

Nennweiten- und herstellerübergreifende TA Luft – Bauteilprüfungen an Thermoplast-Flanschverbindungen

Referent: Michael Reppien

Vielen Dank an unsere Auftraggeber:



Inhalt

Herausforderung

Lösungsweg

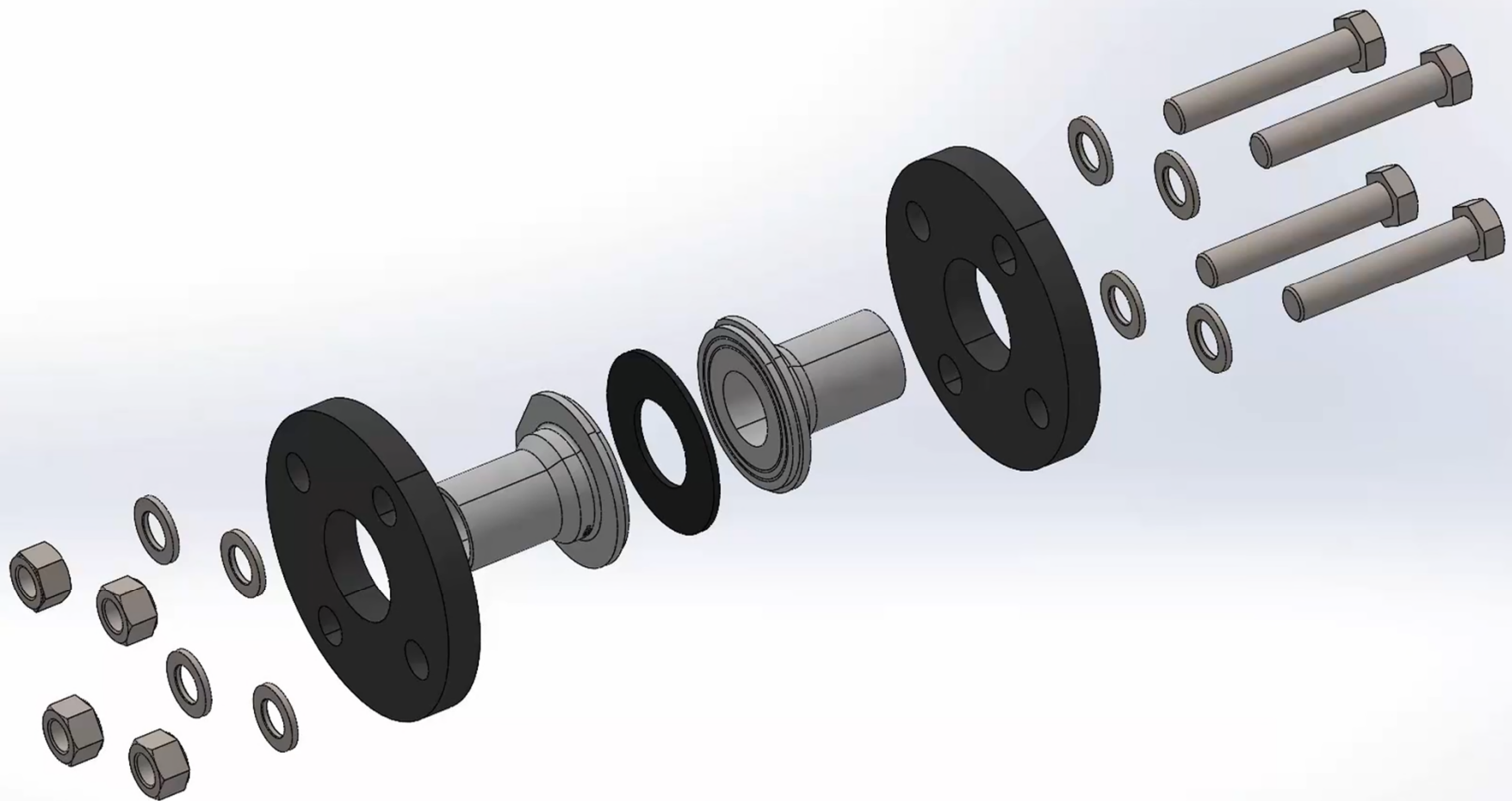
Prüfungen und Ergebnisse

Zusammenfassung

Ausblick

Herausforderung

- 3 verschiedene Rohrleitungshersteller
(Bunde, Losflansche)
- 7 verschiedene Dichtungen
(3x Gummi-Stahl / 3x ePTFE und 1x EPDM/PTFE-Dichtung)
- 3 verschiedene Thermoplast-Rohstoffe
(PP / PE / PVDF in 8 verschiedenen Ausführungen)
- Nennweiten DN15 – DN700 / PN6 – PN16
Rohraußendurchmesser d20-710
- Dichtheitsnachweis nach TA Luft für diese
Thermoplast-Flanschverbindungen mit den
verschiedenen Dichtungstypen



TA Luft - Dichtheitsnachweis

Nachweis der Dichtheitsklasse $L_{0,01}$ durch

1) Rechnerischer Nachweis (EN1591-1 oder FEM)

