

Hinweise zur Montage und Betriebssicherheit für Anlagen mit TA-Luft 2021 Spezifikation

Inhaltsverzeichnis

1	Nutzungsbestimmung für Stahl- PTFE Rohrbauteile	4
1.1	Chemische Beständigkeit der Korrosionsschutzauskleidung	4
1.2	Dauerbetriebstemperatur von ausgekleideten Bauteilen und Zubehör	4
1.3	Druckbeständigkeit von ausgekleideten Rohrbauteilen	4
1.4	Druckbeständigkeit von PTFE und mit PTFE- ausgekleideten Kompensatoren	5
1.5	Vakuum-Beständigkeit von ausgekleideten Bauteilen	5
1.6	Spezifische Zulassungen und Anforderungen	5
1.7	Entsorgung oder Recycling ausgemusterter Bauteilen im Anlagenbau	5
1.7.1	Entsorgung	5
1.7.2	Dekontamination	5
1.7.3	Verbrennung und Mineralisierung	5
1.7.4	Chemisches Recycling	5
2	Anbauten und Spezifische Eigenschaften	6
2.1	Elektrisches Potential	6
2.1.1	Erdung	6
2.1.2	Elektrische Aufladung innerhalb der Rohrleitung	6
2.2	Entlüftungsbohrungen	6
2.2.1	Funktion der Entlüftungsbohrungen	6
2.2.2	Permeation	7
2.2.3	Bewertung der Permeation in der Anlagenplanung	7
2.2.4	Entlüftungsöffnung - Hülsen/ PTFE-Stopfen	7
2.3	Spritzschutz	7
3	Allgemeine Informationen zu TA-Luft 2021	8
3.1	Planung von Rohr- Leitungen gemäß TA Luft 2021	8
3.2	Zulässige Rohrzusatzkräfte als Grundlage der TA-Luft Berechnung	9
3.3	Vorbereitung der Flanschmontage	9
4	Vorprüfungen	10
4.1	Montage / Bauteiltemperatur	10
4.1.1	Die empfohlene Montagetemperatur liegt unter 25 °C	10
4.1.2	Maßnahmen bei einer Montagetemperatur größer 25 °C	10
4.2	Korrektur der Montagedrehmomente (Schraubenschmierung / Beschichtung)	11
4.2.1	Sachverhalt	11
4.2.2	Mögliche Abweichung bezüglich der vorgegeben Schraubenzugkraft	11
4.2.3	Dringend erforderliche Prüfung und Dokumentation	11

5	Flanschverbindungen	12
5.1	Detaillierte Hinweise zur Flanschmontage als Ergänzung des VCI Leitfadens.	12
5.1.1	Montage- Checkliste	12
5.1.2	Montagehinweise als Ergänzung zum VCI Montageleitfaden	12
6	Montagedrehmomenttabellen	13
6.1	Montagedrehmomenttabelle: C-Stahl, PN10/PN25, bis 100°C.....	13
6.2	Montagedrehmomenttabelle: C-Stahl, PN10, PN16, PN25 bis 180°C.....	14
6.3	Montagedrehmomenttabelle: VA-Stahl, PN10 bis 180°C	15

1 Nutzungsbestimmung für Stahl- PTFE Rohrbauteile

Produkte der Baum-Lined-Piping wie Flanschrohre, T-Stücke oder sonstige Formstücke sind genormte und nach Druckgeräteverordnung zugelassene Rohrbaukomponenten, welche zum Korrosionsschutz mit PTFE, PFA oder ETFE ausgekleidet sind.

1.1 Chemische Beständigkeit der Korrosionsschutzauskleidung

PTFE, PFA oder ETFE haben in Abhängigkeit der Temperatur sowie der Medien eine hohe chemische Beständigkeit. Für die Prüfung der Beständigkeit stehen dem Planer und Betreiber umfangreiche Literaturquellen von Fluorpolymerlieferanten, Analyselaboren, etc. zur Verfügung. Baum-Lined-Piping stellt bei fehlenden Informationen gerne Probestücke der Auskleidung für Vorversuche zur Verfügung. Die Einstufung der chemisch-thermischen Nutzungsgrenzen müssen durch den Planer / Betreiber erfolgen.

1.2 Dauerbetriebstemperatur von ausgekleideten Bauteilen und Zubehör

PTFE- und PFA-ausgekleidete Flanschrohre, Bögen, T-Stücke, Kompensatoren, etc. dürfen im Dauerbetrieb max. bis 230°C eingesetzt werden. Diese Begrenzung ergibt sich aus der temperaturabhängigen Festigkeit und thermischen Stabilität der Auskleidungskunststoffe. Ab 280°C beginnt die thermische Zersetzung der Auskleidung.

Sollten durch einen Störfall in einer Anlage Temperaturen >400 °C erreicht werden, muss das Personal den Bereich sofort verlassen, da in kurzer Zeit gesundheitsgefährdende, ätzende Zerfallsprodukte der Kunststoffe entstehen und ausgasen.

Bei Bauteilen mit ETFE- Auskleidung gilt, je nach Medium, eine max. zulässige Betriebstemperatur von 80 – 150° C. Eine weitere Begrenzung der Dauerbetriebstemperatur kann sich durch die Lackierung der Bauteile ergeben. Bitte beachten Sie diesen Punkt bei der Spezifikation der Lackierung bei der Bestellung.

Bei Betriebstemperaturen unter -10 Grad (DIN EN) und -29 Grad (ASME) muss die Druck/Temperaturbeständigkeit des Stahls separat betrachtet werden.

