

ASME PCC-1 Appendix O – Dichtheitsnachweis im ASME-Code

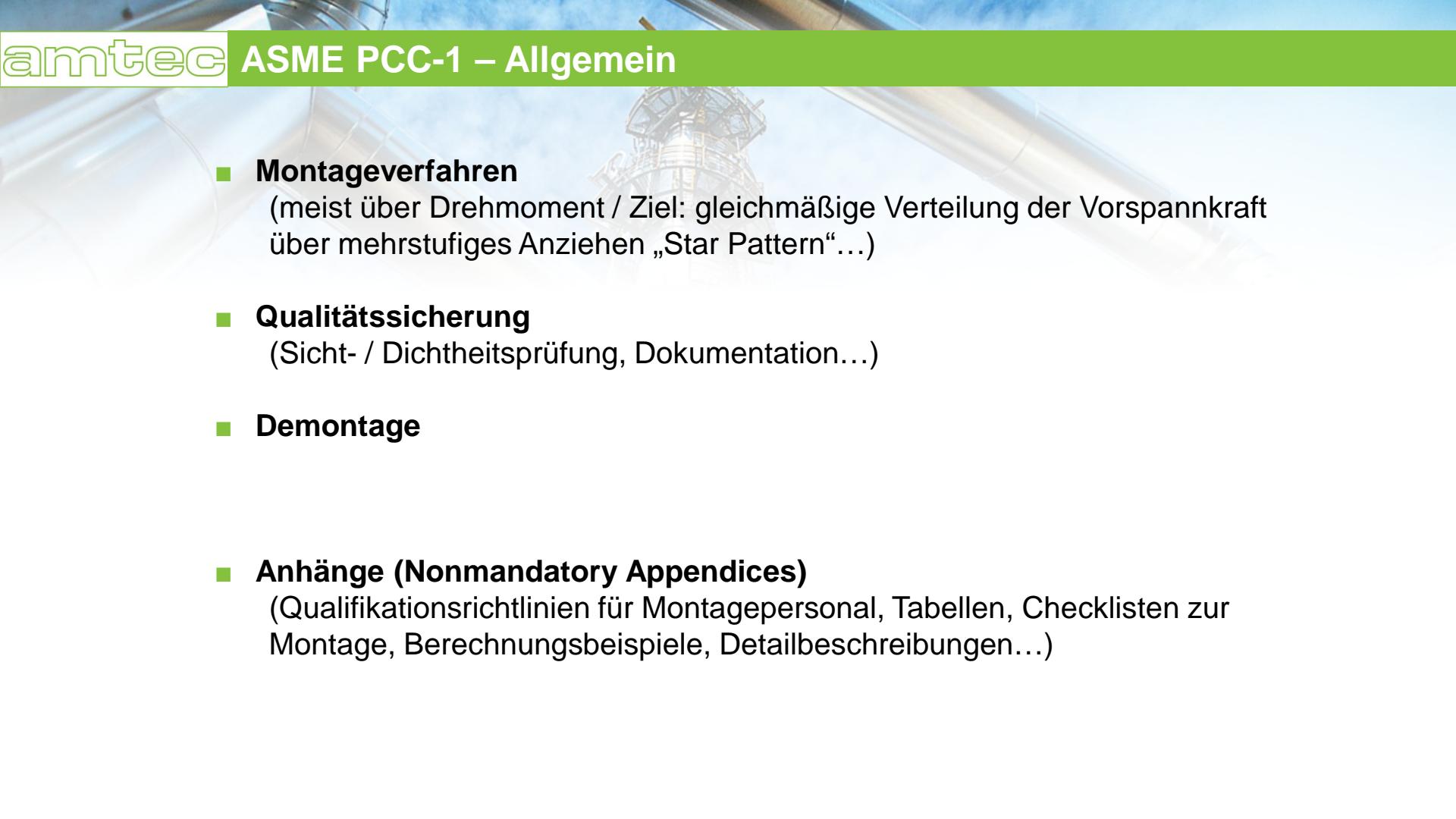
Stephan Schöckle

amtec

IDT | SGL Symposium Dichtungstechnik
11. November 2025

- ASME PCC-1
- Appendix O
- Dichtungskennwerte
- Berechnungsbeispiel
- Zusammenfassung

- „**Guidelines for Pressure Boundary Bolted Flange Joint Assembly**“
American Society of Mechanical Engineers (ASME)
 - Gilt für Flanschverbindungen, die Teil von Drucksystemen sind
(z. B. Rohrleitungen, Druckbehälter, Wärmetauscher)
 - Leitlinie für bewährte Praxis („Best Practice“)
- **Schulung und Qualifikation**
(geschulte Monteure „Bolting Assembler“-Appendix A...)
- **Bauteilanforderungen**
(Rauheiten, Materialauswahl-/ Kompatibilität, Reinigung, Schmiermittel...)
- **Vorbereitung der Montage**
(Sichtprüfung, Ausrichtung, Schmierung...)

- 
- **Montageverfahren**
(meist über Drehmoment / Ziel: gleichmäßige Verteilung der Vorspannkraft über mehrstufiges Anziehen „Star Pattern“...)
 - **Qualitätssicherung**
(Sicht- / Dichtheitsprüfung, Dokumentation...)
 - **Demontage**

