TEXTE
36/2020

# Harmonisierung der Anforderungen an dichte Verbindungselemente wie Flanschverbindungen zur Begrenzung von diffusen leichtflüchtigen organischen Emissionen (VOC)

**Abschlussbericht**

Für Mensch & Umwelt

Umwelt Bundesamt

TEXTE 36/2020

Ressortforschungsplan des Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Forschungskennzahl FKZ 3717 53 302 5

FB000199

# Harmonisierung der Anforderungen an dichte Verbindungselemente wie Flanschverbindungen zur Begrenzung von diffusen leichtflüchtigen organischen Emissionen (VOC)

Abschlussbericht

von

Prof. Dr.-Ing. Alexander Riedl
ARC Riedl Consulting, Steinfurt

Prof. Dr.-Ing. Heinrich Wilming
IBW Consulting UG, Borken

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

## Impressum

**Herausgeber**
Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

/umweltbundesamt.de
/umweltbundesamt

**Durchführung der Studie:**
IBW Consulting UG, ARC Riedl Consulting
Wilderkamp 14
48565 Steinfurt

**Abschlussdatum:**
August 2019

**Redaktion:**
Fachgebiet III 2.1 Übergreifende Angelegenheiten, Chemische Industrie,
Feuerungsanlagen Frau Karen Pannier

Publikationen als pdf:
http://www.umweltbundesamt.de/publikationen

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Februar 2020

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

**Kurzbeschreibung: Harmonisierung der Anforderungen an dichte Verbindungselemente wie Flanschverbindungen zur Begrenzung von diffusen leichtflüchtigen organischen Emissionen (VOC)**

In Deutschland liegen im Bereich der Dichtheit von Verbindungselementen für die Herstellung und Verarbeitung sowie dem Umschlag und Transport von leichtflüchtigen organischen Verbindungen in verschiedenen Rechtsbereichen und den zugehörigen untergesetzlichen Regelwerken diverse Definitionen und Anforderungen zur technischen Auslegung dichter Verbindungselemente wie Flanschverbindungen vor.

Alle diese Lösungen nehmen vermeintlich für sich die Erfüllung des Standes der Technik in Anspruch.

Zudem werden je nach Regelwerk leichtflüchtige organische Verbindungen unterschiedlich definiert.

Die sich aus den Regelwerken abgeleiteten Vorgaben und Empfehlungen ergebenden technischen Lösungen, sind vermeintlich gleichwertig, unterscheiden sich aber in der Bewertung der Dichtheitseigenschaften, überschneiden sich und können daher zu Fehlinterpretationen bei Betreibern sowie genehmigenden und überwachenden Behörden führen. Sie entsprechen oftmals nicht mehr dem Stand der Technik. Die einzelnen Rechtsbereiche bewerten die Dichtheitseigenschaften eher qualitativ und nur in wenigen Fällen quantitativ. Das führt wiederum zu einer unterschiedlichen Vollzugspraxis bei der Bewertung und Regulierung von diffusen Emissionen.

Ziel dieses Projektes ist es, einen Weg zu einer harmonisierten Lösung aufzuzeigen und Wege zum Nachweis des Standes der Technik in Form einer standardisierten Vorgehensweise zum Nachweis des Dichtheitspotentials einer technischen Verbindung vorzuschlagen. Mit den geplanten neuen Formulierungen in der TA Luft zu technischen Anforderungen an Flanschverbindungen sowie einer quantitativen Vorgabe in Form einer Dichtheitsklasse, bietet sich eine allgemein abdeckende Lösung an, die auch allen Forderungen in anderen Rechtsgebieten mit Dichtheitsanforderungen gerecht werden kann. Die Ergebnisse des Projektes zeigen einen Umsetzungsweg auf und demonstrieren die praktische Umsetzbarkeit an Beispielen. Zur Erreichung einer breiten Akzeptanz durch Umsetzung in andere Rechtsgebiete wird eine Strategie vorgestellt.

Die für viele Rechtsbereiche entwickelte und abdeckende Struktur kann im Einzelfall durchaus zu einer Übererfüllung von Anforderungen führen, da die höchsten Anforderungen den Standard bestimmen. Diese Vorgehensweise ist in der Technik üblich und die Basis der Normung. Die Anwendung von Rohrklassen ist ein gutes Beispiel dafür. Der Vorteil der standardisierenden Vorgehensweise liegt in der vereinheitlichten Systematik mit transparenten Vorgaben, einer Reduzierung der Komplexität, reduzierten administrativen Kosten und erleichtert insbesondere bei Fragen der gleichzeitigen Erfüllung der Anforderungen mehrerer Rechtbereiche die Nachweissicherheit.

**Abstract: Review of the national state of the art in various industries: Harmonization of requirements for tight connection elements such as flange connections to limit diffuse volatile organic emissions (VOC)**

In Germany, there are various definitions and requirements for the technical design of sealed connecting elements such as flange connections in the field of leak-tightness for production and processing as well as handling and transport of volatile organic compounds in various areas of law and associated subordinate regulations. All of these solutions putatively claim to correspond to the state of the art.

Additionally, depending on the regulations, volatile organic compounds are defined differently.

The technical solutions resulting from the guidelines and recommendations are allegedly equivalent, but differ in the assessment of the tightness characteristics, overlap and can therefore lead to misinterpretations among operating companies, licensing and supervisory authorities. They often no longer correspond to the state of the art. The individual legal areas assess the leak-tightness properties qualitatively and only in a few cases quantitatively. This in turn leads to a different enforcement practice in the assessment and regulation of fugitive emissions.

The aim of this project is to show a way to a harmonized solution and to propose ways to prove the state of the art in form of a standardized procedure for the proof of the leakage potential of a technical connection. With the new formulations of the requirements of TA Luft on technical requirements for flange connections as well as a quantitative specification in form of a leak-tightness class, a generally covering solution is offered, which can also meet all requirements in other areas of law with tightness requirements. The results of the project show a way of implementation and demonstrate the practical feasibility of examples. To achieve a broad acceptance by implementation in other areas of law, an implementation strategy is presented.

The developed structure covers many legal areas. In individual cases that can lead to an over-fulfilment of requirements, since the highest requirements determine the standard. This approach is common in the art and represents the basis of standardization. The use of pipe specifications is a good example of this. The advantage of the standardized approach lies in the unified system with transparent specifications, a reduction of complexity as well as reduced administrative costs. In particular, with regard to issues of simultaneous fulfilment of the requirements of several areas of law, the procedure facilitates legal proof.

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis ..... 10
Tabellenverzeichnis ..... 11
Abkürzungsverzeichnis ..... 12
Zusammenfassung ..... 15
Summary ..... 18
1 Vorbemerkung ..... 21
2 Einleitung ..... 22
2.1 Problemstellung ..... 22
2.2 Zielsetzung des Projektes ..... 22
3 Methodische Vorgehensweise ..... 23
3.1 Sichtung der Literatur bezüglich der Anforderungen an dichte Verbindungselemente ..... 24
3.2 Einbindung von Experten und potentiellen relevanten Prozessbeteiligten ..... 25
4 Ergebnisse der Datenerhebung ..... 27
4.1 Stand der Technik von Dichtsystemen in den aktuellen Regelwerken ..... 27
4.1.1 Bedeutung und Nachweis des Standes der Technik ..... 27
4.1.2 Darstellung des Standes der Technik in verschiedenen Rechtsgebieten ..... 30
4.1.3 Zusammenfassung zum Stand der Technik von Dichtsystemen in den aktuellen Regelwerken ..... 31
4.2 Ergebnisse der Expertenbefragungen und Rückmeldungen zu den Fragebögen ..... 33
4.3 Rückmeldungen zum Sachstandsbericht und Fachgespräch ..... 35
4.4 Informelle Treffen mit Experten einzelner Fachgebiete ..... 37
4.5 In Betracht kommende technische Systeme ..... 38
5 Entwicklung von Bewertungskriterien für einheitliche Anforderungen an dichte Verbindungselemente ..... 41
5.1 Beschreibung einer Umsetzungsstrategie ..... 42
5.2 Bewertungskriterien zur Qualifizierung dichter Verbindungselemente ..... 44
5.3 Anwendung der Bewertungskriterien auf die Rechtsgebiete ..... 48
6 Beschreibung des aktuellen Standes der Prüftechnik ..... 50
6.1 Vergleichbarkeit Bauteilversuch mit EN 13555 ..... 50
6.2 Stand der Leckagemesstechnik ..... 53
6.3 Prüfmedium ..... 53
6.4 Durchführung Bauteilversuche ..... 55
6.5 Besondere Anforderungen ..... 58

7 Vorschlag einer Umsetzungsstrategie zu einheitlichen Dichtheitsanforderungen ..... 59
7.1 Konzept für eine neue einheitliche VDI 2290 ..... 60
7.1.1 Auswahl der Bauteile des Flanschsystems ..... 61
7.1.2 Festigkeits- und Dichtheitsnachweis ..... 62
7.1.3 Verantwortlichkeiten für Prüfung und Dokumentation ..... 64
7.1.4 Prüfbericht für den Bauteilversuch ..... 65
7.1.5 Montage- und Qualitätssicherungsvorschrift für Ausführungspersonal ..... 67
7.1.6 Prozessbeschreibung im Managementsystem ..... 67
7.2 Standardisierung der Dichtheitsanforderungen in anderen Rechtsgebieten ..... 68
7.2.1 Randbedingungen, Ansatzpunkte ..... 68
7.2.2 Strategieansätze zur Realisierung in anderen Rechtsgebieten ..... 72
8 Vorschlag einer Umsetzungsstrategie zu einheitlichen Dichtheitsanforderungen ..... 74
8.1 Stahl-Email-Flansche im KHS ..... 74
8.1.1 Prüfgerät ..... 74
8.1.2 Dichtung ..... 75
8.1.3 Dichtflächenpressung ..... 75
8.1.4 Prüfdruck ..... 76
8.1.5 Montage ..... 76
8.1.6 Warmlagerung ..... 77
8.1.7 Leckagerate und Dichtheitsnachweis ..... 78
8.2 Steril- oder Aseptik-Verbindungen im KNS ..... 80
8.2.1 Prüfgerät ..... 80
8.2.2 Dichtflächenpressung ..... 81
8.2.3 Dichtung ..... 81
8.2.4 Prüfdruck ..... 82
8.2.5 Montage ..... 82
8.2.6 Warmlagerung ..... 82
8.2.7 Leckagerate und Dichtheitsnachweis ..... 82
9 Quellenverzeichnis ..... 83
A Anhänge ..... 93
A.1 TA Luft (Stand 18.07.2018), Abschnitt 5.2.6.3 Flanschverbindungen ..... 93
A.2 Anschreiben der Prozessbeteiligten und Fragebogen ..... 93
A.3 Stand der Technik in den aktuellen Regelwerken ..... 94
A.4 Prüfbericht zum Bauteilversuch – Dokumentation und Vorgehensweise ..... 113

A.5 Montageanleitung zur Umsetzung der TA Luft (neu) am Beispiel von Stahl-Email-Flanschverbindungen ..... 118

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grundsätzliche Vorgehensweise bei einer Gefährdungsbeurteilung mit Berücksichtigung rechtsgebietsspezifischer Anforderungen an die Dichtheit der Verbindungen. ..... 28
Abbildung 2: Verknüpfung Gesetze, Verordnungen, Technische Regeln und Normen im Geltungsbereich Anlagensicherheit, Arbeitsschutz und Umweltschutz ..... 31
Abbildung 3: Vergleich der Anforderungen an Dichtsysteme nach dem Schutz- und dem Vorsorgeprinzip. ..... 33
Abbildung 4: Beispielhafte Grundausführungen von Flanschverbindungsformen im Krafthaupt und Kraftnebenschluss ..... 38
Abbildung 5: Kriterien zur Ausführung unterschiedlicher Verbindungssysteme ..... 39
Abbildung 6: Reduzierung der Komplexität, Prinzipbetrachtung ..... 39
Abbildung 7: Einheitliches Nachweisverfahren für die Dichtheit einer Verbindung, Einfluss auf die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung ..... 42
Abbildung 8: Vereinfachte Darstellung der „neuen Vorgehensweise“ zum Nachweis eines dichten Verbindungssystems im Rahmen einer Systembetrachtung ..... 43
Abbildung 9: Qualitative Anwendung der Bewertungskriterien auf die Anforderungen der wichtigsten Rechtsgebiete ..... 48
Abbildung 10: Grundelemente einer neuen VDI 2290 ..... 61
Abbildung 11: Struktur der neuen Vorgehensweise zum Nachweis der Dichtheit in allen Rechtsgebieten ..... 71
Abbildung 12: Beispielhafter Workflow zur Erfüllung der Nachweispflichten über einen Bauteilversuch am Beispiel der TA Luft ..... 72
Abbildung 13: Möglicher Prüfaufbau der Bauteilprüfung ..... 74
Abbildung 14: Errechnete Flächenpressung auf Basis einer bestehenden Drehmomenttabelle ..... 76
Abbildung 15: Flächenpressungen beider Prüfaufbauten ..... 78
Abbildung 16: Ergebnisse der Dichtheitsversuche beider Prüfaufbauten ..... 79
Abbildung 17: Typische Verspannelemente an Rohrleitungsteilen ..... 80
Abbildung 18: Typischer Prüfaufbau einer Sterilflanschverbindung ..... 80
Abbildung 19: Bewertung von Dichtungslösungen über Verfahrensindices in der TRGS 500 ..... 95
Abbildung 20: Vergleich der Kriterien für technisch dichte und auf Dauer technisch dichte Anlagenteile nach TRGS 722, TRBS 2152-2 ... 96
Abbildung 21: Bisherige Vorgehensweise zur Erfüllung der Anforderungen der VDI 2290 ..... 104

Abbildung 22: Geltungsbereiche der VDI 2440, VDI 2200 und VDI 2290 .....105
Abbildung 23: Konkretisierungsgrad technischer Anforderungen .....107
Abbildung 24: Anforderungen an den Nachweis der Dichtheit einer Dichtverbindung in unterschiedlichen technischen nationalen Regeln.....111
Abbildung 25: Anforderungen an die Behandlung diffuser Emissionen (VOC) in verschiedenen BVT-Merkblättern .....112
Abbildung 26: CWW BVT-Merkblatt (2016) BAT 19: anzuwendende Techniken zur Vermeidung oder Reduzierung diffuser VOC-Emissionen.....113
Abbildung 27: möglicher Prüfablauf nach TA Luft (neu) .....116
Abbildung 28: Abbruchkriterien der Prüfung im Hinblick auf die Erfüllung oder Nichterfüllung der Dichtheitsanforderung nach TA Luft:2018 und VDI 2290 .....117
Abbildung 29: Stahl-Email-Flanschverbindung in ISO-Ansicht.....120
Abbildung 30: Apparate-Flanschverbindung mit Klammerschrauben .....121

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Rechtsbereiche zum Betrieb von Anlagen mit Dichtheitsanforderungen .....68
Tabelle 2: Drehmomentangaben und Randbedingungen für Übergänge von Rohrleitungsflanschen .....124
Tabelle 3: Drehmomentangaben und Randbedingungen für Übergänge von Rohrleitungs- auf Apparateflansche .....124

# Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---|---|
| **AD 2000** | Regelwerk der Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter |
| **ADR** | Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route, deutsch: Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße |
| **ArbSchG** | Arbeitsschutzgesetz |
| **ATEX** | "ATmosphère EXplosible", Kurzbezeichnung für europäische Explosionsschutzverordnung |
| **ATV** | Abwassertechnische Vereinigung |
| **AwSV** | Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen |
| **BAT** | Best Available Techniques |
| **BetrSichV** | Betriebssicherheitsverordnung |
| **BG** | Berufsgenossenschaften |
| **BG RCI** | Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie |
| **BGI** | Berufsgenossenschaftliche Informationen (neu DGUV Informationen) |
| **BGR** | Berufsgenossenschaftliche Regeln (neu DGUV Regeln) |
| **BGV** | Berufsgenossenschaftliche Vorschriften (neu DGUV Vorschriften) |
| **BImSchG** | Bundes-Immissionsschutzgesetz |
| **BREF** | Best Available Techniques Reference Document |
| **BVT** | Beste verfügbare Technik |
| **CEN** | Comité Européen de Normalisation, Europäisches Komitee für Normung |
| **CENELEC** | Comité Européen de Normalisation Électrotechnique; Europäische Komitee für elektrotechnische Normung |
| **ChemG** | Chemikaliengesetz |
| **CWW** | BVT-Merkblatt: Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector (Abwasser-/ Abgasbehandlung und Abwasser-/Abgasmanagementsysteme in der chemischen Industrie) |
| **Dechema** | Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V. |
| **DGUV** | Deutsche gesetzliche Unfallversicherung |
| **DIN** | Deutsches Institut für Normung; Deutsche Industrienorm |
| **DIN EN ISO** | Weltweit anerkannte Norm, in den Europäischen Geltungsbereich übernommen |
| **DVGW** | Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau |
| **DWA** | Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall |
| **EMS** | Environmental Management System |
| **EN** | Europäische Normen |
| **EnWG** | Energiewirtschaftsgesetz |
| **GefStoffV** | Gefahrstoffverordnung |

| | |
|---|---|
| **GFK** | Glasfaser verstärkte Kunststoffe |
| **GMP** | Good Manufactoring Practice |
| **HBV** | Anlagen zum Herstellen, Behandeln und Verwenden |
| **IE-RL** | Industrieemissionsrichtlinie (engl. Industrial Emissions Directive – IED) |
| **LDAR** | Leak Detection and Repair |
| **LAI** | Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz |
| **LASI** | Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik |
| **LAU** | Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen mit Behältern und Rohrleitung |
| **MWV** | Mineralölwirtschaftsverband |
| **NMVOC** | non Methan volatile organic compounds |
| **PE** | Polyethylen |
| **PFA** | Perfluoralkoxy-Polymere |
| **PP** | Polypropylen |
| **ProcessNet** | Deutsche Plattform für Verfahrenstechnik Chemieingenieurwesen und Technische Chemie |
| **ProdSG** | Produktsicherheitsgesetz |
| **ProdSV** | Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz |
| **PTFE** | Polytetrafluorethylen |
| **RohrFLtgV** | Rohrfernleitungsverordnung |
| **SFK** | Störfallkommission (heute KAS Kommission Anlagensicherheit) |
| **StörfallV** | Störfallverordnung |
| **TA Luft** | Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz- 1. BImSchVwV) |
| **TRAS** | Technische Regeln Anlagensicherheit |
| **TRBS** | Technische Regeln Betriebssicherheit |
| **TRFL** | Technische Regeln Fernleitungen |
| **TRGS** | Technische Regeln Gefahrstoffverordnung |
| **TRWI** | Technische Regeln Trinkwasserinstallation |
| **TRwS** | Technische Regeln wassergefährdende Stoffe |
| **UVPG** | Gesetz über Umweltverträglichkeitsprüfung |
| **UVV** | Unfallverhütungsvorschriften |
| **VCI** | Verband der chemischen Industrie |
| **VCI-Montageleitfaden** | VCI-Leitfaden zur Montage von Flanschverbindungen in verfahrenstechnischen Anlagen |
| **VDI** | Verein Deutscher Ingenieure |
| **VDMA** | Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. |
| **VO** | Verordnung |

| | |
|---|---|
| **VOC** | Volatile Organic Compounds |
| **WHG** | Wasserhaushaltsgesetz |

## Zusammenfassung

In Deutschland liegen im Bereich der Dichtheit von Verbindungselementen für die Herstellung und Verarbeitung sowie dem Umschlag und Transport von leichtflüchtigen organischen Verbindungen in verschiedenen Rechtsbereichen und den zugehörigen untergesetzlichen Regelwerken diverse Definitionen und Anforderungen zur technischen Auslegung dichter Verbindungselemente wie Flanschverbindungen vor.

Alle diese Lösungen nehmen vermeintlich für sich die Erfüllung des Standes der Technik in Anspruch. Zudem werden je nach Regelwerk leichtflüchtige organische Verbindungen unterschiedlich definiert.

Die sich aus den Regelwerken abgeleiteten Vorgaben und Empfehlungen ergebenden technischen Lösungen, sind vermeintlich gleichwertig, unterscheiden sich aber in der Bewertung der Dichtheitseigenschaften, überschneiden sich und können daher zu Fehlinterpretationen bei Betreibern sowie genehmigenden und überwachenden Behörden führen. Sie entsprechen oftmals nicht mehr dem Stand der Technik. Die einzelnen Rechtsbereiche bewerten die Dichtheitseigenschaften eher qualitativ und nur in wenigen Fällen quantitativ. Das führt wiederum zu einer unterschiedlichen Vollzugspraxis bei der Bewertung und Regulierung von diffusen Emissionen.

Ein Ziel des Forschungsprojekts war es, den aktuellen Stand der Anforderungen an die Definition von Dichtheit an Verbindungselementen, wie z.B. Flanschverbindungen, in den unterschiedlichsten nationalen und europäischen Regelwerken sowie in der Verwaltungspraxis zu erfassen. Hieraus war der Handlungsbedarf zu ermitteln, Vorschläge zur Harmonisierung zu erarbeiten und Wege zu einer einheitlichen, effizienten Umsetzung aufzuzeigen. Diese sollen in möglichst vielen Rechtsbereichen mit Dichtheitsanforderungen an Verbindungselemente in einheitlicher Form umgesetzt werden.

Ein wesentlicher Aspekt ist die Umsetzung der neuen Anforderungen der sich in Überarbeitung befindlichen TA Luft, die von allen Rechtsgebieten die höchsten Anforderungen an den Grad der Dichtheit eines Verbindungselementes fordert, wie beispielsweise einer Flanschverbindung zur Begrenzung von diffusen leichtflüchtigen organischen Emissionen.

In diesem Zusammenhang ist hervorzuheben, dass die neue Fassung der TA Luft von einer komponentenbezogenen Betrachtung (z.B. TA Luft Zertifikat für eine Dichtung) zu einer systembezogenen Betrachtung (z.B. TA Luft Nachweis für die gesamte Verbindung mit allen Bauteilen) übergeht. Dieser Aspekt muss besonders berücksichtigt werden.

Zur Gewährleistung einer hohen Praxisrelevanz sind wesentliche Experten bzw. Akteure, die in Auslegung, Herstellung, Montage, Betrieb, Genehmigung und Prüfung des Produktes dichtes Verbindungselement involviert sind, eingebunden worden. In Form eines Fragebogens wurden sie zu den für ihren Anwendungsbereich relevanten Regelwerken, technischen Regeln, Normen und der praktizierten Genehmigungs-, Verwaltungs- und Prüfpraxis befragt. Ziel war es, eine möglichst umfängliche Literaturliste zu erhalten, die alle Anforderungen an die Dichtheit von Dichtelementen enthält.

Die Auswertung der Fragebögen sowie der relevanten Gesetze, Verordnungen, technischen Regeln und Normen ergeben ein Bild über die Komplexität der Anforderungen an dichte Verbindungselemente aus rechtlicher, technischer Sicht sowie die gelebte Umsetzung der Anforderungen in den Anlagen durch Hersteller und Betreiber. Die Ergebnisse der Expertenrückmeldungen wurden zusammen mit den bisher gewonnenen Erkenntnissen in je

einem Sachstands- und Zwischenbericht zusammengefasst und den Experten auf einem Fachtag zur Bewertung vorgestellt. Anregungen sind in die weitere Bearbeitung eingeflossen.

In dem Projekt wurde auf Basis der Datenerhebung das Harmonisierungspotential ermittelt und ein konkreter Lösungsvorschlag auf Basis des Lösungsansatzes der neuen TA Luft (Text des Referentenentwurfes vom 16. Juli 2018) entwickelt. Dieser Lösungsvorschlag ist abdeckend für alle Rechtsgebiete, mit Anforderungen an die Dichtheit von Flanschverbindungen und erfüllt die im Projekt definierten Bewertungskriterien.

Der Vorschlag beruht auf einem Drei-Säulen-Modell mit der Forderung der Erfüllung einer einheitlichen Dichtheitsanforderung von 10-2 mg/(s·m) als Stand der Emissionsminderungstechnik. Ein wesentlicher Schritt ist der Übergang von der bisher überwiegenden Komponentenbetrachtung auf eine Systembetrachtung des gesamten Verbindungssystems. Der Weg zum Nachweis der Einhaltung der Dichtheitsklasse erfolgt je nach technischem System durch

1. einen rechnerischen Nachweis, mit in einem Bauteilversuch ermittelten, leckageabhängigen Dichtungskennwerten,
2. einen typbasierten Bauteilversuch mit einem Repräsentanten des originären Verbindungssystems auf einem Prüfstand oder
3. durch eine individuelle Prüfung im Sinne eines Bauteilversuches an einer realen Verbindung als Einzelfalllösung.

Die Ergebnisse der Nachweisführung sollten in einem standardisieren Prüfbericht dokumentiert werden. Für den Prüfbericht wurden ein Muster und Umsetzungsempfehlungen erarbeitet. Der Prüfbericht muss alle Angeben enthalten, damit ein Betreiber daraus entsprechende Montagevorgaben ableiten kann.

Die Ergebnisse des Projektes belegen, dass eine einfache und einheitliche Vorgehensweise möglich ist, wie Dichtverbindungen im Krafthauptschluss (KHS) und im Kraftnebenschluss (KNS) alle rechtlichen und regulatorischen Vorgaben hinsichtlich Emissionen (Dichtheitsnachweis) und Druckfestigkeit (Festigkeitsnachweis) erfüllen können.

Ebenso konnte gezeigt werden, dass dadurch der administrative Aufwand der Betreiber und Behörden durch Reduzierung der Komplexität deutlich verringert werden kann.

Bei Umsetzung der erarbeiteten Ergebnisse besteht die Möglichkeit alle Flanschverbindungen auf den aktuellen Stand der Technik zu bringen, was in Summe allen Beteiligten zugutekommt.

Konkret lässt der Stand des Forschungsprojekts vermuten (praktische Bauteilversuche für bestimmte technische Lösungen liegen bisher nur in orientierender Form vor), dass mit einem Nachweisverfahren für die Dichtheit von Flanschverbindungen, das die Anforderungen der in der Überarbeitung befindlichen TA Luft erfüllt, auch alle Anforderungen anderer Rechtsgebiete an die Dichtheit von Verbindungen erfüllt werden können.

Damit können vermutlich alle technisch relevanten konstruktiven Formen hinsichtlich Dichtheit und Festigkeit nachgewiesen werden. Für einzelne technische Lösungen wurde in dem Projekt eine beispielhafte Vorgehensweise entwickelt und dokumentiert. Für andere technische Lösungen wurden Empfehlungen erarbeitet auf die bei der Konkretisierung der Richtlinien zur technischen Umsetzung zurückgegriffen werden kann.

Es kann also mit **einer** Vorgehensweise das o.g. Ziel erfüllt werden und ein einheitlicher technischer Standard zur Nachweis der Einhaltung des Standes der Technik für Dichtsysteme mit erhöhten Dichtheitsanforderungen eingeführt werden. Davon profitieren gleichermaßen Genehmigungsbehörden als auch Betreiber, da sie eine einheitliche und einfache Vorgehensweise zur Umsetzung aller Vorgaben hinsichtlich Dichtheit und Funktion erhalten. Hierdurch sind deutliche Kosteneinsparungen aufgrund einer deutlich reduzierten Komplexität zu erwarten.

Bedingt durch den mutmaßlichen Übergang von der Komponenten- zur Systembetrachtung müssen die einzelnen Komponentenhersteller und Betreiber zukünftig enger zusammenarbeiten, mit dem Ziel ein funktions- und vorgabenkonformes Dichtsystem am Markt bereitstellen und einsetzen zu können. Vorteil hieraus ist, dass sich vor allem Hersteller hochwertiger und standardisierter Komponenten durchsetzen werden, da sich vermutlich eine Konsolidierung am Markt ergeben wird. Diese Dichtsysteme können dann die Basis für beispielsweise Dichtsystemklassen (vergleichbar zu Rohrklassen) sein, die sicherlich zu einem vereinfachten Handling der Problematik „dichte Verbindungselemente“ führen.

Nicht zuletzt haben den größten Nutzen aus dem Projekt Mensch und Umwelt, da sich durch die Vorgehensweise mit hoher Wahrscheinlichkeit sowohl die Kosten deutlich reduzieren lassen, die Emissionen aus Dichtverbindungen deutlich sinken und die Anlagensicherheit als auch -verfügbarkeit steigen werden.

Mit Abschluss des Projektes wird sich aller Voraussicht nach die konkrete Umsetzung in Form von VDI-Richtlinien, Normen, Industriestandards oder auch Leitfäden vollziehen müssen. Das Forschungsprojekt beschreibt hierzu abschließend eine mögliche Vorgehensweise.

## Summary

In Germany, there are various definitions and requirements for the technical design of sealed connecting elements such as flange connections in the field of leak-tightness of connecting elements for the production and processing as well as the handling and transport of volatile organic compounds in various areas of law and the associated subordinate regulations.

All of these solutions putatively claim to correspond to the state of the art.

Additionally, depending on the regulations, volatile organic compounds are defined differently.

The technical solutions resulting from the guidelines and recommendations are allegedly equivalent, but differ in the assessment of the tightness characteristics, overlap and can therefore lead to misinterpretations among operators and licensing and supervisory authorities. They often no longer correspond to the state of the art. The individual legal areas assess the leak-tightness properties qualitatively and only in a few cases quantitatively. This in turn leads to a different enforcement practice in the assessment and regulation of fugitive emissions.

One goal of the research project was to describe the state of the art of requirements for the definition of tightness of sealed connecting elements, such as flange connections, in a wide variety of national and European regulations and in administrative practice. Starting from this, the need for action was identified and proposals for harmonization of the different requirements were developed, as well as ways to a uniform, efficient implementation. These should be implemented in as many legal areas as possible with sealing requirements for sealed connecting elements in a uniform form.

Another important aspect is the implementation of new requirements of TA Luft, which is in process of being revised and which demands the highest degree of tightness of a connecting element of all legal areas, such as flange connections for limiting diffuse volatile organic emissions.

In this regard, it should be noted that the new version of the TA Luft transitions from a component-related consideration (e.g., TA Luft certificate for a gasket) to a system-related consideration (e.g., TA Luft proof for the entire connection of all components). This aspect needs special consideration.

In order to ensure a high level of practical relevance, key experts involved in the design, manufacture, assembly, operation, approval and testing of products of tight connection element, have been involved. In form of a questionnaire, they were asked about the relevant regulations, technical rules, standards and practice of approval, administration and testing for their area of application. The aim here was to obtain the most extensive possible literature list, which contains all the requirements for the tightness of sealing elements.

The evaluation of the questionnaires as well as the relevant laws, regulations, technical rules and standards provide a picture of the complexity of the requirements for sealed connection elements from legal and technical requirements as well as the practiced implementation of the requirements in the systems by manufacturers and plant operators. The results of the expert feedback, together with the findings so far, were summarized in a progress report and interim report and presented to the experts for evaluation on a specialist day. Suggestions have flowed into the further research project.

In the project, the potential for harmonization was determined on basis of the data collection and a concrete solution proposal was developed on basis of the approach of the new TA Luft (text of the presenter's draft of 16 July 2018). This proposed solution covers all areas of law,

with requirements for the tightness of flange connections and meets the evaluation criteria defined in the project.

The proposal is based on a three-column-model with the requirement to meet a uniform leak-tightness of 10-2 mg/ (s·m). An essential step is the transition from the predominant consideration of components to a system analysis of the entire connection system. The way to prove compliance with the tightness class can vary depending on the technical system and can be conducted by:

1. a computational proof, with a component test containing leakage-dependent sealing characteristics,
2. a typ based component test with a representative of the original connection system on a test bench or
3. a measurement of a real connection unit as an individual case-by-case solution.

The results of the verification should be documented in a standardized test report. For the test report, an example and implementation recommendations were developed. The test report must contain all specifications, so that an operator can derive appropriate installation specifications.

The results of the project demonstrate that a simple and consistent approach is possible, such as sealing connections in the main power connection (KHS) and in force shunt (KNS) can meet all legal and regulatory requirements with regard to emissions (proof of tightness) and compressive strength (proof of strength).

It could also be shown that administrative effort on the part of plant operators and authorities can be significantly reduced by reducing the complexity.

When the developed results of this research project will be implemented, it is possible to bring all flange connections up to the state of the art, which in total benefits all involved parties.

In concrete terms, the state of the research project suggests (practical component tests for specific technical solutions are only available in an orienting form), that with a verification procedure for the leak tightness of flange connections, which meets the requirements of the TA Luft (under revision right now), also all requirements of other of law areas concerning tightness of connections can be met.

Thus, all technically relevant constructive forms with regard to tightness and strength can probably be verified. For individual technical solutions, an exemplary procedure was developed in the project. For other technical solutions, recommendations have been developed which can be used in the specification of the technical implementation directives.

Summing up, it is possible to fulfil all requirements concerning leak tightness with **only one** procedure to demonstrate compliance with the state of the art for sealing systems with increased tightness requirements. This benefits both licensing authorities and plant operators, as they receive a uniform and simple procedure for the implementation of all specifications regarding leak tightness and function. As a result, significant cost savings due to significantly reduced complexity can be expected.

Due to the presumed transition from component to system analysis, the individual component manufacturers and operators must work together more closely in the future, with the goal of being able to provide and use a functional and specification-compliant sealing system in the market. The advantage of this is that mainly manufacturers of high-quality and standardized

components will assert themselves, since a consolidation on the market is likely to result. These sealing systems can then be the basis for, e.g. sealing system classes (comparable to pipe classes), which certainly lead to a simplified handling of the problem of "tight connection elements".