1.3 Druckbeständigkeit von ausgekleideten Rohrbauteilen

Bei ausgekleideten Metallrohrleitungen ist das Metallgehäuse der Druckträger. Deshalb wird der zulässige, temperaturabhängige Betriebsdruck der Stahlleitung weitgehend auf die Gesamtleitung übertragen.

Da die Auskleidung für diese Leitungen als Dichtfläche (Bördel) genutzt wird, muss die Rohrleitungsplanung (Flanschberechnung) die Dichtungskennwerte des Auskleidungswerkstoffes verwenden. Dadurch kann es zur Reduzierung der max. zulässigen Betriebstemperatur oder des maximal zulässigen Betriebsdrucks kommen. Die Dichtungskennwerte der Auskleidungswerkstoffe können bei Baum-Lined-Piping angefragt werden.

Hinweis:

Bis PN 25 kann der Druck- Temperaturbereich weitgehend genutzt werden. Bei PN 40 wirkt sich die Auskleidung stark auf die Druck- Temperaturbelastbarkeit aus.

Tabelle 1: Max. Betriebsdruck (Standardanforderung P-Werkstoffe AD2000 / 3E0)

Druckstufe	Max. Druck in [barg]						
	T [°C]	-10	25	100	150	180	200
PN10	10	10	8,5	8,3	7,9	7,7	7,3
PN16	16	16	13,7	13,3	12,8	12,4	11,7
PN25	25	25	21,4	20,8	20	19,4	18,4
PN40	40	40	34,2	28,3	24,9	22,6	19,6

Weitere Werkstoffgruppen finden Sie in der DIN EN 1092-1, AD 2000, DIN EN 13480, DIN EN 13445, ASME B16.5, ASME B31.3 oder vergleichbaren Regelwerken.

1.4 Druckbeständigkeit von PTFE und mit PTFE- ausgekleideten Kompensatoren

PTFE und mit PTFE- ausgekleideten Kompensatoren haben ein anderes Konstruktionskonzept wie Flansch- Rohre und Formteile. Deshalb gibt es für Kompensatoren produktspezifische Drucktemperaturkenndaten und eine separate Montageanleitung.

1.5 Vakuum-Beständigkeit von ausgekleideten Bauteilen

PTFE und PFA ausgekleidete Flanschrohre und Formteile sind in Abhängigkeit der Auskleidungsreihe, Betriebstemperatur und Dimension Voll- oder Teilvakuumbeständig. Diese Kenndaten, bei Bedarf bitte direkt bei Baum-Lined-Piping anfragen.

1.6 Spezifische Zulassungen und Anforderungen

Spezifische Anforderungen an die Produkte der Baum-Lined-Piping, wie FDA-, Lebensmittelzulassung, Einhaltung von Werknormen, Sonderprüfungen, sonstige Zertifikate müssen in der Bestellanfrage genannt werden und nach Prüfung durch Baum-Lined-Piping im Angebot explizit aufgeführt, beschrieben und bestätigt sein .

Grundlegende Eigenschaften wie Zulassungen und Prüfungen nach den Druckgeräterichtlinien, TA-Luft Zertifikate etc. können auf der Baum-Lined-Piping - Website unter www.baum-lined-piping.com heruntergeladen oder spezifisch angefragt werden.

1.7 Entsorgung oder Recycling ausgemusterter Bauteile im Anlagenbau

Die Stahl- PTFE- Bauteile der Baum-Lined-Piping GmbH sind in zwei, **nicht** miteinander verklebten oder verschweißten Schichten aufgebaut. Das Stahlteil dient als Druckträger und die Auskleidung aus PTFE, PFA oder ETFE als Korrosionsschutz. Dadurch ist es möglich die Auskleidung ohne Vermischung vom Stahl zu trennen.

1.7.1 Entsorgung

Ausgemusterte Stahl- PTFE- Bauteile dürfen **nicht** dem „Haus- oder Industrierestmüll“ zugeführt werden. Die Entsorgung muss durch Fachbetriebe mit Eignungsnachweis erfolgen.

1.7.2 Dekontamination

Bei Anlagen, in welchen giftige oder umweltschädliche Substanzen verarbeitet werden, müssen diese Bauteile nach dem Gebrauch einer Dekontaminierung unterzogen oder direkt zugelassenen Fachbetrieben zur Entsorgung übergeben werden.

1.7.3 Verbrennung und Mineralisierung

In vielen Fällen werden der Stahl zusammen mit dem Liner, oder zuvor mechanisch getrennt, in speziellen, hierfür ausgerüsteten Hochöfen verbrannt. Bei der Verbrennung der Fluorpolymere (PTFE, PFA, ETFE) erfolgt eine Mineralisierung , so dass die neutralisierten Rückstände konform zu den EU Richtlinien deponiert werden können.

1.7.4 Chemisches Recycling

Im Vorserienmaßstab wurde die Funktionsfähigkeit des chemischen Recycling nachgewiesen. Bei chemischem Recyceln werden die Fluorpolymerketten thermisch aufgespalten und das zur Herstellung von Fluorpolymeren erforderlich Monomer HF zurückgewonnen. Durch diese Methode kann mit einem hohen Wirkungsgrad aus den gebrauchten Auskleidungen wieder hochwertiges PTFE, PFA, etc. hergestellt werden. Das Verfahren hat ein hohes Einsparpotential bezüglich Energie (CO₂), diverser Chemikalien sowie dem Ausgangsmaterial Flusspat.