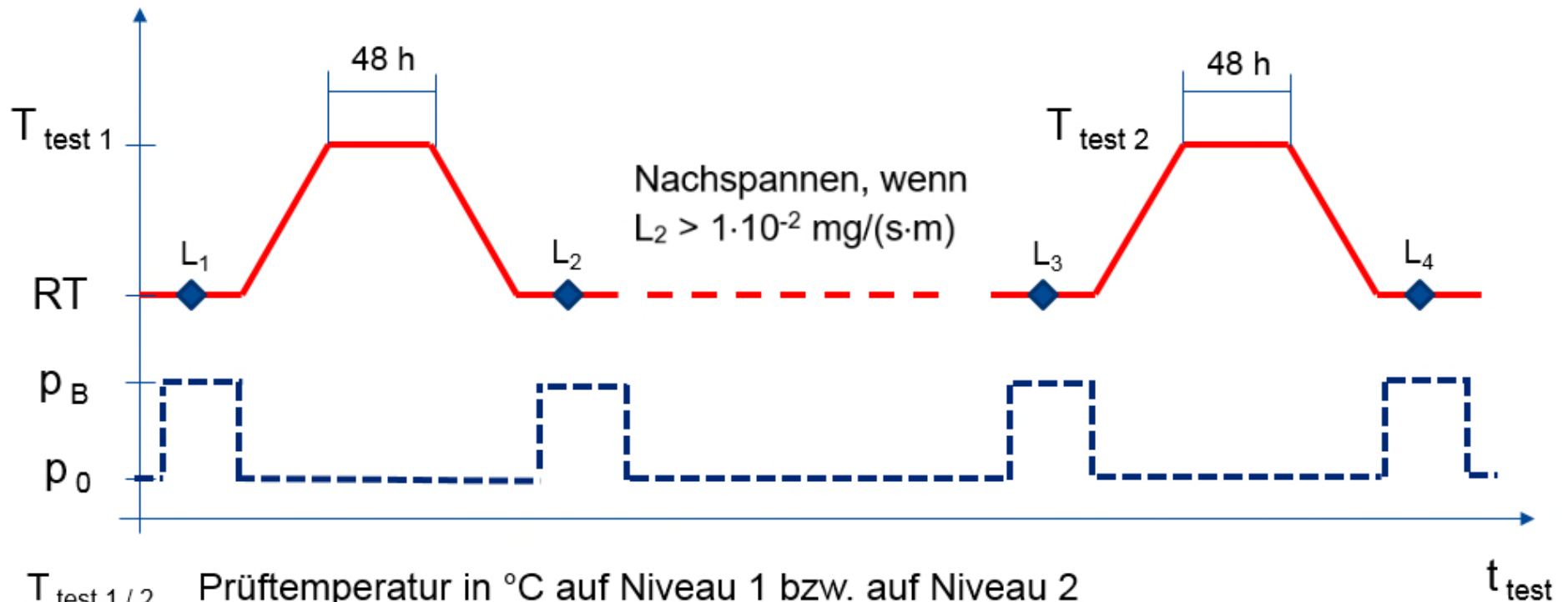
2) Typbasierter Bauteilversuch

3) Individuelle Einzelprüfung

Ausblick

Säule 2: Typbasierter Bauteilversuch

Prüfablauf nach VDI2290:2024-05 Entwurf, Kapitel 4.4



T _{test 1 / 2}	Prüftemperatur in °C auf Niveau 1 bzw. auf Niveau 2
L ₁	Messung der Leckagerate bei RT
L ₂	Messung der Leckagerate nach Temperaturlagerung
