

ICS 23.040.60

Vornorm

**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;
Deutsche Fassung CEN/TS 1591-3:2007**

Flanges and their joints –
Design rules for gasketed circular flange connections –
Part 3: Calculation method for metal to metal contact type flanged joint;
German version CEN/TS 1591-3:2007

Brides et leurs assemblages –
Règles de calcul des assemblages à brides circulaires avec joint –
Partie 3: Méthode de calcul pour les assemblages à brides de type contact métal-métal;
Version allemande CEN/TS 1591-3:2007

Gesamtumfang 63 Seiten

Normenausschuss Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (CEN/TS 1591-3:2007) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 74 „Flansche und ihre Verbindungen“ (Sekretariat: DIN, Deutschland) ausgearbeitet.

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

Eine Vornorm ist das Ergebnis einer Normungsarbeit, das wegen bestimmter Vorbehalte zum Inhalt oder wegen des gegenüber einer Norm abweichenden Aufstellungsverfahrens vom DIN noch nicht als Norm herausgegeben wird.

Erfahrungen mit dieser Vornorm sind erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an nard@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 Rohrleitungen und Dampfkesselanlagen (NARD) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin).

Deutsche Fassung

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

Flanges and their joints —
Design rules for gasketed circular flange connections —
Part 3: Calculation method for metal to metal contact type
flanged joint

Brides et leurs assemblages —
Règles de calcul des assemblages à brides circulaires avec
joint —
Partie 3: Méthode de calcul pour les assemblages à brides
de type contact métal-métal

Diese Technische Spezifikation (CEN/TS) wurde vom CEN am 16. Juni 2007 als eine künftige Norm zur vorläufigen Anwendung angenommen.

Die Gültigkeitsdauer dieser CEN/TS ist zunächst auf drei Jahre begrenzt. Nach zwei Jahren werden die Mitglieder des CEN gebeten, ihre Stellungnahmen abzugeben, insbesondere über die Frage, ob die CEN/TS in eine Europäische Norm umgewandelt werden kann.

Die CEN Mitglieder sind verpflichtet, das Vorhandensein dieser CEN/TS in der gleichen Weise wie bei einer EN anzukündigen und die CEN/TS verfügbar zu machen. Es ist zulässig, entgegenstehende nationale Normen bis zur Entscheidung über eine mögliche Umwandlung der CEN/TS in eine EN (parallel zur CEN/TS) beizubehalten.

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



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

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

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Einleitung.....	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen.....	8
3 Formelzeichen.....	8
4 Berechnungsparameter	15
5 Innere Kräfte (in der Verbindung)	30
6 Überprüfung der zulässigen Belastungsgrenzen.....	39
Anhang A (informativ) Beispiel für die Stauchkurve einer Dichtung.....	45
Anhang B (informativ) Verformung durch lokale Pressung.....	49
Anhang C (informativ) Relaxation der Dichtung: Dreiparametrisches Werkstoffmodell.....	51
Anhang D (informativ) Streubereich der Schrauben-Anziehverfahren.....	55
Anhang E (informativ) Berechnungsschritte.....	56
Anhang F (informativ) Ermittlung der Gleichgewichtsbedingungen	60
Literaturhinweise	61

Vorwort

Dieses Dokument (CEN/TS 1591-3:2007) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 74 „Flansche und ihre Verbindungen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

EN 1591 *Flansche und ihre Verbindungen — Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Dichtungen* besteht aus den folgenden vier Teilen:

- *Teil 1: Berechnungsmethode*
- *Teil 2: Dichtungskennwerte*
- *Teil 3: Berechnungsmethode für Flanschverbindungen mit Dichtungen im Kraft-Nebenschluss (CEN/TS)*
- *Teil 4: Qualifizierung der Kompetenz von Personal zur Montage von Schraubverbindungen im Geltungsbereich der Druckgeräterichtlinie*

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Technische Spezifikation anzukündigen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Einleitung

Verschraubte Flanschverbindungen mit Dichtungen im Kraft-Nebenschluss werden in Industrieanlagen häufig bei schwierigen Einsatzbedingungen (Temperaturschwankungen, Druckstößen) eingesetzt. Durch die Verwendung von Dichtungen im Kraft-Nebenschluss kann die Beschädigung des Dichtungselementes vermieden werden, indem für die Dichtungspressung ein Grenzwert vorgegeben wird und die auf die Dichtung wirkenden Belastungsschwankungen begrenzt werden.

Die vorliegende Technische Spezifikation beschreibt eine Berechnungsmethode, mit der die inneren Kräfte der geschraubten Flanschverbindung unter allen Belastungsbedingungen bestimmt werden können. Sie stellt die Festigkeit der Konstruktion sowie die Dichtheit von verschraubten Flanschverbindungen mit Dichtungen im Kraft-Nebenschluss sicher (geschraubten Flanschverbindung, die nicht unter den Anwendungsbereich der EN 1591-1 fallen).

Die Berechnungsmethode kann in drei Schritte unterteilt werden:

Bestimmung des Schraubenanziehmomentes, um Kraft-Nebenschluss zu erreichen.

Bestimmung des Schraubenanziehmomentes zur Aufrechterhaltung des Kraft-Nebenschlusses und Erfüllung aller Dichtheitskriterien unter allen Belastungsbedingungen.

Überprüfung der zulässigen Belastungsgrenzen.

1 Anwendungsbereich

Der Zweck der vorliegenden Technischen Spezifikation ist die Beschreibung einer Berechnungsmethode für verschraubte Flanschverbindungen (en: Bolted Flange Connections, BFC) mit Dichtungen im Kraft-Nebenschluss (en: metal to metal contact, MMC). Die Berechnungsmethode gilt für verschraubte Flanschverbindungen (BFC), bei denen der Kraft-Nebenschluss in einem Bereich zwischen dem Außendurchmesser der Dichtung und dem Innendurchmesser des Schraubenlochbereiches wirkt. Bei MMC innerhalb der Dichtung sowie MMC außerhalb des Bereiches der Schraubenlöcher ist die hier beschriebene Methode nicht geeignet.