2 Anbauten und Spezifische Eigenschaften

2.1 Elektrisches Potential

2.1.1 Erdung

Metallische Rohrleitungen können durch Elektro- induktive Effekte, statische Aufladungen oder elektrische Fehlschlüsse lebensgefährdende Spannungen übertragen. Um daraus resultierende Personen- oder Anlagenschäden zu verhindern ist eine Erdung der Rohrleitung grundsätzlich notwendig (siehe DIN VDE 0100-540, DIN VDE 0100-410 sowie die Werksnormen der Unternehmen).

Zur elektrischen Verbindung (Erdung) der Rohrleitungsteile werden von Baum-Lined-Piping grundsätzlich Erdungsbolzen empfohlen. Beim Übergang des Bauteils zu Losflanschen können in Ausnahmefällen Zahnscheiben zur elektrischen Verbindung des Bundes mit dem Losflansch eingesetzt werden. Zahnscheiben funktionieren nur bei geringen Lackdicken und müssen nach jedem Öffnen der Verbindung ausgetauscht werden. Der Korrosionsschutz des Produkts wird durch die Zahnscheiben lokal beschädigt und damit geschwächt.

Von der Erdung bzw. elektrischen Verbindung der Rohre über die Schrauben zum Flansch wird abgeraten, da dies die Reibwerte der Schraubverbindung beeinflusst und jede Verbindung durchgemessen werden muss .

In besonderen Fällen werden leit- / ableitfähige Lacke für den Schutz und Farbgebung von Rohrleitungen sowie zur Erdung / Ableitung elektrischer Ladungen an den Rohrleitungen verwendet. Die Erdung erfolgt dann über das Stahlrohr zum Lack und von dort zu den geerdeten Rohrhalterungen oder Erdungsbänder. Die Betriebssicherheit einer solchen Lösung liegt im Verantwortungsbereich des Planers / Betreibers und kann von Baum-Lined-Piping nicht geprüft werden.

2.1.2 Elektrische Aufladung innerhalb der Rohrleitung.

Fließende Medien in Rohrleitungen können sich elektrostatisch aufladen. Dieser Effekt wird durch die Polarität des Mediums sowie hohen Strömungsgeschwindigkeiten verstärkt.

Sobald die elektrische Aufladung innerhalb der Rohrleitung eine kritische Spannung erreicht hat, besteht die Gefahr, dass es zu einem Spannungsdurchschlag kommt, durch welchen in der Auskleidung (Liner) eine Leckage entsteht. Der beschriebene Spannungsdurchschlag kann auch zündend wirken, was im Ex-Schutzbereich zu beachten ist.

Zur Vermeidung einer „inneren“ Aufladung wird die Verwendung eines ableitfähigen Liners für die Korrosionsschutz- auskleidung empfohlen. Diese Liner sind typischerweise mit Leit- Ruß gefüllt und können das entstehende Spannungspotential an das Stahlrohr ableiten.

Hinweis: In Abhängigkeit der Wechselwirkung zwischen dem Medium im Rohr und dem Leit- Ruß kann es zu einer schleichender Verringerung der Ableitfähigkeit kommen. Diese sollte in angemessenen Abständen geprüft werden. Die Bewertung der Gefährdung muss durch den Planer erfolgen und bei der Bauteilbestellung mit der Eigenschaft „ableitfähig“ oder „natur“= isolierend angegeben werden.

2.2 Entlüftungsbohrungen

2.2.1 Funktion der Entlüftungsbohrungen

An allen zum Korrosionsschutz mit PTFE, PFA oder ETFE ausgekleideten Rohrbauteilen sind Entlüftungsbohrungen typischerweise mit min. $\varnothing=2$ mm angebracht. (Ausnahmen sind Blindflansche und Distanzstücke des Typs Form G).

Diese Entlüftungsbohrungen werden zur frühzeitigen Leckage Erkennung genutzt und ermöglichen es Permeat, welches sich zwischen der Auskleidung und dem Stahlrohr ansammeln kann, zu entweichen.

Die Permeation beginnt sehr langsam, so dass ein Mediendurchtritt durch den Liner (siehe unten) erst nach längerer Betriebszeit festzustellen ist.

2.2.2 Permeation

Permeation ist die Eigenschaft, dass sich Stoffe, bevorzugt Gase, mit zunehmenden Temperaturen und verstärkt bei flüchtigen Molekülen, langsam in Polymerkunststoffen lösen und diese durchwandern. Diese Eigenschaft gilt für alle Polymerkunststoffe und ist keine Besonderheit der Fluorpolymerkunststoffe wie PTFE/PFA/ETFE. Das durchtretende Medium nennt man Permeat.

Wenn die Voraussetzungen für die Permeation gegeben sind, wandert das Permeat in minimalen Mengen durch die Auskleidung (Liner). Das Permeat sammelt sich zwischen Liner und Stahlrohr an. Sobald sich ein kleines Volumen angesammelt hat, entsteht ein Druck zwischen Liner und Stahlrohr. Das Gas wandert jetzt langsam zur Entlüftungsbohrung und kann dort entweichen.

Permeation wird durch die Druck-, Temperatur- und Konzentrationsdifferenz zwischen dem Rohrinernen und dem Stahlrohr begünstigt. Mit Maßnahmen wie gute Isolation, optimierte Auskleidungswerkstoffe und Erhöhung der Wandstärken kann die Permeation im Vergleich zum Standard um bis zu 80 % reduziert werden.

2.2.3 Bewertung der Permeation in der Anlagenplanung

Bei der Planung einer neuen Anlage, oder bei der Umrüstung einer Bestandsanlage auf neue Medien, muss eine Gefährdungseinstufung bezüglich Permeation erfolgen.

