belastung [-] (Anhang F).
Q	mittlere effektive Druckspannung der Dichtung [MPa], $Q = F_G/A_{Ge}$
Q_A	Dichtungsflächenpressung im Montagezustand vor Entlastung, der für die Gültigkeit der entsprechenden $Q_{smin(L)}$ bei allen Folgezuständen erforderlich ist [MPa], Gleichung (106). Der niedrigste zulässige Wert für Q_A ist $Q_{min(L)}$ aus EN 13555
$Q_{0,min}$	erforderliche Dichtungsflächenpressung bei Montage vor der Entlastung, wenn keine spezielle Leckagerate gefordert wird [MPa], Ersatz für Q_A in Gleichung (106), Anhang G
$Q_{smin(L)}$	erforderliche Mindest-Dichtungsflächenpressung für Dichtheitsklasse L im Betriebszustand (auf der effektiven Dichtungsfläche) aus den Prüfergebnissen nach EN 13555 [MPa], Gleichung (107)
$Q_{s max}$	maximale Dichtungsflächenpressung, die sicher und ohne Beschädigung bei der betrachteten Temperatur auf die Dichtung aufgebracht werden kann [MPa], Gleichung (151), Tabelle 1
T_B, T_F, T_G, T_L, T_W	Temperatur (Mittelwert) des durch den Index bezeichneten Bauteils [$^{\circ}C$] oder [K], Gleichung (100)
T_0	Temperatur der Verbindung im Montagezustand [$^{\circ}C$] oder [K] (üblicherweise $+20^{\circ}C$), Gleichung (100)

U^T	axiale Verschiebung infolge von Temperatureinwirkungen [mm]; ΔU^T nach Gleichung (100)
U^e	axiale Verschiebung infolge von elastischen Verformungen [mm], Gleichung (109)
W_F, W_L, W_X	Widerstand des durch den Index bezeichneten Bauteils und/oder Querschnitts [N × mm], Gleichung (154), (169), (171), (173)
X_B, X_G, X_W	axialer Elastizitätsmodul von Schrauben, Dichtung, Scheibe [1/mm], Gleichung (42), (68), (43), (53), (54)
Y_B, Y_G, Y_Q, Y_R	axiale Nachgiebigkeit der verschraubten Flanschverbindung, bezogen auf F_B, F_G, F_Q, F_R [mm/N], Gleichung (102), (103), (104), (105)
Z_F, Z_L	Elastizitätsmodul der Drehung des Flansches, losen Flansches [mm ³], Gleichung (34), (38), (35), (39), (40)
b_0	Breite der Anfasung (oder Abrundung) eines losen Flansches, sodass $d_{7min} = d_6 + 2 \times b_0$ [mm], Bild 10, Gleichung (88)
b_{KB}, b_{KF}	Kontaktbreite Schraubenseite, Flanschseite [mm], Gleichung (50), Gleichung (49)
b_{KK}	übliche Kontaktbreite für Schrauben- und Flanschseite einer Scheibe [mm], Gleichung (48)
b_F, b_L	effektive Breite des Flansches, losen Flansches [mm], Gleichung (7) bis Gleichung (14)
b_{Gi}, b_{Ge}, b_{Gt}	Interimbreite, effektive, theoretische Breite der Dichtung (radial) [mm], Gleichung (55), Gleichung (61), Tabelle 1
b_W	effektive Breite einer Scheibe [mm], Gleichung (44)
$c_A, c_B, c_F, c_K, c_M, c_S$	Korrekturfaktoren [-], Gleichung (128) bis Gleichung (131) sowie Gleichung (133), (138), (140), (158), (159)
d_0	Innendurchmesser des Flanschrings [mm] und auch Außendurchmesser des Blindflansch-Mittelteils (mit Dicke e_0), in keinem Fall größer als der Innendurchmesser der Dichtung [mm], Bild 4 bis Bild 12
d_1	mittlerer Durchmesser des Ansatzes am dünnen Ende [mm], Bild 4, 5, 11 und 12
d_2	mittlerer Durchmesser des Ansatzes am dicken Ende [mm], Bild 4, 5, 11 und 12
d_3, d_{3e}	tatsächlicher, effektiver Lochkreisdurchmesser [mm], Bild 4 bis Bild 12, Gleichung (6)
d_4	Außendurchmesser des Flansches [mm], Bild 4 bis Bild 12
d_5, d_{5t}, d_{5e}	Durchmesser des Schraubenlochs, Durchgang, geschlossen, effektiv [mm], Bild 4 bis Bild 12, Gleichung (4), Gleichung (5)
d_6	Innendurchmesser des losen Flansches [mm], Bild 10, Bild 12