Not least of all, human beings and the environment will have the greatest benefit from the project, as the procedure will likely lead to significantly reduce costs, significantly reduced emissions from sealing components, and increased plant safety and plant availability.

With the completion of this project, the implementation of the results will have to be made by new or revised VDI guidelines, standards, industry standards or guidelines.

# 1 Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht stellt die Ergebnisse des Forschungsvorhabens „Überprüfung des nationalen Standes der Technik in verschiedenen Branchen: Teilvorhaben 5: Harmonisierung der Anforderungen an dichte Verbindungselemente wie Flanschverbindungen zur Begrenzung von diffusen leichtflüchtigen organischen Emissionen (VOC)“ vor.

Das Forschungsprojekt wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt, Experten aus dem Bereich Dichtungstechnik, betroffenen Herstellern technischer Systeme, Betreibern, die im Geltungsbereich der TA Luft fallende Systeme anwenden, sowie Behörden, die Vorgaben zur Umsetzung der TA Luft machen und den Vollzug administrieren müssen, bearbeitet. Mit der Einbindung aller betroffenen Stellen soll sichergestellt werden, dass alle relevanten Akteure eingebunden sind. Die in dem Projekt bearbeitete Problematik deckt vorrangig den Teilbereich des technischen Nachweises der Dichtheit einer Verbindung ab.

Die Ergebnisse des Vorhabens stellen die Sicht der Forschungsnehmer dar und entsprechen nicht notwendigerweise in allen Punkten der Sicht der eingebundenen Experten. Der Bericht kann insbesondere als Basis zur Konkretisierung der technischen Umsetzung der neuen TA Luft und der Formulierung eines einheitlichen Standards zum Nachweis an Verbindungen mit Anforderungen an die Dichtheit dienen.

# 2 Einleitung

## 2.1 Problemstellung

In Deutschland liegen im Bereich der Dichtheit von Verbindungselementen für die Herstellung und Verarbeitung sowie dem Umschlag und Transport von leichtflüchtigen organischen Verbindungen in verschiedenen Rechtsbereichen und den zugehörigen untergesetzlichen Regelwerken diverse Definitionen und Anforderungen zur technischen Auslegung dichter Verbindungselemente wie Flanschverbindungen vor.

Die sich aus diesen Vorgaben und Empfehlungen ergebenden technischen Lösungen, sind vermeintlich gleichwertig, unter- und überscheiden sich aber teils in der Bewertung der Dichtheitseigenschaften und führen daher zu Fehlinterpretationen bei Betreibern sowie genehmigenden und überwachenden Behörden und entsprechen damit oftmals nicht mehr dem Stand der Technik. Sie bewerten die Dichtheitseigenschaften eher qualitativ und nur in wenigen Fällen quantitativ. Das führt wiederum zu einer unterschiedlichen Vollzugspraxis bei der Bewertung und Regulierung von diffusen Emissionen.

## 2.2 Zielsetzung des Projektes

Das Forschungsprojekt hatte als erstes Ziel eine umfängliche Literaturrecherche, um alle derzeit existierenden Anforderungen an dichte Verbindungselemente (z.B. Flanschverbindungen) zur Begrenzung von diffusen leichtflüchtigen organischen Emissionen (VOC) bestimmen zu können. Das geschah neben der klassischen Literaturrecherche durch die Einbeziehung möglichst aller betroffenen Vertreter aus relevanten Industriebereichen, Verbänden, Behörden und sonstigen zugehörigen Fachgruppen.

Darauf aufbauendes Ziel war es, mit Hilfe der Ergebnisse der Literaturrecherche die einzelnen Dokumente nach Gemeinsamkeiten und Unterschieden zu untersuchen und zu gruppieren. Das geschah unter den Gesichtspunkten der Anforderungen an die Begrenzung von diffusen Emissionen, aus den Rechtsbereichen Umweltschutz, Anlagen-, Arbeits- und Produktsicherheit.

Mit den damit erhaltenen Ergebnissen sollte der aktuelle Stand der Technik zur Begrenzung von VOC beschrieben werden, wobei vorausgeschickt werden kann, dass dieser durch das nach TA Luft (Referentenentwurf vom 16. Juli 2018) vorgeschriebene Vorgehen als abdeckende Vorgehensweise gegeben ist.

Nachdem der Stand der Technik erfasst war, galt es als abschließendes Ziel aufzuzeigen, wie dieser in allen Rechtsbereichen umgesetzt werden kann.

Bei der Bearbeitung des Forschungsprojektes hat sich herausgestellt, dass in unterschiedlichen Rechtsbereichen der Stand der Technik unterschiedlich interpretiert wird. Teilweise sind über lange Zeiträume keine Anpassungen an den Stand der Technik in einzelnen Rechtsbereichen durchgeführt worden, so dass die Unterschiede immer größer geworden sind. Abschließendes Ziel des Forschungsprojektes war es eine Umsetzungsstrategie aufzuzeigen, die alle diese unterschiedlichen Ansätze zusammenführen kann. Dadurch kann ein einheitlicher Stand der Technik für alle Rechtsbereiche definiert werden. Die Praxistauglichkeit der Umsetzungsstrategie wurde exemplarisch an einem Beispiel gezeigt.

# 3 Methodische Vorgehensweise

Zur Bearbeitung des Forschungsauftrages wurde in folgenden Schritten vorgegangen:

a) Sichtung relevanter Literatur und Datenaufnahme bezüglich der aktuellen Regelwerke, Verordnungen, technischen Regeln, Normen und Literatur und der Identifizierung kompetenter Informationsträger.

b) Zur Gewährleistung einer hohen Praxisrelevanz wurde eine Liste wesentlicher Experten bzw. Akteure erstellt, die mit Auslegung, Herstellung, Montage, Betrieb, Genehmigung und Prüfung des Produktes „dichtes Verbindungselement“ involviert sind. Diese Experten begleiteten das Projekt beratend.

c) Mit Hilfe eines Fragebogens und einer ersten Literaturliste wurden diese Experten zu den für ihren Anwendungsbereich relevanten Regelwerken, technischen Regeln, Normen und der praktizierten Genehmigungs-, Verwaltungs- und Prüfpraxis befragt. Der aus ihrer Sicht notwendige Änderungs- und Anpassungsbedarf wurde ermittelt. Die Auswertung der Fragebögen sowie der relevanten Gesetze, Verordnungen, technischen Regeln und Normen ergeben ein Bild über die Komplexität der Anforderungen an dichte Verbindungselemente aus rechtlichen und technischen Anforderungen sowie die gelebte Umsetzung der Anforderungen in den Anlagen durch Hersteller, Betreiber und Aufsichtsbehörden.

d) Auf Basis der Datenerhebung, über die Auswertung der Fragebögen und der relevanten Literatur ist das Harmonisierungspotenzial ermittelt und in konkrete Lösungsstrategien umgesetzt worden. Dabei werden möglichst praktikable, rechtsgebietsübergreifende Lösungen angestrebt, die allgemein abdeckend sein sollen. Ein wesentlicher Aspekt liegt auch auf der Umsetzung der neuen Anforderungen der z.Z. überarbeiteten TA Luft, die von allen Rechtsgebieten die höchsten Anforderungen an den Grad der Dichtheit eines Verbindungselementes wie einer Flanschverbindung zur Begrenzung von diffusen leichtflüchtigen organischen Emissionen fordert. Des Weiteren geht die neue Fassung der TA Luft von einer komponentenbezogenen Betrachtung (z.B. TA Luft Zertifikat für eine Dichtung) zu einer systembezogenen Betrachtung (z.B. TA Luft Nachweis für die gesamte Verbindung mit allen Bauteilen) über. Dieser Aspekt muss besonders berücksichtigt werden, insbesondere in seinen Auswirkungen auf die derzeit nicht mit analytischen Methoden rechenbaren Flanschverbindungen. Die betrachteten Technologien müssen zumindest alle in TA Luft-Anlagen verbauten Konstruktionen berücksichtigen.

e) Auf Basis der Literaturanalyse und den Rückmeldungen und Abstimmungen wurden Bewertungskriterien für Dichtheitsanforderungen entwickelt und auf die vorhandenen Regelungen gespiegelt. Auf Basis der Bewertungskriterien und des neu zusammengefassten Standes der Technik wurden alternative und abdeckende Umsetzungsstrategien sowohl regulatorischer als auch technischer Art erarbeitet.

f) Die Ergebnisse wurden in einem Sachstands- und einem Zwischenbericht zusammengefasst und dem Expertenkreis, der auch schon an der Datenerhebung und Sichtung der Literatur beteiligt war, zur Begutachtung und Bewertung vorgestellt.

g) Der sich im Rahmen der Projektarbeit herauskristallisierte Lösungsweg wurde weiter ausgearbeitet und ist in dem vorliegenden Abschlussbericht beschrieben. Er ist in Form eines Werkzeugkastens mit einem Umsetzungsvorschlag ausformuliert und an ausgesuchten Beispielen erprobt worden.

Die Definition von leichtflüchtigen organischen Verbindungen (VOC) ist in den einzelnen Rechtbereichen unterschiedlich, z.B. wird Methan in manchen Gesetzen/Verordnungen in den

Geltungsbereich einbezogen in anderen wiederum nicht. Für das neue einheitliche Nachweisverfahren als Stand der Technik wird kein Unterschied gemacht, es soll grundsätzlich für alle Arten von VOC anwendbar sein.

## 3.1 Sichtung der Literatur bezüglich der Anforderungen an dichte Verbindungselemente

Bei der Zusammenstellung der Literaturliste mit besonderem Bezug zu leichtflüchtigen organischen Emissionen wurde folgende Gliederung zugrunde gelegt:

- Europa
  - EU-Richtlinien
  - BVT-Merkblätter
- Bund-Länder Gesetze, Verordnungen, Technische Regeln
  - Arbeitsschutzgesetz ArbSchG
    - Betriebssicherheitsverordnung BetrSichV
      - Technische Regeln TRBS
  - Sozialgesetzbuch VII – SD VII
    - Berufsgenossenschaftliches Regelwerk
  - Chemikaliengesetz – ChemG
    - Gefahrstoffverordnung – GefStoffV
    - Technische Regeln TRGS
  - Produktsicherheitsgesetz – ProdSG
    - Verordnungen zum Produktsicherheitsgesetz
    - Harmonisierte Normen mir Relevanz zu Dichtheit
  - Bundes-Immissionsschutzgesetz – BImSchG
    - Verordnungen zum Bundes-Immissionsschutzgesetz
    - Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz
    - TA Luft
  - Wasserhaushaltsgesetz – WHG
    - Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen - AwSV
    - Technische Regeln TRwS
  - Energiewirtschaftsgesetz EnWG

        - Verordnungen zum Energiewirtschaftsgesetz
        - Technische Regeln TRGI - DVGW
    - Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung-UVPG
        - Rohrfernleitungsverordnung – RohrFLtgV
        - Technische Regeln TRFL
- VDI-Richtlinien
- LASI Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik
- Bund/Länder – Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz – LAI (Bekanntmachungen)
- DIN – EN – ISO Normen
- Behördenbescheide
- Werknormen – Verbändenormen
- Arbeitsblätter – Merkblätter
- Leitfäden
- Publikationen – Veröffentlichungen-Fachzeitschriften

Die komplette, um die Rückmeldungen ergänzte Literaturliste, befindet sich im Anhang.

## 3.2 Einbindung von Experten und potentiellen relevanten Prozessbeteiligten

Die Auswahl der Experten sollte alle in der Verfahrenskette beteiligten Funktionen berücksichtigen. Das sind: genehmigende und prüfende Behörden, betroffene Betreiber und Hersteller, zuliefernde Hersteller von Komponenten von Verbindungssystemen, Prüforganisationen sowie Verbände und Wissenschaft. Sie soll die aktuelle Situation am Markt, bei Behörden und den Betreibern möglichst repräsentativ abdecken und die Anforderungen aus allen relevanten Rechtsgebieten widerspiegeln.

Bei den ausgewählten Experten wurden folgende Bereiche berücksichtigt:

- Genehmigungsbehörden (Bezirksregierungen)
- Regelsetzer (UBA, BVT-Merkblätter; Mitarbeit in Normengremien)
- Betreiber (mit BImSchG Anlagen)
    - Chemie
    - Pharma
    - Raffinerie
- Hersteller

- Verbändevertreter (VDMA, VCI, MWV, ProcessNet, Dechema)
- Dichtungshersteller
- Stahl-Email Apparate und Rohrleitungen
- Ausgekleidete Rohrleitungen
- Glas: Apparate und Rohrleitungen
- Kunststoff: Apparate und Rohrleitungen
- Hersteller von Sonderkonstruktionen (z.B. Aseptikflansche)

► Anlagenplaner (extern und inhouse)

► Prüfinstitute, „Sachverständige“

- Prüforganisationen
- Prüfstandhersteller

► Hochschulen

Bei der Auswahl der Experten wurde darauf geachtet, eine möglichst repräsentative Auswahl zu finden, die z.B. auf der Betreiberseite einen hohen Bezug zu Anlagenkomponenten mit Dichtheitsanforderungen im Bereich des Arbeits- und Ex-Schutzes wie auch im Geltungsbereich der TA Luft repräsentieren.

Bei den Herstellern lag der Fokus nicht auf den klassischen Lieferanten von hochgradig genormten Stahlkomponenten, sondern auf den Herstellern von Komponenten aus speziellen Werkstoffen mit sensiblen Eigenschaften und konstruktiven Sonderausführungen, wie z.B. Kunststoff-, Glas-, Stahl-Email- oder Aseptik-Verbindungen. Dichtungshersteller wurden eingebunden, da ihre Produkte in allen Dichtverbindungen verbaut sind und einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung von geforderten Dichtheitsklassen beitragen müssen.

Mitarbeiter von Genehmigungsbehörden sind wesentlich an der Definition des Standes der Technik beteiligt, arbeiten mit an der Formulierung gesetzlicher Vorgaben und untergesetzlicher Konkretisierungen in technischen Regeln. Sie sind für die konkrete Beurteilung von technischen Lösungen bei den Betreibern zuständig und müssen die Vielzahl von regulatorischen Vorgaben administrieren.

Nicht alle angesprochenen Experten und Organisationen haben sich aktiv in das Projekt eingebracht, teilweise waren sie nur in den projektinternen Informationsfluss eingebunden oder haben i.d.R. aus Zeitmangel auf die Mitarbeit verzichtet.

# 4 Ergebnisse der Datenerhebung

## 4.1 Stand der Technik von Dichtsystemen in den aktuellen Regelwerken

### 4.1.1 Bedeutung und Nachweis des Standes der Technik

Dichtelemente wie z.B. Flachdichtungen, O-Ringe oder Gleitringe sind keine eigenständigen Maschinen oder Druckgeräte, sondern Konstruktionselemente, die Bestandteile von Dichtsystemen darstellen. Sie werden z.B. in Druckgeräten als Flanschverbindungen, in Armaturen oder in EMSR-Komponenten oder auch in Maschinen als Abdichtungen sowie anderen technischen Objekten verbaut. An Druckgeräten, Maschinen oder sonstigen technischen Einrichtungen sind in der Regel gleichzeitige, unter Umständen auch unterschiedliche Anforderungen an die Dichtheit definiert, die sich aus den folgenden arbeitsrechtlichen, umweltrechtlichen und sicherheitsrelevanten Anforderungen ableiten lassen:

- Anlagensicherheit (Ex-Schutz, Brandschutz, ...)
- Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz (Exposition, ...)
- Umweltschutz (Emission, Immission, ...)
- Produktsicherheit (GMP, Lebensmittel, Pharmazeutika, Kontamination, ...)