Unkritische Medien wie Wasser, Alkohole, Stickstoff, etc., können über die Entlüftungsöffnungen direkt an die Raumluft abgegeben werden. Bei eventuellen Geruchsbelästigung oder Kondensations- oder Konzentrationseffekten im Raum ist eine Hallenluftabsaugung erforderlich.

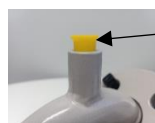
Bei leicht kritischen Medien ist eine Permeatabsaugung in der Nähe der Entlüftungsöffnung und bei sehr kritischen Medien in geschlossener, direkter Verbindung an der Entlüftungsöffnung erforderlich.

2.2.4 Entlüftungsöffnung - Hülsen/ PTFE-Stopfen

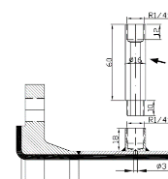
Je nach Gefährdungseinstufung der Medien, oder bei isolierten Rohren ist es erforderlich das Permeat gezielt über Entlüftungshülsen mit PTFE-Stopfen von der Entlüftungsbohrung nach außen abzuleiten. Für diesen Fall bietet Baum-Lined-Piping Entlüftungshülsen an. Das Medium wird über einzuschraubende PTFE- Stopfen gezielt nach außen geführt. Diese Verlängerungen sind vor allem bei Isolierten Leitungen erforderlich, damit das Permeat nicht zwischen der äußeren Stahlwand und der Isolation kondensiert. Für diese Anwendungsfälle sind Verlängerungshülsen erhältlich.



Entlüftungshülse PTFE-Stopfen



Kunststoffkappe
entfernen, Stopfen
montieren



Verlängerung
z.B. 60mm

An diesen Punkten können bei Bedarf Absaugungen angeschlossen werden. Für geschlossenen Verbindungen zu den Absaugungen sind spezielle Stopfen erforderlich. Solche Schnittstellen müssen projektspezifisch angefragt werden.

2.3 Spritzschutz

Viele Anlagen in der chemischen Industrie werden mit aggressiven Medien betrieben, die nicht in die Umgebung gelangen dürfen. Spritzschutzmanschetten (siehe Katalog) bieten den Schutz, erste Leckagen rechtzeitig zu erkennen, ohne dass das Medium bereits an die Umwelt ausgetreten ist. Der Spritzschutz hat eine verzögernde, aber keine drucktragende Funktion.

3 Allgemeine Informationen zu TA-Luft 2021

Bei Neuanlagen in Deutschland welche ab dem 1. Dez. 2021 genehmigt wurden, gilt die TA-Luft (nationale Umsetzung der EU-Richtlinie 2010/75/EU).

Die Verwaltungsvorschrift TA Luft 2021 zur Durchführung des BImSchG schreibt vor, dass eine Leckage-Rate ($L=0,01$), gemessen bei Raumtemperatur und dem Innendruck des Anlagenbetriebs, nicht überschritten werden darf. Für diesen Nachweis genügt bisher ein typisierter Bauteilversuch in einer Dimension und einer exemplarischen Flanschform.

In der Novellierung 2021 wird gefordert, dass im Gegensatz zum bisherigen Nachweis, jede Bauteildimension, Flanschform und -Werkstoffe, die Betriebstemperaturen und Drücke, sowie die Eigenschaften der Dichtung mit berücksichtigt werden.

Um dieser Anforderung gerecht zu werden, hat Baum-Lined-Piping den Festigkeits- und Dichtheitsnachweis gemäß TA Luft 2021 und VDI 2290 nach EN 1591-1:2001+A1:2009/AC:2011 berechnen lassen. Als Grundlage hierfür wurden Messreihen zur Ermittlung der Dichtungskennwerte nach der DIN EN 13555 für die Bördel durchgeführt.

Anhand der Rechenergebnisse (Auskleidung = Dichtung) wird das Erreichen der Dichtigkeit durch spezifische Montagedrehmomente sowie festgelegte Montageschritte vorgegeben. Die hierfür ermittelten Flächenpressungen auf die Dichtfläche wurde im Vergleich zu älterer Auslegungen nahezu verdoppelt, so dass das Toleranzfenster bei der Montage der Flanschverbindung kleiner wird und zusätzliche Belastungsfaktoren (Reibwert/Montagetemperatur) beachtet werden müssen. Deshalb muss der Monteur auf das sensiblere System hingewiesen werden.

Die TA-Luft 2021 Prüf- Zertifikate können bei Baum-Lined-Piping angefordert werden.

3.1 Planung von Rohr- Leitungen gemäß TA Luft 2021

Bei der Auslegung von Rohrleitungssystemen gemäß TA-Luft 2021 muss vom Rohrleitungsplaner berücksichtigt werden, dass wegen der starken Ausnutzung der Dichtflächenpressung die Flanschgriffskräfte reduziert werden müssen.

Bitte beachten Sie die max. zulässigen Rohrzusatzkräfte in Tabelle 2. Diese Grenzwerte müssen vom Planer (Berechnungsingenieur) bei der Auslegung des Rohrleitungssystems eingehalten werden.

Sind höhere Betriebsbedingungen (Druck / Temperatur) erforderlich als in den Tabellenwerten zugrunde gelegt ist, muss eine individuelle Prüfung und Berechnung durch ein akkreditiertes Berechnungs- und Prüfinstitut erfolgen. Bitte fragen Sie in diesem Fall bei Baum-Lined-Piping an.

