

Dichtungsnachweise nach dem Stand der Technik

-

Sinnvoller, realistischer, technischer Nachweis der komplexen Dichtverbindung

Peter Thomsen

PETER / THOMSEN-INDUSTRIE-VERTRETUNG
VERTRIEBS- UND INGENIEURBÜRO

gegründet 1984

www.thomsen-bremen.de

info@thomsen-bremen.de

Themenübersicht

- **Vorstellung Referent**
- **Dichtverbindungen**
- **Betrachtung der diversen Flanschberechnungen**
 - **AD 2000-Merkblatt B7/B8**
 - **DIN EN 1591-1 / DIN EN 12516-2**
 - **VDI 2230-2**
 - **ASME Section VIII Div.1 App.2 und VIII Div.2 App.4.16**
 - **Finite-Elemente-Simulation**
- **Einflüsse auf die Flanschverbindung**
 - **Temperatur**
 - **Montage und Fügen**
 - **Setzverhalten der Dichtung**
- **Bewertung**

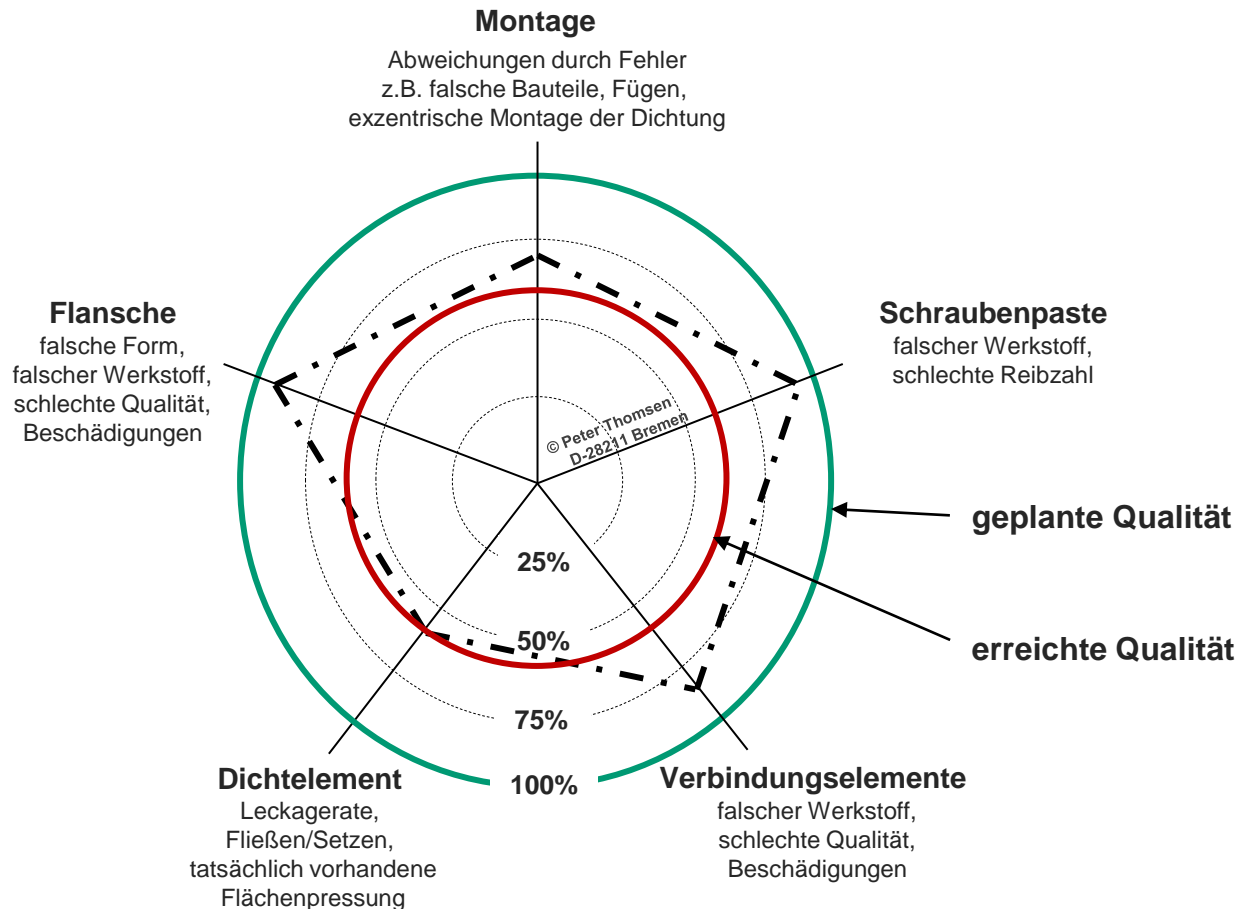
Vorstellung Referent

- **Jahrgang 1960, vertritt seit 1983 die Interessen deutscher Hersteller für Dichtungen, Schraubenbolzen, Berstscheiben und Armaturen in Norddeutschland**
- **Mitarbeit in Normenausschüssen beim DIN, EN, VDI und DVGW, sowie AGFW**
- **Neben Vorträgen zum Dichtungskolloquium und der Arbeit in der Normung macht er durch Schulungen beim Kunden, beim DVGW, dem GWI oder im Haus der Technik HDT, um die Anwender von Flanschverbindungen über die Komplexität dieses Dichtsystems zu Informieren. Durch Entwicklung von Flanschsyste men hat er einen Beitrag zur Verbesserung der Dichtheit, Montagefreundlichkeit, Betriebssicherheit und Kosteneffizienz geleistet.**
- **Autor der lizenzierten Übersetzung der ASME PCC-1-2010, des Dichtungsvademecum und 10 Schritte zur optimalen, auf Dauer technisch dichten Dichtverbindung**
- **Autor der Kolumne „Genauer betrachtet“ in der Fachzeitschrift DICHT! sowie weiterer Fachartikel**
- **Diverse technische Informationen zu Dicht- und Schraubverbindungen auf der Homepage**