Um diese Schutzziele zu gewährleisten, hat der Gesetzgeber an den Hersteller von technischen Gütern und den Betreiber von technischen Einrichtungen/Anlagen Vorgaben in Form von Gesetzen erlassen. Beispielhaft genannt seien folgende Gesetze:

- Produktsicherheitsgesetz (Primär Adressat Hersteller)
- Arbeitsschutzgesetz (Primär Adressat Betreiber)
- Bundes-Immissionsschutzgesetz (Primär Adressat Betreiber)
- Wasserhaushaltsgesetz (Primär Adressat Betreiber)

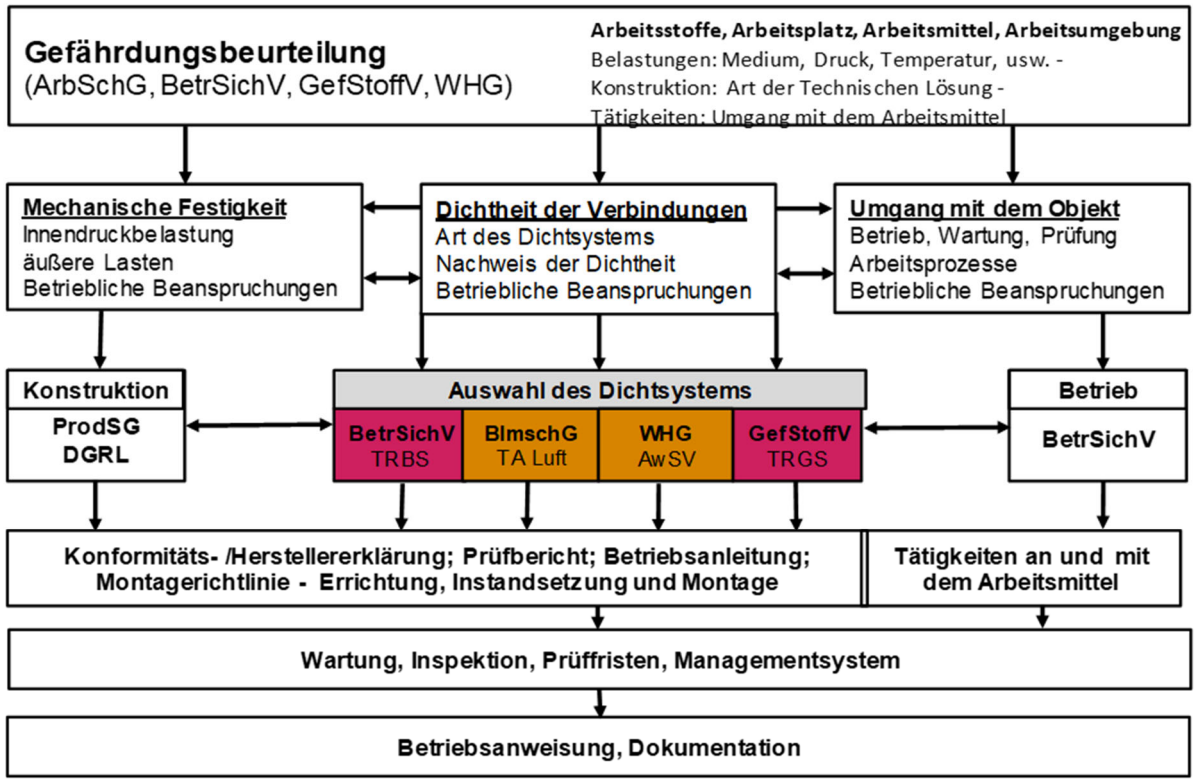
Auf die zugehörigen, konkretisierenden Verordnungen, Verwaltungsvorschriften und technischen Regeln sei hingewiesen.

Allen diesen Gesetzen ist gemein, dass die von der technischen Einrichtung auf den Menschen und/oder die Umwelt ausgehenden Gefahren in Form einer **Gefährdungsanalyse, Gefährdungsbeurteilungen, Risikobetrachtung, Risikoanalyse** usw. untersucht werden. Die Ergebnisse werden in geeigneter Form dokumentiert und die technische Einrichtung, die Maschine oder das Druckgerät so konstruiert und gefertigt, das alle Gefährdungen nach dem **Stand der Technik** minimiert werden. Technischen Lösungen muss gegenüber organisatorischen oder persönlichen Schutzeinrichtungen Vorrang eingeräumt werden.

In Abbildung 1 wird das grundsätzliche Vorgehen bei einer Gefährdungsbeurteilung gezeigt. Die Gefährdungsbeurteilung berücksichtigt die Arbeitsstoffe (Medien mit dessen Gefahrstoffeigenschaften), das Arbeitsmittel (Druckgerät, Maschine mit der jeweiligen sicherheitstechnischen Ausrüstung), den Arbeitsplatz (welche Tätigkeiten werden am Arbeitsplatz mit dem Arbeitsmittel ausgeführt) und die Arbeitsumgebung (wie ist die räumliche Anordnung, wie sind die Wechselwirkungen).

Die mechanische Festigkeit z.B. eines Rohrleitungssystems wird in allen Rechtsbereichen nach der Vorgehensweise des ProdSG und, wo zutreffend, nach der DGRL nachgewiesen. Bei dem Nachweis der Dichtheit der eingesetzten Verbindungen greifen dann die rechtsgebietsspezifischen Regelungen, wie z.B. die BetrSichV, GefStoffV, die TA Luft oder das WHG. Beim Umgang der Beschäftigten mit dem Arbeitsmittel kommt immer die BetrSichV und ggf. die GefStoffV zur Anwendung. Bei unterschiedlichen Beteiligten in der Kette werden die Arbeitsergebnisse in entsprechenden Dokumenten wie z.B. Hersteller-, Konformitätserklärungen, Prüfberichten, Betriebsanleitungen, Betriebsanweisungen oder Zeugnissen dokumentiert. Die grundsätzliche Vorgehensweise ist üblicherweise Managementsystemen zu entnehmen.

**Abbildung 1: Grundsätzliche Vorgehensweise bei einer Gefährdungsbeurteilung mit Berücksichtigung rechtsgebietsspezifischer Anforderungen an die Dichtheit der Verbindungen.**




Quelle: eigene Darstellung

Die Anforderungen und mögliche Lösungen werden in Technischen Regeln, Verwaltungsvorschriften und Normen konkretisiert. In Technischen Regeln und Normen sind beispielhaft Lösungen beschrieben, die z.B. bei Umsetzung in der beschriebenen Form die Vermutungswirkung haben, dass bei Anwendung dieser Lösungen auch die Forderungen der Gesetze, Verordnungen oder Richtlinien erfüllt sind. Dieser Weg findet insbesondere Anwendung bei Anforderungen, die national gestaltet werden dürfen und für die auf internationaler oder europäischer Ebene nur Mindestvorschriften definiert sind. Das trifft bei allen Regelungen zu, die den Betrieb technischer Einrichtungen/Anlagen sowie den Umweltschutz betreffen. In diesem Bereich ist auch das autonome Satzungsrecht der Berufsgenossenschaften zu berücksichtigen.

Im Rahmen der Verordnungen zum ProdSG, die zur Umsetzung der europäisch einheitlich definierten Beschaffenheitsanforderungen (grundlegende Sicherheits- und

Gesundheitsanforderungen) dienen, gibt es keinen nationalen Spielraum. Die technischen Konkretisierungen zur Umsetzung z.B. der Maschinen-, Druckgeräte- oder sonstiger Richtlinien sind in europäischen Normen formuliert, die, soweit sie harmonisiert sind, auch die Vermutungswirkung der Richtlinien-/Verordnungserfüllung haben. National dürfen keine zusätzlichen Anforderungen definiert werden.

Der Gesetzgeber hat als Nachweis der gesetzeskonformen Auslegung, Fertigung und Montage das Erstellen einer technischen Dokumentation und Aufbewahrung für 10 Jahre sowie Prüfungen vorgesehen. Die Prüfprotokolle sowie die Gefährdungsbeurteilung des Arbeitsmittels unter Berücksichtigung der Arbeitsumgebung und des Arbeitsmittels und der eingesetzten Medien sind für die Aufsichtsbehörden vorzuhalten.

Der Hersteller eines technischen Arbeitsmittels und der Betreiber des Arbeitsmittels am Arbeitsplatz haben bei der Herstellung, vor der Inbetriebnahme und soweit auf Grund der Gefährdung durch das Arbeitsmittel erforderlich Prüfungen durchzuführen. Die sachgerechte Ermittlung des Gefährdungspotentials des technischen Arbeitsmittels obliegt immer bei der Herstellung dem Hersteller, bei der Inbetriebnahme und wiederkehrenden Prüfung dem Betreiber. Die Durchführung und Feststellung des regelwerkskonformen Zustandes ist abhängig vom ermittelten Gefährdungspotential und kann in sehr vielen Fällen vom Hersteller/Betreiber eigenverantwortlich durchgeführt werden. Erst mit steigendem Gefährdungspotential müssen Sachkundige oder Prüforganisationen beauftragt werden.

Die Prüfzuständigkeiten sind in Abhängigkeit des ansteigenden Gefährdungspotentials der technischen Einrichtung (Maschine, Druckgerät, Dichtverbindung, usw.) folgendermaßen geregelt:

1. Der Hersteller/Betreiber (bzw. seine Beauftragten) handelt vollständig in eigener Verantwortung und erklärt die Übereinstimmung seines Produktes mit den gesetzlichen Vorgaben, dokumentiert z.B. durch eine Konformitätserklärung, Herstellerbescheinigung und/oder einer Prüfung vor Inbetriebnahme sowie einer Betriebsanleitung und Gefährdungsbeurteilung und ggf. einer Betriebsanweisung**. In diesen Zuständigkeitsbereich fallen alle Nachweise der Dichtheit für dichte Verbindungselemente.**
2. Bei höherem Gefährdungspotential als in 1. erklären firmenintern ernannte unabhängige Sachkundige (z.B. befähigte Personen) die Übereinstimmung mit den gesetzlichen Vorgaben. Dokumentiert wird das z.B. durch das Protokoll einer Prüfung vor Inbetriebnahme oder wiederkehrenden Prüfung sowie einer Betriebsanleitung und ggf. Betriebsanweisung und Gefährdungsbeurteilung und ggf. Festlegung einer Prüffrist.
3. Bei einem Gefährdungspotential, das über 2. liegt, bestätigt eine unabhängige Prüforganisation (benannte Stelle, zugelassene Überwachungsstelle, Sachverständiger) die Übereinstimmung mit den gesetzlichen Vorgaben und erstellt z.B. eine Konformitäts- oder Prüfbescheinigung.

**Den zuständigen Behörden zur Gewährleistung von Arbeitsschutz, Anlagensicherheit, Umweltschutz und Produktsicherheit obliegt die Aufsichtspflicht.** Hier kommt Dicht-elementen und den Dichtsystemen, die in den technischen Arbeitsmitteln bzw. überwachungsbedürftigen Anlagen verbaut und sicherheitstechnisch und/oder umwelttechnisch relevant sind ggf. besondere Bedeutung zu. Bei Prüfungen in alleiniger Verantwortung des Betreibers hat sich die Behörde von dem Prüfungssystem zu überzeugen, das in einem Managementsystem dokumentiert ist.

### 4.1.2 Darstellung des Standes der Technik in verschiedenen Rechtsgebieten

Dichtsysteme haben primär die Aufgabe den Austritt von Medien aus einem geschlossenen System an die Umgebung zu verhindern und ggf. auch das Eindringen von Fremdstoffen in das abzudichtende System zu unterbinden. Der „**Grad der Dichtheit**“ des technischen Systems ist oft abhängig von den Eigenschaften des freisetzbaren Mediums. Hier greift z.B. die GefStoffV mit ihren Anforderungen.

Die Anforderungen zur Anlagensicherheit und zum Arbeitsschutz werden unter dem **Schutzprinzip** zusammengefasst, dabei wird bei der Festlegung der Dichtheit von der Gefährdung der im Betrieb beschäftigten Arbeitnehmer bei Normalarbeitszeit ausgegangen. Für den Betrieb der Anlagen sind das Arbeitsschutzgesetz mit mindestens der BetrSichV und die GefStoffV anzuwenden. Wenn das Arbeitsmittel dann auch noch in den Geltungsbereich einer oder mehrerer Verordnungen zum ProdSG fällt, sind diese zudem anzuwenden. Werden von den Anlagen Emissionen verursacht, die die Bevölkerung als Immissionen belasten können, sind die Anforderungen an den Grad der Dichtheit am **Vorsorgeprinzip** zu orientieren. In dem Fall ist z.B. die TA Luft einzuhalten. Die Dichtheitsanforderungen nach dem Vorsorgeprinzip liegen i.d.R. deutlich **höher** als nach dem Schutzprinzip, d.h. die erlaubten Emissionen sind niedriger.

**Erfüllt also ein Dichtsystem die Anforderungen nach dem Vorsorgeprinzip, sind damit i.d.R. auch die Anforderungen nach dem Schutzprinzip abgedeckt.**

Mit anderen Worten: Werden beispielsweise die Vorgaben der TA Luft erfüllt, sind auch alle anderen oder weiteren Forderungen erfüllt.

Eine nach TA Luft hochwertig montierte Flanschverbindung, mit entsprechend hoher Flächenpressung, ist unter Betriebsbedingungen auch ausblassicher. Ggf. sind besondere Maßnahmen gegen das Herausdrücken von Dichtungen zu treffen, wenn die Gefahr besteht, dass die Dichtungen durch zu starke Entlastung der Verbindung (z.B. hoher Innendruck, Druckstöße, usw.), durch Verlust der Flächenpressung aus dem Dichtsitz gedrückt werden könnte.

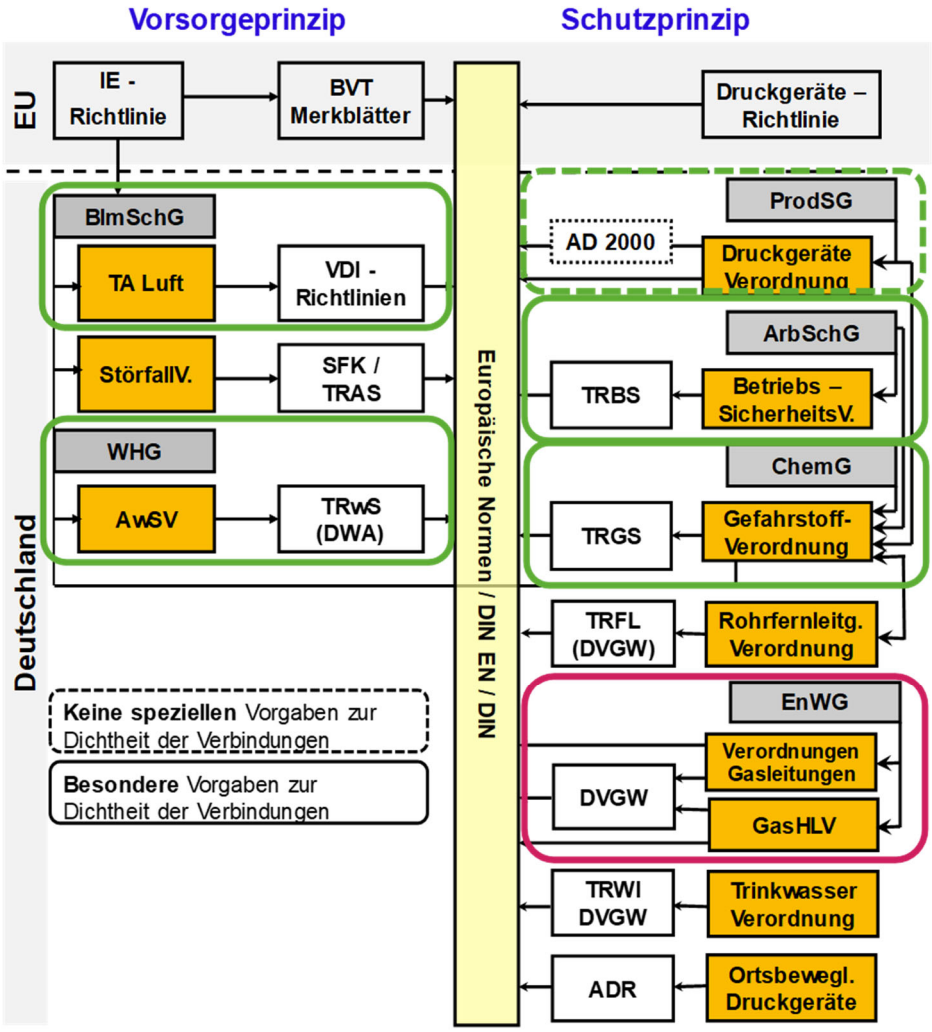
Am Beispiel der Druckgeräte (Behälter, Rohrleitungen, Armaturen, Dampfkessel) sei das nachstehend mit Abbildung 2 dargestellt. Der rechte Bereich des Bildes unter „Schutzprinzip“ berücksichtigt primär den Arbeitsschutz und die Anlagensicherheit. Der linke Bereich des Bildes unter „Vorsorgeprinzip“ berücksichtigt den Umweltschutz und findet immer dann Anwendung, wenn das Medium in der Anlage bestimmte Eigenschaften hat und damit in den Geltungsbereich des BImSchG/TA Luft, bzw. auf Grund der Mengen in der Anlage unter die Störfallverordnung fällt. Ist das Medium in der Anlage auch noch wassergefährdend, ist auch das WHG zu berücksichtigen. Alle diese Gesetze haben andere Zuständigkeiten und historische Entwicklungen, so dass die Anforderungen an Dichtsysteme nicht einheitlich sind. Im Gegensatz zu allen anderen Rechtsgebieten wird beim EnWG nur die Einhaltung der Regeln der Technik gefordert.