3.2 Zulässige Rohrzusatzkräfte als Grundlage der TA-Luft Berechnung

Baugröße	Rohrzusatzkraft PN10 [kN]	Rohrzusatzkraft PN16 [kN]	Rohrzusatzkraft PN25 [kN]	Rohrzusatzkraft Edelstahl / PN10 [kN]
DN25 a)	19	19	19	19
DN32 a)	25	25	25	24
DN40 a)	31	31	31	30
DN50 a)	38	38	38	38
DN65 a)	50	50	50	49
DN80 a)	61	61	61	60
DN100 a)	77	77	77	75
DN125 b)	11	17	27	11
DN150 b)	16	25	40	16
DN200 b)	27	43	67	26
DN250 b)	42	86	105	42
DN300 b)	60	96	149 c)	30 d)
DN350 b)	73	--	--	35 d)
DN400 b)	96	--	--	50 d)
DN450	--	--	--	65 d)
DN500	--	--	--	80 d)

Tabelle 2: Zulässige Rohrzusatzkräfte als Grundlage der Berechnung von TA-Luft Montagedrehmomenten

Bemerkungen

- a) Nach EN 1092-1 (T red.)
- b) Einfache Innendruckkraft
- c) Bei VF-VF muss die Kraft auf 130 kN reduziert werden
- d) Abweichend von EN 1092-1 (reduzierte Kraft)

3.3 Vorbereitung der Flanschmontage

Flanschverbindungen von Stahl PTFE-ausgekleideten Rohren, Formstücken und Kompensatoren müssen grundsätzlich von ausgebildeten Rohrleitungsmonteuren (Schulung entsprechend DIN EN 1591-4, oder vergleichbar, z.B. VDI 2290) installiert werden.

Als Leitdokument für Rohrleitungsmontagen gilt der VCI- Leitfaden für Rohrleitungsmonteure. Der VCI- Leitfaden wird im folgenden ergänzt.

Bei PTFE, PFA und ETFE-ausgekleideten Bauteilen wird die Auskleidung gleichzeitig als Dichtung genutzt, so dass keine Zusatzdichtung erforderlich ist.

Vor der Flanschmontage ist die Prüfung folgender Punkte erforderlich:

- Bauteiltemperatur während des Montage- und Nachziehvorgangs der Flanschverbindung
- Prüfung des real vorliegenden Reibbeiwerts, welcher durch die Kombination Schraubenwerkstoff, Schraubenbeschichtung, Unterlegscheiben und Fettung die Real wirkende Schraubenkraft bestimmt wird
- Qualifikation des Montagepersonals, konsequente Umsetzung der Montageanweisungen und Dokumentation der Montagearbeiten
- Verbot von Schlagschraubern oder vergleichbaren Werkzeugen beim Anziehen der Schrauben

4 Vorprüfungen

4.1 Montage / Bauteiltemperatur

4.1.1 Die empfohlene Montagetemperatur liegt unter 25 °C

PTFE ist ein korrosionsbeständiger Dichtungs- und Auskleidungswerkstoff dessen Fließ- und Setzverhalten signifikant temperaturabhängig ist. Deshalb wird empfohlen die Bauteile bis zu einer max. Bauteiltemperatur von 25 °C zu verbauen.

Bei höheren Temperaturen lässt sich PTFE / PFA bei gleichem Montagedrehmoment deutlich stärker verdichten, was zu einer Reduzierung der Bördel Dicke, als auch zu einer stärkeren radialen Verformung der Dichtfläche nach innen und außen führt.

Wird die Verformung zu groß, kommt zu einer Schädigung der Dichtfläche. Das kann den Verlust der Abdichtfunktion zur Folge haben. Bei der so verursachten Fehlfunktion erlischt die Bauteilgarantie. Da es auf manchen Baustellen schwierig ist, eine Montagetemperatur von bis zu 25 °C einzuhalten, kann das Problem wie folgt behandelt werden:

4.1.2 Maßnahmen bei einer Montagetemperatur größer 25 °C

- Bauteile **grundsätzlich vor direkter Sonneneinstrahlung schützen**
- Bauteile idealerweise in kühleren Räumen lagern und erst kurz vor der Montage in den Montagebereich bringen. Durch den hohen Stahlanteil übernimmt das Bauteil die Außentemperatur nur langsam (mehrere Stunden)
- Abschätzung der Verformung des Bördels (siehe Diagramm 1) und situative Freigabe / Montage- Stopp durch den Montageverantwortlichen