Peter Thomsen
31.08.1960
technischer Kaufmann

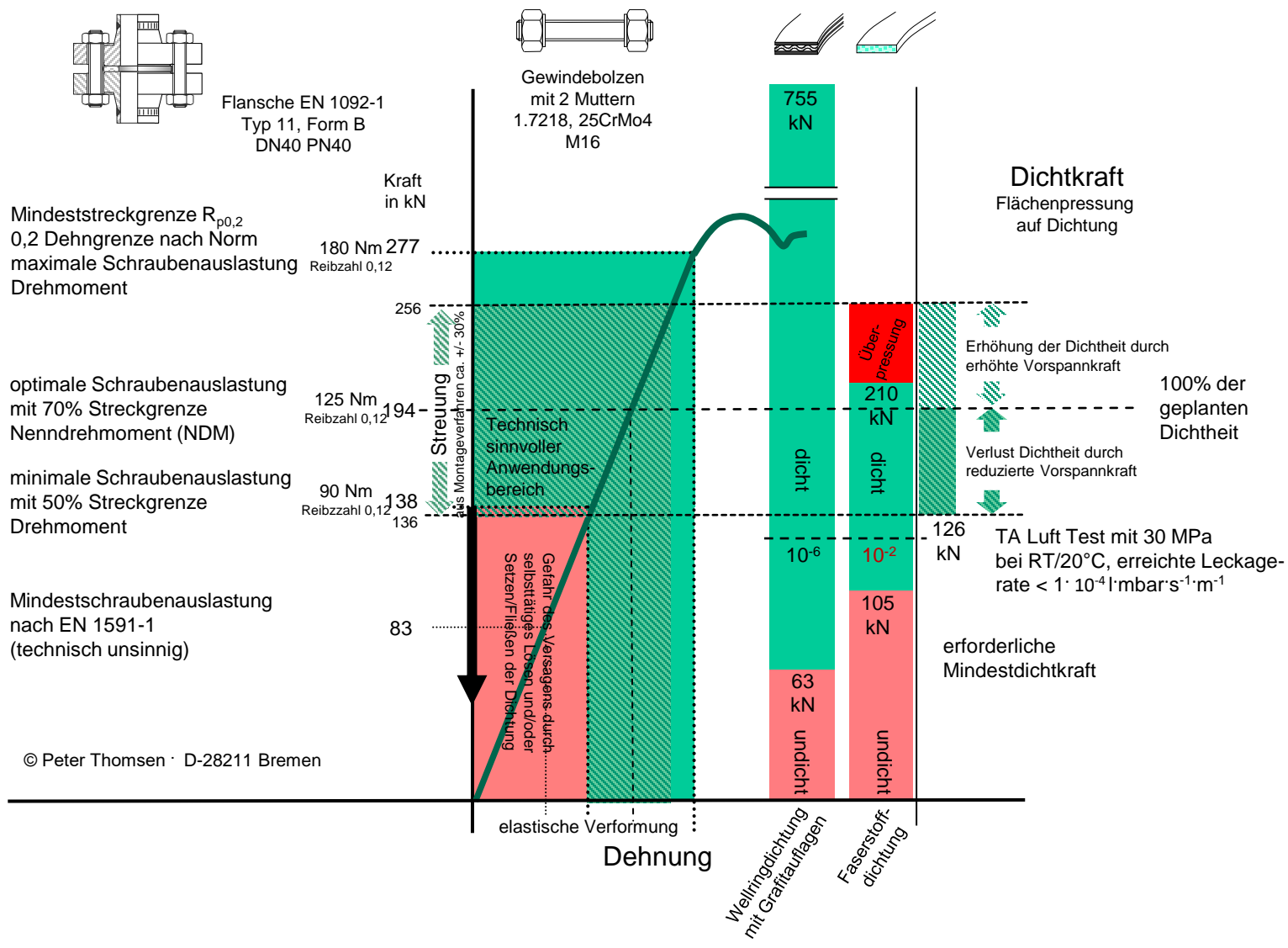
„Dichtverbindungen sind hoch komplexe Gebilde!“



Die niedrigste erreichte Qualität einer Komponente, hier z. B. das Dichtelement bestimmt die Gesamtqualität: „Die Kette ist nur so stark wie ihr schwächstes Glied!“

Dichtverbindungen

Flansche DN40 PN40, Faserstoff 2 mm und Wellringringdichtung 2,5 mm, Gewindebolzen 25CrMo4



Betrachtung diverser Flanschberechnungen

VDI 2230 Blatt 1:2015-11 Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen,
Tabelle 1. Übersicht über Schraubenverbindungen in Anlehnung an Blatt 2

© Peter Thomsen, D-28221 Bremen

Einschraubenverbindungen		Mehrschraubenverbindungen						Schraubenverbindungen
zentrisch oder exzentrisch		in einer Ebene	rotationssymmetrisch			symmetrisch	asymmetrisch	Schraubenachsen
Zylinder oder prismatischer Körper	Balken	Balken	Kreisplatte	Flansch mit Dichtring	Flansch mit Flächenauflage	rechteckige Mehrschraubenverbindung	Mehrschraubenverbindung	Geometrie in Ebene
								Geometrie in Ebene
								Belastung relevante Lasten
Axialkraft F_A Querkraft F_Q Betriebsmoment M_B	Axialkraft F_A Querkraft F_Q Moment in der Balkenhauptebene M_z	Axialkraft F_A Querkraft F_Q Moment in der Balkenhauptebene M_z	Innendruck p	Axialkraft F_A (Rohrkraft) Betriebsmoment M_B Innendruck p	Axialkraft F_A Torsionsmoment M_{tr} Betriebsmoment M_B	Axialkraft F_A Querkraft F_Q Torsionsmoment M_{tr} Betriebsmoment M_B	Axialkraft F_A Querkraft F_Q Torsionsmoment M_{tr} Betriebsmoment M_B	Belastung Kräfte und Momente
VDI 2230		bedingt nach VDI 2230		DIN EN 1591 AD 2000- Merkblatt ¹⁾	bedingt nach VDI 2230			
Balkentheorie mit Zusatzbedingungen			Plattentheorie		bedingt nach Ersatzmodellen	FEM	Berechnung	
Finite Elemente Methode (FEM)								

¹⁾ Das AD 2000-Regelwerk ist eine private Spezifikation und muss die grundlegenden Anforderungen der Richtlinie 2014/68/EU und der harmonisierten Normen umsetzen. Das AD-Regelwerk war eine anerkannte Regel der Technik, weil der Herausgeber die amtlich bestellte Sachverständigenorganisation gewesen ist.