L ₃	Messung der Leckagerate nach dem Nachziehen
L ₄	Messung der Leckagerate nach dem Nachziehen und Temperaturlagerung
p ₀	Umgebungsdruck
p _B	Druck des Prüfmediums

VDI2290:2024-05 (Entwurf)

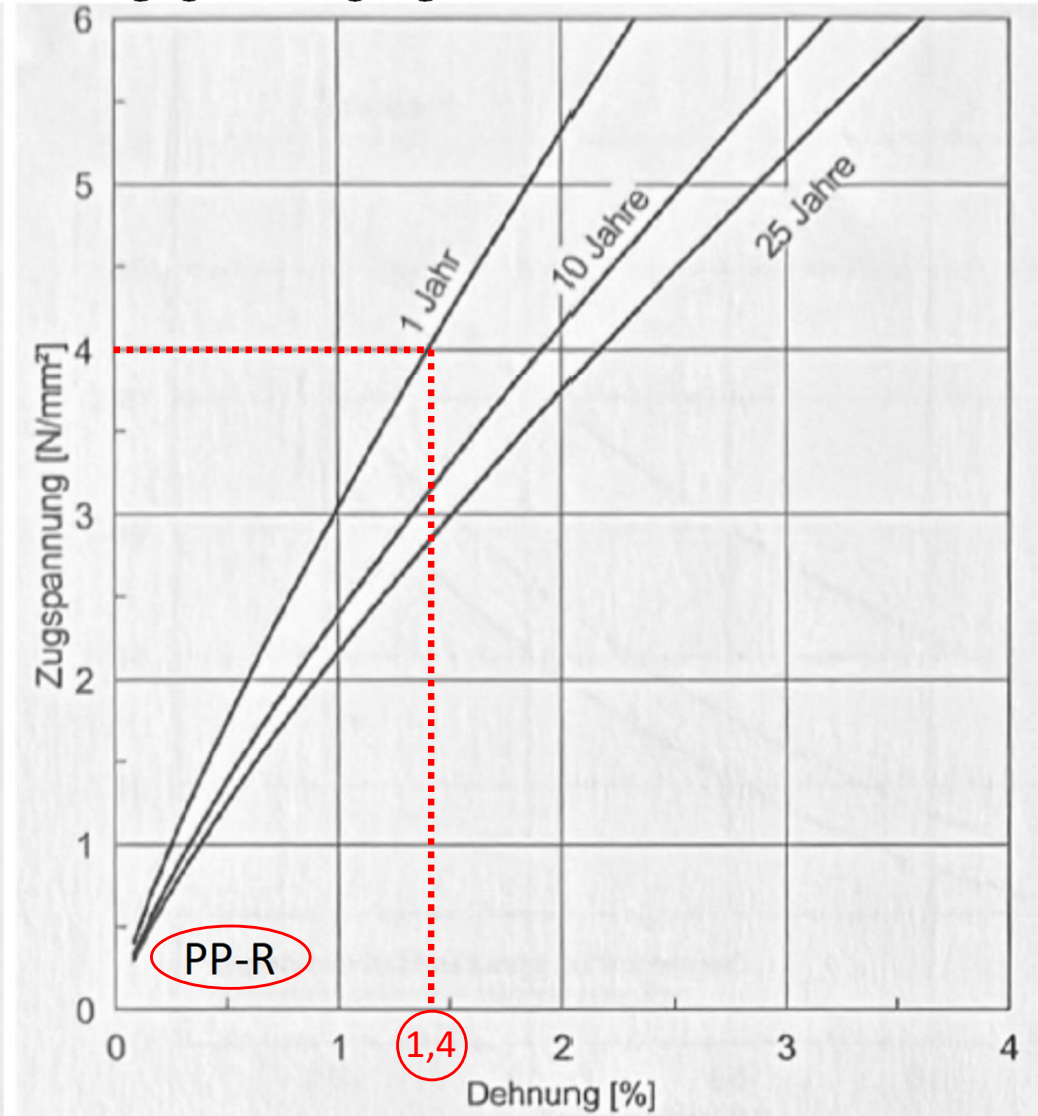
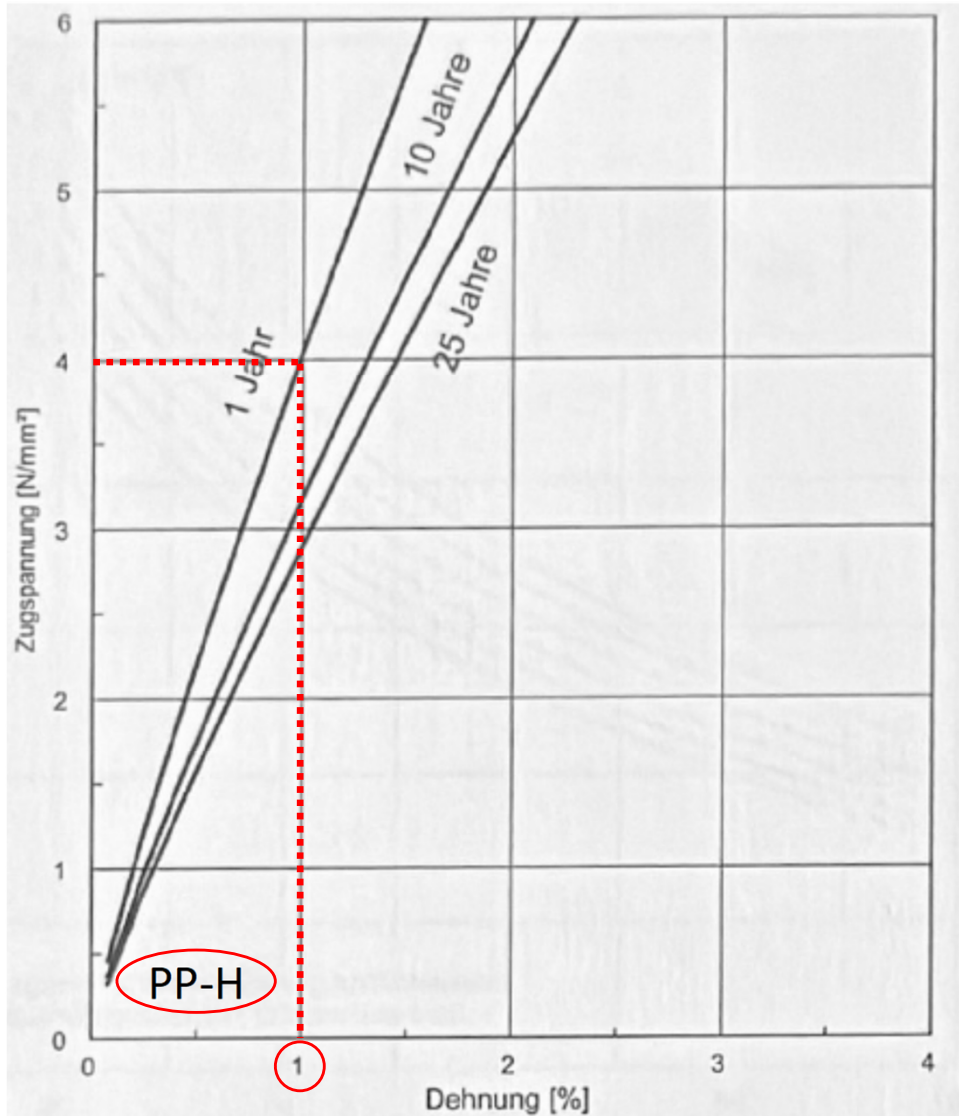
7.4.5 Übertragbarkeit der Prüfergebnisse