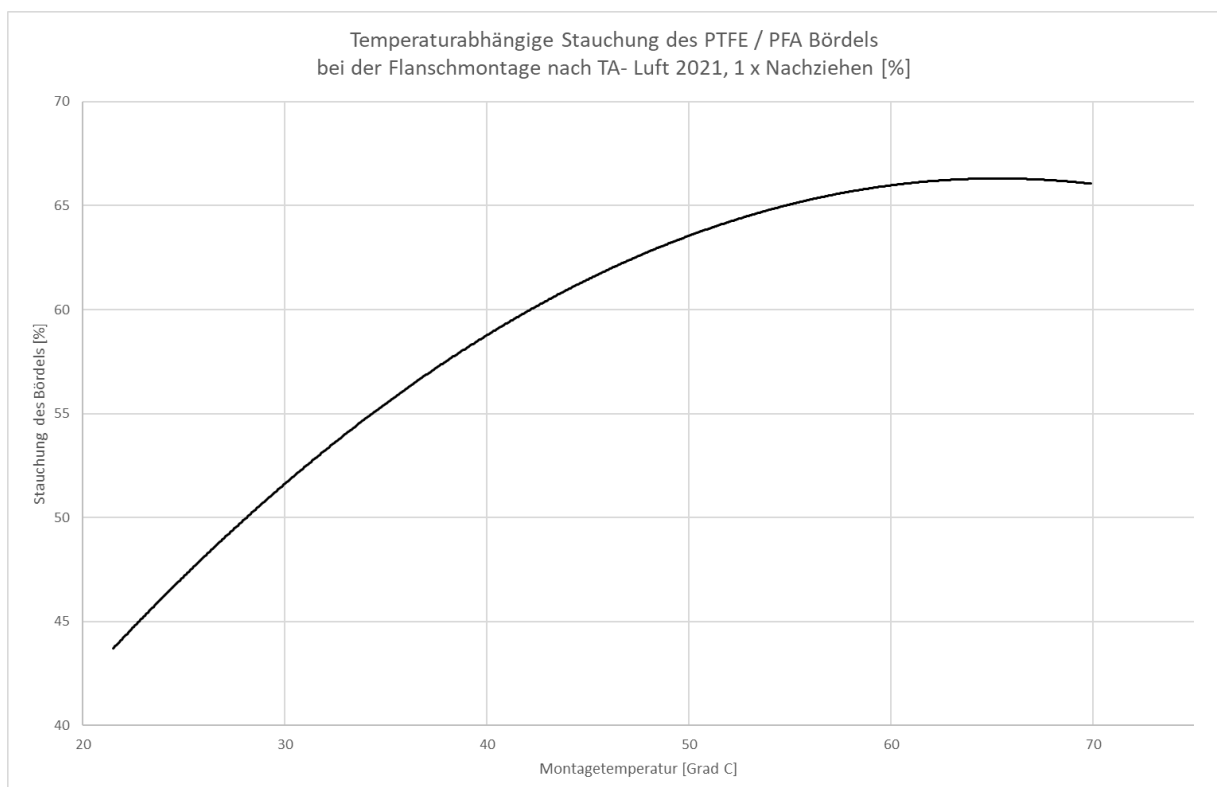


Diagramm 1: Temperatureinfluß auf die Bördelverformung (Stauchung) bei der Flanschmontage

4.2 Korrektur der Montagedrehmomente (Schraubenschmierung / Beschichtung)

4.2.1 Sachverhalt

Bei der Montage von Flanschverbindungen gibt es viele technische Varianten bezüglich Auswahl- und Nutzung von Fetten und Ölen zur Schmierung des Gewindes sowie der Kontaktflächen, Verwendung von Scheiben und Beschichtung der Schrauben, bzw. deren Gewinde und Kontaktflächen.

Die Beschichtung der Flanschschrauben, Schmierung des Gewindes und der Schraubenaufgabe (Kopf, Mutter und U-Scheibe) haben bei der Montage einen enormen Einfluss auf die durch das Montagedrehmoment übertragene Zugkraft auf jede Schraube. Aus diesem Grund ist es wichtig diese Faktoren in einer Reibwertermittlung (Reibbeiwert μ) zu prüfen.

Aktuelle Untersuchungen haben ergeben, dass 25CrMo4 Schrauben mit auf $\mu = 0,13$ eingestellter Zinklamellenbeschichtung ohne Zusatz Fettung eingesetzt werden können und das Thema damit abgehandelt ist.

In andern Fällen ist eine Reibwertermittlung zu empfehlen. Baum-Lined-Piping hat inzwischen Prüfreihen mit verschiedenen Fetten gefahren und stellt diese Information auf Anfrage zur Verfügung, oder bietet eine spezifische Prüfung an.

4.2.2 Mögliche Abweichung bezüglich der vorgegeben Schraubenzugkraft

Aktuelle Untersuchungen haben ergeben, dass Reibwerte zwischen $\mu = 0,08$ (sehr geringe Reibung) bis $\mu = 0,20$ (hohe Reibung) gängige Werte in der Praxis sind. Den Flanschberechnungen wird immer ein **Reibwert von $\mu = 0,13$** zugrunde gelegt.

Das hat zur Folge, dass die wirksame Schraubenzugkraft bei $\mu = 0,13 / \mu = 0,08$ um das 1,6-fache beim vorgegeben Montagedrehmoment erhöht ist.

Bei $\mu = 0,13 / \mu = 0,20$ ist die wirksame Schraubenzugkraft 1/3 niedriger als durch das vorgegebene Montagedrehmoment erreicht werden soll und muss erhöht werden.

Beides wirkt sich direkt auf die Presskraft der Flanschdichtfläche (Flächenpressung [MPa]) und damit auf die Dichtung (Bördel) aus.

Bei zu hoher Schraubenzugkraft wird der Liner (Dichtfläche am Bördel) unkontrolliert zusammengedrückt und fließt radial weit über die Dichtfläche heraus. Sobald die herausgepresste Dichtfläche an den Flanschschrauben anstößt und sich stark wölbt, liegt eine Schädigung der Dichtung vor.

Bei einer zu geringen Schraubenzugkraft wird die erforderliche Flächenpressung, welche zum Erreichen die Dichtigkeit erforderlich ist, nicht erreicht.

Wenn eine Reibwertbestimmung erfolgt ist und eine Abweichung vom Sollwert $\mu = 0,13 > \pm 20\%$ vorliegt, stellt Baum-Lined-Piping die Montagedrehmomententabellen in digitaler Form (Excel) zur Verfügung. Der Anwender kann dann dort die erforderlichen Korrekturfaktoren eingeben. Diese Tabelle müssen dann den Monteuren für die Montage vorgegeben werden.

Deshalb ist die Prüfung des Reibbeiwerts für solche Anwendungen dringend erforderlich.