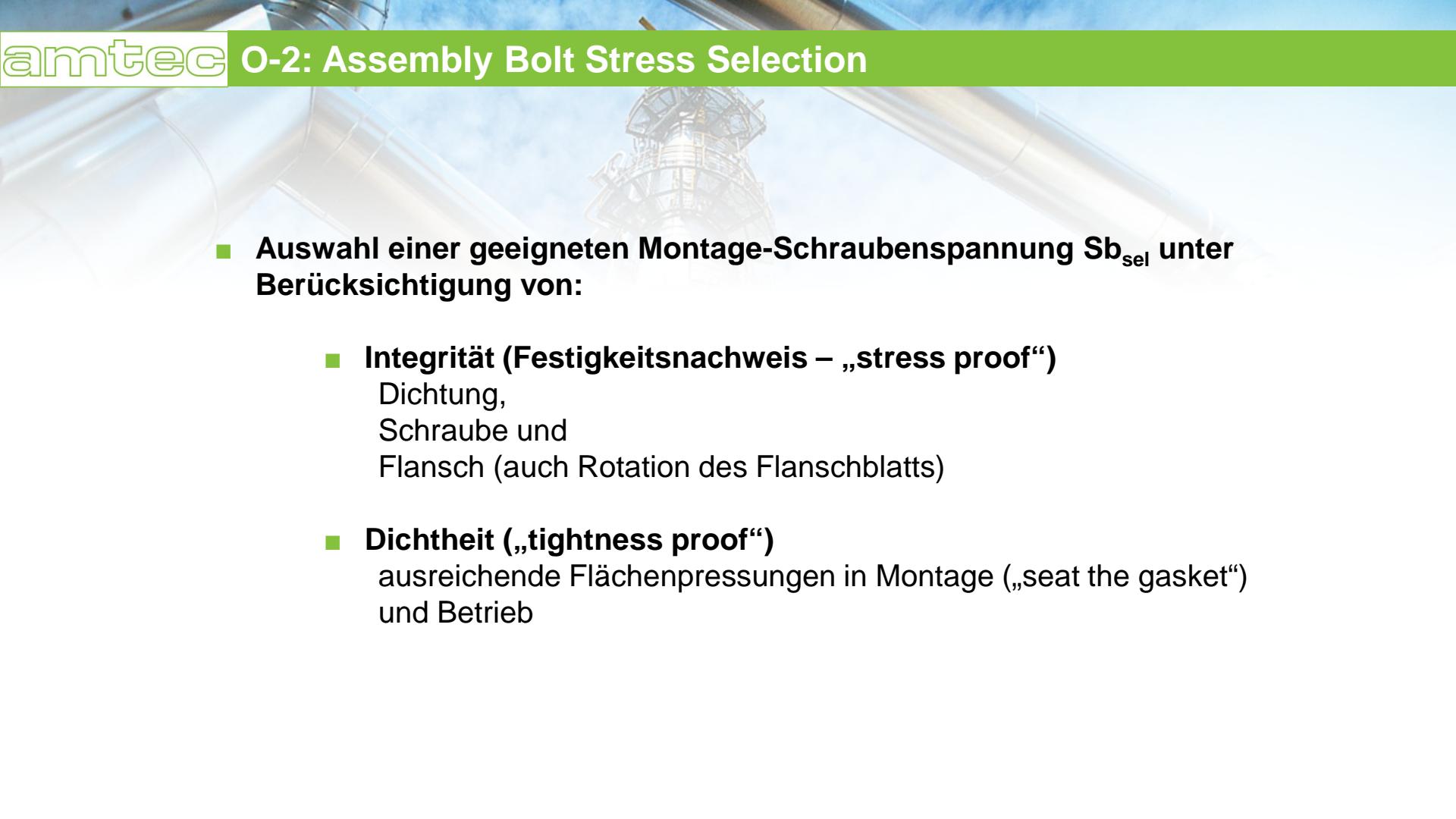
 - **Anhänge (Nonmandatory Appendices)**
(Qualifikationsrichtlinien für Montagepersonal, Tabellen, Checklisten zur Montage, Berechnungsbeispiele, Detailbeschreibungen...)

- ASME PCC-1
- Appendix O
- Dichtungskennwerte
- Berechnungsbeispiel
- Zusammenfassung

- Anleitung zur Ermittlung einer geeigneten Montageschraubenspannung
 - Fokus auf Dichtungsflächenpressung (Zielwert)
- a.) Einfache Vorgehensweise („Simple Approach“)
- b.) Komplexerer Ansatz („Joint Component Approach“ - Betrachtung aller Komponenten und zusätzliche Einflussfaktoren, z.B. Dichtungsrelaxation)
Zustand der Verbindungskomponenten muss innerhalb akzeptabler Grenzen und verbleibende Dichtungsflächenpressung über Grenzwert liegen

Annahmen:

- Kriech-/Relaxation der Dichtung sorgt dafür, dass die Schraubenspannung im Betrieb nicht zunimmt
- Duktile Werkstoffe werden verwendet

- 
- Auswahl einer geeigneten Montage-Schraubenspannung $S_{b_{sel}}$ unter Berücksichtigung von:
 - Integrität (Festigkeitsnachweis – „stress proof“)
Dichtung,
Schraube und
Flansch (auch Rotation des Flanschblatts)
 - Dichtheit („tightness proof“)
ausreichende Flächenpressungen in Montage („seat the gasket“)
und Betrieb

$$S_{b,sel} = S_{gT} \cdot \frac{A_G}{n_B \cdot A_B} \quad \rightarrow \quad T = \frac{S_{b,sel} \cdot K \cdot A_B \cdot \phi_B}{1,000}$$

$S_{b,sel}$	selected assembly bolt stress	[MPa]	T	assembly bolt torque	[Nm]
S_{gT}	target assembly gasket stress	[MPa]	K	nut factor	[-]
A_G	gasket area	[mm ²]			
n_B	number of bolts	[-]			
A_B	bolt root area	[mm ²]			

- vereinfachter Ansatz für „unkritische“ Standard-Verbindungen
- Zielflächenpressung S_{gT} in der Montage für den ausgewählten Dichtungstyp als „Minimalanforderung“
- Bei Bedarf: Erweiterung auf den “Joint Component Approach” um die Grenzen für die verwendeten Bauteile zu berücksichtigen.