d_7	Durchmesser an der Stelle der Kraftübertragung zwischen losem Flansch und Bund oder Bördel [mm], Bild 1, Gleichung (66) und (87) bis (92).
d_8	Außendurchmesser von Bund oder Bördel [mm], Bild 10
d_9	Durchmesser eines mittigen Lochs in einem Blindflansch [mm], Bild 9
d_{B0}, d_{Be}, d_{Bs}	Schraubendurchmesser: Nenndurchmesser, effektiver Durchmesser, Schaftdurchmesser [mm], Bild 2, Tabelle A.1
d_{B2}, d_{B3}	Flankendurchmesser, kleinerer Durchmesser des Gewindes [mm], siehe Bild 2
d_{B4}	maximal möglicher Außenkontaktdurchmesser zwischen Schraubenkopf bzw. Mutter und Flansch oder Scheibe [mm], Gleichung (47)
d_{K1}, d_{K2}	äußerste Kontaktdurchmesser (innen, außen) [mm], Gleichung (46) und Gleichung (47)
d_{KB}, d_{KF}	mittlere Kontaktdurchmesser Schraubenseite, Flanschseite [mm], Gleichung (51), Gleichung (52)
d_{Gi}, d_{Ge}, d_{Gt}	Interimdurchmesser, effektiver, theoretischer Durchmesser der Dichtung [mm], Bild 3, Gleichung (56), Tabelle 1
d_{G0}, d_{G1}, d_{G2}	tatsächlicher Kontaktdurchmesser, theoretischer Innenkontaktdurchmesser, theoretischer Außenkontaktdurchmesser [mm], Bild 3
$d_E, d_F, d_L, d_S, d_X, d_W$	mittlerer Durchmesser des durch den Index bezeichneten Teils oder Querschnitts [mm], Bild 4 bis Bild 12, Bild 1
d_{W1}, d_{W2}	Innen-, Außendurchmesser der Scheibe [mm], Bild 1
e_0	Wanddicke der Mittelplatte des Blindflansches innerhalb von d_0 [mm], Bild 9
e_1	Mindestwanddicke am dünnen Ende des Ansatzes [mm], Bild 4, 5, 11, 12
e_2	Wanddicke am dicken Ende des Ansatzes [mm], Bild 4, 5, 11, 12
e_D, e_E	Wanddicke des äquivalenten Zylinders für die Berechnung der Belastungsgrenzen, für Berechnungen der Nachgiebigkeit [mm], Gleichung (17) und Gleichung (18)
e_F, e_L	effektive axiale Dicke des Flansches, losen Flansches [mm], Gleichung (8), (13) und (16)
e_{Fb}	Dicke des Flanschrings am Durchmesser d_3 (Schraubenposition) [mm], Gleichung (5)
e_{Ft}	Dicke des Flanschrings am Durchmesser d_{Ge} (Angriffspunkt der Dichtungskraft), relevant für thermische Ausdehnung [mm], Gleichung (100)
$e_{G(Q0)}$	gepresste Dichtungsdicke im Einbauzustand bei Anpressdruck Q_0 [mm], Bild 13, Gleichung (110), Gleichung (125)
$e_{G(A)}$	gepresste Dichtungsdicke nach allen Situationen (einschließlich plastischer Verformung) [mm], Gleichung (110), Gleichung (125) und Anhang H