4.2.3 Dringend erforderliche Prüfung und Dokumentation

Da es eine gesetzlich Nachweispflicht gibt, dass die Montage unter korrekten Bedingungen gemäß Lieferantenvorgabe stattgefunden hat, ist die Dokumentation der Montage (Montagetemperatur, Prüfung des Reibwerts, Anzahl Temperatur und Nachziehvorgänge, etc.) durch die Montagefirma, bzw. den Monteur erforderlich.

5 Flanschverbindungen

5.1 Detaillierte Hinweise zur Flanschmontage als Ergänzung des VCI Leitfadens

5.1.1 Montage- Checkliste

- Ist die Reibwertbestimmung /Korrektur (Fettung-Schraubenbeschichtung) durchgeführt worden?
Ist eine Korrektur der Montagedrehmomenttabelle für das Projekt erforderlich?
- Steht der VCI Leitfaden, bzw. Schulungsunterlagen zur Flanschmontage zur Verfügung?
- Sind die Montageprotokolle vorbereitet um die Einhaltung der Drehmomentvorgaben und Nachziehprozesse dokumentieren zu können ?
- Sind die Maßnahmen zur Einhaltung der Bauteiltemperatur bei der Montage gemäß Kapitel 4 vorbereitet ?
- Werden die richtigen Montagedrehmomenttabellen verwendet ?
Diese unterscheiden sich aufgrund:
 - Betriebstemperatur
 - Reibwertabweichung
 - Schraubenwerkstoffe
 - Schraubenbeschichtung
 - Schmierung / Fettung
- Wurde der Drehmomentschlüssel geeicht (Eichprotokoll)?
- Stimmt der Arbeitsbereich des Drehmomentschlüssel bezüglich der vorgegebenen Drehmomenten ?

5.1.2 Montagehinweise als Ergänzung zum VCI Montageleitfaden

- Vormontage
 - Schutzdeckel kurz vor der Montage öffnen (Bördel stellt sich sonst auf)
 - Bördel auf Beschädigung überprüfen
 - Flanschrohr mit PTFE-Auskleidung zentriert, zueinander ausrichten
 - Fettung und Schraubenbeschichtung gemäß Reibwertermittlung kontrollieren und umsetzen
 - Unterlegscheiben auf Mutter und Schraubenkopfseite einsetzen
 - Mutter und Schraube handfest anziehen
 - Schraube mit Drehmomentschlüssel auf der Seite der Mutter anziehen
 - Vorgang dokumentieren
- Flanschmontage
 - Rohrachse und Parallelität der Dichtfläche nochmals prüfen
 - Drehmomentvorgaben- Stufen 1 bis 3 (30%/60%/100%) bezüglich des Reibwerts- angepasste Montagedrehmomenttabelle verwenden
 - Anziehen der Schrauben über Kreuz, maximaler Drehwinkel 90° je Schraube, bis die Drehmomentstufe einmal an jeder Schraube erreicht ist.
 - Danach Drehmomentstufe erhöhen und Vorgang wiederholen.
 - Nach Erreichen des max. Drehmoments der Stufe 3, alle Schrauben nochmals im Uhrzeigersinn der Reihe nach, mit diesem Drehmoment einmal nachziehen.
- Nachziehen der Flanschschrauben gemäß Vorgabe (TA-Luft 2021 siehe Kapitel 5)
Die Flanschverbindungen müssen zum Erreichen der TA-Luftzulassung in Abhängigkeit der Dimension ein oder zweimal nachgezogen werden. Jedes Nachziehen darf frühestens nach 6 h erfolgen. Nach dieser Zeit ist das Setzen erst abgeschlossen.
Bei Nutzungstemperaturen oberhalb von 60°C muss, nach jedem Nachziehen ein Temperaturgang bei max. Nutzungstemperatur und 2h Haltezeit gefahren werden. Danach müssen die Rohrleitungen, vor dem nächsten Nachziehen wieder auf die zulässige Bauteiltemperatur (15 - 25 °C) abkühlen.

Die Anzahl der An-/ Nachziehvorgänge (Erstmontage/Nachziehen) mit Montagedrehmoment ist im Normalfall auf drei Vorgänge begrenzt. Danach darf nur noch 50% des Montagedrehmoments angewendet werden. Gibt es danach noch Leckage-Probleme an der Flanschverbindung kann es erforderlich werden, mit einer Zusatzdichtung zu arbeiten.

6 Montagedrehmomenttabellen

6.1 Montagedrehmomenttabelle: C-Stahl, PN10/PN25, bis 100°C

Hinweis: Tabelle PN 10 gültig ab Montageanleitung Version TDB_0604_13 (siehe Zertifikat AMTEC 30478301a/MS/21.11.2022)
Tabelle PN 25 gültig ab Montageanleitung Version TDB_0604_13 (siehe Zertifikat AMTEC 30478303/MS/15.12.2022)

Diameter Nominal [DN]	PN10 ($p_{\max}=8,5 \text{ bar}/100^\circ\text{C}$)		PN25 ($p_{\max}=21,4 \text{ bar}/100^\circ\text{C}$)	
	Flansch- schrauben	Drehmoment [Nm]	Flansch- schrauben	Drehmoment [Nm]
15	4 x M12	35; 1x)	4 x M12	35; 1x)
20	4 x M12	55; 1x)	4 x M12	55; 1x)
25	4 x M12	55; 1x)	4 x M12	55; 1x)
32	4 x M16	125; 1x)	4 x M16	125; 1x)
40	4 x M16	125; 1x)	4 x M16	125; 1x)
50	4 x M16	140; 1x)	4 x M16	140; 1x)
65	8 x M16	100; 1x)	8 x M16	125; 1x)
80	8 x M16	125; 1x)	8 x M16	125; 1x)
100	8 x M16	140; 1x)	8 x M20	240; 1x)
125	8 x M16	125; 1x)	8 x M24	340; 1x)
150	8 x M20	260; 1x)	8 x M24	340; 1x)
200	8 x M20	260; 1x)	12 x M24	340; 1x)
250	12 x M20	260; 1x)	12 x M27	490; 2x)
300	12 x M20	260; 1x)	16 x M27	490; 2x)
350	16 x M20	260; 1x)	-	-
400	16 x M24	370; 1x)	-	-