- erweiterter Ansatz mit zusätzlicher Berücksichtigung („selected by the user“) von Festigkeitsgrenzen:
 - **S_b_{\max} maximale Schraubenspannung**
 - Vermeidung von Überbeanspruchung
 - (typically: 40-70 % $R_{p0,2 \text{ RT}}$)
 - **S_b_{\min} minimale Schraubenspannung**
 - Vermeidung von losen Schrauben → „self loosening“
 - (typically: 140 – 245 MPa)
 - **S_f_{\max} maximale Flanschspannung**
 - Vermeidung von Überbeanspruchung
 - Abhängig vom Flanschtyp und Werkstoff
 - Grenzen sollen bestimmt werden mittels (WRC Bulletin 538)
 - O-5.1 Elastic Analysis
 - O-5.2 FEM-Analysis (elastisch-plastisch nonlinear)

$$Sb_{sel} = Sg_T \cdot \frac{A_G}{n_B \cdot A_B}$$



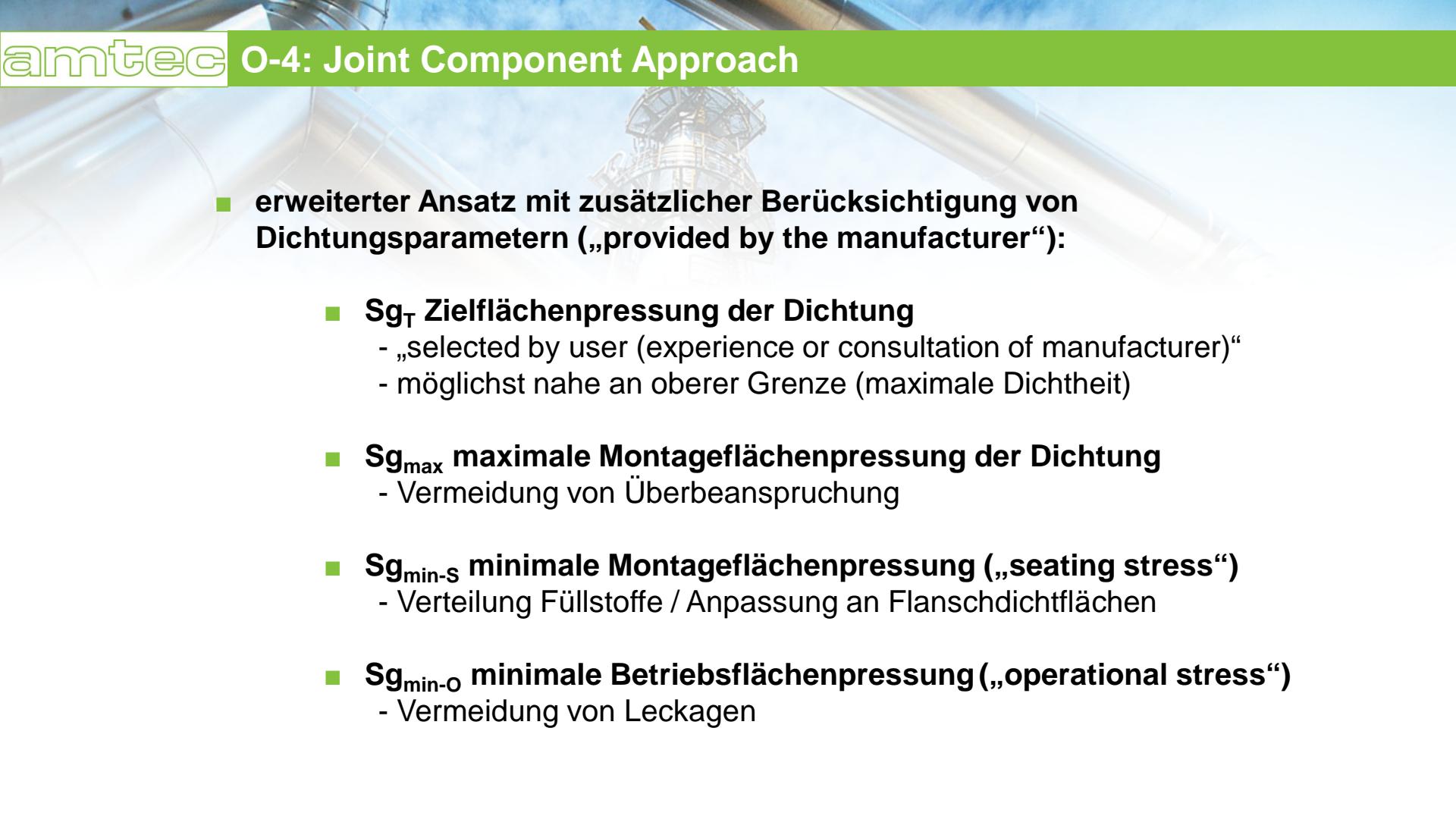
$$T = \frac{Sb_{sel} \cdot K \cdot A_B \cdot \phi_B}{1,000}$$



$$Sb_{sel} = \min(Sb_{sel}; Sb_{max})$$

$$Sb_{sel} = \min(Sb_{sel}; Sf_{max})$$

$$Sb_{sel} = \max(Sb_{sel}; Sb_{min})$$

- 
- erweiterter Ansatz mit zusätzlicher Berücksichtigung von Dichtungsparametern („provided by the manufacturer“):
 - **Sg_T** Zielflächenpressung der Dichtung
 - „selected by user (experience or consultation of manufacturer)“
 - möglichst nahe an oberer Grenze (maximale Dichtheit)
 - **Sg_{max}** maximale Montageflächenpressung der Dichtung
 - Vermeidung von Überbeanspruchung
 - **Sg_{min-S}** minimale Montageflächenpressung („seating stress“)
 - Verteilung Füllstoffe / Anpassung an Flanschdichtflächen
 - **Sg_{min-O}** minimale Betriebsflächenpressung („operational stress“)
 - Vermeidung von Leckagen