Die in dieser Technischen Spezifikation vorgeschlagene Berechnungsmethode basiert hauptsächlich auf der in EN 1591-1 beschriebenen Methode für BFC mit Kraft-Hauptschluss. Das Verhalten des gesamten Systems Flanche/Schrauben/Dichtung wird berücksichtigt. Sowohl im Montagezustand als auch bei allen nachfolgenden Belastungszuständen werden die BFC-Bauteile durch innere Kräfte zusammengehalten. Dies führt zu Verformungen und Kräfteausgleich (siehe Anhang F), woraus sich die grundsätzlichen Beziehungen zwischen den Veränderungen der Kräfte in der verschraubten Flanschverbindung ergeben.

Die Berechnung der verschraubten Flanschverbindung mit der Dichtung im Kraft-Nebenschluss führt gegenüber der Berechnungsmethode nach EN 1591-1 zur Berücksichtigung einer weiteren Kraft: der Reaktionskraft im MMC-Bereich. Dies erklärt, warum in dieser Technischen Spezifikation zwei Gleichgewichtsbedingungen erforderlich sind (nach der Berechnungsmethode in EN 1591-1 ist nur eine Gleichgewichtsbedingung zur Bestimmung der inneren Kräfte bei allen Belastungsbedingungen erforderlich).

Im Gegensatz zu EN 1591-1, nach der die Veränderungen der inneren Kräfte anhand der Gleichgewichtsbeziehung zwischen Montage- und betrachtetem Lastzustand bestimmt werden, werden hier die Veränderungen der inneren Kräfte ermittelt, indem die Gleichgewichtsbeziehungen zwischen zwei aufeinander folgenden Lastzuständen zu Grunde gelegt werden.

Diese Methode berücksichtigt keine Flanschverbindungen ohne Dichtung.

1.1 Anforderungen, bezogen auf die Anwendung der Berechnungsmethode

Innerhalb des Anwendungsbereichs bietet die Berechnungsmethode eine Möglichkeit zur Auslegung von verschraubten Flanschverbindungen neben anderen Methoden, z. B.:

- Bauteilprüfungen;
- nachgewiesene Erfahrungswerte;
- Einsatz von standardisierten Flanschen innerhalb zulässiger Einsatzgrenzen.

1.2 Geometrie

Die Berechnungsmethode gilt für Konstruktionen mit:

- Flanschen, deren Querschnitt festgelegt ist oder den in EN 1591-1:2001, Bilder 4 bis 12, angegebenen Querschnitten gleichgesetzt werden kann;
- vier oder mehr identischen, gleichmäßig verteilten Schrauben;
- Dichtungen im Kraft-Nebenschluss;
- Flanschmaßen, die den folgenden Bedingungen entsprechen:

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

$$b) \quad e_F \geq \max \left\{ e_2; d_{B0}; p_B \cdot \sqrt[3]{(0,01 \dots 0,10) \cdot p_B / b_F} \right\}$$

$$c) \quad \cos \varphi_S \geq 1 / (1 + 0,01 \cdot d_S / e_S)$$

ANMERKUNG 1 Erläuterung der Symbole, siehe Abschnitt 3.

ANMERKUNG 2 Die Bedingung $b_F / e_F \leq 5,0$ muss bei Bunden oder Bördeln in Verbindung mit Losflanschen nicht erfüllt werden.

ANMERKUNG 3 Die Bedingung $e_F \geq p_B \cdot \sqrt[3]{(0,01 \dots 0,10) p_B / b_F}$ dient der Begrenzung der Ungleichmäßigkeit der Dichtungspressung, hervorgerufen durch die Abstände zwischen den Schrauben. Die Werte 0,01 und 0,10 gelten für weiche (nicht metallische) bzw. harte (metallische) Dichtungen. Eine genauere Berechnung ist in EN 1591-1:2001, Anhang A, enthalten.

ANMERKUNG 4 Gegebenenfalls sind die Auswirkungen von Toleranzen und Korrosion auf die Maße zu berücksichtigen; hierzu wird auf andere Regelwerke verwiesen, nach denen die Berechnung durchgeführt wurde. Werte sind z. B. in EN 13445 und EN 13480 angegeben.

Die folgenden Ausführungen fallen nicht in den Anwendungsbereich der Berechnungsmethode:

- Flansche mit im Wesentlichen nicht axialsymmetrischer Geometrie, z. B. geteilte Losflansche, mit Stegen verstärkte Flansche.

1.3 Werkstoffe

Werte für zulässige Spannungen sind in dieser Berechnungsmethode nicht festgelegt. Sie sind in anderen angewendeten Regelwerken definiert, z. B. in EN 13445 und EN 13480.

Zulässige Spannungen für Schrauben sind wie für Flansche und Schalen zu ermitteln. Die Dichtung wird dargestellt durch elastisches Verhalten mit einem plastischen Anteil.

Bei inkompressiblen verformbaren Dichtungen (z. B. Flachdichtungen, die größtenteils aus Gummi bestehen) können die Ergebnisse nach dieser Methode extrem konservativ sein (d. h. erforderliche Schraubenkraft zu hoch, zulässiger Mediendruck zu gering, erforderliche Flanschdicke zu groß usw.), da diese Eigenschaften nicht berücksichtigt werden.

1.4 Belastungen

Diese Berechnungsmethode gilt für die folgenden Belastungen:

- Mediendruck: innen oder außen;
- äußere Belastungen: Axialkräfte und Biegemomente;
- axiale Verformungen von Flanschen, Schrauben und Dichtungen, insbesondere infolge von Temperatureinflüssen.

1.5 Mechanisches Modell

Diese Berechnungsmethode basiert auf dem folgenden mechanischen Modell.