Bei der Planung der Bauteilprüfung ist die Übertragbarkeit der Prüfergebnisse, z. B. auf andere Nennweiten einer Rohrklasse, zu berücksichtigen. Sollen die Ergebnisse auf eine Nennweitenreihe übertragen werden, ist aus den Festigkeitsnachweisen **die Nennweite mit der schwächsten ertragbaren Montageflächenpressung zu ermitteln. Diese Flächenpressung ist dann als Montageflächenpressung für den Bauteilversuch zu verwenden.**

Die gleiche Vorgehensweise gilt für Flanschkombinationen aus unterschiedlichen Materialien, oder von unterschiedlichen Lieferanten. Hierbei ist immer das Dichtsystem des schwächeren Flanschsystems maßgebend und nach oben beschriebener Vorgehensweise zu betrachten. Liegt für **das schwächere Flanschsystem abdeckend für die Betriebsparameter ein Nachweis der nach TA Luft geforderten Dichtheit vor, gilt dieser auch für die Flanschkombination als erbracht.** Der typbasierte Bauteilversuch kann unter diesen Bedingungen entfallen.

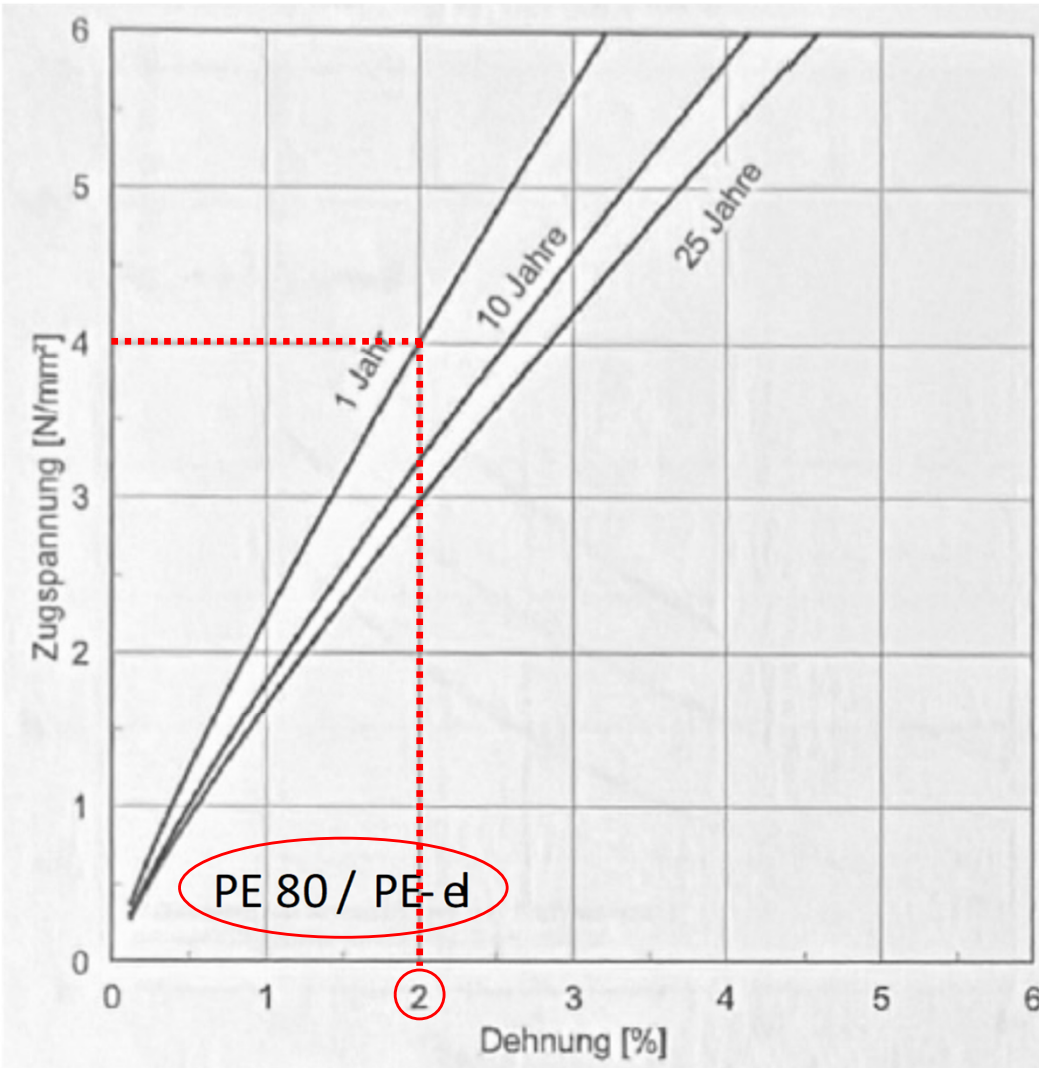
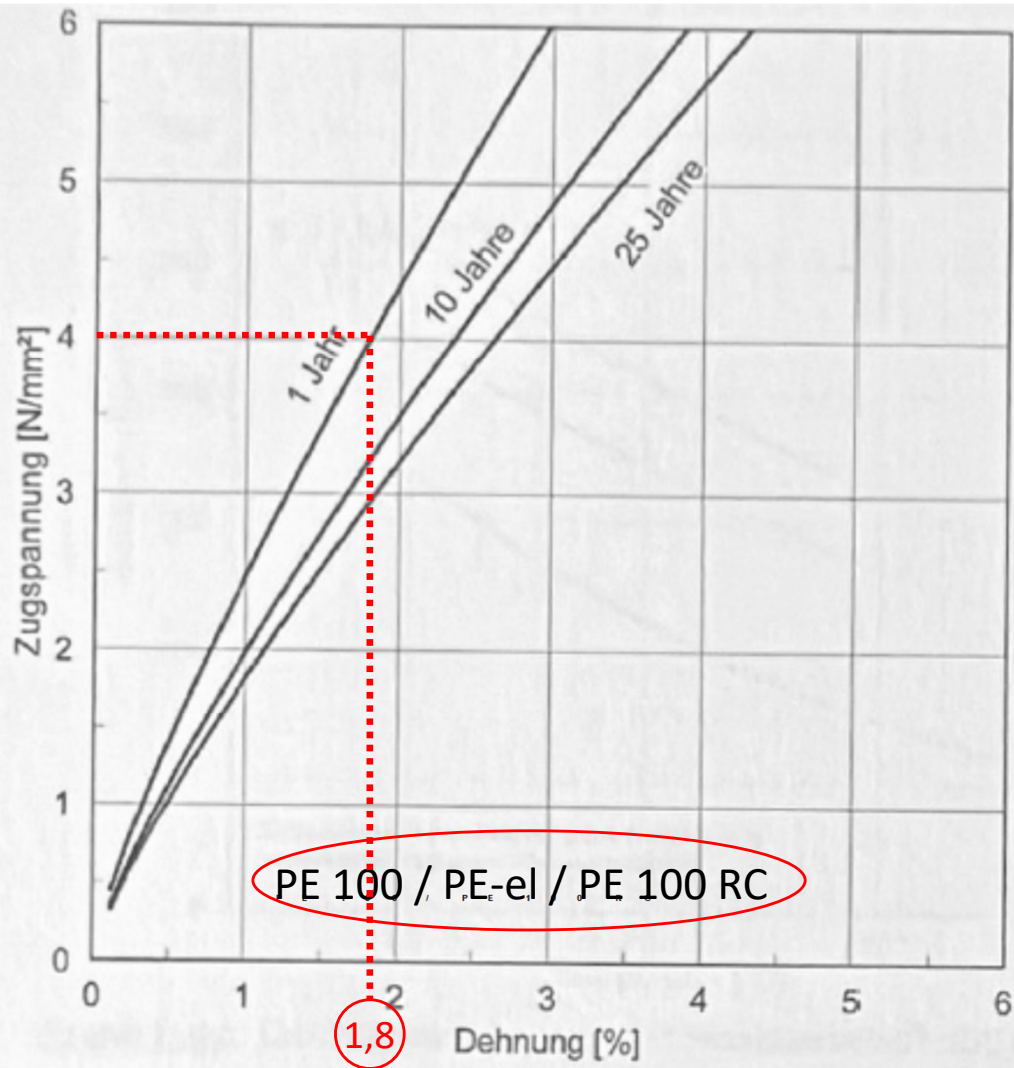
Der Betreiber hat durch geeignete Dokumentation nachzuweisen, dass die eingesetzten Flansche herstellerunabhängig der Betreiberflanschspezifikationen entsprechen.