- erweiterter Ansatz mit zusätzlicher Berücksichtigung von Dichtungsparametern („provided by the manufacturer“):
 - **ϕ_g Dichtungsrelaxation**
 - default: 0.7 (wenn keine Daten vorhanden)
 - **θ_g maximal erlaubte Flanschrotation (pro Seite)**
 - derzeit kein Standard zur Ermittlung vorhanden
 - typical limits: 0.3 deg (ePTFE) bis 1.0 deg (Metalldichtungen mit Grafit)

$$Sb_{sel} = Sg_T \cdot \frac{A_G}{n_B \cdot A_B}$$



$$T = \frac{Sb_{sel} \cdot K \cdot A_B \cdot \phi_B}{1,000}$$

$$Sb_{sel} = \min(Sb_{sel}; Sb_{max})$$

$$Sb_{sel} = \min(Sb_{sel}; Sf_{max})$$

$$Sb_{sel} = \max(Sb_{sel}; Sb_{min})$$

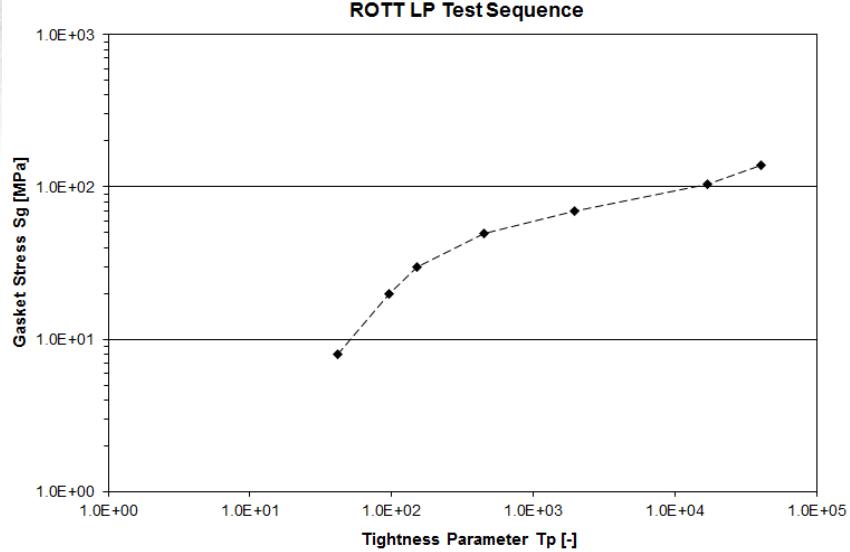
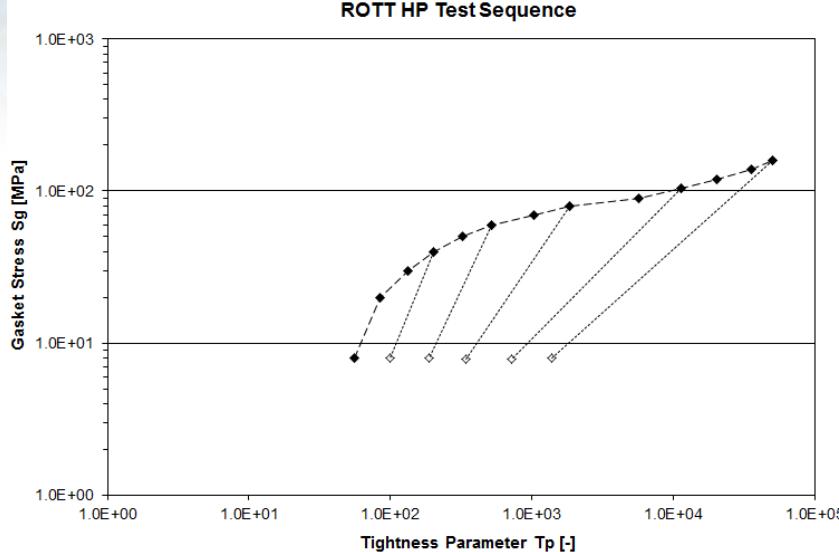
$$Sb_{sel} \geq Sg_{min-s} \cdot \frac{A_G}{n_B \cdot A_B}$$

$$Sb_{sel} \geq \frac{Sg_{min-o} \cdot A_G + \frac{\pi}{4} \cdot P_{max} \cdot G_{ID}^2}{\phi_G \cdot n_B \cdot A_B}$$

$$Sb_{sel} \leq Sg_{max} \cdot \frac{A_G}{n_B \cdot A_B}$$

$$Sb_{sel} \leq Sf_{max} \cdot \frac{\theta g_{max}}{\theta f_{max}}$$

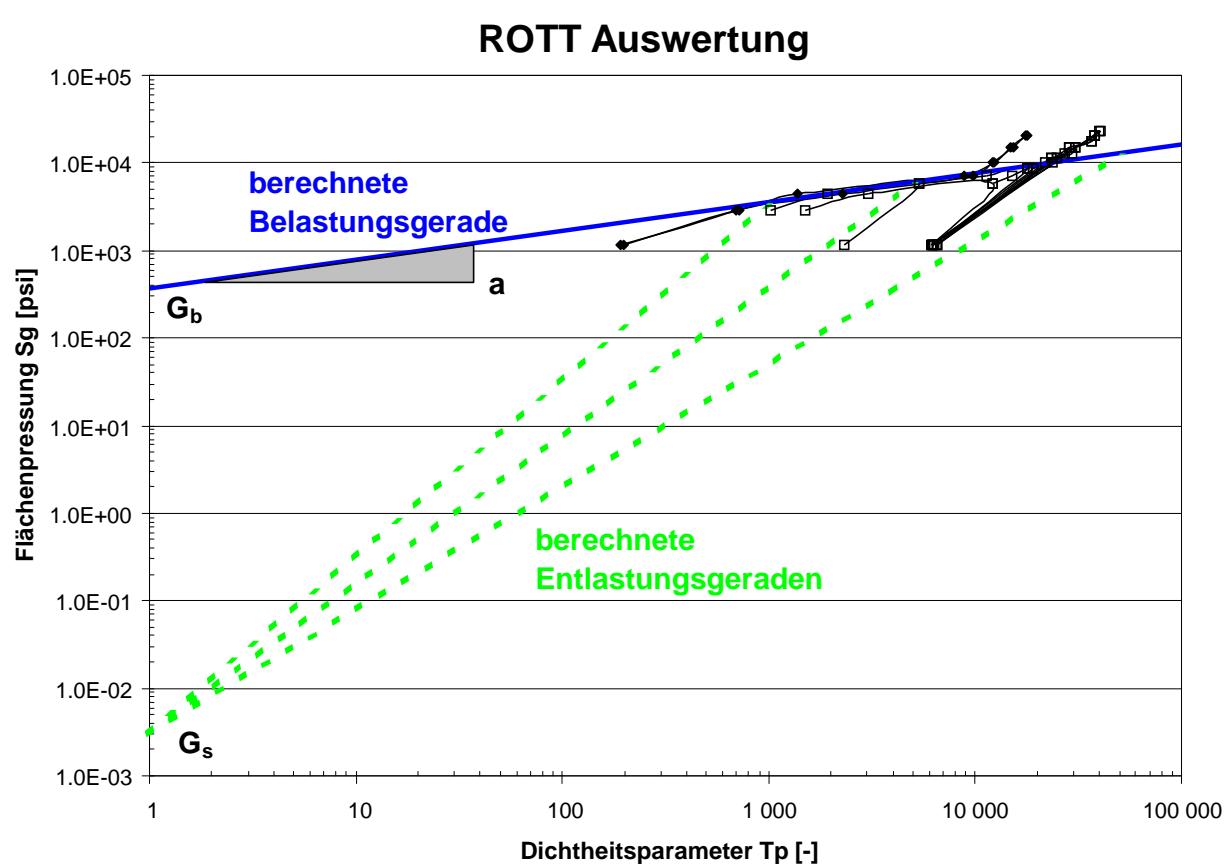
- ASME PCC-1
- Appendix O
- **Dichtungskennwerte**
- Berechnungsbeispiel
- Zusammenfassung