Im Gegensatz zum ProdSG, das z.B. in der Druckgeräteverordnung keine speziellen Anforderungen an die Dichtheit der eingesetzten Verbindungselemente hat, haben die BetrSichV, die GefStoffV, die TA Luft und die Anlagenverordnung wassergefährdender Stoffe des WHG spezielle Vorgaben zum Nachweis bzw. zur Höhe der erlaubten Emissionen aus Verbindungen.

Da Erdgas der öffentlichen Gasversorgung nicht als VOC Medium im Sinne des BImSchG gewertet wird, gelten dafür eigene Bedingungen, die unterschiedlich zu den Vorgaben des

BImSchG sind. Die Dichtheitsanforderungen des EnWG werden in dem Forschungsprojekt nicht näher betrachtet.

**Abbildung 2: Verknüpfung Gesetze, Verordnungen, Technische Regeln und Normen im Geltungsbereich Anlagensicherheit, Arbeitsschutz und Umweltschutz**




Quelle: eigene Darstellung

Eine detaillierte Beschreibung der unterschiedlichen Anforderungen der einzelnen Rechtsbereiche befindet sich im Anhang.

### 4.1.3 Zusammenfassung zum Stand der Technik von Dichtsystemen in den aktuellen Regelwerken

Die Anforderungen an Dichtungselemente und Dichtsysteme haben eine lange historische Entwicklung durchgemacht, die uneinheitlich war, weil unterschiedliche Rechtsbereiche und Regelsetzer beteiligt waren. Die technischen Möglichkeiten waren am Anfang der technischen Entwicklung beschränkt. Vieles musste durch Erfahrung gelernt werden, moderne komplexe Berechnungsmethoden können erst mit der Verfügbarkeit benutzerfreundlicher Computer und entsprechender Berechnungsprogramme (Finite Elemente, EN 1591-1, usw.) für eine theoretische Abschätzung oder Berechnung der Dichtheit eines Dichtsystems eingesetzt werden.

Des Weiteren waren anfänglich keine Kennwerte für komplexe Berechnungen z.B. für Dichtungen in Abhängigkeit von Dichtheitsklassen verfügbar.

So ist es nicht verwunderlich, dass in den technischen Regeln zu den unterschiedlichsten Gesetzen und Verordnungen durch Technologieauswahl wie Vorgabe einer Nut-Feder-Flanschverbindung oder ähnlicher Bauform als besonders dicht und sicher vorgegeben wurde. Die Dichtheit des Dichtsystems und damit auch die Qualität der Montage wurde grundsätzlich durch die in den technischen Regeln obligatorisch vorgeschriebene Dichtheitsprüfung durch z.B. Abdrücken mit Gas bei geringem Überdruck abgesichert. Zu der erreichten Dichtheitsklasse lagen i.d.R. keine quantifizierbaren Erkenntnisse vor. Die Festigkeit der Systeme wurde über Rechenansätze und entsprechende Druckfestigkeitsprüfungen nachgewiesen.

In den überwiegenden Regelwerken, die Anforderungen zu Dichtheit beinhalten, werden die Begrifflichkeiten:

- **auf Dauer technisch dichte Anlagenteile** und
- **technisch dichte Anlagenteile**

aufgeführt. Die Anforderungen basieren auf einer ursprünglichen Definition in der UVV Gase zur Beherrschung des Explosions- und Brandschutzrisikos. Sie beinhalten die Vorgabe einer Technologieauswahl ohne quantitative Vorgaben. Die Technologieauswahl berücksichtigt nur eine eingeschränkte Auswahl technischer Systeme und lässt den Betreiber und auch die Behörden bei anlagentechnisch erforderlichen alternativen Lösungen ohne Handlungsleitfaden verunsichert zurück.

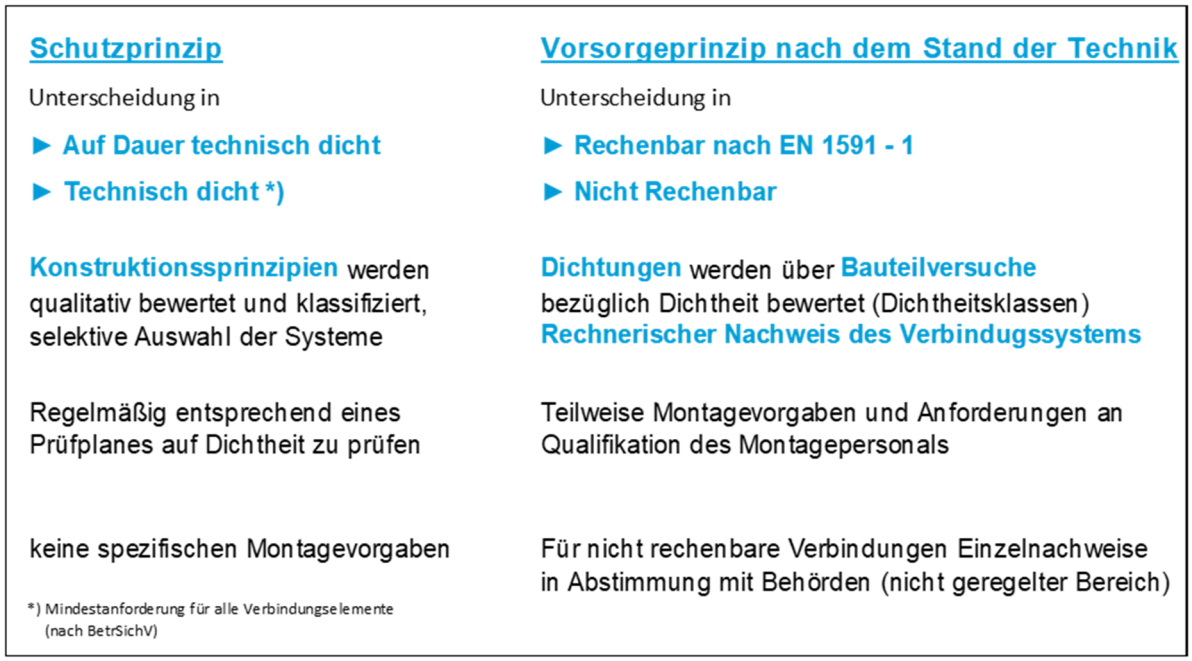
Erst in Folge der Diskussion um diffuse Emissionen hat sich der Werkzeugkasten durch den Berechnungsalgorithmus zum Dichtheitsnachweis von Flachdichtung in bestimmten Flansch-bauformen, die mit EN 1591-1 berechenbar sind, erweitert. Parallel waren die Dichtungshersteller gezwungen, aussagekräftige Dichtungskennwerte nach EN 13555 bereitzustellen, um die Rechnungen zu ermöglichen. Durch die in die Berechnung eingehenden Kennwerte für Reibung, Streuung des Anzugsverfahrens und der Kennwerte der Dichtung, wie Mindestflächenpressung im Betrieb für eine Dichtheitsklasse, hat die Montage und die Qualifikation des Montagepersonals besondere Bedeutung bekommen. Gelingt es nicht, die in der Berechnung angesetzten Werte auch in der Montage zu realisieren (Ausrichtung der Verbindung, Schmierung, Gleichmäßigkeit der Kraftaufbringung, usw.) und qualitätszusichern, wird das Dichtsystem vielleicht scheinbar dicht, aber die erforderliche Dichtheitsklasse wird nicht erreicht.

Was heute für die Flachdichtungen im Krafthauptschluss (KHS), derzeit aber nur für Stahlflanschverbindungen, die nach EN1591-1 berechenbar sind und ansatzweise für Dichtelemente im Kraftnebenschluss (KNS) möglich ist, sollte auch als Ziel für die Vielzahl anderer Dichtsysteme angestrebt werden. Man bekommt dadurch einen Wechsel von vermeintlich technisch dichten Technologievorgaben zu wissenschaftlich abgesicherten Nachweisen technischer Dichtheit der unterschiedlichsten Dichtsysteme.

Mittel- bis langfristig könnte diese Vorgehensweise Eingang in die technische Regelsetzung aller Rechtsgebiete finden und zu einer Vereinheitlichung der Vorgaben in den spezifischen Gesetzen, Verordnungen und technischen Regeln führen.

Einen Vergleich der Anforderungen an Dichtsysteme nach dem Schutzprinzip und dem Vorsorgeprinzip zeigt Abbildung 3 auf Basis des Standes der TA Luft 2002 (vgl. 4.1.2).

**Abbildung 3: Vergleich der Anforderungen an Dichtsysteme nach dem Schutz- und dem Vorsorgeprinzip.**




Quelle: eigene Darstellung

Die heute in Europäischen Regelwerken vorgegebenen Anforderungen an diffuse Emissionen, insbesondere im CWW BVT-Merkblatt, beschränken sich auf Forderungen ein entsprechendes Managementsystem einzuführen, die Emissionen qualitativ zu ermitteln und zu überwachen, ggf. zu messen und zu reparieren (LDAR). Neben allgemeinen Hinweisen zur Verwendung hochwertiger, robuster Konstruktionen gibt es wenige bis keine konkreten Hinweise. Dichtheitsklassen werden in keinem BVT-Merkblatt vorgegeben.

## 4.2 Ergebnisse der Expertenbefragungen und Rückmeldungen zu den Fragebögen

Der an die Experten verschickte Fragebogen hatte zum einen das Ziel praxisrelevante gesetzliche Vorgaben abzugleichen und die Bedeutung für den jeweiligen Funktionsbereich zu erfassen und zum anderen die praktische Erfahrung in der Administrierbarkeit der gesetzlichen Vorgaben zu erfahren. Ggf. notwendiger Anpassungsbedarf an den Stand der Technik sowie der Harmonisierung von Anforderungen an die Dichtheit von Verbindungen wurde ebenfalls abgefragt.

Die an dem Prozess Beteiligten haben unterschiedliche Schwerpunkte bezüglich der Relevanz gesetzlicher Regelungen:

**Schwerpunkte der Genehmigungsbehörden**

- BVT-Merkblätter
- BImSchG Verordnungen
- TA Luft
- VDI-Richtlinien zur TA Luft

- DIN EN 1591-1
- WHG-AwSV

**Schwerpunkte der Betreiber**

Wie bei Genehmigungsbehörden, jedoch zusätzlich:

- ProdSG Verordnungen
- Harmonisierte EN-Normen
- Betriebssicherheitsverordnung
- Gefahrstoffverordnung

**Schwerpunkte der Hersteller**

- ProdSG Verordnungen
- Produktspezifische Normen

Bei allen Prozessbeteiligten hat der VCI-Montageleitfaden eine hohe Akzeptanz gefunden und dient als Basis zur Richtlinienerfüllung im Rahmen der VDI 2290.

**Die Rückmeldungen zur Aktualität der Regelwerke und zum Überarbeitungsbedarf lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:**

Die unterschiedlichen Ansätze in

1. der TA Luft, mit der VDI 2290 für mit EN 1591-1 rechenbaren Flanschverbindungen und
2. den Ansätzen „Auf Dauer technisch dichte Anlagenteile“ und „Technisch dichte Anlagenteile“ aus den Technischen Regeln der Gefahrstoff-, der Betriebssicherheits-verordnung und dem Wasserhaushaltsgesetz

werden durchgängig als nachteilig kritisiert und eine medienübergreifende Harmonisierung der Regelwerke als erforderlich angesehen. Auf Betreiber- und Behördenseite wird die Umsetzbarkeit und Administrierbarkeit beklagt, da für einen Großteil der eingesetzten technischen Konstruktionen keine allgemein anerkannte Auslegungs- und Nachweismethode vorhanden ist. Es sollten einfache umsetzbare Lösungen gefunden werden. Ein Behördenvertreter brachte zum Nachweis der Dichtheit ein Gutachten eines unabhängigen Sachverständigen in die Diskussion wie folgt ein:

„Aus meiner Sicht als „Anlagenüberwacher“ sind die Anforderungen an Flansche – Dichtungen bereits so komplex geworden, dass deren Überprüfung im Rahmen einer immissionsschutz-rechtlichen Anlagenüberwachung im Detail und im verfügbaren Zeitrahmen kaum mehr möglich ist bzw. auch sehr hohen Fachverstand erfordert, der in diesem Maß weder bei Behörden noch kleinen und mittleren Betreibern vorhanden sein dürfte. Insofern kann ich nur dafür plädieren, dass für den Vollzug einfache Lösungen gefunden werden. Da andererseits es nachvollziehbar ist, dass hohe Anforderungen an die technische Dichtheit zur Vermeidung von diffusen Emissionen gestellt werden, könnte eine solche Lösung darin liegen, dass ein unabhängiger Sachverständiger einem Betrieb die Einhaltung der Nr. 5.2.6.3 in Verbindung mit VDI 2290 mit dem VCI-Leitfaden zur Montage der Flansche bzw. Dichtungen bestätigt.“

„Der Nachweis der technischen Dichtheit für Dichtungssysteme, die nicht vom Geltungsbereich der VDI 2290 erfasst sind oder für die keine Berechnungsverfahren vorhanden sind, ist zu regeln bzw. zu normieren."

Für die DIN EN 1591-1 wird dringend eine Überarbeitung angemahnt, da es Unsicherheiten bei der Bewertung der Berechnungsergebnisse gibt.

Normen zur Herstellung technischer Produkte sind veraltet und z.T. noch nicht auf den aktuellen Stand der Verordnungen zum ProdSG angepasst. Der Eindruck aus den Gesprächen mit den Branchenvertretern ist, dass nicht alle Firmen einer Branche eine einheitliche Normenanwendung praktizieren.

**In der praktischen Anwendung der Regelwerke werden z.B. folgende Problemkreise genannt:**

Die momentane Situation führt zu „unnötigen Diskussionen mit Behörden zu den unterschiedlichen Definitionen der technischen Dichtheit von Armaturen und Flanschverbindungen".

„Durch die vielen verschiedenen Regelwerke, die bei der Auslegung und Montage von Flanschsystemen anzuwenden sind, sind die Anforderungen sehr komplex und ein effizientes, rechtssicheres Bearbeiten der Thematik ist nur sehr erschwert möglich."

„Primär die „Nicht-Aktualität" wirkt sich derzeit hemmend aus. Ansonsten finden wir durchaus diverse Widersprüche in den einzelnen Regelwerken, die teilweise konträre Anforderungen stellen. Dazu kommen Anforderungen internationaler Kunden sowie betreiberspezifische Anforderungen, die es ebenfalls zu erfüllen gilt. Eine durchgängige Harmonisierung wäre daher angebracht. Wichtig ist dabei aber, dass es nicht zu nationalen Alleingängen kommt, sondern die Anforderungen mindestens EU-weit für alle Marktteilnehmer gelten."

Die Betreiber verlassen sich in vielen Fällen auf die Vorgaben der Hersteller bezüglich Montage und Anzugsmomenten, ohne im Einzelnen die Berechnungsgrundlage zu hinterfragen. Am Markt sind in einer Branche stark unterschiedliche Vorgaben je nach Hersteller üblich. Festigkeitsnachweise werden teilweise nach unterschiedlichen Regelwerken/Normen und mit unterschiedlichen Sicherheitsbeiwerten durchgeführt. Ein Dichtheitsnachweis wird oft nicht durchgeführt, er besteht in der Auswahl einer hochwertigen Dichtung nach VDI 2440 (TA Luft Nachweis durch den Hersteller) und Montage nach BetrSichV.

Von einem Behördenvertreter wurde berichtet, dass spezifische Leckageraten für Dicht-systeme (hier Rohrgewindeverschraubungen) analog der VDI 2440 für Betriebsbedingungen ermittelt wurden, zum Nachweis der Dichtheit.

Bei den informellen Treffen mit Experten einzelner Fachgebiete gab es großes Interesse an der Fragestellung mitzuarbeiten, da es für den künftigen Einsatz ihrer Produkte unerlässlich ist, den Nachweis der Dichtheit gegenüber den Kunden und Betreibern zu erbringen. Sollte der Hersteller nur Teile einer Systemlösung liefern, muss er aber in der Lage sein, dem Betreiber, Planer oder einer gutachtenden Stelle mit den notwendigen Daten zu versorgen, z.B. mit einer belastbaren Festigkeitsberechnung für alle Einsatzbedingungen (Rating: max. Betriebsdruck – max. Betriebstemperatur) und einem belastbaren Toleranzspektrum.

## 4.3 Rückmeldungen zum Sachstandsbericht und Fachgespräch

Die eingegangenen Rückmeldungen zum Sachstandsbericht und beim Fachgespräch waren positiv, was die Intention und die bisherige Umsetzung des Projektes angeht. Wertvolle Anregungen wurden im vorliegenden Text aufgenommen und umgesetzt.

Grundsätzlich wird eine Harmonisierung der Begrifflichkeiten zu Dichtheit: „technisch dicht“ und „auf Dauer technisch dicht“ begrüßt. Eine Harmonisierung sollte den Anwender unterstützen, sich rechtssicher in der Vielfalt der Regelwerke zurechtzufinden.