Werkstoff Bund: Polypropylen-PP



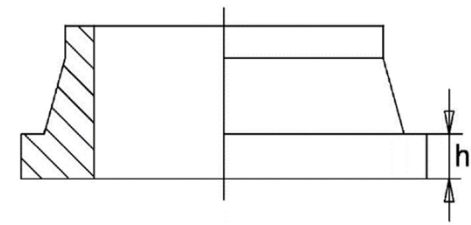
Quelle: DVS2205-1 BB2, Dezember 2021

Werkstoff Bund: Polyethylen-PE



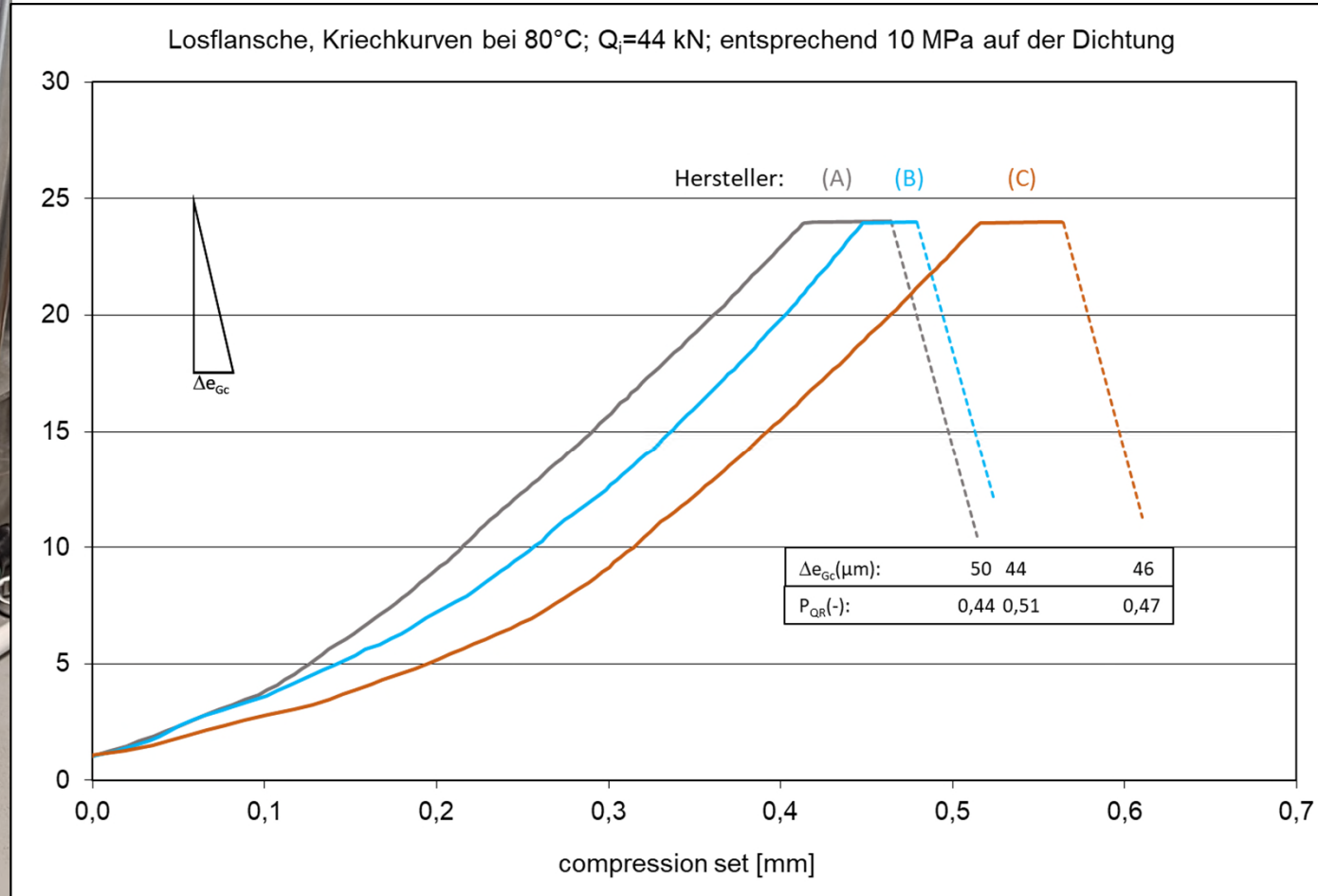
Quelle: DVS2205-1 BB2, Dezember 2021

Bunddicke



Hersteller	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
Material	PE100	PE100	PE100	PE100 RC	PE100 RC	PE-el	PE-el	PE100-el	PE100-el	PE100-el	PE100 RC	PE100 RC	PE100 RC
SDR	11	11	17,6	11	17,6	11	17,6	11	17	33	11	17	33
Rohr- aussen durchm.	Dicke des Bundes	Dicke des Bundes	Dicke des Bundes	Dicke des Bundes	Dicke des Bundes	Dicke des Bundes	Dicke des Bundes	Dicke des Bundes	Dicke des Bundes	Dicke des Bundes	Dicke des Bundes	Dicke des Bundes	Dicke des Bundes
d	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
20	7	7		7		7					7		
25	9	9		9		9					9		
32	10	10		10		10		10			10		
40	11	11		11		11		11			11		
50	12	12	12	12	12	12	12	12			12		
63	14	14	14	14	14	14	14	14			14	14	
75	16	16	16	16	16	16	16	16			16	16	
90	17	17	17	17	17	17	17	17			17	17	
110	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
125	25	25	18	25	18	25	18	25	18	18	25	18	18
140	25	25	18	25	18	25	18				25	18	
160	25	25	18	25	18	25	18	25	18	18	25	18	18
180	30	30	20	30	20	30	20	30	20	18	30	20	18
200	32	32	24	32	24	32	24	32	24	18	32	24	18
225	32	32	25	32	25	32	25	32	24	18	32	24	18
250	35	35	25	35	25	35	25	35	25	20	35	25	20
280	35		25		25		25				35	25	20
315	35	35	25	35	25	35	25	35	25	20	35	25	20
355	40	40	30	40	30	40	30			23	40	30	23
400	46	46	33	46	33	46	33			26	46	33	26
450	60		46		46		46				60	46	33
500	60										60	46	33
560	60		50				50				60	50	35
630	60		50				50				60	50	35
710											65	50	50

Losflansche



Schrauben

Die zugrunde gelegten Anzugsmomente des DVS Regelwerks, sowie die erhöhten Anzugsmomente für den Einsatz von ePTFE-Dichtungen wurden in Schraubenkräfte sowie -spannungen umgerechnet.

Bei allen betrachteten Nennweiten und SDR-Klassen werden max. 70% Auslastung der 5.6er Schrauben eingehalten.

Material	Nennzugfestigkeit	Streckgrenze bzw. 0,2%-Dehngrenze
	R_m	$R_{el} / R_{p0,2}$
	[N/mm ²]	[N/mm ²]
5.6	500	300
25CrMo4	800	600
A2/A4-70	700	450
A2/A4-80	800	600

Dichtungen

Hersteller	Dichtungsname	Typ	PQR 23°C					PQR 150°C				
			6,5 MPa	10 MPa	15 MPa	20 MPa	30 MPa	6,5 MPa	10 MPa	15 MPa	20 MPa	30 MPa
W.L. Gore	UPG	ePTFE		0,77		0,86	0,92		0,44		0,59	0,79
AGRU	SealClean	ePTFE		0,77			0,92		0,44			0,74
Teadit	28 LS-LE	ePTFE					0,91					0,71
Klinger	KGS/S	EPDM Stahl			0,71		0,76					
Kroll&Ziller	G-ST-P/S	EPDM Stahl		0,93		0,84	0,79		0,99		0,86	0,57
Georg Fischer	Profilflanschdichtung	EPDM Stahl			0,71		0,76					
Asahi	Profil Typ 52	PTFE/EPDM	-----									

Montage- und Prüfvorgaben

DVS Richtlinie 2210-1 BB 3 (Entwurf 2024-04):

- Reibungskoeffizient $\mu_R=0,13$
- Üblicherweise reichen bereits 80% der genannten Anzugsmomente für eine dichte Flanschverbindung
- Bei Betrieb mit Elastomer-Dtg. gilt $Q_{Smin} \geq 1,0 \text{ MPa}$

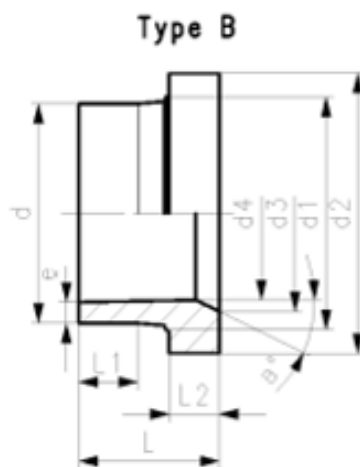
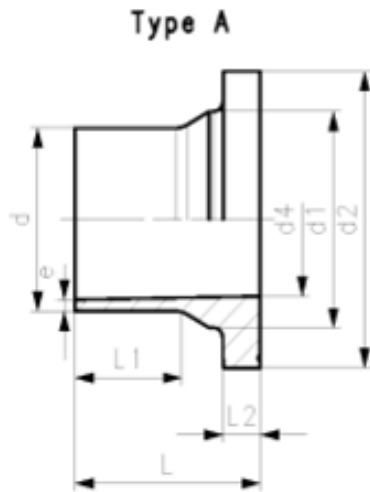
Für ePTFE Dichtungen wurden erhöhte Anzugsmomente errechnet, die noch unter den max. Bauteilspannungen liegen.