nach ASTM F2836-18 (2024):

- **HP („high pressure test sequence“-Part B)**
Prüfdruck 60 bar mit Entlastungen
- **LP („low pressure test sequence“-Part A)**
Prüfdruck 20 bar ohne Entlastungen

$$T_p = \frac{P}{P^*} \cdot \left(\frac{L_{rm}^*}{L_{rm}} \right)^{0.5}$$



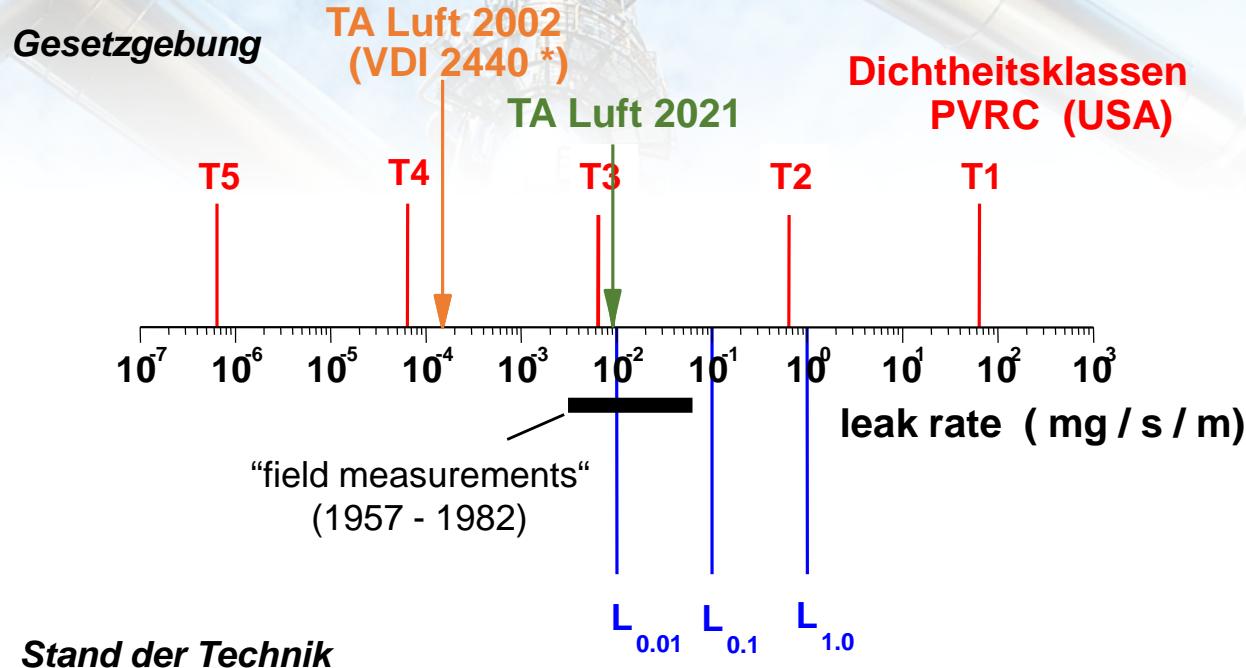
gasket constants:

- **G_b (Belastung):** Schnittpunkt mit $T_p=1$
- **a (Belastung):** Steigung der errechneten Belastungsgeraden
- **G_s (Entlastung):** Schnittpunkt mit $T_p=1$

Verformungseigenschaften		
$Q_{Smax}(RT)$	MPa	Maximal zulässige Flächenpressung bei RT
$Q_{Smax}(T)$	MPa	Maximal zulässige Flächenpressung bei T
E_G	MPa	Ersatzelastizitätsmodul
P_{QR}	-	Kriech-/Relaxationsfaktor
Abdichteigenschaften		
$Q_{min(L)}$	MPa	Mindestflächenpressung der Dichtung für die Dichtheitsklasse L im Montagezustand
$Q_{Smin(L)}$	MPa	Mindestflächenpressung der Dichtung für die Dichtheitsklasse L im Betriebszustand
Zusätzliche Parameter		
μ_G	-	Reibfaktor zwischen Dichtung und Flanschdichtfläche zur Berücksichtigung von Querkräften und Torsionsmomenten

Sg_{max}
 -
 ϕ_g

Sg_{min-S}
 Sg_{min-O}



Dichtheitsklassen nach
DIN 28090 und EN 13555

*) Bauteilversuch:
Flanschpaar PN40/DN40
mit 1 bar Prüfdruck
(nach VDI 2200)

- ASME PCC-1
- Appendix O
- Dichtungskennwerte
- Berechnungsbeispiel
- Zusammenfassung

Auslegung

Auslegungsdruck
Auslegungstemperatur

P_0	5.12	MPa
T_0	20.00	°C

Flansch

Flanschtyp	6 - Integral-Type Flange - Weldneck - mit Hub		
Außendurchmesser	A	210.00	mm
Innendurchmesser	B	84.68	mm
Flanschdicke	t	27.00	mm
Lochkreisdurchmesser	C	168.30	mm
Höhe kon. Ansatz	h	51.00	mm
Rohwanddicke	g_0	2.11	mm
Dicke konischer Ansatz	g_1	16.16	mm
Dichtflächentyp	1a B - glatt, mit Dichtleiste		
Innendurchmesser Dichtleiste	d_{G1}	84.68	mm
Außendurchmesser Dichtleiste	d_{G2}	130.00	mm