Von den meisten Kommentatoren wurde der Übergang von einer Komponenten- zu einer Systembetrachtung positiv beurteilt.

Von einigen Kommentatoren wurde insbesondere auf die Komplexität und Umsetzung der durch die neue TA Luft zu erwartenden Regelungen (z.B. Bauteilversuch für nicht rechenbare Verbindungen) hingewiesen und zwar aufgrund

- der Vielzahl der Flanschvarianten,
- der Komplexität der Nachweisverfahren,
- der Konsequenzen für Übergangsfristen,
- der Konsequenzen für Bestandsregelungen,
- möglicherweise technischer Einschränkungen,
- möglicherweise höherer Aufwand und Mehrkosten,
- der Administrierbarkeit der Umsetzungen,
- der Anwendbarkeit für Neuanlagen direkt nach Inkrafttreten der TA Luft, ohne das klare Umsetzungsvorgehensweisen für den Bauteilversuch vorliegen, bzw. mit den Genehmigungsbehörden abgestimmt sind und
- der Rechtsunsicherheit bei der Umsetzung in der Übergangszeit.

Gleiche Anforderungen an die Dichtheit über verschiedene Rechtsbereiche mit unterschiedlichen Schutzzielen (Schutz- bzw. Vorsorgeprinzip) hinweg können ggf. nicht angemessen sein, wenn sie zu erhöhten Kosten führen könnten, die nicht durch andere Vorteile ausgeglichen werden.

„**Das Ziel soll sein: Ist das Schutzziel aus einem Rechtsbereich erfüllt, so ist dieses auch abdeckend für die anderen Rechtsbereiche.**“ (IGR – Stellungnahme)

Die Anforderungen an die Institution zur Durchführung des Bauteilversuches wurden zur Diskussion gestellt, u.a. wurden unabhängige Sachverständige gefordert. Die TA Luft in der alten und der neuen Fassung enthält hierfür keine Regelungen. Dichtungshersteller können die Dichtungskennwerte nach DIN EN 13555 in eigener Verantwortung ermitteln, so wie auch die Bauteilprüfung nach VDI 2440/2200 (sogenanntes „TA Luft Zertifikat“) durchführen. Der Betreiber kann in eigener Verantwortung den Dichtheitsnachweis nach DIN EN 1591-1 führen und gegenüber der Behörde begründen.

Durch den Übergang von der Komponenten- zur Systemprüfung ergeben sich neue Diskussionspunkte zur Anwendung der TA Luft und zwar bei der Definition zur Einstufung einer Verbindung als Flanschverbindung im Sinne der TA Luft und zur Anwendung auf drucklose Systeme und Systeme unter Vakuum.

Der Geltungsbereich der TA Luft für Flüssigkeiten und Gase wurde angesprochen. Der Text der TA Luft fordert im Gegensatz zur VDI 2290 nicht die Berücksichtigung von Emissionen aus

gasförmigen Medien, während dies z.B. im Ex-Schutz durchaus relevant ist. Schwierigkeiten werden hier von den Vollzugsbehörden und Betreibern gesehen.

Die wesentlichen Diskussionspunkte des Fachgesprächs bezogen sich auf die Administrierbarkeit und den Geltungsbereich der neu zu erwartenden TA Luft, wie z.B. die Umsetzung bei GFK- oder Stahl-Email-Flanschsystemen oder die Anwendbarkeit bei Vakuum und drucklosen Systemen. Zu Problemen bei der technischen Umsetzbarkeit wurden offene Fragen adressiert und sollten zukünftig aufgegriffen werden. Beispielhafte Vorgehensweisen, die allgemein umsetzbare Ansätze beinhalten, werden in den Abschnitten 7, 8, A.4 und A.5 beschrieben.

Die o.g. Rückmeldungen werden in den nachstehenden Abschnitten aufgegriffen und bearbeitet, soweit sie technischer Natur und für den Umfang des Vorhabens relevant sind.

## 4.4 Informelle Treffen mit Experten einzelner Fachgebiete

Neben der Fragebogenaktion haben die Verfasser an branchenbezogenen informellen Treffen mit ausgesuchten Herstellern und den Betreibern teilgenommen. Themen dieser Treffen waren die praktischen Auswirkungen auf Konstruktion und Prüfungen durch die Umsetzung der z.Z. diskutierten Anforderungen der neuen TA Luft im Vergleich zu den Anforderungen der z.Z. geltenden der TA Luft von 2002. Besonders diskutiert wurden insbesondere die Art und Höhe der Anforderungen (Dichtheitsklasse), die Möglichkeiten der Nachweismethode mit z.B. einem Bauteilversuch und die konstruktionsbedingten Grenzen des technischen Systems.

Gespräche wurden geführt, mit Herstellern und Anwendern dieser Systeme aus den Sektoren:

- Glasapparate und Rohrleitungen
- Stahl-Email Apparate und Rohrleitungen
- Ausgekleidete Rohrleitungen (Gummi, PTFE, PFA)
- Kunststoffapparate und Rohrleitungen

Allen diesen technischen Komponenten ist gemeinsam, dass sie nach den Anforderungen der „neuen TA Luft“ einen Nachweis der Einhaltung der Dichtheitsklasse L0,01 mg/(s·m), z.B. in Form eines Bauteilversuches oder eines gleichwertigen Verfahrens erbringen müssen. Bisher gab es keine für alle technischen Systeme einheitliche kodifizierte Lösung. Für nicht kodifizierte technische Systeme musste mit den Behörden eine Einzelfalllösung für diese Systeme gefunden werden.

Anzustreben ist eine branchenspezifische Lösung, das setzt aber voraus, dass alle Hersteller einer Produktgruppe innerhalb sehr enger Standards auslegen, fertigen und montieren. Die neue geforderte Vorgehensweise, weg von einer Komponentenzertifizierung (z.B. TA Luft Zertifikat für eine Dichtung), hin zu einer Systemzertifizierung, erfordert ein Umdenken bei den Beteiligten.

Neben den Kontakten zu Herstellern besteht ein enger Kontakt zu einem Arbeitskreis im VCI, der sich mit den Auswirkungen der neuen TA Luft auf den Betrieb chemischer Anlagen befasst. Etliche Mitglieder dieses Arbeitskreises werden auch auf der Expertenliste in diesem Projekt geführt. Dieser Arbeitskreis hat auch den VCI-Montageleitfaden zur Umsetzung der VDI 2290 erstellt.

## 4.5 In Betracht kommende technische Systeme

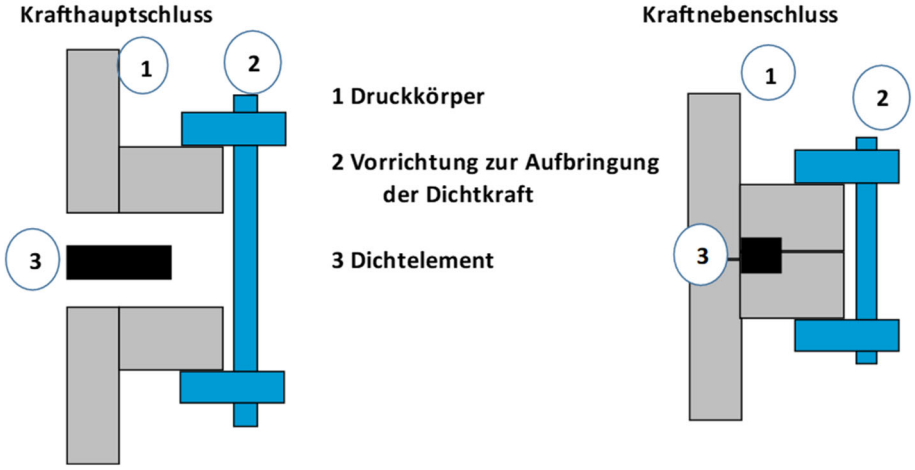
Die in den Anlagen eingesetzten technischen Lösungen für dichte Verbindungselemente entsprechen z.T. den in den technischen Regeln aufgeführten konstruktiven Systemen, gehen aber in der Praxis weit darüber hinaus, durch die Vielzahl der am Markt verfügbaren Lösungen für verfahrenstechnische Fragestellungen. Hier spielen sowohl kostenrelevante wie auch technologische und betriebsspezifische Gründe eine Rolle. Auswahlkriterien können Medienbeständigkeit, Betriebsdruck, Betriebstemperatur oder sonstige verfahrenstechnische oder konstruktive Gründe sein.

Die technischen Lösungen gehen von einfachen Rohrmuffen mit Hanf bei niedrigen Drücken im Gasbereich über alle Flanschsysteme in der DIN EN 1092 bis zu Speziallösungen bei hohen Drücken und Temperaturen. Hier spielen Aspekte wie GMP-Zulassungen, Hygieneanforderungen, Reinigbarkeit im Prozess oder im demontierten Zustand, Werkstoffbeständigkeit usw. eine Rolle.

Ein Verbindungselement, wie z.B. eine Flanschverbindung, ist als zusammenhängendes System zu behandeln, da die Dichtfunktion durch das Zusammenwirken der Einzelelemente Druckkörper, Dichtelement und Vorrichtung zum Aufbringen der Dichtkraft (Spannelemente, z.B. Schrauben und Muttern) bestimmt wird.

Konstruktiv sind viele unterschiedliche Varianten von Flanschverbindungen am Markt verfügbar. Sie unterscheiden sich in der jeweiligen Ausführung des Druckkörpers, der Dichtelemente und Vorrichtung zum Aufbringen der Dichtkraft (Spannelemente). Sie können sowohl nach dem Prinzip des Krafthauptschlusses (KHS) oder des Kraftnebenschlusses (KNS) aufgebaut sein, siehe Abbildung 4.

**Abbildung 4: Beispielhafte Grundausführungen von Flanschverbindungsformen im Krafthaupt und Kraftnebenschluss**




Quelle: eigene Darstellung

Die Auswahl der Konstruktion ist abhängig von den Anforderungen an die Flanschverbindung aus Prozess- und Medienrandbedingungen.

Konkrete Ausführungen können z.B. durch die Kriterien aus Abbildung 5 unterschieden werden.

Die Erfüllung der rechtsgebietsspezifischen Anforderungen und deren Nachweis gegenüber der genehmigenden bzw. prüfenden Behörde obliegen letztendlich dem Betreiber. Soweit rechtlich eine Komponentenzertifizierung (z.B. TA Luft Zertifikat für eine Dichtung nach VDI 2440) möglich ist, ist der Nachweis einfach umzusetzen. Ist jedoch eine Systemzertifizierung

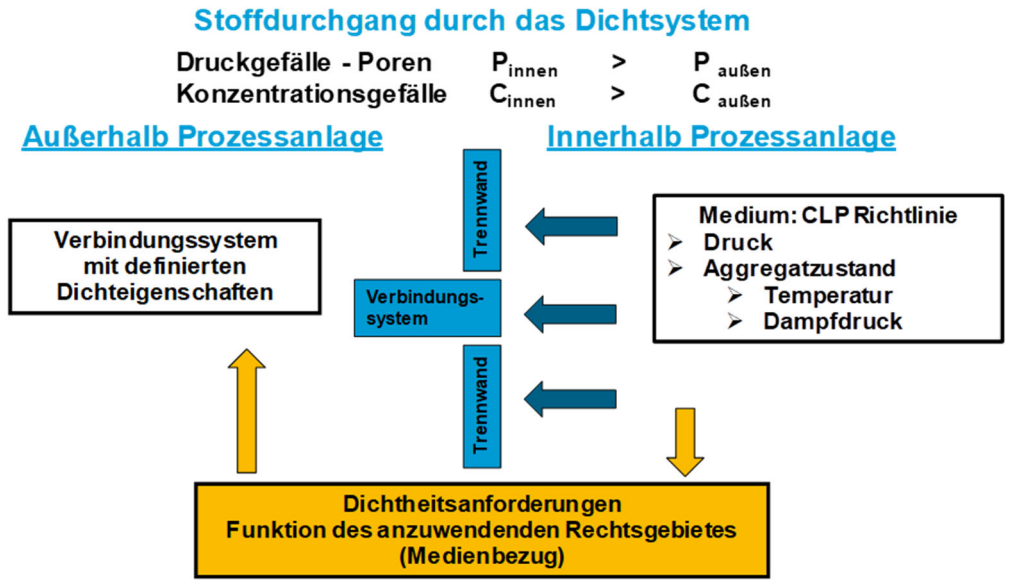
(Druckkörper, Dichtelement und Vorrichtung zum Aufbringen der Dichtkraft) gefordert, muss entweder der Betreiber, der Planer bzw. einer der Komponentenhersteller eine koordinierende Funktion und die Verantwortung für das Systemzertifikat übernehmen.

**Abbildung 5: Kriterien zur Ausführung unterschiedlicher Verbindungssysteme**

| Kriterien | Beispiele |
|---|---|
| Werkstoffe | Stahl, Edelstahl,<br>Glas,<br>Kunststoff (GFK, PP, PE.....) |
| Auskleidungen<br>Beschichtungen | Email,<br>Gummi (weich, hart),<br>Kunststoffe: PTFE, PFA |
| Konstruktion | Flansche nach z.B. DIN EN 1092<br>Bördelflansche, Pressflansche<br>Sterilflansche, Aspetikflansche<br>Milchrohrverschraubungen<br>Clampverbindungen<br>..... |
| Firmenstandards | Spezielle Technologien mit Firmen know how |
| Normenabdeckung | Branchenspezifische Normen, vorhanden und angewendet |

Quelle: eigene Darstellung

**Abbildung 6: Reduzierung der Komplexität, Prinzipbetrachtung**




Quelle: eigene Darstellung

Für die weitere Betrachtung sollen die technischen Systeme auf das in Abbildung 6 gezeigte Prinzip zur Ermittlung einer abdeckenden Vorgehensweise reduziert werden. Die konkrete technische Ausprägung soll erst wieder bei der Betrachtung des Bauteilversuches berücksichtigt werden und kann dann Einfluss auf die konstruktive Ausführung des Prüfstandes und die Prüfbedingungen haben.

Ob das Druckgefälle und/oder das Konzentrationsgefälle zwischen dem Inneren der Prozessanlage und der Umgebung relevant für die Einhaltung der Dichtheitsanforderungen ist,

hängt von der technischen Ausführung des Verbindungssystems, den verwendeten Werkstoffen des Dichtsystems, dem Medium und den Prozessbedingungen ab.

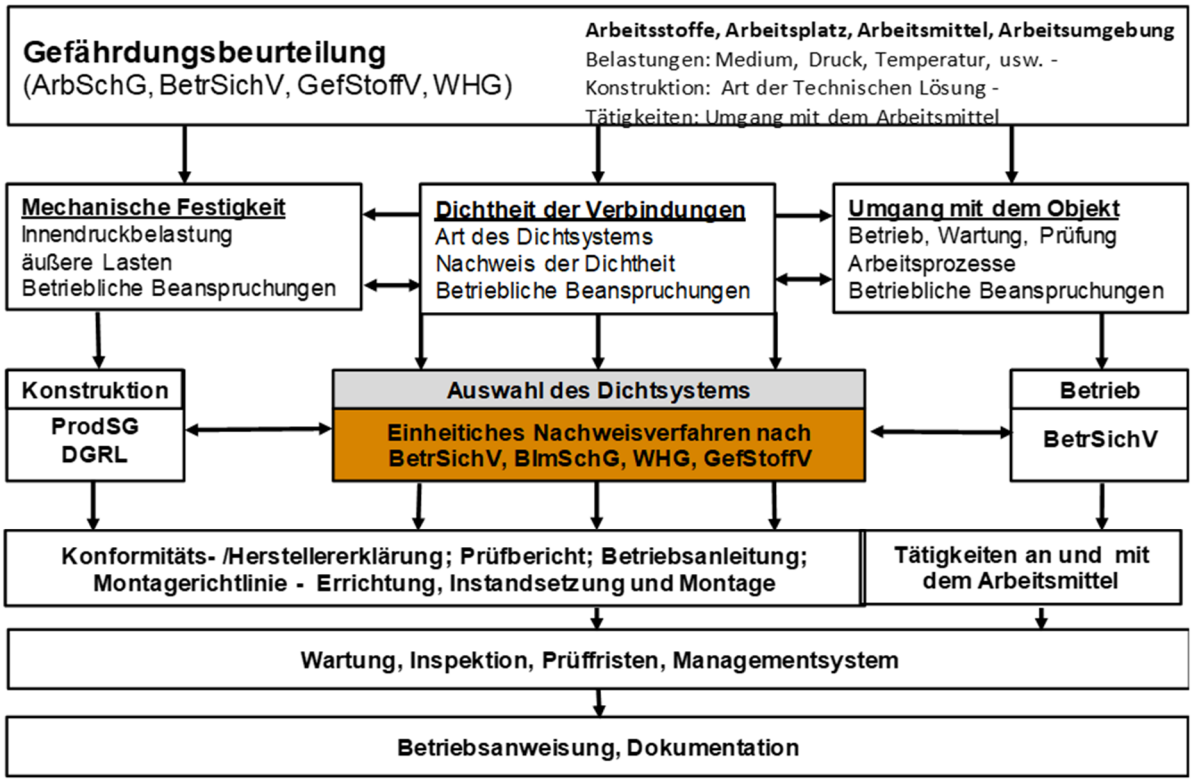
# 5 Entwicklung von Bewertungskriterien für einheitliche Anforderungen an dichte Verbindungselemente

Unter dichten Verbindungselementen sollen nachstehend alle lösbaren Verbindungen im Krafthaupt- (KHS) und Kraftnebenschluss (KNS) verstanden werden, an die aus einem oder mehreren Rechtsgebieten, z.B. aus Arbeitsschutz- und Gesundheitsschutz, aus Aspekten der Anlagensicherheit und des Umweltschutzes heraus Anforderungen an die Dichtheit der Verbindung bestehen. Diese Anforderungen liegen in der Regel in der Gefährlichkeit des in den Maschinen, Apparaten und Rohrleitungen befindlichen Mediums begründet. Die Vorgehensweise soll sich eher an einheitlichen Methoden, als an technischen Lösungsvarianten orientieren. Jeweilige betriebliche Anwendungsfälle können dann im Rahmen von Risiko- oder Gefährdungsanalysen zur Bevorzugung der einen oder anderen technischen Lösungsvariante führen. Grundsätzlich sollen alle Verbindungstypen, die die Bewertungskriterien erfüllen, als gleichwertig angesehen werden, soweit sie den Dichtheitsnachweis erbringen.