Anzugsmomente DVS <> ePTFE

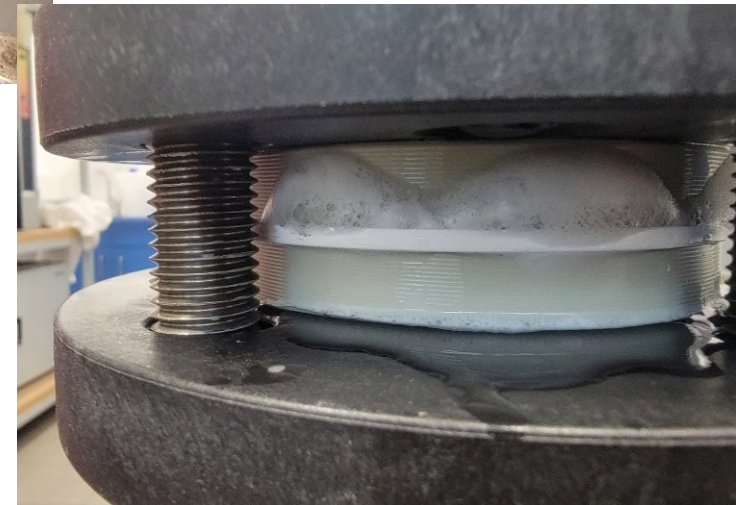
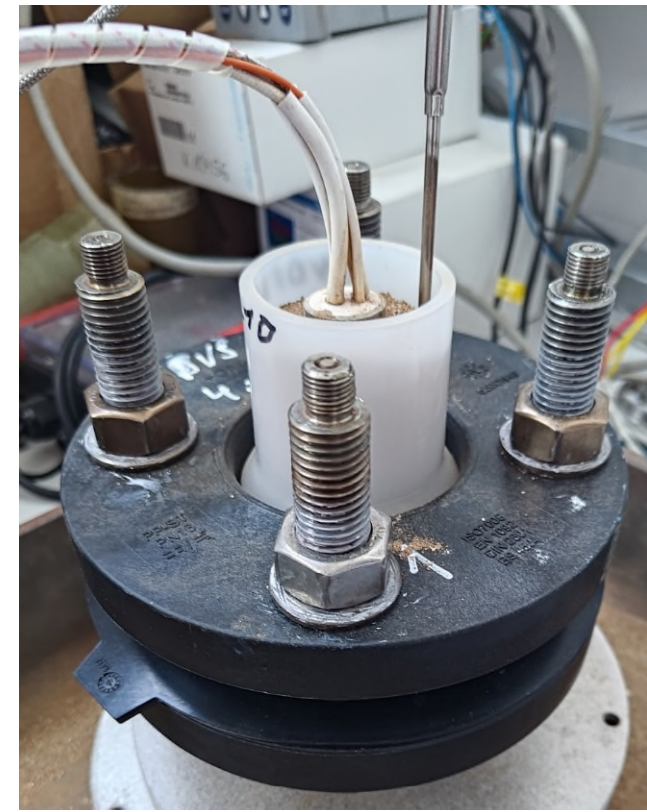
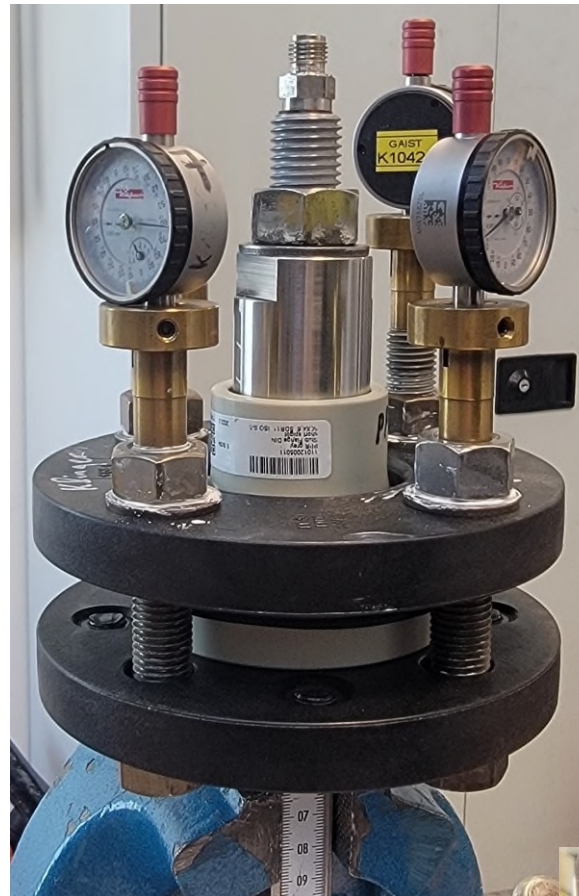
Dichtungen: Anschlussmaß:		Elastomere nach DVS-2210-1		ePTFE Dichtungen	
DN	Rohr Ø	PN10 Nm	PN16 Nm	PN10 Nm	PN16 Nm
15	20		10		10
20	25		15		15
25	32		15		25
32	40		20		30
40	50		25		35
50	63		35		45
65	75		35		60
80	90		35		50
100	110		35		50
100	125		35		50
125	140		45		70
150	160		70		85
150	180		70		80
200	200	70	80		110
200	225	70	80		100
250	250	70	80		140
250	280	70	80		120
300	315	90	100		160
350	355	120	140	120	140
400	400	150	160	150	160
500	450	180	200	180	200
500	500	180	200	180	200
600	560	220	240	220	240
600	630	220	240	220	240
700	710	270	270	270	270