e_{Gt}	theoretische nicht gepresste Dichtungsdicke im Einbauzustand [mm], Bild 13
e_P, e_Q	Teildicke des Flansches mit (e_P), ohne (e_Q) radiale Druckbelastung [mm], Bild 4 bis Bild 12, sodass $e_P + e_Q = e_F$
e_S	Dicke der angeschlossenen Schale [mm], Bild 4 bis Bild 8, Bild 10 bis Bild 12
e_W	Dicke der Scheibe [mm], Bild 1
e_X	Flanschdicke am schwachen Querschnitt [mm], Bild 9
$f_B, f_E, f_F, f_L, f_S, f_W$	Nenn-Berechnungsspannung [MPa] des durch den jeweiligen Index bezeichneten Teils bei Berechnungstemperatur [°C] oder [K], entsprechend der Definition und Verwendung in den Druckbehältervorschriften
h_G, h_H, h_L	Hebelarme [mm], Bild 1, Gleichung (84) bis (86) und Gleichung (90) bis (92)
h_P, h_Q, h_R, h_S, h_T	Hebelarm-Korrekturen [mm], Gleichung (29), (30), (31), (37), (80), (82), (83)
j_M, j_S	Vorzeichenzahl für Moment, Scherkraft (+1 oder 1), Gleichung (160)
k_Q, k_R, k_M, k_S	Korrekturfaktoren, Gleichung (32), (33), (161), (162)
l_B, l_s	Axialmaße der Schrauben [mm], Bild 2, Gleichung (101) und Gleichung (42)
l_e	$l_e = l_B - l_s$
l_H	Länge des Ansatzes [mm], Bild 4, 5, 11, 12, Gleichung (17), Gleichung (18)
m	Dichtheitsfaktor für Folgezustände ($I > 0$) [-], (Anhang G)
n_B	Anzahl der Schrauben, Gleichung (1), (6), (41), (42)
p_B	Abstand zwischen Schrauben [mm], Gleichung (3)
p_t	Gewindesteigung [mm], Tabelle A.1
q	Kennwert [-] zur Bestimmung der Kontaktbreiten an Scheiben, Gleichung (144)
r_0, r_1	Radialen [mm], Bild 4, Bild 10
r_2	Krümmungsradius im Dichtungsquerschnitt [mm], Bild 3
ΔU^T	differentielle thermische axiale Ausdehnung [mm], Gleichung (100)
ΔU^{el}	differentielle axiale Verschiebung infolge von elastischen Verformungen [mm], Gleichung (109)
Δe_{Gc}	zusätzliche Durchbiegung der Dichtung infolge von Kriechen, definierbar aus dem Wert von P_{QR} nach dem in Anhang F erläuterten Verfahren. Ist gleich 0, wenn kein Kriechen der Dichtung berücksichtigt wird, Gleichung (108), (110), (124) und (125)

θ_F, θ_L	Drehung des Flansches, losen Flansches durch das einwirkende Moment [rad], Anhang C
ψ	Belastungsgrad des Flanschrings aufgrund von Radialkräften, Gleichung (163)
ψ_Z	spezieller Wert für ψ , Gleichung (154), Tabelle 2
$\Phi_B, \Phi_F, \Phi_G, \Phi_L,$ $\Phi_X, \Phi_W, \Phi_K, \Phi_{KF},$ Φ_{KB}	Belastungsgrad des durch den jeweiligen Index bezeichneten Bauteils und/oder Querschnitts, für alle Zustände zu berechnen, Gleichung (127), (132), (135) bis (137), (151), (152), (153), (168), (170), (172), (174)
$\alpha_B, \alpha_F, \alpha_G, \alpha_L, \alpha_W$	Wärmeausdehnungskoeffizient des durch den jeweiligen Index bezeichneten Teils, Mittelwertbildung aus T_0 und $T_B, T_F, T_G, T_L, T_S, T_W$ [K ⁻¹], Gleichung (100)
$\beta, \gamma, \delta, \nu, \kappa, \lambda, x$	Hilfsvariablen, Gleichung (19), (25) bis (27), (67), (156), (157)
$\varepsilon_{1+}, \varepsilon_{1-}$	Streuwert der Einbau-Schraubenkraft, bezogen auf eine einzelne Schraube, oberhalb des Nennwerts, unterhalb des Nennwerts, Anhang B
$\varepsilon_+, \varepsilon_-$	Streuwert der gesamten Belastung aller Schrauben, oberhalb des Nennwerts, unterhalb des Nennwerts, Anhang B
π	numerische Konstante ($\pi = 3,141593$)
ρ	Durchmesserverhältnis nach Gleichung (36)
φ_G	Neigungswinkel einer Dichtfläche [rad oder deg], Bild 3, Tabelle 1
φ_S	Neigungswinkel einer angeschlossenen Schalenwand [rad oder deg], Bild 6, Bild 7