Betrachtung diverser Flanschberechnungen

Flanschberechnungsverfahren und ihre Einsatzgrenzen

© Peter Thomsen, D-28211 Bremen

Norm	Dichtung		Prüfnorm Kennwerte	Nachweis			
	Kraft- haupt- schluss KHS	Kraft- neben- schluss KNS		Festigkeit	Dichtheit	TA Luft	Verfahrens- technik
EN 1591-1	X	-	EN 13555	X	X	X ¹⁾	-
CEN/TS 1591-3 ²⁾	-	X	-	X	X	X ¹⁾	-
KTA 3211.2	X	-	DIN 28091-1	X	X	X ¹⁾	-
	-	X	MPA/VBG ³⁾	X	X	X ¹⁾	-
AD 2000- Regelwerk	X	-	Merkblatt B 7	X	X ⁴⁾	-	-
EN 13445-3 Ab. 11	X	-	-	X	-	-	-
FEA Finite Elemente Analyse	X	X	EN 13555 + erweiterte Auswertung	X	X	X	X

¹⁾ nur in Verbindung mit Bauteileversuch nach VDI 2440 und 2200 und einer qualifizierten Montage

²⁾ Vornorm seit 2007

³⁾ VBG ist der Verband der Großkraftwerksbetreiber

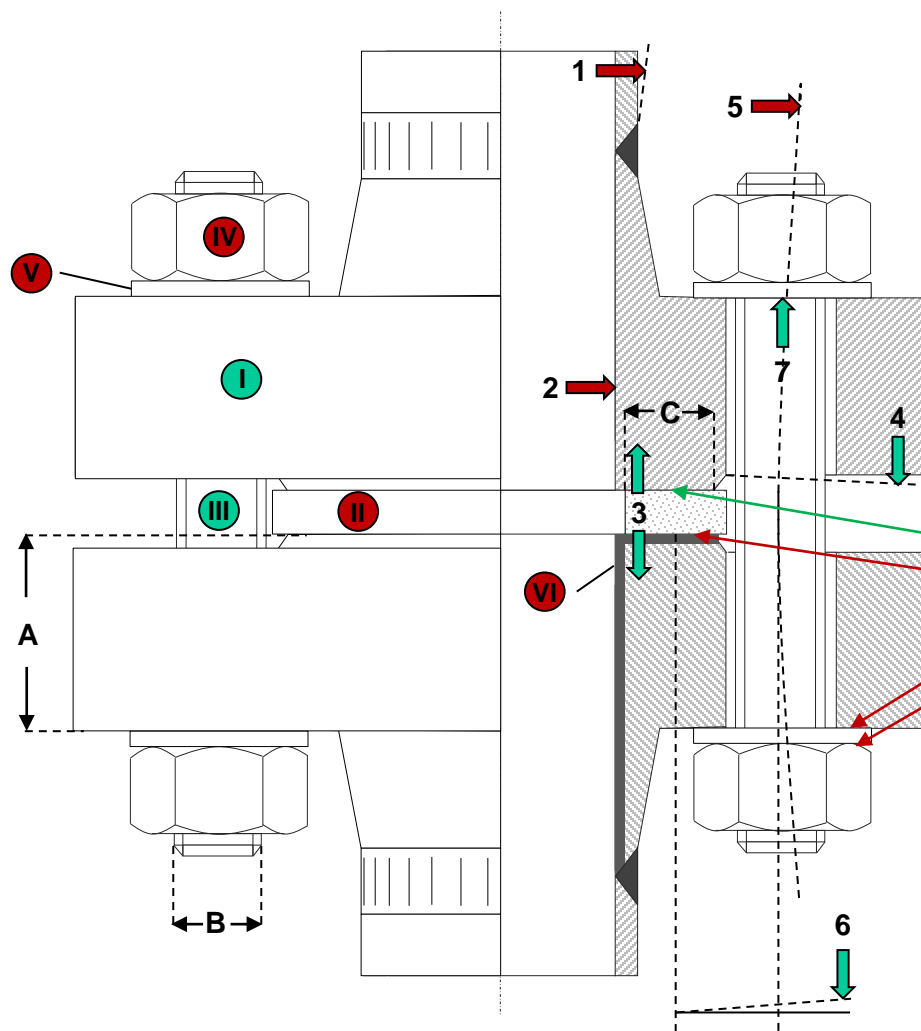
⁴⁾ nur in Verbindung mit EN 1591 (Ergänzung aus Vortrag von Manfred Schaaf, AMTEC, XVII Dichtungskolloquium)

Quelle: VDI 2290:2012-06, Tabelle 1, ergänzt und aktualisiert, Stand August 2018

Betrachtung diverser Flanschberechnungen

AD 2000-Merkblatt B7/B8 (+B0)

- reiner Festigkeitsnachweis -



- 1 Flanschbiegemoment aus Druck/Temperatur
- 2 Flanschaufweitung durch Druck/Temperatur
- 3 Druckkraft auf System
- 4 Flanschbiegung durch Schraubenvorspannkraft
- 5 Schraubenbiegung durch Flanschblattneigung
- 6 Hebelarm für Flanschblattneigung
- 7 Schraubenvorspannkraft

Montage
Prüfung
Betrieb

- A Flanschblattdicke
- B Schraubenabmessung
- C Dichtfläche

- ¹⁾ unrealistisch Fläche mittlerer Dichtungsdurchmesser
- ²⁾ unrealistisch immer Dichtungs- zu Schraubenmitte, er müsste am Dichtungsaußenrand liegen
- ³⁾ unrealistisch unabhängig von Flanschblattneigung

Dichtheitsnachweis

Kräfteverteilung gleichmäßig, unrealistisch
variabel, realistisch

Flächenpressung:

- Dichtung
- Bördel, Plattierung oder Auskleidung
- Unterlegscheibe (falls vorhanden)
- Mutternauflage

¹⁾ gemittelt ohne Berücksichtigung des Hebelarmes

Rohrkräfte

Torsion und/oder Biegemomente

Wärmeausdehnung

¹⁾ unrealistischer Ansatz, keine Berücksichtigung der angeschlossenen Schale

Bauteile/Bauteilefestigkeit:

- I Flansche
- II Dichtung
- III Schrauben
- IV Muttern
- V U-Scheiben (falls vorhanden)
- VI Plattierung oder Auskleidung (falls vorhanden)