Zu verwendende Flächenpressung

Rohr Dimensionen		Daten EPDM Dichtung		Daten Losflansch		Vorschweissbund/Bundbuchse				Montagevorgaben			Schraubenkräfte			Kontrolle		Flächenpressung	
Rohr-aussen-lurchm.	Nenn-weite	Aussen-durch-messer	Innen-durch-messer	Anzahl Schraube n	Schraube Nenn-durch-messer	Aussen-durch-messer	Innen-durch-messer	Dicke des Bundes	Wand-stärke	Anzugs-moment DVS bei u=0,13 max.	80% DVS Anzugs-moment	effektive Dicht-fläche	Faktor Moment / Schrauben-kraft (VDI2230)	Kraft pro Schraub-e	Gesamt-schrauben-kraft	max. Kraft Schraube 5.6er 70% σ_{max}	i.O.	nach Montage	kleinster Wert über alle NW
\varnothing	\varnothing	\varnothing	\varnothing			D1	Di/D4	b1	s2	[Nm]	[Nm]	[mm²]	(Nm/kN)	[kN]	[kN]	[kN]			
d	DN	D	D1			D1	Di/D4	b1	s2										
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[-]	[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[Nm]	[Nm]	[mm²]	(Nm/kN)	[kN]	[kN]	[kN]		[N/mm²]	[N/mm²]
20	15	51	22	4	M12	45	16	7	1,9	10	8	1210	2,08	3,8	15,3	17,7	✓	12,7	
25	20	61	27	4	M12	58	20	9	2,3	15	12	2070	2,08	5,8	23,0	17,7	✓	11,1	
32	25	71	34	4	M12	68	26	10	2,9	15	12	2724	2,08	5,8	23,0	17,7	✓	8,5	
40	32	82	43	4	M16	78	32	11	3,7	20	16	3326	2,73	5,9	23,4	33,0	✓	7,0	
50	40	92	49	4	M16	88	40	12	4,6	25	20	4196	2,73	7,3	29,3	33,0	✓	7,0	
63	50	107	61	4	M16	102	49	14	5,8	35	28	5249	2,73	10,3	41,0	33,0	✓	7,8	
75	65	127	77	4	M16	122	66	16	6,8	35	28	7033	2,73	10,3	41,0	33,0	✓	5,8	
90	80	142	89	8	M16	138	78	17	8,2	35	28	8736	2,73	10,3	82,0	33,0	✓	9,4	
110	100	162	115	8	M16	158	100	18	10	35	28	9220	2,73	10,3	82,0	33,0	✓	8,9	
125	100	162	115	8	M16	158	114	25	11,4	35	28	9220	2,73	10,3	82,0	33,0	✓	8,9	
140	125	192	141	8	M16	188	127	25	12,7	45	36	12145	2,73	13,2	105,5	33,0	✓	8,7	
160	150	218	169	8	M20	212	151	25	14,6	70	56	12867	3,42	16,4	131,0	51,5	✓	10,2	
180	150	218	169	8	M20	212	154	30	16,4	70	56	12867	3,42	16,4	131,0	51,5	✓	10,2	
200	200	273	220	12	M20	268	203	32	18,2	80	64	18397	3,42	18,7	224,5	51,5	✓	12,2	5,8
225	200	273	220	12	M20	268	210	32	20,5	80	64	18397	3,42	18,7	224,5	51,5	✓	12,2	
250	250	329	273	12	M24	320	252	35	22,7	80	64	21890	4,08	15,7	188,4	74,1	✓	8,6	
280	250	329	273	12	M24	320	265	37	25,4	80	64	21890	4,08	15,7	188,4	74,1	✓	8,6	
315	300	384	324	12	M24	370	290	50	28,6	100	80	25073	4,08	19,6	235,6	74,1	✓	9,4	
355	350	444	356	16	M24	430	342	40	32,2	140	112	45682	4,08	27,5	439,7	74,1	✓	9,6	
400	400	495	407	16	M27	482	387	46	36,3	160	128	52366	4,58	27,9	447,1	96,4	✓	8,5	
450	500	617	508	20	M30	585	400	46	40,9	200	160	66100	5,11	31,3	626,2	117,8	✓	9,5	
500	500	617	508	20					5,4	200	160	66100	5,11						
560	600	734	610	24					0,8	240	192	75207	5,56						
630	600	734	610	24					7,2	240	192	75207	5,56						
710	700	804	712	24					4,5	270	216	104502	5,56						



Prüfungen



Ergebnisse

Bunde	Losflansche	Dichtungen	Temperatur	Druck	Nachziehen 24h@Rt / 48h@T		Ergebnis
PE	PP-Stahl	ePTFE	60 °C	16 bar	YES	YES	✓
PE	PP-Stahl	EPDM-Stahl	60 °C	16 bar	YES	YES	✓
PE	PP-Stahl	Asahi Typ 52 EPDM-PTFE	60 °C	16 bar	YES	NO	✓
PP	PP-Stahl	ePTFE	60 °C	16 bar	YES	YES	✓
PP	PP-Stahl	EPDM-Stahl	80 °C	16 bar	YES	YES	✓
PP	PP-Stahl	Asahi Typ 52 EPDM-PTFE	80 °C	16 bar	YES	YES	✓
PVDF	PP-Stahl	ePTFE	120 °C	16 bar	YES	Yes/No	✓
PVDF	PP-Stahl	EPDM-Stahl	120 °C	16 bar	YES	NO	✓
PVDF	PP-Stahl	Asahi Typ 52 EPDM-PTFE	120 °C	16 bar	YES	NO	✓

Ausblick Berechnungsverfahren

Forschungsprojekt an der FH Münster

- **Ziel:** Berechnungsverfahren nach DIN EN 1591-1 um das Kriechen der thermoplastischen Bunde erweitern
- **Idee:** Kriechrelaxation des thermoplastischen Bundes in ähnlicher Weise erfassen, wie bei Dichtungen (P_{QR} -Wert)
- **Vorgehen:**
 - P_{QR} -Wert Dichtung nach DIN EN 13555 bestimmen
 - P_{QR} -Wert Bund analog ODER mittels Kriechmodell die Kriechdehnung rechnerisch bestimmen
 - P_{QR} -Werte rechnerisch kombinieren ODER als Sandwich experimentell bestimmen
- Rechnerischer Vorteil: Jeder Bund kann mit jeder Dichtung kombiniert werden, wenn die einzelnen P_{QR} -Werte vorliegen