Werkstoff

Werkstoffbezeichnung/-nummer	A105 (K03504, Carbon Steel)		
Regelwerk	Section II/Part D:2011		
0.2% - Dehngrenze	$R_{p0,2T}$	248	MPa
E-Modul	E_F	202350	MPa
Max. zul. Einzelflanschverformung für das Dichtungs	S_f_{max}	430	MPa
Flanschrotation bei max. Schraubenspannung (S_f_{max})	θf_{max}	0.23	°

Dichtung

Dichtungsform	Spiraldichtung		
Innendurchmesser	$G_{I,D}$	101.60	mm
Außendurchmesser	$G_{O,D}$	120.70	mm
Dichtungshöhe	T	3.00	mm
Dichtungshersteller	IDT Industrie- und Dichtungstechnik GmbH		
Dichtungsbezeichnung	IDT Spiral Wound Gasket, WS 1.4541/Graphite/St37, SD10, 4.5 mm, Rev. 02		

Werkstoff

Gültigkeitsbereich
Quelle Dichtungskennwerte
ESAdatas.org - ID: 1111226

Ziel-Dichtungsflächenpressung

Sg_T	33	MPa
θg_{max}	1.00	°

Maximal zulässige Flanschverformung (Rotation) für

Sg_{min-S}	33	MPa
Sg_{max}	300	MPa

Minimale Flächenpressung

Sg_{min-O}	33	MPa
φg	0.96	MPa

Maximale Flächenpressung

Kriechfaktor

Schrauben

Schraubenart	Starrschraube		
Norm	ANSI 18.2.1:1972		
Gewinde	$3/4"$		
Gewindesteigung	p_t	2.54	mm
Nenndurchmesser	d_{B0}	19.05	mm
Kerndurchmesser	d_{B3}	16.30	mm
Flankendurchmesser	d_{B2}	17.04	mm
Schaftdurchmesser	d_{BS}	16.30	mm
Anzahl Schrauben	n_B	8	-

Werkstoff

Werkstoffbezeichnung/-nummer	A193 B7M (G41400, 1Cr-1/5Mo)		
Regelwerk	Section II/Part D:2011		
0.2% - Dehngrenze	$R_{p0,2T}$	552	MPa
Untere Grenze		30	%
Obere Grenze		70	%
Min. Schraubenspannung	S_b_{min}	242	MPa
Max. Schraubenspannung	S_b_{max}	517	MPa

Montageverfahren

Bezeichnung	Drehmomentschlüssel = Schraubenschlüssel mit Drehmoment-Messung		
Gewindereibungskoeffizient	μ_t	0.160	-
K-Faktor		0.2	

**Gasket Characteristics EN**

published on www.ESAD

Minimum required gasket stress in assembly Q_{min(L)}

L / mg/m/s	10^0		10^{-1}		$Q_{min(L)}$	10^{-2}
p / bar	80	160	80	160	80	160
$Q_{min(L)}$ / MPa	10	40	14	40	33	50

[Ergebnisse 1](#) [Ergebnisse 2](#) [Zwischenergebnisse 1](#) [Zwischenergebnisse 2](#)**Ausgaben**

Schritt 1 O-1: Ziel-Schraubenspannung Sbsel festlegen

$$S_{bsel} = S_{gT} * (A_g/A_{bnb})$$

65.9 [MPa]

Schritt 2 O-4: Oberen Grenzwert der Schraubenspannung Sbsel

$$S_{bsel} = \min(S_{bsel}, S_{bmax})$$

65.9 [MPa]

Schritt 3 O-5: Unteren Grenzwert der Schraubenspannung Sbsel

$$S_{bsel} = \max(S_{bsel}, S_{bmin})$$

242.0 [MPa]

30 % $R_{p0.2}$

Schritt 4 O-6: Flansch-Grenzwert der Schraubenspannung Sbsel

$$S_{bsel} = \min(S_{bsel}, S_{fmax})$$

242.0 [MPa]

Schritt 5 O-7: Wurde die notwendige Montagepressung auf die Dichtung erreicht? $S_{bsel} \geq S_{gmin} \cdot S * (A_g/A_{bnb})$

ok

Schritt 6 O-8: Bleibt die Dichtungsflächenpressung im Betrieb erhalten? $S_{bsel} \geq (S_{gmin} \cdot O_{Ag} + (n/4)P_{max}G_1D_3^2) / (\phi g A_{bnb})$

ok

Schritt 7 O-9: Wird die maximale zulässige Dichtungsflächenpressung erreicht?

$$S_{bsel} \leq S_{gmax}(A_g/A_{bnb})$$

ok

Schritt 8 O-10: Wird die zulässige Flanschverformung überschritten?

$$S_{bsel} \leq S_{fmax}(\theta_{gmax}/\theta_{fmax})$$

ok

O-2: Drehmoment berechnen

$$T_b = S_{bsel} K_A \phi b$$

192 [Nm]

Auslegung

Auslegungsdruck
Auslegungstemperatur

P_0 5.12 MPa
 T_0 20.00 °C

Flansch

Flanschtyp
Außendurchmesser
Innendurchmesser
Flanschdicke
Lochkreisdurchmesser
Höhe kon. Ansatz
Rohwanddicke
Dicke konischer Ansatz
Dichtflächentyp
Innendurchmesser Dichtleiste
Außendurchmesser Dichtleiste

6 - Integral-Type Flange - Weldneck - mit Hub
 A 210.00 mm
 B 84.68 mm
 t 27.00 mm
 C 168.30 mm
 h 51.00 mm
 g_0 2.11 mm
 g_1 16.16 mm
 1a B - glatt, mit Dichtleiste
 d_{G1} 84.68 mm
 d_{G2} 130.00 mm