3.4 Terminologie

3.4.1 Flansche

integrierter Flansch:	Flansch, der mit der Schale entweder verschweißt ist (z. B. Vorschweißflansche — siehe Bild 4 bis Bild 7, oder Überschieb-Schweißflansche mit Ansatz — siehe Bild 8 und Bild 11) oder an die Schale angegossen ist (Integralflansche, Typ 21)
Blindflansch:	ebene Platte, siehe Bild 9
loser Flansch:	separater Flansching, der an Bund oder Bördel anliegt, siehe Bild 10
Ansatz:	axiale Erweiterung des Flanschrings, verbindet üblicherweise den Flansching mit der Schale, siehe Bild 4 und Bild 5
Bund oder Bördel:	Anlagefläche für losen Flansch, siehe Bild 10

3.4.2 Belastungen

äußere Belastungen:	Kräfte und/oder Momente, die durch angeschlossene Teile auf die Verbindung wirken, z. B. Masse und Temperaturdehnung der Rohre
---------------------	--

3.4.3 Belastungszustände

Belastungszustand: Zustand bei festgelegten, gleichzeitig wirkenden Belastungen, bezeichnet durch I ;

Montagezustand: Belastungszustand aufgrund des erstmaligen Anziehens der Schrauben (Einbau, Montage), bezeichnet durch $I = 0$

Folgezustand: Belastungszustand nach dem Montagezustand, z. B. Prü fzustand, Betriebszustand, Anfah r- und Abfahrzustand, bezeichnet durch $I = 1, 2, 3 \dots$

3.4.4 Nachgiebigkeit

Nachgiebigkeit: Reziprokwert der Steifigkeit (axial): Symbol Y [mm/N]

Elastizitätsmodul: Reziprokwert des Steifigkeitsmoduls, ohne elastische Konstanten des Werkstoffs:

— axial: Symbol X , [1/mm]

— bei Drehung: Symbol Z , [1/mm³]