- a) Die Geometrie der Flansche und der Dichtung ist axialsymmetrisch. Kleine Abweichungen aufgrund einer begrenzten Anzahl von Schrauben sind erlaubt. Die Anwendung auf geteilte Losflansche oder ovale Flansche ist nicht zulässig.
- b) Der Flanschquerschnitt (radialer Schnitt) wird nicht verformt. Nur Umfangsspannungen und Dehnungen im Ring werden behandelt; radiale und axiale Spannungen und Dehnungen werden vernachlässigt. Diese Annahme erfordert die Einhaltung von 1.2 a).

- c) Der Flanschring ist an eine zylindrische Schale angeschlossen. Ein kegeliger Ansatz wird wie eine äquivalente zylindrische Schale mit berechneter Wanddicke behandelt, die im elastischen und plastischen Verhalten unterschiedlich ist, jedoch immer zwischen der gegebenen Mindest- und Höchstdicke liegt. Kegelige Schalen und Kugelschalen werden behandelt wie zylindrische Schalen mit gleicher Wanddicke; Unterschiede zu zylindrischen Schalen werden in den Berechnungsformeln besonders berücksichtigt.

Diese Annahme erfordert die Einhaltung von 1.2 c).

An der Verbindungsstelle von Flanschring und Schale wird die Kompatibilität von radialer Verschiebung und Drehung in der Berechnung berücksichtigt.

- d) Die Dichtung berührt die Flanschflächen auf einer (berechneten) kreisförmigen Fläche. Die effektive Dichtungsbreite (radial) b_{Ge} kann geringer als die tatsächliche Dichtungsbreite sein. Die Berechnung von b_{Ge} schließt die elastische Drehung beider Flansche sowie die elastische und plastische Verformung der Dichtung (näherungsweise) im Einbauzustand mit ein.
- e) Der lastabhängige Elastizitätsmodul (Sekantenmodul) der Dichtung kann mit der Flächenpressung auf die Dichtung ansteigen. Das Verfahren verwendet ein lineares Modell: $E_G = E_0 + K_1 \cdot Q$. Dies ist der elastisch-plastische Sekantenmodul bei Entlastung, gemessen zwischen 100 % und 33 % der höchsten Flächenpressung auf die Dichtung.
- f) Die Relaxation der unter Pressung stehenden Dichtfläche wird angenähert (siehe 4.9 und Anhang C).
- g) Thermische und mechanische axiale Verformungen von Flanschen, Schrauben und Dichtung werden berücksichtigt.
- h) Die Belastung der Flanschverbindung ist axialsymmetrisch. Das nicht axialsymmetrische Biegemoment wird als äquivalente axiale Kraft behandelt, die nach Gleichung (75) axialsymmetrisch ist.
- i) Lastwechsel zwischen verschiedenen Lastzuständen bewirken innere Veränderungen der Schrauben-, Dichtungs- und MMC-Kräfte. Diese werden unter Berücksichtigung der elastischen Verformungen aller Komponenten berechnet.
- j) Belastungsgrenzen basieren auf den Belastungsgrenzen der einzelnen Bauteile. Übermäßige plastische Verformungen werden dadurch verhindert. Die Grenzwerte für Dichtungen, Q_{max} , sind nur grobe Näherungen.

Folgendes wird innerhalb dieses Modells nicht berücksichtigt:

- k) Biegesteifigkeit und Biegefestigkeit der Schrauben. Dies ist eine konservative Vereinfachung. Jedoch schließt die Zugsteifigkeit der Schrauben (näherungsweise) die Verformung des mit den Muttern oder Gewindelöchern in Kontakt stehenden Gewindeteils mit ein (siehe Gleichung (37)).
- l) Kriechen von Flanschen und Schrauben.
- m) Unterschiedliche radiale Verformungen der Dichtung (Vereinfachung ohne Auswirkung bei paarigen Flanschen).
- n) Ermüdung (üblicherweise nicht in Berechnungsregeln wie dieser berücksichtigt).
- o) Äußere Torsionsmomente und äußere Querkräfte (Scherkräfte), die z. B. durch Rohrleitungsanschlüsse verursacht werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokumentes 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 1591-1:2001, *Flansche und ihre Verbindungen — Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtung — Teil 1: Berechnungsmethode*

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

3 Formelzeichen

3.1 Gebrauch der Bilder

Bild 1 stellt die zwei möglichen Ausführungen einer Flanschverbindung mit der Dichtung im Kraft-Nebenschluss dar.

Bild 2 zeigt die bei der Berechnung des Innendurchmessers der Dichtungsfläche im Kraft-Nebenschluss verwendeten Variablen.

3.2 Indizes und Sonderzeichen

3.2.1 Indizes

<i>A</i>	Zusatz (F_A , M_A)
<i>B</i>	Schraube
<i>D</i>	äquivalenter Zylinder (kegeliger Ansatz + angeschlossene Schale) zur Berechnung der Belastungsgrenze
<i>E</i>	äquivalenter Zylinder (kegeliger Ansatz + angeschlossene Schale) zur Berechnung der Nachgiebigkeit
<i>F</i>	Flansch
<i>G</i>	Dichtung
<i>H</i>	Ansatz
<i>I</i>	Kennzahl für den Lastzustand (mit den Werten 0, 1, 2 ...)
<i>L</i>	Losflansch
<i>M</i>	Metallring oder Kraft-Nebenschluss
<i>P</i>	Druck
<i>Q</i>	resultierende axiale Kraft durch Druck
<i>R</i>	resultierende axiale Kraft durch äußere Kraft
<i>S</i>	Schale, Scherbeanspruchung
<i>T</i>	Schale, modifiziert
<i>X</i>	schwacher Querschnitt
<i>W</i>	Unterlegscheibe
Δ	Symbol für Änderung oder Differenz
<i>av</i>	Mittelwert

c	berechnet
e	effektiv
j	Kennzahl für Bezugspunkte (Q_{Gj} , e_{Gj}) zur Beschreibung des Dichtungsverhaltens unter Pressung
max	maximal
min	minimal
nom	nominal
opt	optimal
req	erforderlich
s	Schaft (Dehnschaftbereich der Schraube)
t	theoretisch, Drehmoment, Gewinde
0 (Null)	Montagezustand ($I = 0$, siehe Index I)

3.2.2 Sonderzeichen

$\sim$	Zeichen, das über den Symbolen für Flanschparameter steht und sich auf den zweiten Flansch der Verbindung bezieht, der eventuell verschieden vom ersten Flansch ist
c	Laufindex des Exponenten zur Berücksichtigung der Verformung durch Kriechrelaxation
i	Laufindex des Exponenten der ersten Gleichgewichtsbedingung
ii	Laufindex des Exponenten der zweiten Gleichgewichtsbedingung

3.3 Symbole

Für Parameter mit Dimension ist die Einheit in Klammern angegeben, bei dimensionslosen Parametern ist nichts angegeben.