Soweit keine besonderen Dichtheitsanforderungen an das Verbindungselement bzw. die Flanschverbindung aus einem oder mehreren Rechtsbereichen gestellt werden, können der Einsatz der „zertifizierten“ Verbindungselemente eine Verbesserung der betrieblichen Situation und eine Reduzierung der Komplexität der Arbeitsabläufe und der Dokumentationsanforderungen zum Nachweis der Umsetzung rechtsgebietskonformer Anforderungen bringen. Ansonsten ist die BetrSichV mindestens einzuhalten.

In der Praxis wird es oft Fälle geben, bei denen aufgrund der Medienklassifizierung neben der BetrSichV auch die TA Luft, die GefStoffV und/oder das WHG erfüllt werden müssen, vgl. Abbildung 7. In diesen Fällen ergeben sich insbesondere Vorteile, wenn nicht mehrere rechtsgebietsspezifische Nachweise für die Einhaltung von Dichtheitsvorgaben erbracht werden müssen, sondern eine einheitliche Nachweismethode möglich ist.

**Abbildung 7: Einheitliches Nachweisverfahren für die Dichtheit einer Verbindung, Einfluss auf die Durchführung der Gefährdungsbeurteilung**




Quelle: eigene Darstellung

Bei Vorliegen eines einheitlichen Nachweisverfahrens für die Dichtheit einer Verbindung mit besonderen Anforderungen hat das im Rahmen einer Gefährdungsverteilung nur Einfluss auf die Auswahl und das Nachweisverfahren für die Verbindung. Alle anderen Aspekte sind davon nicht betroffen.

## 5.1 Beschreibung einer Umsetzungsstrategie

Ein Weg zur Harmonisierung der Anforderungen an Verbindungssysteme ist die Loslösung von der Vorgabe technischer Lösungsvarianten.

**So werden beispielsweise eine Nut-Feder-Verbindung oder bestimmte Dichtungsausführungen, wie innenrandgefasste Dichtungen, in vielen Regelwerken pauschal als hochwertige Verbindungen angesehen. Die Hochwertigkeit kann aber – und das ist Stand der Technik – nicht pauschal bestimmt, sondern muss in einer Systembetrachtung nachgewiesen werden.**

Letztere beinhaltet zumindest einen Dichtheits- und Festigkeitsnachweis für eine Kombination aus ganz bestimmten Einzelbauteilen (Flansche, Spannelement und Dichtung), die als Dichtsystem zusammenwirken müssen.

Eine Harmonisierung in Verbindung mit einer Systembetrachtung hat den Vorteil, dass keine technische Lösung diskriminiert wird und ggf. Innovationen freigesetzt werden.

Infolgedessen soll für ein Dichtsystem die Vorgabe einer Leckageklasse treten, mit einem allgemein akzeptierten und wissenschaftlich begründeten Nachweisverfahren. Das hat

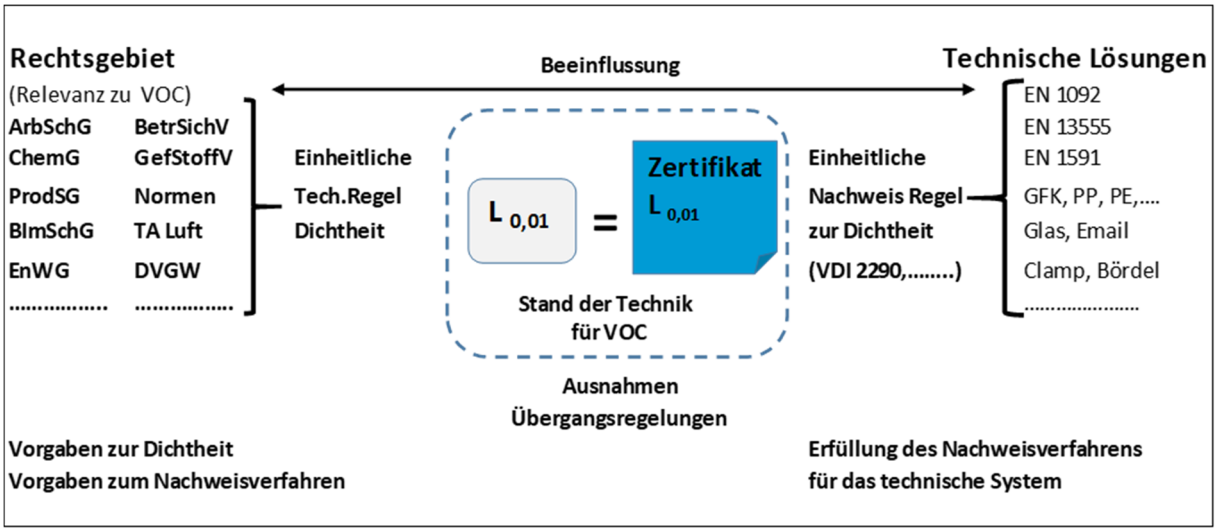
außerdem den Vorteil, dass von Einzelkomponentenlösungen zu integrierten Systemlösungen übergegangen wird.

Diese Vorgehensweise setzt aber voraus, dass die Lösung als ein ganzheitliches Konzept umgesetzt wird. Eine noch so gut ausgelegte und gefertigte Lösung kann nur die Dichtheitsklasse dauerhaft gewährleisten, wenn Montage und Qualitätssicherung sowie Wartung und Inspektion in das Konzept integriert sind. Für einen Teil der Verbindungselemente ist dieser Ansatz mit der VDI 2290 realisiert worden.

Die Vorgehensweise der VDI 2290 in Verbindung mit einem Montageleitfaden kann mutmaßlich auf viele, wenn nicht alle weiteren Verbindungskonstruktionen adaptiert werden.

In Abbildung 8 ist das Prinzip vereinfacht dargestellt:

**Abbildung 8: Vereinfachte Darstellung der „neuen Vorgehensweise“ zum Nachweis eines dichten Verbindungssystems im Rahmen einer Systembetrachtung**




Quelle: eigene Darstellung

Die Vorgehensweise hat weiterhin den Vorteil, sich von unbestimmten Begrifflichkeiten wie „auf Dauer technisch dicht“ und „technisch dicht“ zu lösen bzw. diese eindeutig zu definieren. Mit Hilfe der beiden Begriffe ist es nicht möglich eine bestimmte technische Lösung eindeutig zuzuordnen. Somit kann auch keine quantitative Aussage zur Dichtheit getroffen werden. Das ist nur mit einem Nachweis auf Basis einer mindestens einzuhaltenden Dichtheitsklasse möglich, die dem heutigen Stand der Technik entsprechen würde. Mit dieser Vorgehensweise ist es auch möglich, jeder technischen Lösung eine maximal erreichbare Dichtheitsklasse zuzuordnen.

Mit den heutigen technischen Möglichkeiten der experimentellen Kennwertermittlung und Nachweismöglichkeiten in Verbindung mit leistungsfähigen analytischen Nachweismethoden ist dagegen eine quantitative Aussage zur Dichtheit möglich.

Eine zukünftige Vorgehensweise könnte z.B. darin bestehen, einen Festigkeitsnachweis (in jedem Fall gefordert von der BetrSichV) entsprechend einem akzeptierten Regelwerk, für jedes Dichtsystem in der Anlage zu führen. Dem würde sich der Dichtheitsnachweis mit den ausgewählten Systemkomponenten anschließen (z.B. Flansche, Schrauben und Dichtung). Der Dichtheitsnachweis muss die je nach Rechtsgebiet zu erbringenden Dichtheitsklasse bestätigen. Der Dichtheitsnachweis kann rechnerisch, experimentell, durch einen Bauteilversuch oder gleichwertige Verfahren erbracht werden. Hierbei sind die betrieblichen Einsatzbereiche bezüglich Druck und Temperatur nachzuweisen, was idealerweise abdeckend geschieht. Unter

„abdeckend“ ist zu verstehen, dass die Nachweise für beispielsweise 200°C und 16 bar zu führen sind, wodurch alle sich darunter befindlichen Druck-Temperaturkombinationen („p-T-Ratings“) erfüllt wären.

Aus diesen Gründen erklärt sich das Ziel in dem Forschungsprojekt die Definition der Dichtheit eines Verbindungssystems an die Definition einer Dichtheitsklasse zu knüpfen und in allen Rechtsgebieten zu verankern. Das heißt:

- Auf Dauer technisch dicht (Dichtheitsklasse L0,01)
- Gasförmige Emissionen (Dichtheitsklasse L0,01)
- Technisch dicht (Dichtheitsklasse L0,01)
- Flüssige Emissionen (Dichtheitsklasse L0,01; teils L0, 1[1])

Voraussetzung für eine erfolgreiche Umsetzung ist eine allgemein akzeptierte Methode des Nachweises der Dichtheitsklasse. Dies ist Teil dieses Forschungsprojekts und könnte direkt in die Umsetzungsdiskussion bei der TA Luft einfließen. Mit Abschluss dieses Forschungsprojekts werden aller Voraussicht nach die weiteren konkreten Umsetzungen in Form von VDI-Richtlinien, Normen, Industriestandards erarbeitet werden müssen.

Aus der oben beschriebenen Vorgehensweise haben folgende Gruppen hohe Nutzungspotenziale aus dem Projekt:

Genehmigungsbehörden als auch Betreiber erhalten eine einheitliche und einfache Vorgehensweise zur Umsetzung aller Vorgaben hinsichtlich Dichtheit und Funktion. Hierdurch sind deutliche Kosteneinsparungen aufgrund einer deutlich reduzierten Komplexität zu erwarten.

Bedingt durch den Übergang von der Komponenten- zur Systembetrachtung müssen die einzelnen Komponentenhersteller zukünftig enger zusammenarbeiten, mit dem Ziel ein funktions- und vorgabenkonformes Dichtsystem am Markt bereitstellen zu können. Vorteil hieraus ist, dass sich vor allem Hersteller hochwertiger und standardisierter Komponenten durchsetzen werden, da sich vermutlich eine Konsolidierung am Markt ergeben wird. Diese Dichtsysteme können dann die Basis für beispielsweise Dichtsystemklassen (vergleichbar zu Rohrklassen) sein, die zu einem vereinfachten Handling der Problematik „dichte Verbindungselemente“ führen.

## 5.2 Bewertungskriterien zur Qualifizierung dichter Verbindungselemente

Als Beurteilungsbasis für einheitliche Anforderungen an dichte Verbindungselemente sollten folgende Ziele erfüllt sein, um rechtsgebietsübergreifend wirksam werden zu können:

- Alle Forderungen aus den Rechtsbereichen müssen abgedeckt werden, soweit sie keine konstruktiven Vorgaben festschreiben.
- Die Anwendbarkeit muss für Gase und Flüssigkeiten gegeben sein.
- Der Stand der Technik muss abgebildet sein.
- Festigkeitsnachweise müssen geführt werden können.

[1] TRwS 780-1 fordert als Dichtheitskriterium für Flüssigkeiten $L_{0,1}$

- Die Dichtheit soll quantitativ begründet sein (Dichtheitsklassen).
- Die Basis für den Nachweis der Dichtheit sollen skalierbare Bauteilversuche sein, zur Ermittlung von Dichtungskennwerten, beispielsweise nach EN 13555, oder dem Systemdichtverhalten, beispielsweise nach Abschnitt A.5.
- Die Anwendbarkeit soll für alle technischen Konstruktionen grundsätzlich gegeben sein.
- Keine technischen Lösungen sollen diskriminiert werden.
- Der Prüfaufwand soll in vertretbaren Grenzen gehalten werden.
- Die Vorgehensweise soll einfach prüf- und administrierbar sein.
- Der ganze Lebenszyklus der Verbindung soll berücksichtigt sein.
- Vorgaben für Montagepersonal und Montagetechnik müssen ermittelbar sein.

Die zu entwickelnden Bewertungskriterien müssen sich an den höchsten Anforderungen orientieren, um für alle Rechtsbereiche abdeckend zu sein. Das sind im regulatorischen Umfeld die Anforderungen nach dem Vorsorgeprinzip. Die Anforderungen an die technische Lösung bezüglich der Auslegung und Dimensionierung sollten möglichst identisch sein, da im Rahmen des Planungsprozesses nicht von vorneherein bekannt ist, welche Rechtsgebiete auf z.B. eine Maschine, einen Behälter oder eine Rohrleitung anzuwenden sind. Anpassungen an weniger strenge Vorgaben einzelner Rechtsgebiete können dann im Rahmen der Abwicklung durch differenzierte Vorgaben zur Qualitätssicherung umgesetzt werden. Beispiele für diese Vorgehensweise finden sich in dem VCI-Montageleitfaden und in der DIN 21057 Rohrklassen für verfahrenstechnische Anlagen, die von vielen Firmen der Prozessindustrie als Grundlage zur Erstellung von Rohrklassen angewendet wird.

Das Rechtsgebiet mit den Vorgaben, die den Anforderungen der Bewertungskriterien am Nächsten kommt, sind die z.Z. diskutierten Anforderungen der neuen TA Luft (Referentenentwurf vom 16. Juli 2018). Die aufgeführten Bewertungskriterien orientieren sich primär an den bis jetzt bekannten Anforderungen der „neuen“ TA Luft im Punkt „5.2.6.3 Flanschverbindungen“ an technisch dichte Flanschverbindungen im Krafthaupt- und Kraftnebenschluss. Die neue TA Luft fordert für alle im Geltungsbereich eingesetzten Verbindungen die Einhaltung der Dichtheitsklasse L0,01 (spez. Leckagerate $10^{-2}$ mg/(s·m) und setzt damit die Basis für die Festlegung der Dichtheitsklasse.

Die Dichtheitsklasse ist für Flanschverbindungen im Krafthauptschluss im Anwendungsbereich der VDI 2290 mit den darin zugrunde gelegten Berechnungsverfahren oder nachgewiesenen gleichwertigen Verfahren nachzuweisen. Für alle Verbindungen, die nicht im Anwendungsbereich der VDI 2290 sind, ist die Dichtheitsklasse über einen Bauteilversuch nachzuweisen, der sich am Bauteilversuch der VDI 2200 weitestgehend orientiert.

Der Betreiber hat sicherzustellen, dass das Montagepersonal entsprechend sachkundig ist und Montageanweisungen und Vorgaben zur Qualitätssicherung verfügbar sind. Die Anforderungen für die Montage, Prüfung und Wartung der Dichtsysteme sind in Managementanweisungen festzulegen.

Der z.Z. diskutierte Entwurf der TA Luft (Stand: 16.07.2018) zu Abschnitt 5.2.6.3 ist im Anhang verfügbar.

**Für den Nachweis der Dichtheit, entsprechend den Anforderungen der TA Luft und den Bewertungskriterien, müssen die zugelassenen Verbindungselemente mindestens folgende Bedingungen erfüllen.** Wie oben schon gezeigt, werden mit der Erfüllung der TA Luft-Anforderungen die Vorgaben aller anderen Rechtsgebiete erfüllt oder sogar übererfüllt.

**Fertigungsspezifikationen / Normen**

Für alle verwendeten Komponenten wie Druckkörper, Spannelement zum Aufbringen der Dichtkraft und Dichtelement müssen detaillierte Spezifikationen in Form von Hersteller- oder nationalen / internationalen Normen vorliegen, die gewährleisten, dass die Kennwerte der einzelnen Komponenten wie z.B. Werkstoffkennwerte, Abmessungen, Toleranzen von allen Marktanbietern in den vorgegebenen Grenzen eingehalten werden. Wird von den Vorgaben abgewichen, sind ggf. Einzelnachweise erforderlich.