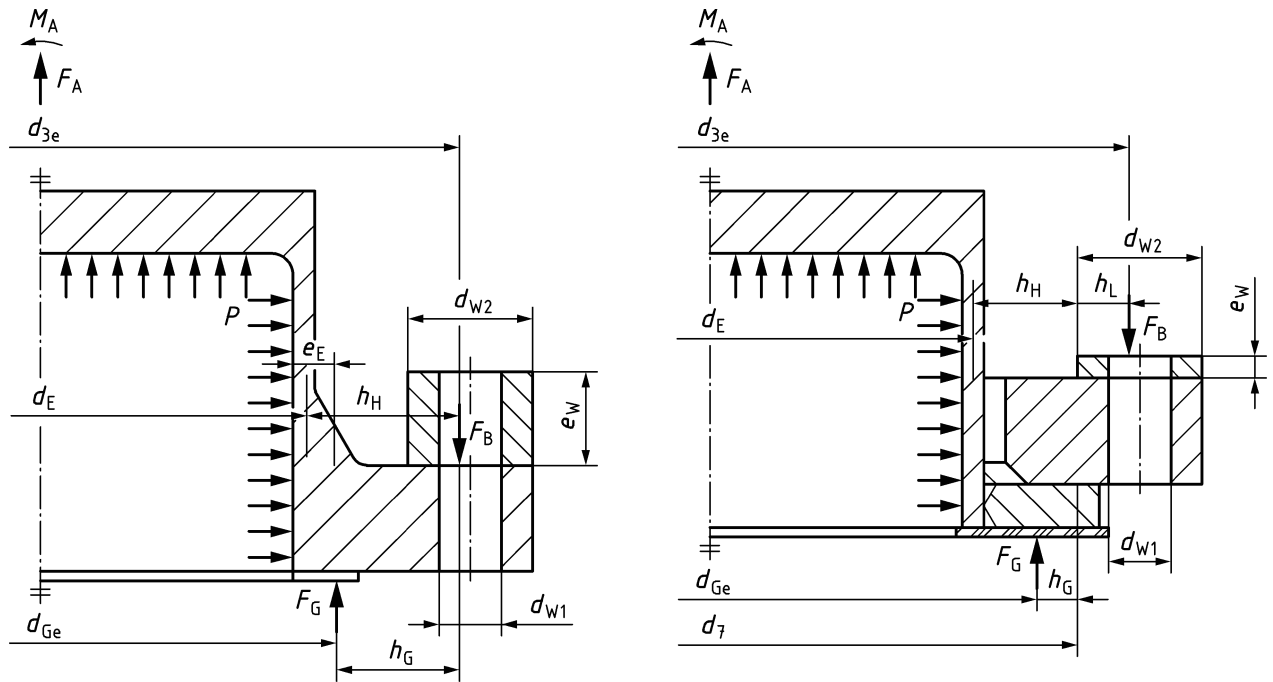


Bild 1 — Belastungen und Hebelarme

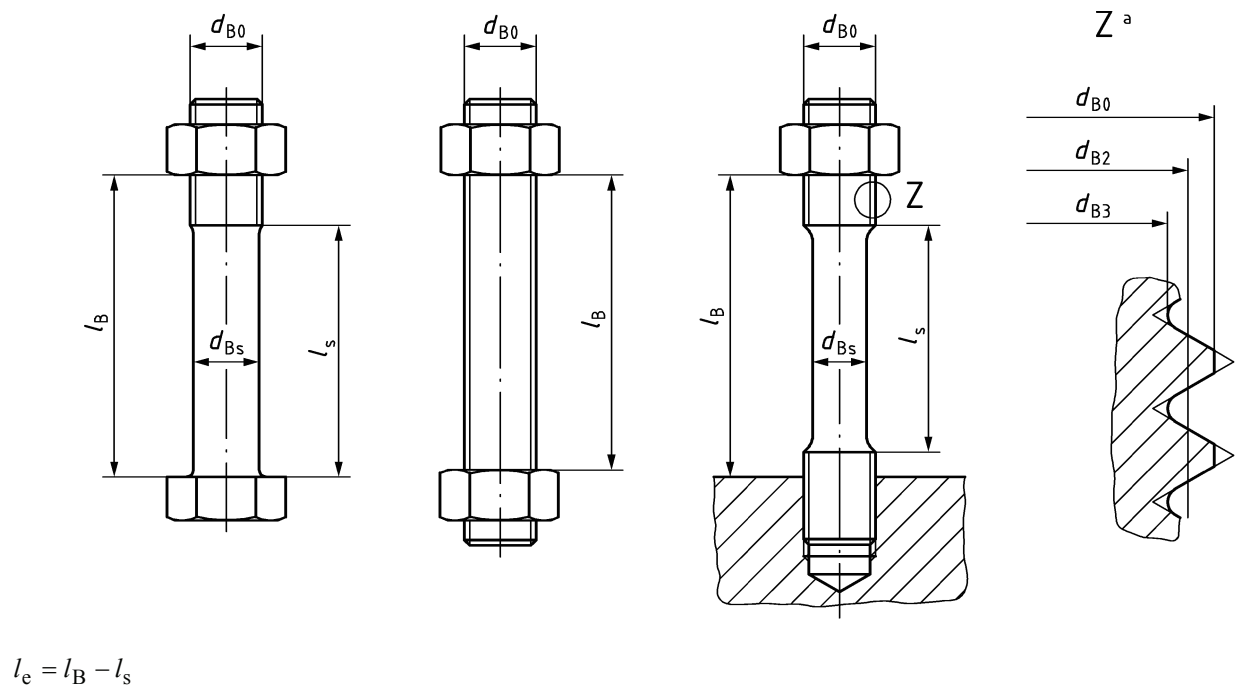