Werkstoff

Werkstoffbezeichnung/-nummer

A105 (K03504, Carbon Steel)
Section II/Part D:2011Regelwerk
0.2% - Dehngrenze
 $R_{p0.2T}$ 248 MPa
 E_F 202350 MPa
 S_f_{max} 430 MPa
 θf_{max} 0.23 °
 Dichtung

Dichtungsform
Innendurchmesser
Außendurchmesser
Dichtungshöhe
Dichtungshersteller
Dichtungsbezeichnung

Spiraldichtung
 $G_{I,D.}$ 101.60 mm
 $G_{O,D.}$ 120.70 mm
 T 3.00 mm
 IDT Industrie- und Dichtungstechnik GmbH
 IDT Spiral Wound Gasket, WS 1.4541/Graphite/St37, SD10, 4.5 mm, Rev. 02
 Graphit
 80 bar - L 0.01
 ESAdatas.org - ID: 1111226

Werkstoff

Gültigkeitsbereich

Quelle Dichtungskennwerte

Ziel-Dichtungskennwerte

Maximal zulässige Flanschverformung (Rotation) für
Minimale Flächenpressung
Minimalen Flächenpressung
Maximale Flächenpressung
Kriechfaktor

Sg_T	300	MPa
θg_{max}	1.00	°
Sg_{min-S}	33	MPa
Sg_{min-O}	33	MPa
Sg_{max}	300	MPa
φg	0.96	MPa

Schrauben

Schraubenart

Norm

Gewinde

Gewindesteigung

Nenndurchmesser

Kerndurchmesser

Flankendurchmesser

Schaftdurchmesser

Anzahl Schrauben

Starrschraube

ANSI 18.2.1:1972

3/4"

p_t	2.54	mm
d_{B0}	19.05	mm
d_{B3}	16.30	mm
d_{B2}	17.04	mm
d_{BS}	16.30	mm
n_B	8	-

Werkstoff

Werkstoffbezeichnung/-nummer

Regelwerk

0.2% - Dehngrenze

Untere Grenze

Obere Grenze

Min. Schraubenspannung

Max. Schraubenspannung

A193 B7M (G41400, 1Cr-1/5Mo)

Section II/Part D:2011

$R_{p0.2T}$	552	MPa
30	%	
70	%	
242	MPa	
517	MPa	

Montageverfahren

Bezeichnung

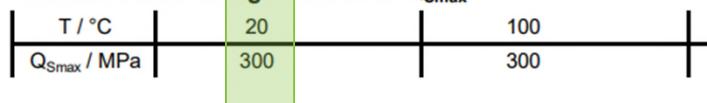
Gewindereibungskoeffizient

K-Faktor

Drehmomentschlüssel = Schraubenschlüssel mit

Drehmoment-Messung

μ_t	0.160	-
	0.2	

**Gasket Characteristics EN**published on www.ESAD**Maximum allowable gasket stress Q_{Smax}** 

[Ergebnisse 1](#) [Ergebnisse 2](#) [Zwischenergebnisse 1](#) [Zwischenergebnisse 2](#)**Ausgaben**

Schritt 1 O-1: Ziel-Schraubenspannung Sbsel festlegen

$$S_{bsel} = S_{gT} * (A_g / A_{bnb})$$

599.3 [MPa]

Schritt 2 O-4: Oberen Grenzwert der Schraubenspannung Sbsel

$$S_{bsel} = \min(S_{bsel}, S_{bmax})$$

517.0 [MPa]

70 % R_{p0.2}

Schritt 3 O-5: Unteren Grenzwert der Schraubenspannung Sbsel

$$S_{bsel} = \max(S_{bsel}, S_{bmin})$$

517.0 [MPa]

Schritt 4 O-6: Flansch-Grenzwert der Schraubenspannung Sbsel

$$S_{bsel} = \min(S_{bsel}, S_{fmax})$$

430.0 [MPa]

Schritt 5 O-7: Wurde die notwendige Montagepressung auf die Dichtung erreicht? $S_{bsel} \geq S_{gmin} \cdot S * (A_g / A_{bnb})$

ok

Schritt 6 O-8: Bleibt die Dichtungsflächenpressung im Betrieb erhalten? $S_{bsel} \geq (S_{gmin} \cdot O_A g + (n/4)P_{max}G_1D_3^2) / (\phi g A_{bnb})$

ok

Schritt 7 O-9: Wird die maximale zulässige Dichtungsflächenpressung erreicht?

$$S_{bsel} \leq S_{gmax}(A_g / A_{bnb})$$

ok

Schritt 8 O-10: Wird die zulässige Flanschverformung überschritten?

$$S_{bsel} \leq S_{fmax}(\theta g_{max} / \theta f_{max})$$

ok

O-2: Drehmoment berechnen

$$T_b = S_{bsel} K A_b \phi b$$

342 [Nm]

- ASME PCC-1
- Appendix O
- Dichtungskennwerte
- Berechnungsbeispiel
- **Zusammenfassung**

Dichtungskennwerte:
ROTT, HOBT,
EN 13555

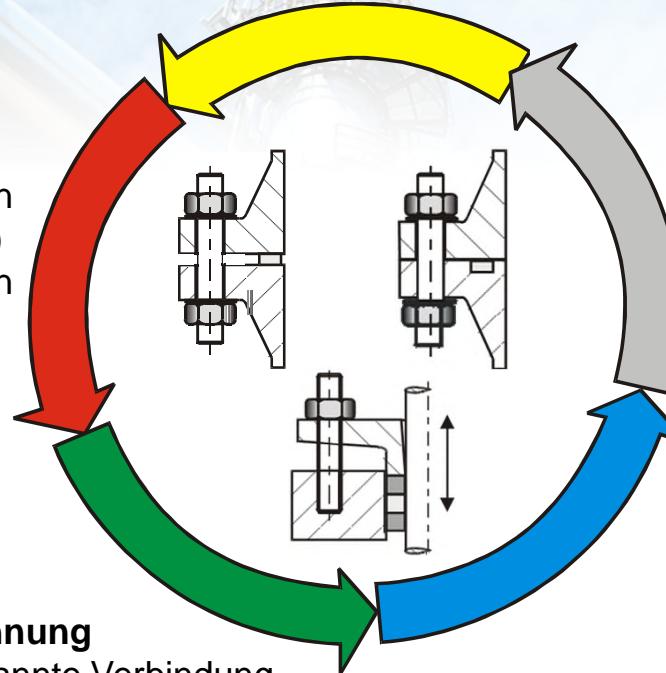


Konstruktion

- Abmessungen (Steifigkeiten)
- Eigenschaften
- Dichtung

Belastungen

- alle Zustände, auch veränderliche



Berechnung

- verspannte Verbindung
- Dichtungsverhalten
- Montagewert,
- Dichtheitsnachweis, Festigkeitsnachweis