Ausblick Berechnungsverfahren

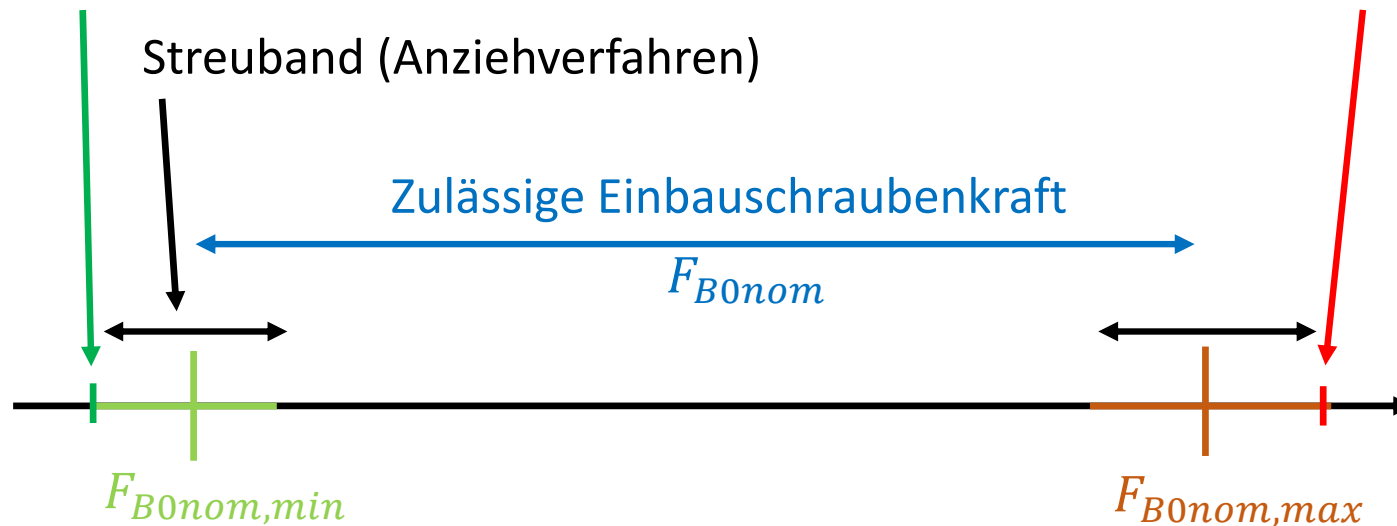
Forschungsprojekt an der FH Münster

Minimal erforderliche Kraft
(für Dichtheit)

F_{B0req}

Maximal zulässige Kraft
(hinsichtlich Festigkeit)

F_{B0all}

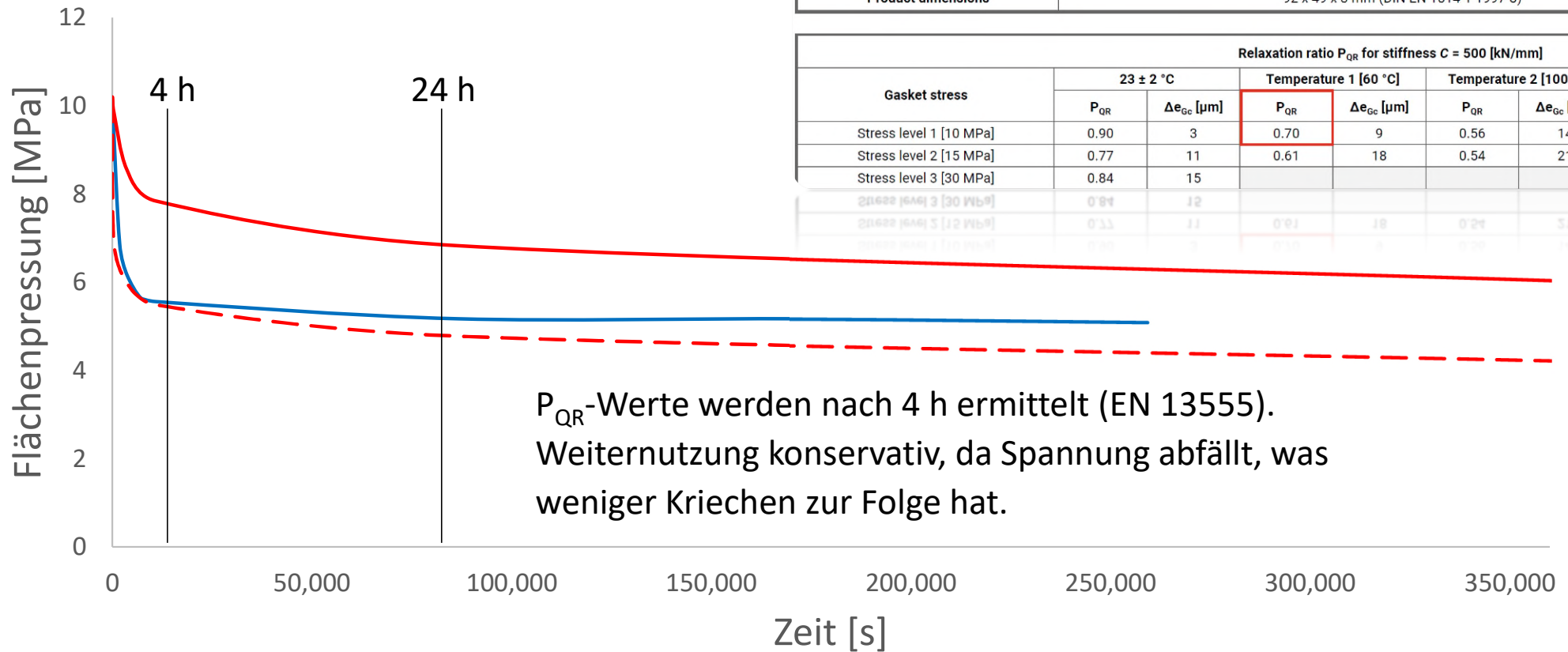


- **Herausforderung:** Mehr Flächenpressungsverlust durch viskoelastisches Materialverhalten (Kriechen) und gleichzeitig reduziertes Anziehdrehmoment bedingt durch geringere Festigkeitswerte.

Ausblick Berechnungsverfahren

Forschungsprojekt an der FH Münster

Flächenpressionsverlust durch Kriechen beim PE-100 Bund mit Gummi/Stahl-Dichtung bei 60 °C



Product name	KGS G 2 NBR (compressed area 66 x 49)					
Product dimensions	92 x 49 x 3 mm (DIN EN 1514-1 1997-8)					
Relaxation ratio P _{QR} for stiffness C = 500 [kN/mm]						
Gasket stress	23 ± 2 °C		Temperature 1 [60 °C]		Temperature 2 [100 °C]	
	P _{QR}	Δe _{Gc} [μm]	P _{QR}	Δe _{Gc} [μm]	P _{QR}	Δe _{Gc} [μm]
Stress level 1 [10 MPa]	0.90	3	0.70	9	0.56	14
Stress level 2 [15 MPa]	0.77	11	0.61	18	0.54	21
Stress level 3 [30 MPa]	0.84	15				

— Experiment — Kriechmodell - - - Inkl. P_{QR} -Kombination
(nur Bund) (Bund + Dichtung)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Noch Fragen?

Kontakt:

GAIST GmbH
Michael Reppien
Am Campus 2
D-48565 Steinfurt

T: +49 2551 709 2720
E: info@gaist.de
W: www.gaist.de