Bild 2 — Schrauben

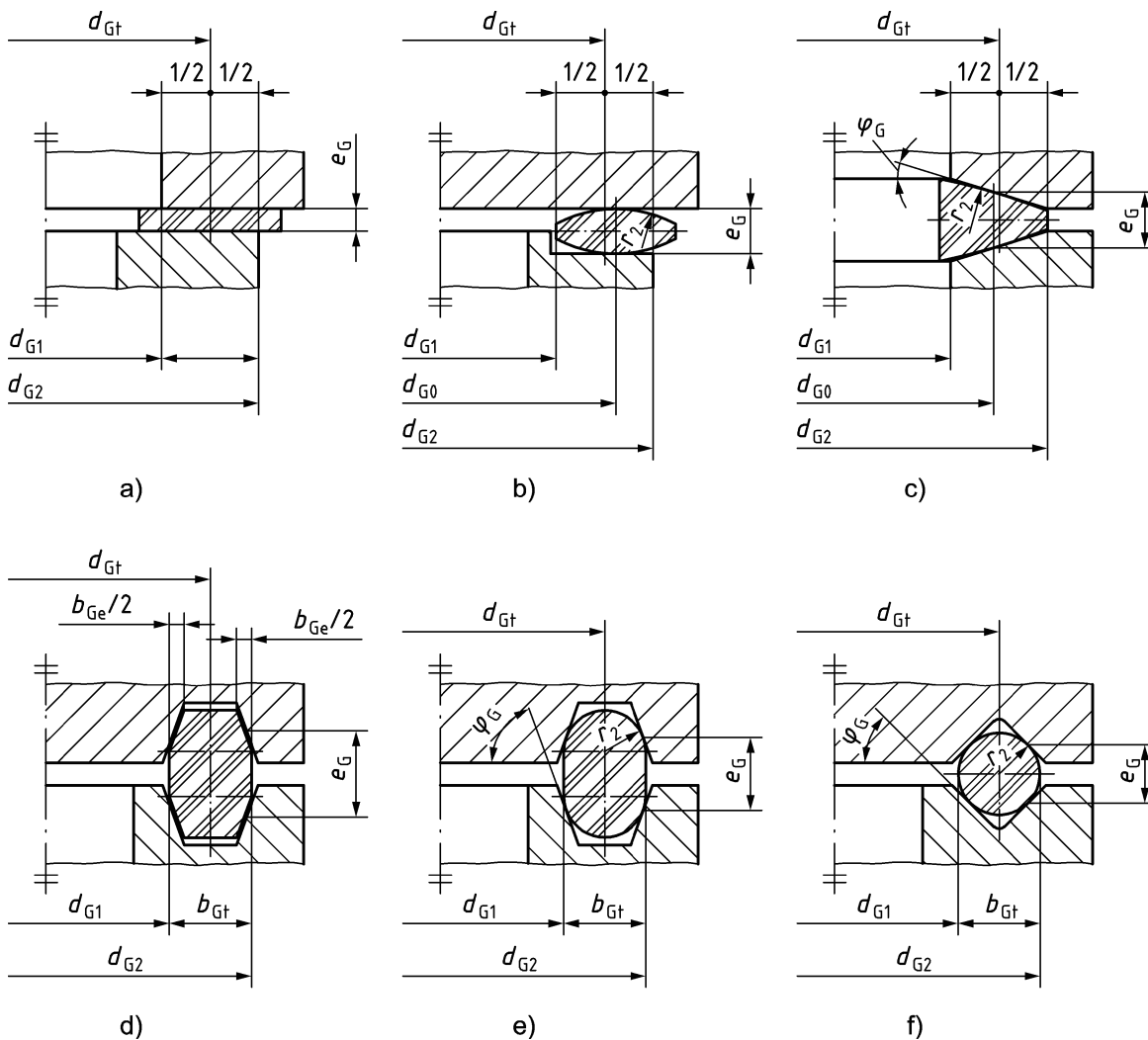
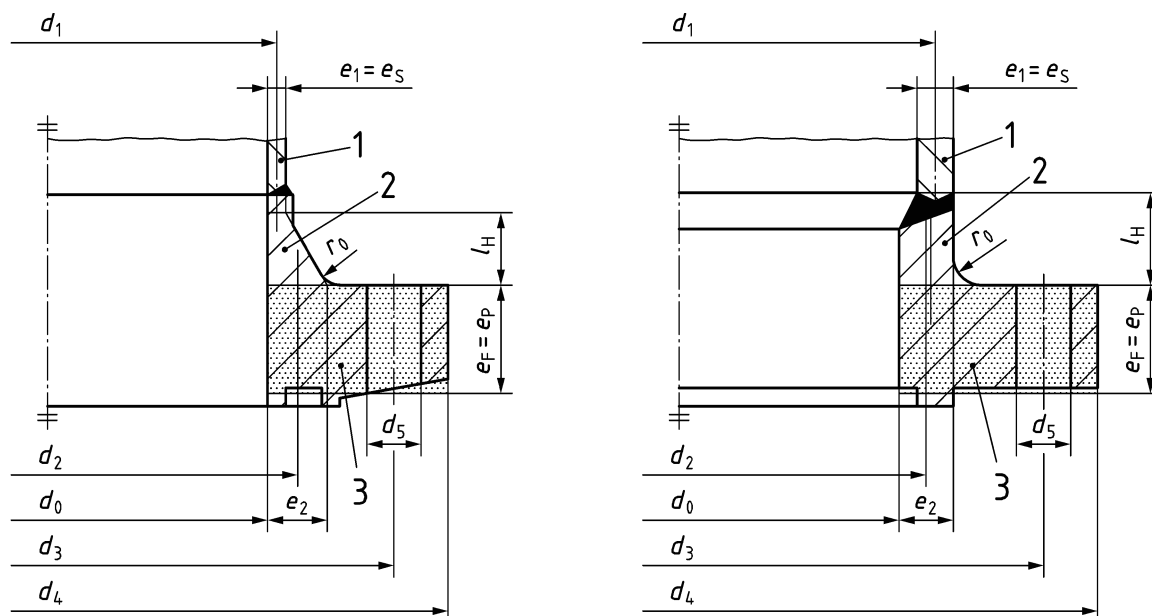