Rückfluss der Erfahrungen

- Meldung
- Auswertung

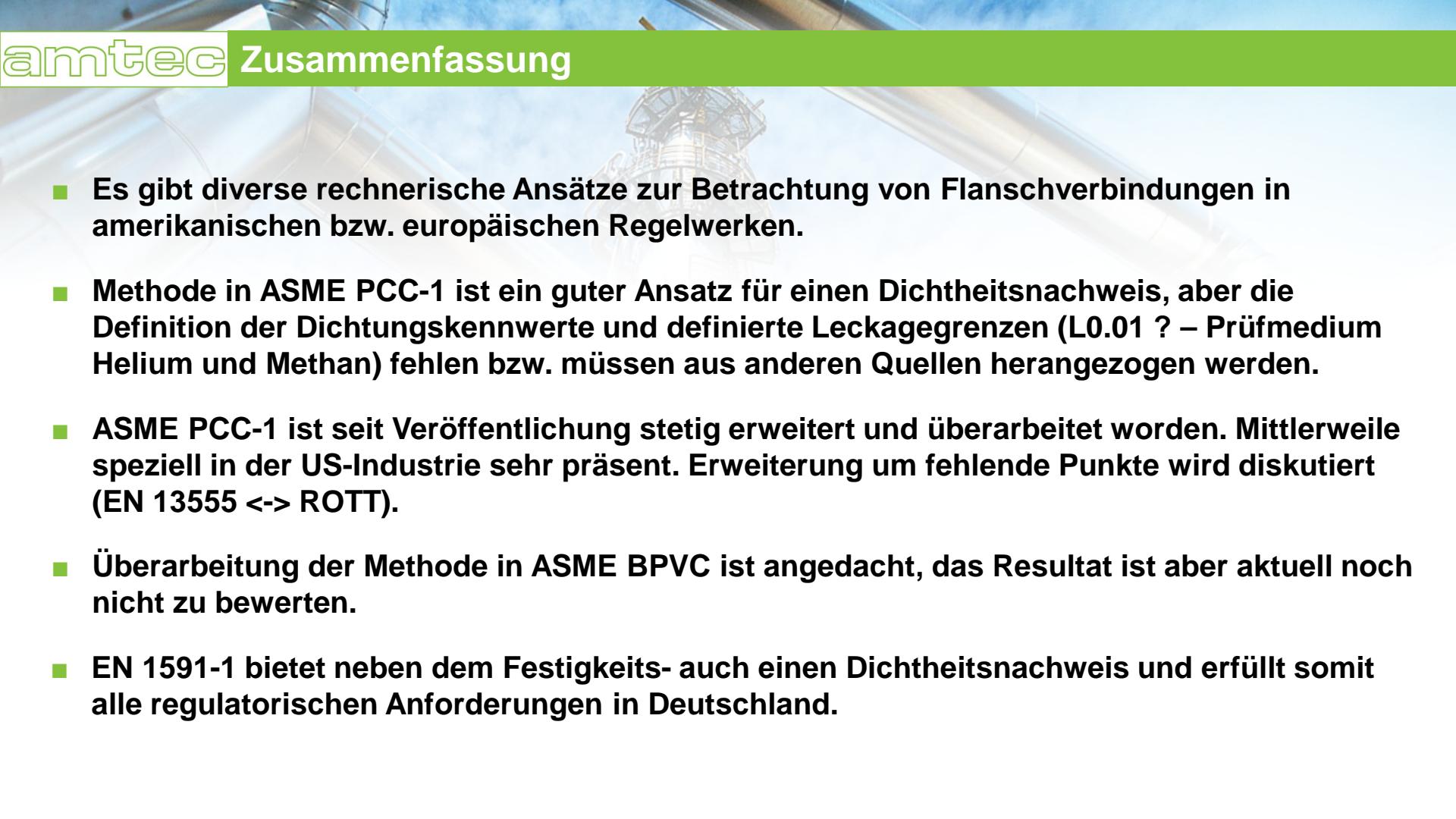
Montage

- entsprechend Anforderungen
- Qualitätssicherung (Kontrolle)



ASME PCC-1 App. A,
EN 1591-4

ASME BPVC.VIII.2
ASME PCC-1 App. O,
EN 1591-1

- 
- Es gibt diverse rechnerische Ansätze zur Betrachtung von Flanschverbindungen in amerikanischen bzw. europäischen Regelwerken.
 - Methode in ASME PCC-1 ist ein guter Ansatz für einen Dichtheitsnachweis, aber die Definition der Dichtungskennwerte und definierte Leckagegrenzen (L0.01 ? – Prüfmedium Helium und Methan) fehlen bzw. müssen aus anderen Quellen herangezogen werden.
 - ASME PCC-1 ist seit Veröffentlichung stetig erweitert und überarbeitet worden. Mittlerweile speziell in der US-Industrie sehr präsent. Erweiterung um fehlende Punkte wird diskutiert (EN 13555 <-> ROTT).
 - Überarbeitung der Methode in ASME BPVC ist angedacht, das Resultat ist aber aktuell noch nicht zu bewerten.
 - EN 1591-1 bietet neben dem Festigkeits- auch einen Dichtheitsnachweis und erfüllt somit alle regulatorischen Anforderungen in Deutschland.

Für weitere Informationen können Sie uns gerne kontaktieren:

amtec

**Advanced Measurement
Messtechnischer Service GmbH**

**Hoher Steg 13
74348 Lauffen**

Germany

www.amtec.de

Tel. +49 7133 9502-0

E-Mail: temes@amtec.de