A_B	effektive Gesamt-Querschnittsfläche aller Schrauben [mm^2], Gleichung (36)
A_F, A_L	radiale Gesamt-Querschnittsfläche des Flanschrings (einschließlich Schraubenlöcher), Losflansch [mm^2], Gleichungen (5), (7), (8)
A_{Ge}, A_{Gt}	Fläche der Dichtung, effektiv, theoretisch [mm^2], Gleichungen (41), (39)
C	Koeffizient für das Torsionsmoment beim Auslastungsgrad der Schrauben, Gleichung (121)
E_0	Elastizitätsmodul der Dichtung [MPa] bei Dichtungspressung Null, $Q = 0$ [MPa] (siehe prEN 1591-2)
$E_B, E_F, E_G, E_L, E_M, E_W$	Elastizitätsmodul des mit dem entsprechenden Index bezeichneten Teils, bei bestimmter Temperatur des Teils [MPa] (E_G , siehe prEN 1591-2)
F_A	äußere axiale Zusatzkraft [N], Zugkraft > 0 , Druckkraft < 0 , siehe Bild 1 in EN 1591-1:2001
F_B	Schraubenkraft (Summe aller Schrauben) [N]
F_{BMMC}	erforderliche Schraubenkraft (Summe aller Schrauben), um MMC zu erreichen [N]
F_G	Dichtungskraft [N]
F_{GMMC}	erforderliche Dichtungskraft, um MMC zu erreichen [N]
F_M	Kraft zur Herstellung des Kraft-Nebenschlusses [N]

F_Q	Axialkraft durch den Mediendruck [N], Gleichung (74)
F_R	Kraft, die sich aus F_A und M_A ergibt [N], Gleichung (75)
F_{RMMC}	Kraft, die sich aus F_A und M_A ergibt, entspricht der Schraubenkraft F_{BMMC} [N]
$G(t)$	Gleichung für die Relaxationsfunktion (C.13)
I	Kennzahl des Lastzustands; Montagezustand: $I = 0$, Folgezustände $I = 1, 2, 3, \dots$
I_B	plastisches Torsionsmoment [mm ³] des Schraubenschaftes, Gleichung (121)
K_1	Änderungsrate des Elastizitätsmoduls der Dichtung in Abhängigkeit von der Dichtungspressung, ENV 1591-2
K_s	systematischer Fehler infolge der Ungenauigkeit des Schrauben-Anziehverfahrens
M_A	äußeres Zusatzmoment [N · mm], Bild 1 in EN 1591-1:2001
M_t	Schrauben-Drehmoment [N · mm], Anhang D in EN 1591-1:2001
$M_{t, B}$	Torsionsmoment [N · mm] am Schraubenschaft infolge Montage der Schraubenverbindung mit Drehmoment M_t , Gleichungen (121) und (D.8) bis (D.11) in EN 1591-1:2001
P	Mediendruck [MPa], Innendruck > 0, Außendruck < 0 (1 bar = 0,1 MPa)
Q	mittlere effektive Dichtungsflächenpressung [MPa], $Q = F_G/A_{Ge}$
$Q_{GMMCinf}$	unterer Grenzwert des Bereiches der Dichtungsflächenpressung, in dem der Kraft-Nebenschluss erreicht wird [MPa]
$Q_{GMMCsup}$	oberer Grenzwert des Bereiches der Dichtungsflächenpressung, in dem der Kraft-Nebenschluss erreicht wird [MPa]
Q_I	erforderliche mittlere effektive Dichtungsflächenpressung bei Lastzustand I [MPa]
Q_{min}	erforderliche Mindest-Dichtungsflächenpressung für Montagezustand (auf die effektive Dichtfläche) [MPa], Gleichung (93), siehe prEN 1591-2
Q_{max}	maximal zulässige Dichtungsflächenpressung (abhängig von Dichtungswerkstoff, Konstruktion, Maßen und Rauheit der Flanschdichtflächen) [MPa], Gleichung (120), siehe ENV 1591-2 (darin enthaltene Sicherheitsbeiwerte sind für alle Lastzustände gleich)
$Q_{max, Y}$	Kennwert für die Streckgrenze des Dichtungswerkstoffes und der Dichtungs konstruktion, siehe Tabelle 1 und prEN 1591-2 [MPa]
$T_B, T_F, T_G, T_L, T_M, T_W$	Temperatur (Mittelwert) der durch den Index [°C] oder [K] bezeichneten Bauteile, Gleichungen (77), (78) und (80), (81)
$T_0 (Null)$	Temperatur der Verbindung bei Montage [°C] oder [K] (üblicherweise +20 °C)
U	axiale Verschiebung [mm]; ΔU nach den Gleichungen (76), (77), (78) sowie (79), (80) und (81)
W_F, W_L, W_X	Widerstand des durch den Index bezeichneten Bauteils und/oder Querschnitts, [N · mm], Gleichungen (123), (135), (137), (139)
X_B, X_G, X_M, X_W	axialer Elastizitätsfaktor von Schrauben, Dichtung, äußerem Metall-Stützring, Unterlegscheibe [1/mm], Gleichungen (37), (44), (52), (46)
X_{FB}	axialer Elastizitätsfaktor, entspricht der lokalen Pressung an der Kontaktfläche zwischen Flansch und Schraubenmutter [1/mm], Gleichung (73)
X_{FG}	axialer Elastizitätsfaktor, entspricht der lokalen Pressung an der Kontaktfläche zwischen Flansch und Dichtung [1/mm], Gleichung (55)
X_{FL}	axialer Elastizitätsfaktor, entspricht der lokalen Pressung an der Kontaktfläche zwischen Bund und Losflansch [1/mm], Gleichung (63)