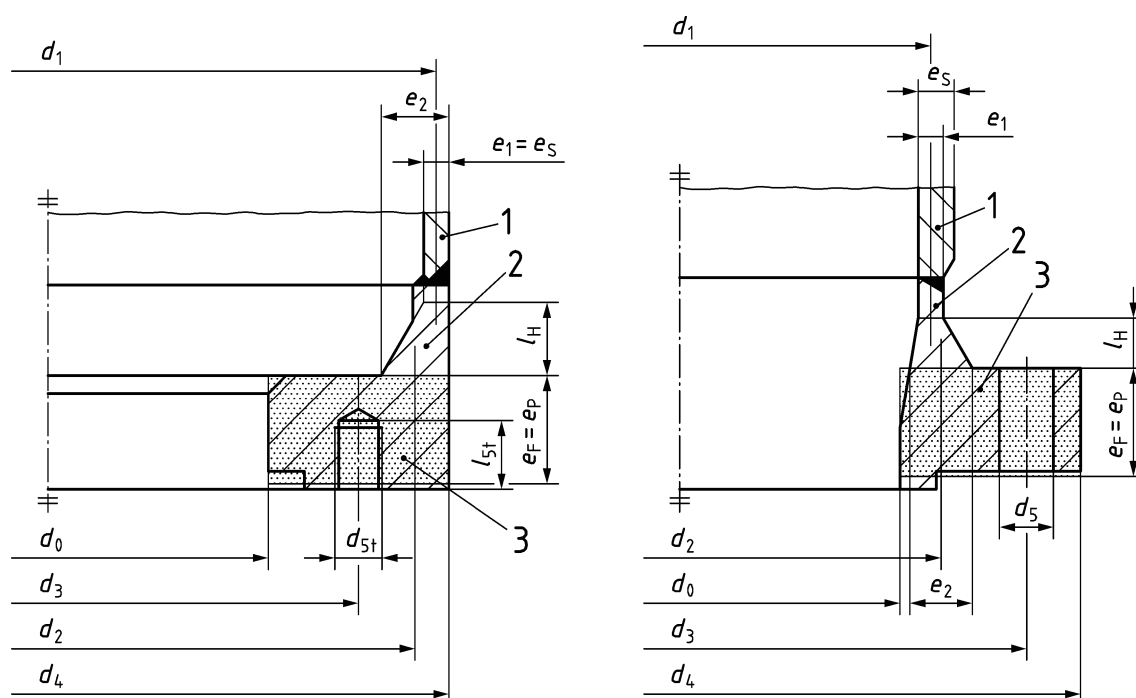
Bild 3 — Dichtungen



Legende

- 1 Schale
- 2 Ansatz
- 3 Ring

Bild 4 — Vorschweißflansche mit Ansatz und Zylinderschalen (Beispiel 1)



Legende

- 1 Schale
- 2 Ansatz
- 3 Ring

Bild 5 — Vorschweißflansche mit Ansatz und Zylinderschalen (Beispiel 2)