¹⁾ Festgelegte Werte abweichend von Herstellerangaben

²⁾ Sicherheitsfaktor? Dehnschrauben = 1,5, Vollschachtschrauben = 1,8

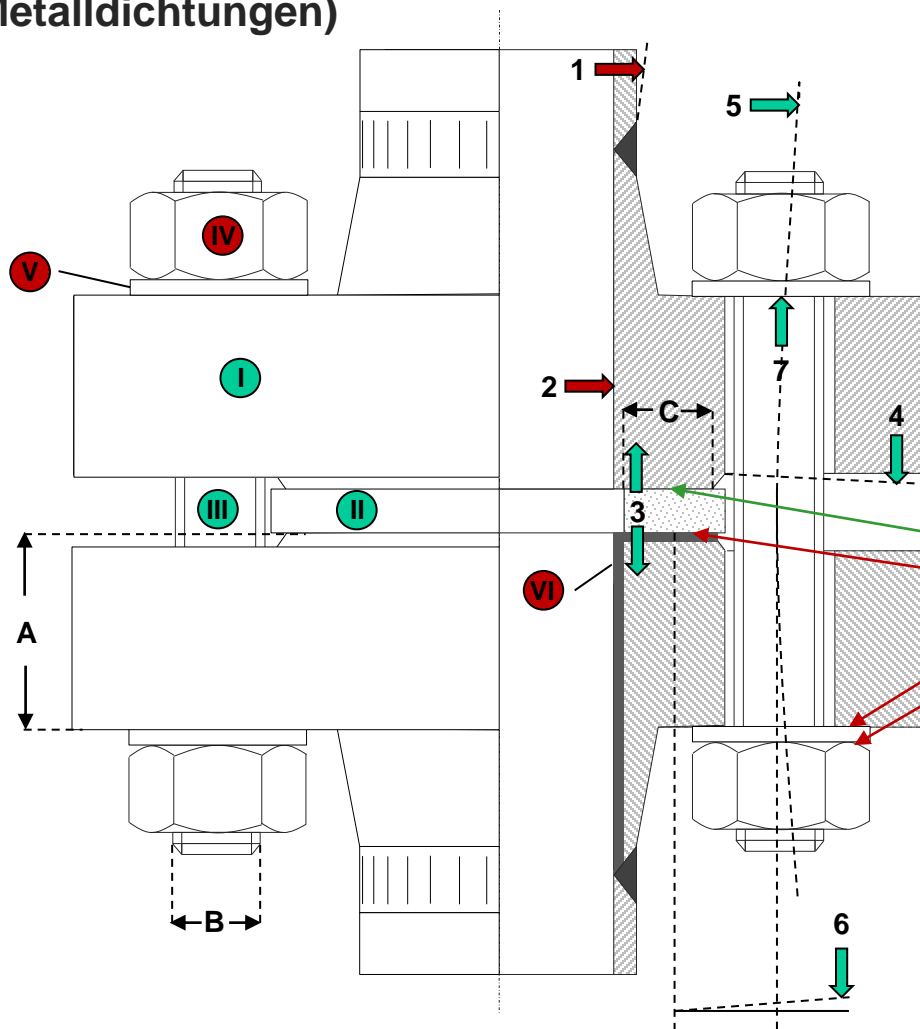
³⁾ Sonderzuschlag C5 für Betrieb nur für Vollschachtschrauben

nicht erfasst teilweise erfasst erfasst

Betrachtung diverser Flanschberechnungen

DIN EN 1591-1 (Flansche) / DIN EN 12516-2 (Armaturen)

(rechnen keine Apparateflansche, Probleme mit Metalldichtungen)



- 1 Flanschbiegemoment aus Druck/Temperatur
- 2 Flanschaufweitung durch Druck/Temperatur
- 3 Druckkraft auf System
- 4 Flanschbiegung durch Schraubenvorspannkraft
- 5 Schraubenbiegung durch Flanschblattneigung
- 6 Hebelarm für Flanschblattneigung
- 7 Schraubenvorspannkraft

Montage
Prüfung
Betrieb

- A Flanschblattdicke
- B Schraubenabmessung
- C Dichtfläche

Dichtheitsnachweis

Kräfteverteilung gleichmäßig, unrealistisch
variabel, realistisch

Flächenpressung:

- Dichtung
- Bördel, Plattierung oder Auskleidung
- Unterlegscheibe (falls vorhanden)
- Mutternauflage

Rohrkräfte

Torsion und/oder Biegemomente

Wärmeausdehnung

¹⁾ unrealistischer Ansatz, keine Berücksichtigung der angeschlossenen Schale

Bauteile/Bauteilefestigkeit:

- I Flansche
- II Dichtung
- Setzverhalten/Relaxation
- III Schrauben
- IV Muttern
- V U-Scheiben (falls vorhanden)
- VI Plattierung oder Auskleidung (falls vorhanden)

nicht erfasst teilweise erfasst erfasst

Betrachtung diverser Flanschberechnungen

DIN EN 1591-1 (rechnet keine Apparateflansche)

So wurde gerechnet:

- kein Klöpper-Boden
- kein Trennblech
- keine Flanschstützen für Ein- und Auslass
- keine Rohrbündelplatte
- nur ein Flansch mit Rücksprung
- keine Dichtung mit Mittelsteg (hätte 28 % mehr Dichtfläche)
- Dehnhülsen als Ersatz für Schraubenlängen



So wurde tatsächlich gebaut:

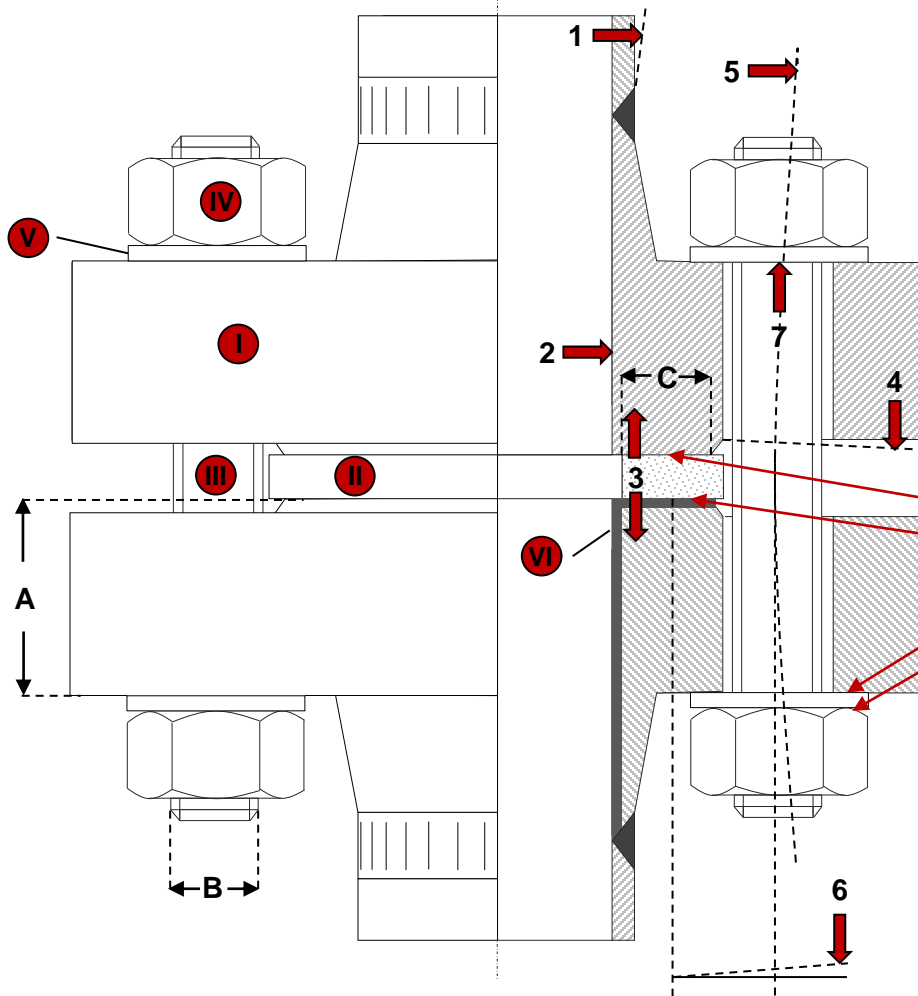


Dichtung oder Wahrheit?