X_{FM}	axialer Elastizitätsfaktor, entspricht der lokalen Pressung an der Kontaktfläche zwischen Flansch und Dichtungsfläche im Kraft-Nebenschluss [1/mm], Gleichung (59)
X_{LB}	axialer Elastizitätsfaktor, entspricht der lokalen Pressung an der Kontaktfläche zwischen Losflansch und Schraubenmutter [1/mm], Gleichung (71)
X_{LF}	axialer Elastizitätsfaktor, entspricht der lokalen Pressung an der Kontaktfläche zwischen Losflansch und Bund [1/mm], Gleichung (67)
Y_G, Y_M, Y_Q, Y_R	axiale Nachgiebigkeit der verschraubten Flanschverbindung, bezogen auf F_G, F_M, F_Q, F_R , [mm/N], Gleichungen (83) bis (86) und (89) bis (92)
Z_F, Z_L	Elastizitätsfaktor bei Drehung des Flansches bzw. Losflansches [mm ⁻³], Gleichungen (30), (34), (35)
$a(T_l, T_0)$	Gleichung für die Verschiebungsfunktion (C.17)
b_0	Breite der Anfasung (oder Abrundung) an einem Losflansch [mm], siehe Bild 10 in EN 1591-1:2001, Gleichung (17), sodass gilt: $d_{7min} = d_6 + 2 \cdot b_0$
b_F, b_L	effektive Breite des Flansches bzw. Losflansches [mm], Gleichungen (5) bis (8)
b_{Gi}, b_{Ge}, b_{Gt}	Interimbreite, effektive, theoretische Breite der Dichtung (radial) [mm], Gleichungen (38), (40), Tabelle 1
b_{Mt}	Breite der Dichtungsfläche im Kraft-Nebenschluss [mm], Gleichung (48) und Bild 1
c_F, c_M, c_S	Korrekturfaktoren, Gleichungen (23), (127), (128)
d_0	Innendurchmesser des Flanschrings [mm] und Außendurchmesser des Blindflansch-Mittelteils (mit Dicke e_0), keinesfalls größer als der Innendurchmesser der Dichtung [mm], Bilder 4 bis 12 in EN 1591-1:2001
d_1	mittlerer Durchmesser des Ansatzes am dünnen Ende [mm], Bilder 4, 5, 11 und 12 in EN 1591-1:2001
d_2	mittlerer Durchmesser des Ansatzes am dicken Ende [mm], Bilder 4, 5, 11 und 12 in EN 1591-1:2001
d_3, d_{3e}	tatsächlicher, effektiver Lochkreisdurchmesser [mm], Bilder 4 bis 12 in EN 1591-1:2001
d_4	Außendurchmesser des Flansches [mm], Bilder 4 bis 12 in EN 1591-1:2001
d_5, d_{5t}, d_{5e}	Durchmesser des Schraubenloches, durchgebohrt, Sackloch, effektiv [mm], Bilder 4 bis 12 in EN 1591-1:2001
d_6	Innendurchmesser des Losflansches [mm], Bilder 10, 12 in EN 1591-1:2001
d_7	Durchmesser an der Stelle der Kraftübertragung zwischen Losflansch und Bund oder Bördel [mm], Bild 1 in EN 1591-1:2001, Gleichung (17), (43)
d_8	Außendurchmesser von Bund oder Bördel [mm], Bild 10 in EN 1591-1:2001
d_9	Durchmesser eines mittigen Loches in einem Blindflansch [mm], Bild 9 in EN 1591-1
d_{B0}, d_{Be}, d_{Bs}	Schraubendurchmesser: Nenndurchmesser, effektiver Durchmesser, Schaftdurchmesser [mm], Bild 2 in EN 1591-1:2001, Tabelle B.1 in EN 1591-1:2001
d_{B2}, d_{B3}	Flankendurchmesser, Kerndurchmesser des Gewindes [mm], siehe Bild 2 in EN 1591-1:2001
d_{Ge}, d_{Gt}	Dichtungsdurchmesser, effektiv, theoretisch [mm], Bild 3 in EN 1591-1:2001, Tabelle 1
d_{G1}, d_{G2}	Innen-, Außendurchmesser der theoretischen Dichtungsfläche [mm], Bild 3 in EN 1591-1:2001
d_{M1}, d_{M2}	Innen-, Außendurchmesser der theoretischen Dichtungsfläche im Kraft-Nebenschluss [mm]