Tabelle 3: C-Stahl (ferritisch), Flanschnorm DIN EN 1092-1, Dichtfläche Form B

Bemerkungen

- 1x) 1 x Nachziehen
- 2x) 2 x Nachziehen

Achtung: Die Drehmomentangaben gelten für den Schraubenwerkstoff: 25CrMo4 mit dem Reibbeiwert $\mu = 0,13$.

6.2 Montagedrehmomenttabelle: C-Stahl, PN10, PN16, PN25 bis 180°C

Hinweis: Tabelle PN 10 gültig ab Montageanleitung Version TDB_0604_13 (siehe Zertifikat AMTEC 30478302a/MS/21.11.2022)
Tabelle PN 16 gültig ab Montageanleitung Version TDB_0604_15 (siehe Zertifikat AMTEC 30473806/STS/11.12.2023)
Tabelle PN 25 gültig ab Montageanleitung Version TDB_0604_14 (siehe Zertifikat AMTEC 30473804/MS/30.05.2023)

Diameter Nominal [DN]	PN10 (p _{max} =7,9 bar/180°C)		PN16 (p _{max} =12,7 bar/180°C)		PN25 (p _{max} =20,0 bar/180°C)	
	Flansch- schrauben	Drehmoment [Nm]	Flansch- schrauben	Drehmoment [Nm]	Flansch- schrauben	Drehmoment [Nm]
15	4 x M12	35; 1x)	4 x M12	35; 1x)	4 x M12	35; 1x)
20	4 x M12	55; 1x)	4 x M12	55; 1x)	4 x M12	55; 1x)
25	4 x M12	55; 1x)	4 x M12	55; 1x)	4 x M12	60; 1x)
32	4 x M16	125; 1x)	4 x M16	125; 1x)	4 x M16	125; 1x)
40	4 x M16	125; 1x)	4 x M16	140; 1x)	4 x M16	140; 1x)
50	4 x M16	140; 1x)	4 x M16	145; 1x)	4 x M16	150; 1x)
65	8 x M16	100; 1x)	8 x M16	105; 1x)	8 x M16	125; 1x)
80	8 x M16	125; 1x)	8 x M16	140; 1x)	8 x M16	140; 1x)
100	8 x M16	140; 1x)	8 x M16	145; 1x)	8 x M20	240; 1x)
125	8 x M16	125; 1x)	8 x M16	140; 1x)	8 x M24	340; 1x)
150	8 x M20	260; 1x)	8 x M20	240; 1x)	8 x M24	400; 1x)
200	8 x M20	260; 1x)	12 x M20	230; 2x) ; a)	12 x M24	340; 1x)
250	12 x M20	260; 1x); a)	12 x M24	320; 2x) ; a)	12 x M27	550; 2x)
300	12 x M20	260; 1x) ; a)	16 x M24	420; 2x) ; a)	16 x M27	495; 2x)
350	16 x M20	260; 2x) ; a)	-	-	-	-
400	16 x M24	370; 2x) ; a)	-	-	-	-

Tabelle 4: C-Stahl (ferritisch) , Flanschnorm DIN EN 1092-1, Dichtfläche Form B

Bemerkungen

- 1x) 1 x Nachziehen
- 2x) 2 x Nachziehen
- a) Losflanschwerkstoff P355QH1 erforderlich

Achtung: Die Drehmomentangaben gelten für den Schraubenwerkstoff: 25CrMo4 mit dem Reibbeiwert $\mu = 0,13$.

6.3 Montagedrehmomenttabelle: VA-Stahl, PN10 bis 180°C

Hinweis: Tabelle PN 10 gültig ab Montageanleitung Version TDB_0604_15 (siehe Zertifikat AMTEC 30473805/MS/08.12.2023)

Diameter Nominal [DN]	Edelstahl / PN10 ($p_{max}=7,9$ bar) /180°C	
	Flanschschrauben	Drehmoment [Nm]
15	4 x M12	35; 1x)
20	4 x M12	55; 1x)
25	4 x M12	55; 1x)
32	4 x M16	125; 1x)
40	4 x M16	145; 1x)
50	4 x M16	145; 1x)
65	8 x M16	110; 1x)
80	8 x M16	145; 1x)
100	8 x M16	145; 1x)
125	8 x M16	145; 1x)
150	8 x M20	275; 1x)
200	8 x M20	275; 1x)
250	12 x M20	195; 2x)
300	12 x M20	275; 2x)
350	16 x M20	275; 2x)
400	16 x M24	370; 2x)
450	20 x M24	370 ; 2x)
500	20 x M24	410; 2x)

Tabelle 5: Edelstahl (austenitisch) , Flanschnorm DIN EN 1092-1, Dichtfläche Form B

Bemerkungen

1x) 1 x Nachziehen

2x) 2 x Nachziehen

Achtung: Die Drehmomentangaben gelten für den Schraubenwerkstoff: A2-70 oder A4-70 mit dem Reibbeiwert $\mu = 0,13$.