Betrachtung diverser Flanschberechnungen

VDI 2230-2

(berechnet keine Flansche mit Dichtungen
im Kraft Hauptschluss, siehe Folie 6)



- 1 Flanschbiegemoment aus Druck/Temperatur
- 2 Flanschaufweitung durch Druck/Temperatur
- 3 Druckkraft auf System
- 4 Flanschbiegung durch Schraubenvorspannkraft
- 5 Schraubenbiegung durch Flanschblattneigung
- 6 Hebelarm für Flanschblattneigung
- 7 Schraubenvorspannkraft

Montage
Prüfung
Betrieb

- A Flanschblattdicke
- B Schraubenabmessung
- C Dichtfläche
- Dichtheitsnachweis**
- Kräfteverteilung** gleichmäßig, unrealistisch
- variabel, realistisch

Flächenpressung:

- Dichtung
- Bördel, Plattierung oder Auskleidung
- Unterlegscheibe (falls vorhanden)
- Mutternauflage

Rohrkräfte

- Torsion und/oder Biegemomente
- Wärmeausdehnung

Bauteile/Bauteilefestigkeit:

- I Flansche
- II Dichtung
- Setzverhalten/Relaxation
- III Schrauben
- IV Muttern
- V U-Scheiben (falls vorhanden)
- VI Plattierung oder Auskleidung (falls vorhanden)