d_{M1e}	effektiver Innendurchmesser der Dichtungsfläche im Kraft-Nebenschluss [mm], Gleichungen (49), (50)
d_{Me}, d_{Mt}	Durchmesser der Dichtungsfläche im Kraft-Nebenschluss, effektiv, theoretisch [mm], Gleichungen (51), (47)
d_E, d_F, d_L, d_S, d_X	mittlerer Durchmesser des durch den Index bezeichneten Teils oder Abschnitts [mm], Gleichungen (5) bis (8), (10) bis (12), Bilder 4 bis 12 in EN 1591-1:2001
d_{W1}, d_{W2}	Innen-, Außendurchmesser von Unterlegscheiben, Gleichung (46) [mm]
e_0	Wanddicke der Mittelplatte des Blindflansches innerhalb des Durchmessers d_0 [mm], Bild 9 in EN 1591-1:2001
e_1	kleinste Wanddicke am dünnen Ende des Ansatzes [mm], Bilder 4, 5, 11, 12 in EN 1591-1:2001
e_2	Wanddicke am dicken Ende des Ansatzes [mm], Bilder 4, 5, 11, 12 in EN 1591-1:2001
e_D, e_E	Wanddicke der äquivalenten Schale [mm], für Berechnungen der Belastungsgrenzen, für Berechnungen der Nachgiebigkeit, Gleichungen (9), (11), (12), (124)
e_F, e_L	effektive axiale Dicke des Flansches bzw. Losflansches [mm], Gleichungen (5) bis (8)
e_{Fb}	Dicke des Flanschrings am Durchmesser d_3 (Schraubenkreis) [mm], Gleichung (3)
e_{Ft}	Dicke des Flanschrings am Durchmesser d_{Ge} (Angriffspunkte der resultierenden Dichtungskraft), beeinflusst die thermische Ausdehnung [mm], Gleichungen (77), (78) und (80), (81)
e_{Fm}	Dicke des Flanschrings am Durchmesser d_{Me} (Angriffspunkte im Kraft-Nebenschluss), beeinflusst die thermische Ausdehnung und den Innendurchmesser der Dichtungsfläche im Kraft-Nebenschluss [mm], Gleichungen (77), (78) und (80), (81)
e_G	Dicke der Dichtung [mm], Bild 3 in EN 1591-1:2001
e_M	Dicke des Metall-Stützringes [mm]
e_P, e_Q	Dicke des Flansches mit (e_P), ohne (e_Q) radiale Druckbelastung [mm], Bilder 4 bis 12 in EN 1591-1:2001, sodass gilt: $e_P + e_Q = e_F$
e_S	Dicke der angeschlossenen Schale [mm], Bilder 4 bis 8, 10 bis 12 in EN 1591-1:2001
e_X	Flanschdicke im schwachen Querschnitt [mm], Bild 9 in EN 1591-1:2001
e_W	Dicke der Unterlegscheibe [mm]
f_B, f_E, f_F, f_L, f_S	zulässige Spannung [MPa] des durch den Index bezeichneten Teils bei Auslegungstemperatur [°C] oder [K], wie in den Druckbehälterverordnungen definiert und verwendet
h_G, h_H, h_L, h_M	Hebelarme [mm], Gleichungen (15), (16), (18), (19)
h_D	Differenz zwischen Hebelarm h_G und h_M [mm], Bild 1, Gleichung (14)
h_P, h_Q, h_R, h_S, h_T	Hebelarm-Korrekturen [mm], Gleichungen (13), (24) bis (27), (32), (33)
j_M, j_S	Vorzeichenzahl für Moment, Scherkraft (+1 oder -1), Gleichung (129)
k_Q, k_R, k_M, k_S	Korrekturfaktoren, Gleichungen (28), (29), (130)
l_{St}	Tiefe der Sacklöcher, Bild 5 in EN 1591-1:2001, Gleichung (3)
l_B, l_s	Axialmaße der Schrauben [mm], Bild 2 in EN 1591-1:2001, Gleichung (37)
l_e	$l_e = l_B - l_s$
l_H	Länge des Ansatzes [mm], Bilder 4, 5, 11, 12 in EN 1591-1:2001, Gleichungen (9), (124)
n_B	Anzahl der Schrauben, Gleichungen (1), (4), (36), (37), (46)
p_B	Abstand der Schraubenlöcher [mm], Gleichung (1)

p_t	Gewindesteigung [mm], Tabelle B.1 in EN 1591-1:2001
r_0, r_1	Radien [mm], Bilder 4, 10 in EN 1591-1:2001
r_2	Krümmungsradius im Dichtungsquerschnitt [mm], Bild 3 in EN 1591-1:2001
z_{1B}, z_{1F}, z_{1L}	Dicke in Abhängigkeit von der lokalen Pressung am Innendurchmesser des durch den Index bezeichneten Bauteils [mm], Gleichungen (55) bis (73)
z_{2B}, z_{2F}, z_{2L}	Dicke in Abhängigkeit von der lokalen Pressung am Außendurchmesser des durch den Index bezeichneten Bauteils [mm], Gleichungen (55) bis (73)
ΔU	differentielle thermische axiale Ausdehnung [mm], Gleichungen (76) bis (81)
θ_F, θ_L	Drehung des Flansches, Losflansches durch einwirkendes Moment [rad], Gleichungen (97) bis (100), (104), (105)
ψ	Verhältnis der Radialkräfte am Flanschring, Gleichung (131)
ψ_Z	spezieller Wert für ψ , Gleichung (123), Tabelle 2
$\Phi_B, \Phi_F, \Phi_G, \Phi_L, \Phi_X$	Auslastungsgrad des durch den Index bezeichneten Bauteils und/oder Querschnitts, für alle Lastzustände zu berechnen, Gleichungen (120), (121), (122), (134), (136), (138)
$\Phi_{\max}$	reduzierter maximaler zulässiger Auslastungsgrad, Gleichung (108)
$\alpha_B, \alpha_F, \alpha_G, \alpha_L, \alpha_W, \alpha_M$	Temperaturausdehnungskoeffizient des durch den Index bezeichneten Teils, gemittelt zwischen T_0 und $T_B, T_F, T_G, T_L, T_W, T_M$ [K^{-1}], Gleichungen (77), (78) und (80), (81)
$\beta, \gamma, \delta, \theta$	Hilfsvariablen, Gleichungen (9), (20), (21), (22), (43), (108), (124)
κ, λ, χ	
ε_0	Dehnung (Anhang C)
$\varepsilon_{1+}, \varepsilon_{1-}$	Streuwert beim ersten Schrauben-Anziehen, bezogen auf eine einzelne Schraube, oberhalb des Nennwertes, unterhalb des Nennwertes, Anhang D
$\varepsilon_+, \varepsilon_-$	Streuwert der gesamten Belastung aller Schrauben, oberhalb des Nennwertes, unterhalb des Nennwertes, Gleichungen (109) bis (111)
η	Tangente des Ausbreitungswinkels der lokalen Pressung (siehe Anhang B)
π	numerische Konstante ($\pi = 3,141\,593$)
σ	Spannung [MPa] (Anhang C)
τ_R	Relaxationszeit [s] (Anhang C)
ϕ_G	Neigungswinkel einer Dichtfläche [rad oder Grad], Bild 3 in EN 1591-1:2001, Tabelle 2
ϕ_S	Neigungswinkel der anschließenden Schalenwand [rad oder Grad], Bilder 6, 7 in EN 1591-1:2001
$\xi_0, \xi_1, \omega_0, \omega_1$	Werkstoffkennwerte, bezogen auf die Spannungsrelaxation der Dichtung (siehe Anhang C)