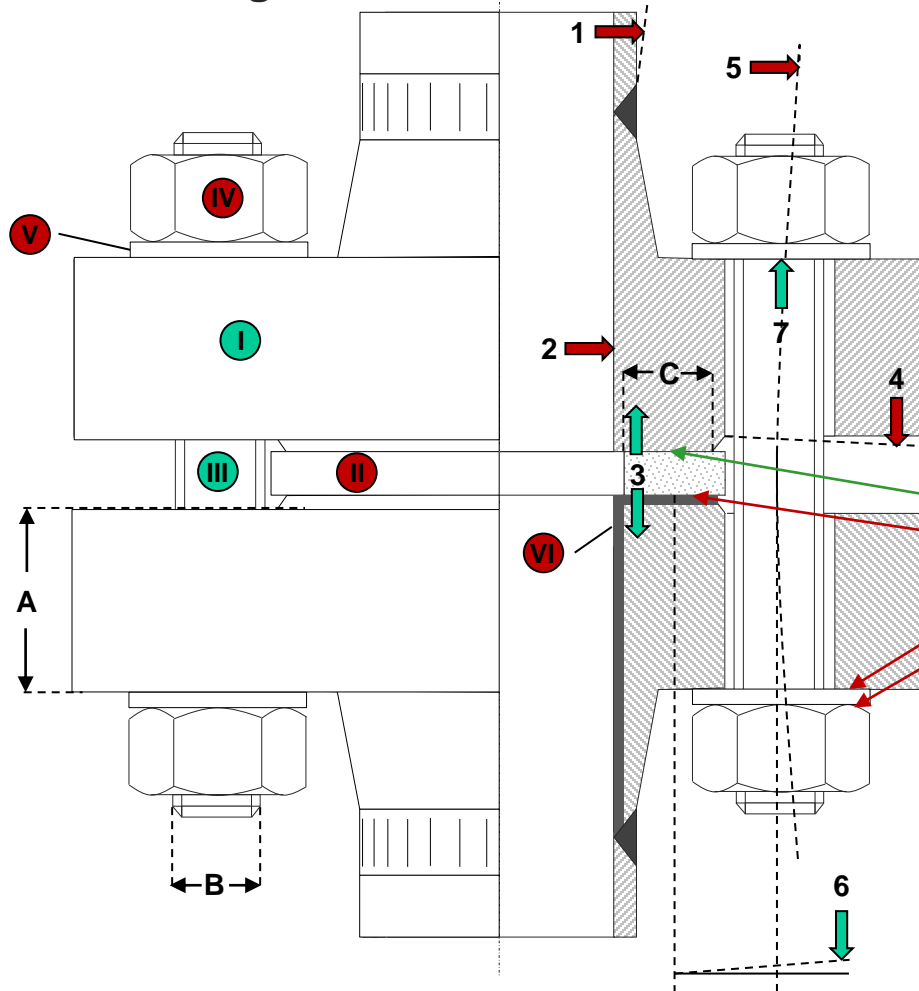
nicht erfasst teilweise erfasst erfasst

Betrachtung diverser Flanschberechnungen

ASME Section VIII Div.1 App.2

und VIII Div.2 App.4.16

- reiner Festigkeitsnachweis -



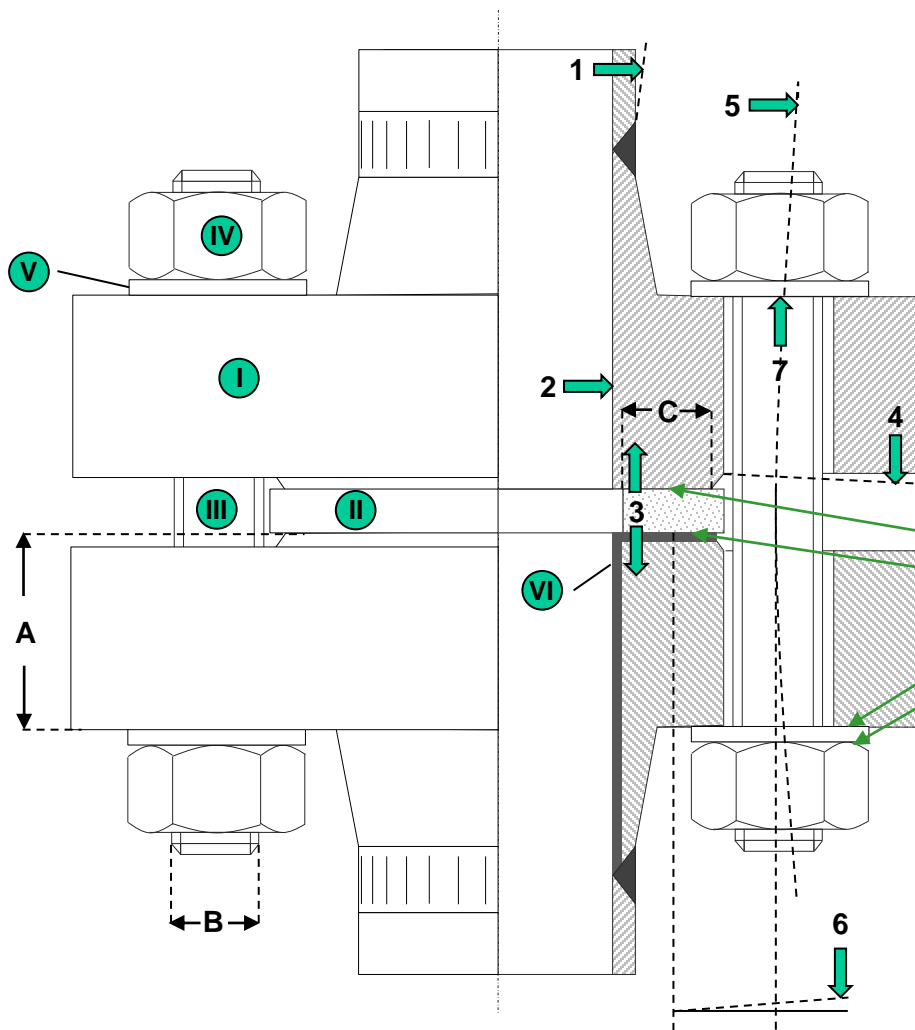
- 1 Flanschbiegemoment aus Druck/Temperatur
 - 2 Flanschaufweitung durch Druck/Temperatur
 - 3 Druckkraft auf System
 - 4 Flanschbiegung durch Schraubenvorspannkraft
 - 5 Schraubenbiegung durch Flanschblattneigung
 - 6 Hebelarm für Flanschblattneigung
 - 7 Schraubenvorspannkraft
 - Montage
 - Prüfung
 - Betrieb
- A Flanschblattdicke ohne Dichtleiste
 B Schraubenabmessung
 C Dichtfläche
- Dichtheitsnachweis**
- Kräfteverteilung** gleichmäßig, unrealistisch
 variabel, realistisch
- Flächenpressung:**
- Dichtung
 - Bördel, Plattierung oder Auskleidung
 - Unterlegscheibe (falls vorhanden)
 - Mutternauflage
- Rohrkräfte** 1)
- Torsion und/oder Biegemomente**
- Wärmeausdehnung**
- 1) unrealistischer Ansatz, keine Berücksichtigung der angeschlossenen Schale
- Bauteile/Bauteilefestigkeit:**
- I Flansche
 - II Dichtung
 - Setzverhalten/Relaxation
 - III Schrauben
 - IV Muttern
 - V U-Scheiben (falls vorhanden)
 - VI Plattierung oder Auskleidung (falls vorhanden)

nicht erfasst teilweise erfasst erfasst

Betrachtung diverser Flanschberechnungen

Finite-Elemente-Simulation

(numerische Berechnung)



- 1 Flanschbiegemoment aus Druck/Temperatur
- 2 Flanschaufweitung durch Druck/Temperatur
- 3 Druckkraft auf System
- 4 Flanschbiegung durch Schraubenvorspannkraft
- 5 Schraubenbiegung durch Flanschblattneigung
- 6 Hebelarm für Flanschblattneigung
- 7 Schraubenvorspannkraft

- Montage
- Prüfung
- Betrieb

- A Flanschblattdicke
- B Schraubenabmessung
- C Dichtfläche

Dichtheitsnachweis

- Kräfteverteilung gleichmäßig, unrealistisch
- variabel, realistisch

Flächenpressung:

- Dichtung
- Bördel, Plattierung oder Auskleidung
- Unterlegscheibe (falls vorhanden)
- Mutternauflage

Rohrkräfte

- Torsion und/oder Biegemomente
- Wärmeausdehnungen

Bauteile/Bauteilefestigkeit:

- I Flansche
- II Dichtung
- Setzverhalten/Relaxation
- III Schrauben
- IV Muttern
- V U-Scheiben (falls vorhanden)
- VI Plattierung oder Auskleidung (falls vorhanden)

□ nicht erfasst ■ teilweise erfasst ■ erfasst

Betrachtung diverser Flanschberechnungen

Vergleich der Berechnungen

Bauteile und Bauteilefestigkeit

Bauteile und Bauteilefestigkeit © Peter Thomsen, D-28211 Bremen	AD 2000 B7/B8	EN 1591-1	VDI 2230-2	ASME Sec. VIII	FEM- Simulation
Flansche	■	■	□	■	■
Dichtungen	◉	■	□	■	■
Setzverhalten der Dichtungen / Relaxation	□	■	□	□	■
Schrauben	◉	■	□	■	■
Muttern	□	□	□	□	■
Unterlegscheiben (falls vorhanden)	□	□	□	□	■
Plattierung oder Auskleidung (falls vorhanden)	□	□	□	□	■

□ nicht erfasst ◉ teilweise erfasst ■ erfasst

Betrachtung diverser Flanschberechnungen

Vergleich der Berechnungen

Flächenpressungen, Zusatzkräfte und Wärmeausdehnung

Flächenpressungen, Zusatzkräfte und Wärmeausdehnung © Peter Thomsen, D-28211 Bremen	AD 2000 B7/B8	EN 1591-1	VDI 2230-2	ASME Sec. VIII	FEM- Simulation
Dichtung	☉	■	□	■	■
Bördel, Plattierung oder Auskleidung	□	□	□	□	■
Unterlegscheibe (falls vorhanden)	□	□	□	□	■
Mutternauflage	□	□	□	□	■
Rohrkräfte	☉	☉	□	☉	■
Torsion und/oder Biegemomente	□	□	□	□	■
Wärmeausdehnung	□	□	□	□	■
Dichtheitsnachweis	□	■	□	□	■
Kräfteverteilung	☉	☉	□	☉	■