3.4 Terminologie

3.4.1 Flansche

Integrierter Flansch: Flansch, der mit der Schale entweder verschweißt ist (z. B. Vorschweißflansch, siehe Bilder 4 bis 7 in EN 1591-1:2001, oder Überschieb-Schweißflansch mit Ansatz, siehe Bilder 8 und 11 in EN 1591-1:2001) oder an die Schale angegossen ist (Integralflansche, Typ 21).

Blindflansch: Ebene Platte, siehe Bild 9 in EN 1591-1:2001.

Losflansch: Separater Flanschring, der an einem Bund oder Bördel anliegt, siehe Bild 10 in EN 1591-1:2001.

Ansatz: Axiale Erweiterung des Flanschrings, verbindet in der Regel den Flanschring mit der Schale, siehe Bilder 4, 5 in EN 1591-1:2001.

Bund oder Bördel: Anlagefläche für Losflansch, siehe Bild 10 in EN 1591-1:2001.

3.4.2 Belastungen

Äußere Belastungen: Kräfte und/oder Momente, die durch angeschlossene Teile auf die Verbindung wirken, z. B. Gewicht und Wärmeausdehnung der Rohre.

3.4.3 Belastungszustände

Lastzustand: Zustand bei festgelegten, gleichzeitig wirkenden Belastungen, bezeichnet durch I.

Montagezustand: Lastzustand nach erstmaligem Anziehen der Schrauben (Montage), bezeichnet durch I = 0.

Folgezustand: Lastzustand nach dem Montagezustand, z. B. Betriebszustand, Prüfzustand, Anfahr- und Abfahrzustand, bezeichnet durch I = 1, 2, 3 ...

3.4.4 Nachgiebigkeit

Nachgiebigkeit: Reziprokwert der Steifigkeit, axiale Elastizität: Kurzzeichen Y , [mm/N].

Elastizitätsfaktor: Reziprokwert der Steifigkeit, ohne elastische Konstanten:

axial: Kurzzeichen X , [1/mm],

bei Drehung: Kurzzeichen Z , [1/mm³].

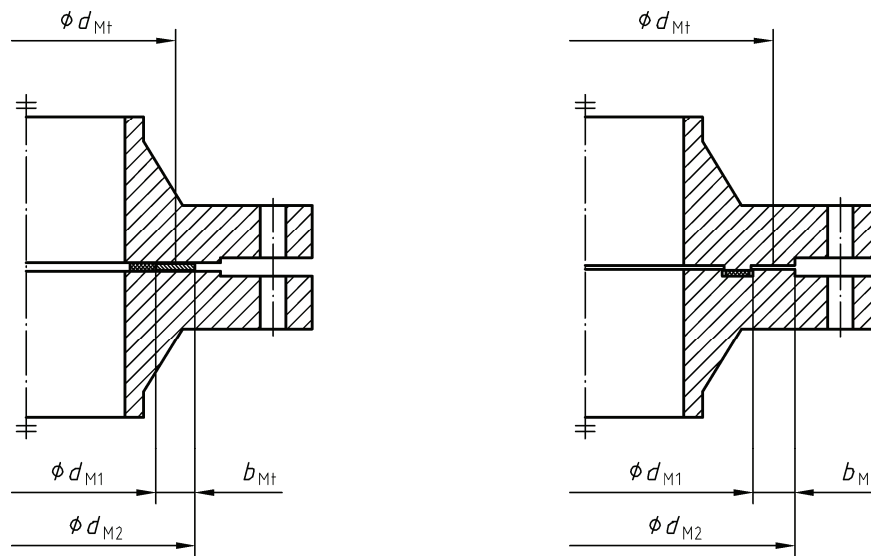


Bild 1 — 2 Ausführungen einer verschraubten Flanschverbindung mit Dichtung im Kraft-Nebenschluss: Dichtung mit Stützring und Dichtung in einer Nut, mit theoretischen Maßen

4 Berechnungsparameter

4.1 Allgemeines

Die in diesem Abschnitt festgelegten Parameter sind Steifigkeitswerte, effektive Maße und Querschnittsflächen. Die Parameter in 4.2 bis 4.4 sind überwiegend aus EN 1591-1:2001 entnommen.

4.2 Flansch-Parameter

4.2.1 Allgemeines

Die Gleichungen in 4.2 sind für jeden Flansch und jeden Bund oder Bördel — soweit vorhanden — der Verbindung anzuwenden.

Besondere Flanschtypen werden wie folgt behandelt:

Integrierter Flansch: Berechnung als äquivalenter Ring mit rechtwinkligem Querschnitt, Maße $b_F \cdot e_F$, Anschluss am Durchmesser d_E an eine äquivalente Schale mit konstanter Wanddicke e_E .

Blindflansch: Berechnung als äquivalenter Ring mit rechtwinkligem Querschnitt, Maße $b_F \cdot e_F$, Anschluss am Durchmesser $d_E = d_0$ an eine Platte mit konstanter Dicke e_0 . Diese kann in der Mitte eine Öffnung mit Durchmesser d_9 haben. Schließt sich ein kleines Rohr an die Öffnung an, wird dies nicht in der Berechnung berücksichtigt.