□ nicht erfasst ☉ teilweise erfasst ■ erfasst

Betrachtung diverser Flanschberechnungen

Vergleich der Berechnungen

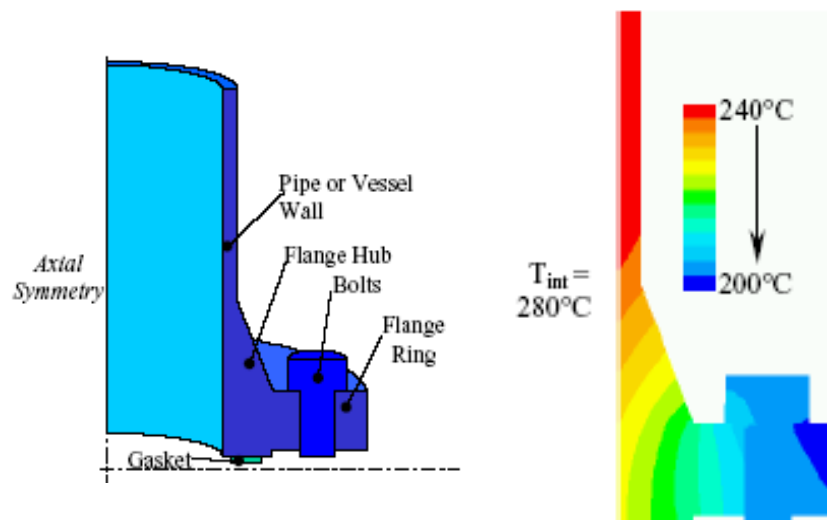
Abmessungen und Anforderungen an das Flanschsystem

Abmessungen und Anforderungen an das Flanschsystem © Peter Thomsen, D-28211 Bremen	AD 2000 B7/B8	EN 1591-1	VDI 2230-2	ASME Sec. VIII	FEM- Simulation
Flanschblattdicke	■	■	□	■	■
Schraubenabmessung	■	■	□	■	■
Dichtfläche	⊙	■	□	■	■
Flanschbiegemoment aus Druck/Temperatur	□	□	□	□	■
Flanschaufweitung aus Druck/Temperatur	□	□	□	□	■
Druckkraft auf das System	⊙	■	□	■	■
Flanschbiegung durch Schraubenkraft	⊙	⊙	□	□	■
Schraubenbiegung durch Flanschblattneigung	□	⊙	□	□	■
Hebelarm für Flanschblattneigung	⊙	⊙	□	■	■
Schraubenvorspannkraft	■	■	□	■	■

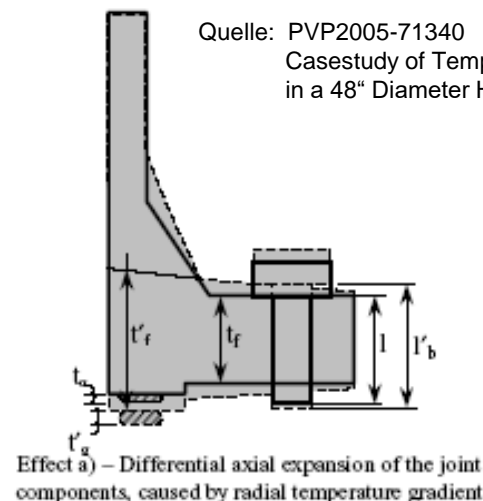
□ nicht erfasst ⊙ teilweise erfasst ■ erfasst

Einflüsse auf die Flanschverbindung

Verformung unter Temperatur und Druck

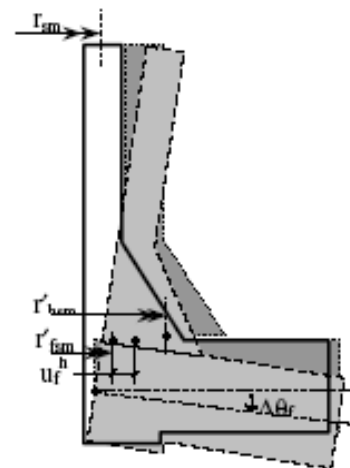


Quelle: PVP2005-71340
 Casestudy of Temperature-Analysis
 in a 48" Diameter Heat Exchanger Flange



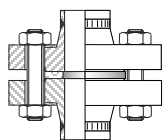
Die Flanschbiegung durch die Schrauben muss größer sein als das Biegen des Flansches durch die unterschiedliche Wärmeausdehnung, sonst kippt der Flansch weiter und die Schrauben werden entlastet.

Ist der Flansch nicht ausreichend vorgespannt wirkt der Innendruck ähnlich.