Losflansch: Berechnung als äquivalenter Ring mit rechtwinkligem Querschnitt, Maße $b_L \cdot e_L$, ohne Anschluss an eine Schale.

Gewindeflansch: Berechnung wie Losflansch mit Innendurchmesser gleich dem für die Kraftübertragung angenommenen Durchmesser, d. h. mittlerer Gewindedurchmesser.

Bund oder Bördel: Wird wie ein Integralfланш behandelt.

In den Bildern 4 bis 12 in EN 1591-1:2001 ist der Ring für die Berechnung schraffiert dargestellt.

4.2.2 Flanschring

4.2.2.1 Schraubenlöcher

Abstand zwischen Schrauben (Schraubenlochatstand):

$$p_B = \pi \cdot d_3 / n_B \quad (1)$$

Effektiver Durchmesser des Schraubenloches:

$$d_{5e} = d_5 \cdot \sqrt{d_5 / p_B} \quad (2)$$

Der Durchmesser von Sacklöchern wird wie folgt angenommen:

$$d_5 = d_{5t} \cdot l_{5t} / e_{Fb} \quad (3)$$

Effektiver Lochkreisdurchmesser:

$$d_{3e} = d_3 \cdot \left(1 - 2 / n_B^2\right) \quad (3)$$

ANMERKUNG 1 p_B und $\tilde{p}_B$ sind gleich, ebenso d_{3e} und $\tilde{d}_{3e}$.

ANMERKUNG 2 Die Gleichungen (1) bis (4) gelten nicht für Bunde oder Bördel.

4.2.2.2 Effektive Maße des Flanschrings

Die im Folgenden verwendete effektive Dicke e_F oder e_L ist die durchschnittliche Dicke des Flanschrings. Sie kann errechnet werden durch Division der Querschnittsfläche des Ringes A_F oder A_L (einschließlich Schraubenlöcher) durch die tatsächliche radiale Breite dieses Querschnittes.

Da es eine Vielzahl von Querschnittsgeometrien gibt, werden keine Formeln für die Berechnung von A_F oder A_L spezifischer Flanschttypen angegeben.

Integralflansch und Blindflansch (siehe Bilder 4 bis 9 in EN 1591-1:2001):

$$b_F = (d_4 - d_0) / 2 - d_{5e}; \quad d_F = (d_4 + d_0) / 2 \quad (5)$$

$$e_F = 2 \cdot A_F / (d_4 - d_0)$$

$$b_L = d_L = e_L = 0 \quad (6)$$

Losflansch mit Bund oder Bördel (siehe Bild 10 in EN 1591-1:2001):

Für den Bund oder Bördel:

$$b_F = (d_8 - d_0) / 2; \quad d_F = (d_8 + d_0) / 2 \quad (7)$$

$$e_F = 2 \cdot A_F / (d_8 - d_0)$$

Für den Losflansch:

$$b_L = (d_4 - d_6) / 2 - d_{5e}; \quad d_L = (d_4 + d_6) / 2 \quad (8)$$

$$e_L = 2 \cdot A_L / (d_4 - d_6)$$

4.2.3 Angeschlossene Schale

4.2.3.1 Flansch mit kegeligem Ansatz

Eine Zylinderschale (konstante Wanddicke e_s , mittlerer Durchmesser d_s) mit angeschlossenem kegeligem Ansatz wird wie eine äquivalente Zylinderschale mit effektiver Wanddicke e_E und effektivem mittlerem Durchmesser d_E behandelt:

$$e_E = e_1 \cdot \left\{ 1 + \frac{(\beta - 1) \cdot l_H}{(\beta / 3) \cdot \sqrt{d_1 \cdot e_1 + l_H}} \right\} \quad \beta = \frac{e_2}{e_1} \quad (9)$$

$$d_E = \{ \min (d_1 - e_1 + e_E; d_2 + e_2 - e_E) + \max (d_1 + e_1 - e_E; d_2 - e_2 + e_E) \} / 2 \quad (10)$$

4.2.3.2 Flansch ohne Ansatz

Bei einer direkt an einen Flanschring anschließenden Schale (zylindrisch, kegelig oder kugelig, konstante Wanddicke e_s , Winkel ϕ_s und Durchmesser d_s an der Verbindungsstelle zum Flansch) sind die effektiven Maße:

$$e_E = e_s; \quad d_E = d_s \quad (11)$$

Die Gleichungen (11) gelten nicht für Blindflansche mit mittig angeschlossenem kleinen Rohr. Hierfür gilt 4.2.3.3.

4.2.3.3 Blindflansch

Bei einem Blindflansch werden folgende effektive Maße verwendet:

$$e_E = 0; \quad d_E = d_0 \quad (12)$$

Die Gleichungen (12) gelten unabhängig von der Konstruktion des Blindflansches (ohne Öffnung, mit mittiger Öffnung mit oder ohne anschließendem kleinen Rohr).

4.2.3.4 Bund und Bördel

Die anzuwendenden Gleichungen sind in 4.2.3.1 oder 4.2.3.2 enthalten, abhängig davon, ob der Bund oder Bördel einen Ansatz hat.

4.2.4 Hebelarme

ANMERKUNG Im Falle einer Flachdichtung können die nachstehend angegebenen Parameter h_p und h_G nur errechnet werden nach Bestimmung von d_{Ge} , d. h. nachdem die Berechnungen in 4.4.3 durchgeführt wurden, und h_M kann nur errechnet werden, wenn d_{Me} für jeden Lastzustand bestimmt wurde.

4.2.4.1 Alle Flansche

$$h_p = \left[(d_{Ge} - d_E)^2 \cdot (2 \cdot d_{Ge} + d_E) / 6 + 2 \cdot e_p^2 \cdot d_F \right] / d_{Ge}^2 \quad (13)$$

Bei Blindflansch: $e_p = 0$.

Für eine praxisnahe Situation wird die folgende Hebelarm-Differenz festgelegt:

$$h_D = h_M - h_G = (d_{Me} - d_{Ge}) / 2 \quad (14)$$