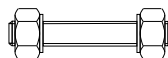


Einflüsse auf die Flanschverbindung

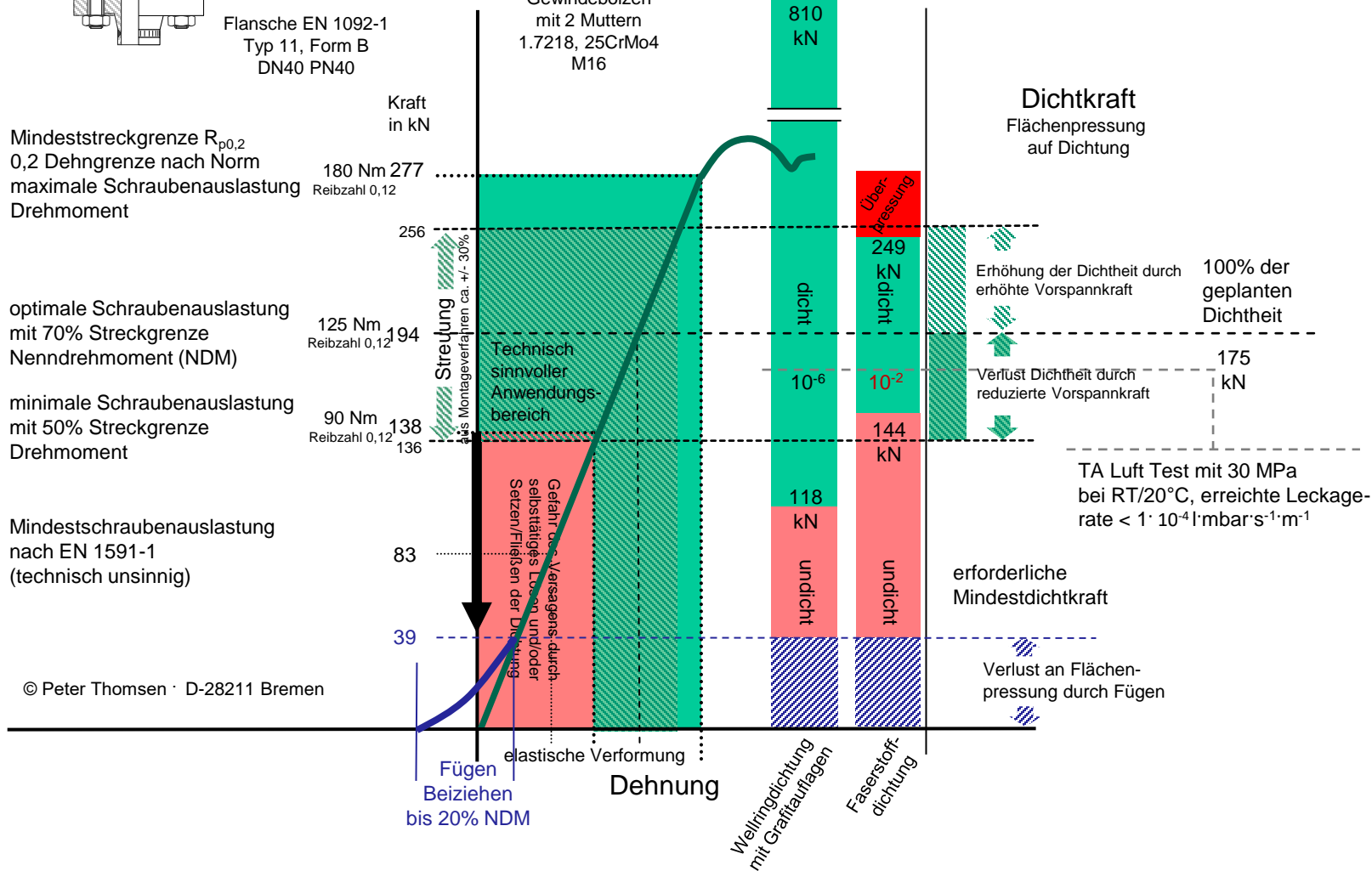
Vorspannkraftstreuung und Fügen



Flanche EN 1092-1
Typ 11, Form B
DN40 PN40

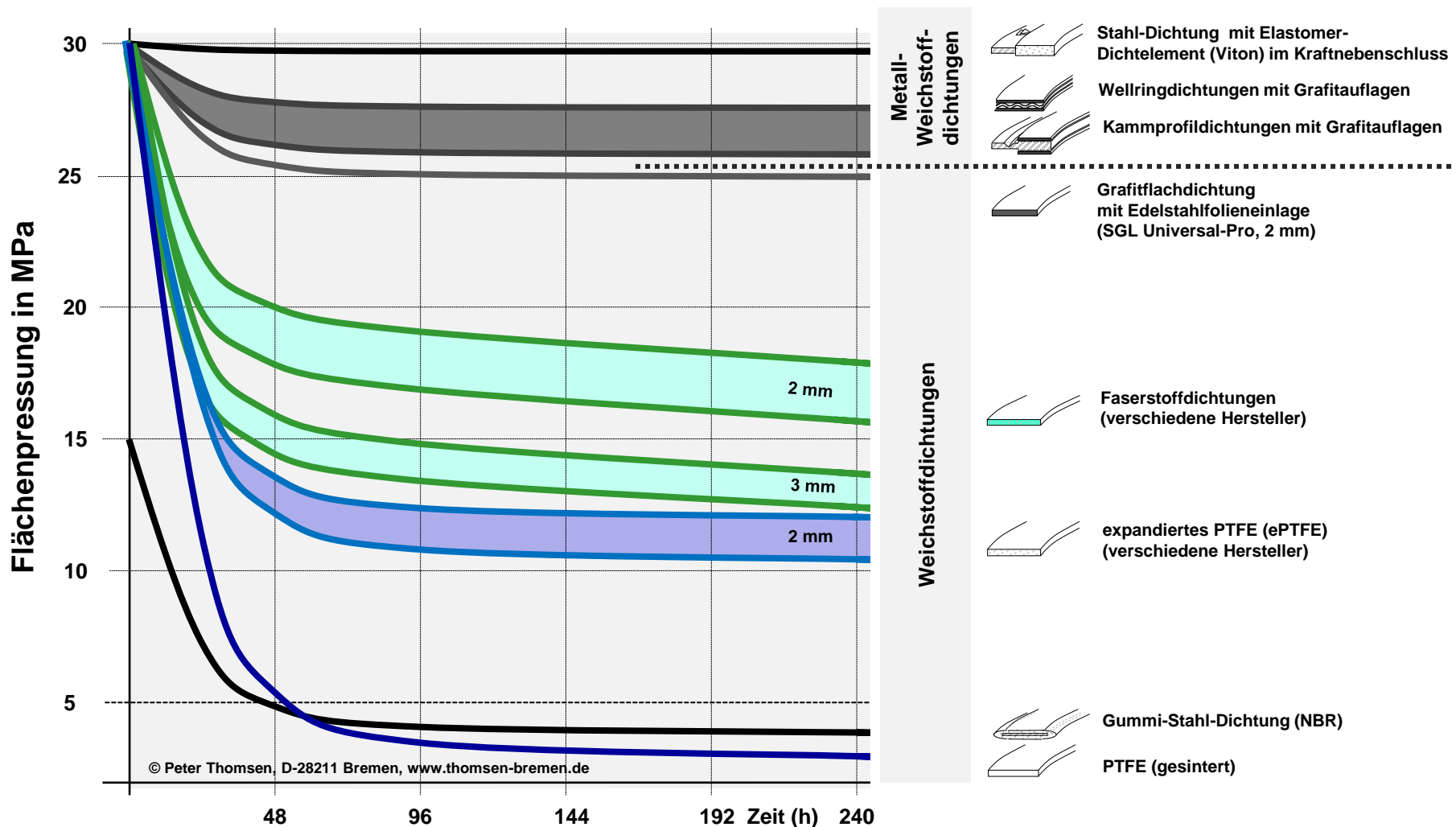


Gewindebolzen
mit 2 Muttern
1.7218, 25CrMo4
M16



Setzverhalten verschiedener Dichtungen

5 Temperaturzyklen a 48 Stunden mit 150 °C (Gummidichtungen 70°C) / Montageflächenpressung 30 MPa (GST NBR 15 MPa)



Flanschverbindungen mit Dichtungen im Krafthaupt- und Kraftnebenschluss sind für eine analytische Berechnung zu komplex.

Nur über Berechnungen nach der Finite Elemente Methode können die tatsächlichen Anforderungen an eine Flanschverbindung sinnvoll simuliert werden.

**Die Differenzen der analytischen und numerischen Berechnungsarten, besonders auch die Abweichungen der analytischen Berechnungen von der Realität, sind so groß, dass unbedingt weitere Untersuchungen zur Überprüfung einer sinnvollen Anwendung der
DIN EN 1591-1:2014-04 gemacht werden müssen.**

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**