Je höher der Standardisierungsgrad, d.h. die Normenabdeckung ist, desto universeller ist die Einsetzbarkeit und Austauschbarkeit von Komponenten unterschiedlichster Hersteller möglich.

Je enger die Toleranzen, je detaillierter die Vorgaben zu Maß- und Fertigungstoleranzen, umso höher ist die Reproduzierbarkeit und Übertragbarkeit der Berechnungs- und Prüfergebnisse.

**Festigkeitsnachweis**

Für den Druckkörper sowie für das ausgewählte Spannelement zum Aufbringen der Dichtkraft und das Dichtelement muss für das betrachtete Rating (zulässiger Betriebsdruck und zulässige Betriebstemperatur) ein Festigkeitsnachweis (rechnerisch, experimentell) entsprechend eines zugelassenen Regelwerkes für jede Nennweite des Verbindungselementes erbracht werden. Ziel ist eine möglichst hohe Auslastung der einzelnen Komponenten der Verbindung zu erreichen. Die sich dabei ergebende Flächenpressung auf das Dichtelement muss unter Berücksichtigung des temperaturbedingten Streckgrenzenabfalls der Werkstoffe ermittelt werden. Reserven für die Berücksichtigung äußerer Lasten können angesetzt werden, wie beispielhaft in EN 1092 für Flanschverbindungen beschrieben.

Die Kennwerte des Dichtelementes müssen für die aus dem Festigkeitsnachweis ermittelten Belastungen geeignet sein.

Für das Spannelement müssen die zur maximalen Auslastung der Verbindung erforderlichen Montagevorgaben, in Form von z.B. Drehmomenten, unter Berücksichtigung von Reibung, Toleranzen des Anzugsverfahrens, usw. vorgegeben werden. Bei Kraftnebenschlussverbindungen ist sinngemäß zu verfahren.

Bei nach EN 1591-1 berechenbaren Flanschverbindungen kann auf Basis der Dichtungskennwerte nach EN 13555 der Festigkeitsnachweis kombiniert mit dem Dichtheitsnachweis erbracht werden.

Die Durchführung eines Festigkeitsnachweises nach dem Stand der Technik wird üblicherweise mit einer Konformitätserklärung oder einer Herstellererklärung in Verbindung mit einer Betriebsanleitung und/oder einer Berechnungsdokumentation belegt.

**Dichtheitsnachweis**

Der Dichtheitsnachweis ist für alle Verbindungselemente/Flanschverbindungen für die Leckageklasse L 0,01 mg/s/m zu erbringen.

Bei nach EN 1591-1 berechenbaren Flanschverbindungen kann auf Basis der Dichtungskennwerte nach EN 13555 der Dichtheitsnachweis mit dem Festigkeitsnachweis

kombiniert erbracht werden. EN 13555 hat den Charakter eines Bauteilversuches für die Dichtung ohne auf eine bestimmte Flanschgeometrie oder Nennweite beschränkt zu sein, da vorrangig mit Dichtungen der Nennweite DN40/PN40 geprüft wird. Die Dichtungskennwerte nach EN 13555 müssen für die zulässigen Betriebsbedingungen ermittelt werden, bei der die Flanschverbindung eingesetzt werden soll. Dichtungskennwerte dürfen interpoliert, aber nicht extrapoliert werden.

Für alle anderen Verbindungsformen ist der Bauteilversuch mit den realen Komponenten der Verbindung für eine für die vorgesehenen Einsatzgrenzen (zulässiger Betriebsdruck und zulässige Betriebstemperatur) repräsentative Nennweite durchzuführen. Der Bauteilversuch orientiert sich an dem in der VDI 2200 beschriebenen Bauteilversuch zur Ermittlung des „Hochwertigkeitspotentials“ einer Dichtung.

Auf Grund der anderen Zielsetzung kann es erforderlich sein, die Durchführung und den Aufbau der Versuchsanordnung an die materialspezifischen und konstruktiven Randbedingungen des zu untersuchenden Verbindungselementes anzupassen. Die besonderen Prüfbedingungen, wie z.B. Nachziehen der Verbindung nach der ersten Aufheizphase sind im Prüfbericht zu beschreiben und in den Montagevorgaben zu berücksichtigen.

**Montage- und Prüfvorgaben**

Auf Basis der Ergebnisse des Festigkeitsnachweises und des Bauteilversuches zum Dichtheitsnachweis sowie auch aus den Ergebnissen der Berechnungen nach EN 1591-1 sind Montagevorgaben für die abzudeckenden Nennweiten zu entwickeln. Damit soll sichergestellt werden, dass die für die Erreichung der Leckageklasse L0,01 erforderliche Flächenpressung im Betrieb aufgebracht wird.

Dabei sind die erlaubten Ausführungen der Druckkörper, der Spannelemente und der Dichtungsausführung zu definieren. Vorgaben zur Montagedurchführung wie z.B. Realisierung des erforderlichen Reibbeiwertes, anzuwendendes Anzugsverfahren, Nachziehen usw. sind zu beschreiben. Vorgehensweisen und Vorgaben zur Qualitätssicherung sind zu entwickeln.

Die Anforderungen an die Schulung des Montagepersonals sind zu definieren.

Soweit vom Hersteller möglich, sind die Anforderungen an Wartung und Inspektion festzulegen.

Die Ergebnisse sind im Prüfbericht entsprechend den Vorgaben der VDI 2290 zu dokumentieren und vom Betreiber oder Hersteller des Verbindungselementes in eine Montageanweisung und Qualitätssicherungsanweisung sowie Wartungsanweisungen zu überführen.

**Dokumentation / Prüfbericht**

Die Montage-, Wartungs- und Prüfvorgaben, die Ergebnisse der Festigkeitsberechnung und des Dichtheitsnachweises sind im Prüfbericht zu dokumentieren und dienen dazu, gegenüber der genehmigenden und prüfenden Behörde den Nachweis der Erfüllung der Anforderungen der TA Luft und der Umsetzung der Anforderungen der VDI 2290 zu erbringen.

Es empfiehlt sich die Montagevorgaben aus dem Prüfbericht in Form eines Montageleitfadens für das Montage- und Prüfpersonal zu verdichten, in dem dann auch die Anforderungen an das Personal und die Prozessdurchführung beschrieben ist.

**Managementsystem**

Der Gesamtprozess zur Erfüllung der TA Luft Anforderungen an dichte Verbindungselemente ist als PDCA Prozess (Plan – Do – Check – Act) im Managementprozess zu beschreiben.

Die Bewertungskriterien sind unabhängig von Werkstoffen, Konstruktionsformen und Dichtungsausführungen und beschreiben Leistungsanforderungen und Nachweisvorgaben. Erfüllt das Verbindungselement die Bewertungskriterien, ist die Einsatztauglichkeit nach TA Luft grundsätzlich nachgewiesen. Die Vorgehensweise bevorzugt bzw. diskriminiert keine technische Lösung. Dem Betreiber oder Hersteller bleibt es jedoch unbenommen einzelnen technischen Lösungen Prioritäten zuzuordnen, z.B. auf Grund seiner Bewertung der Fehlerverzeihlichkeit eines Verbindungssystems.

Die Anwendung der Bewertungskriterien erlaubt es, Verbindungselemente entsprechend zu qualifizieren, für die bisher der quantitative Nachweis der Dichtheitsanforderungen nach TA Luft nicht erbracht werden konnte bzw. auch nicht musste.

## 5.3 Anwendung der Bewertungskriterien auf die Rechtsgebiete

Wendet man die Bewertungskriterien in verdichteter Form auf die Anforderungen der wichtigsten Rechtsgebiete wie BImSchG, TA Luft alt (2002) und neu (Entwurf vom 16.07.2018), der BetrSichV, der GefStoffV, WHG und ProdSG an, finden sich in allen diesen Rechtgebieten Elemente der Bewertungskriterien wieder, in mehr oder minder ausgeprägter oder stringenter Form.

Die Zuordnung zu einem Rechtsgebiet wird in der Regel durch die Eigenschaften des Mediums bestimmt und da die BetrSichV grundsätzlich für alle technischen Arbeitsmittel gilt, ist eine Doppelt- oder Mehrfachzuordnung nicht selten. Z.B. können organische Flüssigkeiten von der GefStoffV, dem WHG, dem BImSchG und der BetrSichV erfasst werden, vgl. Abbildung 9.

**Abbildung 9: Qualitative Anwendung der Bewertungskriterien auf die Anforderungen der wichtigsten Rechtsgebiete**

| Kriterium | BImSchG TA-Luft 2018 (Entwurf v. 16.07.2018) | BImSchG TA Luft 2002 | BetrSichV TRBS | GefStoffV TRGS | WHG AwSV | ProdSG DGRL, MaschRL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Material-spezifikation Normen | Reproduzierbarkeit nur durch einheitliche Normen gegeben | Reproduzierbarkeit nur durch einheitliche Normen gegeben | Reproduzierbarkeit nur durch einheitliche Normen gegeben | Reproduzierbarkeit nur durch einheitliche Normen gegeben | Reproduzierbarkeit nur durch einheitliche Normen, Zeugnisse | Reproduzierbarkeit nur durch einheitliche Normen; Zeugnisse |
| Festigkeits-berechnung | Erforderlich EN 1591-1; VDI 2290 Voraussetzung für Bauteilversuch | indirekt über BetrSichV | Erforderlich | Erforderlich | Erforderlich | Erforderlich |
| Dichtheits-nachweis | EN 1591-1 mit Kennwerten nach EN 13555 Kennwerte Bauteilversuch | nur für Dichtung VDI 2200 "TA Luft Zertifikat" | Dichtheitskontrolle s.a. GefStV | Vorgabe best. techn. Lösungen (Ex, AGW) Dichtheitskontrolle | Vorgabe best. techn. Lösungen (WGK) Dichtheitsklasse L0,1 mg/s/m TA Luft gleichwertig | Keine speziellen Anforderungen immer in Verbindung mit BetrSichV zu bewerten |
| Montage-vorgaben | Qualif. Personal Montagerichtlinie Q-Sicherung Dokumentation | Im Geltungsbereich VDI 2290 ja; sonst nein | Mitarbeiter müssen unterwiesen sein, TRBS 2141 Qualtativ ja Quantitativ empfohlen | s.a. BetrSichV | Betriebsanweisungen Fachbetriebzulassung keine quantititiven Vorgaben Überwachungsplan VDI 2290 Vorgehen ok | keine Vorgaben zur Dichtheit Schwerpunkt Festigkeit |
| Prüfbericht | Festigkeitsberechnung Dichtheitsnachweis/ Bauteilversuch Montagevorgaben | TA Luft Zertifikat für Dichtung | Gefährdungs-beurteilung Anlagendokumentation Prüfungen von IBN | Gefährdungs-beurteilung Anlagendokumentation Prüfungen vor IBN | Anlagendokumentation §43 AwSV Prüfungen | Technische Doku. Für Behörden Betriebsanleitung |
| Management-system | Gefordert für Montage, Prüfung u. Wartung | Im Geltungsbereich VDI 2290 ja; sonst nein | nein; oft vorhanden ISO9000, Arbeits-schutzmgmtsystem | nein; oft vorhanden ISO9000, Arbeits-schutzmgmtsystem | Erleichterungen bei EMAS Registrierung | nein; empfohlen |

Quelle: eigene Darstellung

Wenn die Vorgaben der TA Luft (Entwurf vom 16.07.2018) erfüllt werden, mag das in einigen Fällen formal zu einer Übererfüllung der Anforderungen führen, die durch Erleichterungen bei der Umsetzung administrativer und dokumentarischer Vorgaben oft kompensiert werden. Des Weiteren wird sich vermutlich auch eine Anhebung des Qualitätsniveaus einstellen.

Als Beispiel für eine erfolgreiche Standardisierung über Rechtsgebiete hinweg, kann die Anwendung des VCI-Montageleitfadens gelten. Werden die im Leitfaden angegebenen Flanschverbindungen mit den dazugehörigen Schrauben und Dichtungen, die das Anforderungsprofil des Anhanges C erfüllen, mit den dort aufgeführten Drehmomenten unter Berücksichtigung der Qualitätssicherungsvorgaben angezogen, sind diese Flanschverbindungen rechtskonform zur TA Luft, dem WHG und der BetrSichV. Eine jeweilige rechtsgebietsspezifische Dokumentation kann entfallen.

# 6 Beschreibung des aktuellen Standes der Prüftechnik

Aus den obigen Abschnitten wird deutlich, dass die Umsetzung der TA Luft (Entwurf vom 16.07.2018) dem aktuellen Stand der Technik entspricht, sofern ergänzende Regelwerke analog zur VDI 2290, VDI 2200 und entsprechender Montageleitfäden (z.B. VCI-Montageleitfaden) für alle derzeit nicht betrachteten Flanschsysteme erstellt werden.

Oft diskutierte Problembereiche für die praktische Umsetzung werden in den folgenden Abschnitten bearbeitet.

## 6.1 Vergleichbarkeit Bauteilversuch mit EN 13555

Kennwerte für Dichtungen nach EN 13555 werden typischerweise an einem repräsentativen Prüfling der Dimension DN40/PN40 nach EN 1514 auf zumeist vollautomatischen Prüfständen ermittelt. Der Prüfdruck muss mindestens gleich oder oberhalb des vorgesehenen zulässigen Betriebsdruckes der Flanschverbindung sein, in die die Dichtung verbaut werden soll.

Mit Hilfe der analytischen Berechnungsmethode EN 1591-1 besteht dann die Möglichkeit, die Dichtungskennwerte (unabhängig von der Nennweite einer konkreten Flanschverbindung) zum Dichtheits- und Festigkeitsnachweis zu verwenden.

Sofern eine Berechnung nach EN 1591-1 nicht möglich ist, erfolgt nach TA Luft (Entwurf vom 16.07.2018) der Dichtheitsnachweis mittels eines Bauteilversuchs in Anlehnung an VDI 2200. Ergänzend dazu ist ein Festigkeitsnachweis erforderlich. Der Dichtheitsnachweis sichert die jeweilige Flanschverbindung „nach unten“ ab (Verhinderung einer Leckage), der Festigkeitsnachweis „nach oben“ (Verhinderung mechanisches Versagen). Unter „nach unten“ ist zu verstehen, dass die Flächenpressung oder die Vorverformung der Dichtung nicht unter dem jeweiligen Wert des Dichtheitsnachweises bei der Montage liegen darf. Die Absicherung „nach oben“ mit dem Festigkeitsnachweis stellt dann sicher, dass kein Bauteil des Dichtsystems überlastet wird.

Wie oben schon mehrfach deutlich gemacht, wird im Zuge der TA Luft (Entwurf vom 16.07.2018) der Weg von einer Einzelbetrachtung der Dichtkomponenten (Flansche, Verspann- und Dichtelemente) hin zu einer Systembetrachtung gehen. Für Stahlflansche ist mit den Dichtungskennwerten nach EN 13555, der Berechnung nach EN 1591-1 und der Umsetzung nach VDI 2290, in Verbindung mit dem z.B. VCI-Montageleitfaden die Systembetrachtung für die dort betrachteten Flanschsysteme bereits gelebte Realität.

Für alle anderen Flanschverbindungen, beispielsweise Stahl-Email- oder Kunststoffflansche usw., ist das derzeit noch nicht möglich. Um aber einen Dichtheitsnachweis für diese Dichtsysteme durchzuführen, wird nach TA Luft (Entwurf vom 16.07.2018) ein Bauteilversuch gefordert. Nachstehend wird gezeigt, dass der Bauteilversuch mit Kennwerten nach EN 13555 vergleichbar ist.

Dichtheitsprüfungen nach EN 13555 unterliegen den folgenden Randbedingungen:

a) Dichtungsgröße entspricht zumeist DN40/PN40 nach EN 1514.

b) Dichtleisten sind eben und parallel mit vorgegebener Rauigkeit.

c) Die Prüfung erfolgt ausschließlich bei Raumtemperatur und unterliegt reinem Kriechen, da die Flächenpressung bei den einzelnen Flächenpressungsstufen konstant gehalten wird.

d) Die Prüfung erfolgt mit Helium.

e) Die Prüfung erfolgt in mehreren Flächenpressungsstufen.

f) Die Steifigkeit der Prüfplatten ist vorgegeben, es findet keine Flanschverformung statt.

Es ist offensichtlich, dass mit diesen Prüfbedingungen nur eine Annäherung an reale Flanschverbindungen möglich ist, dadurch bedingt, dass reale Flanschverbindungen nahezu immer von den obigen Randbedingungen abweichen. Betrachtet man aber die ermittelten Kennwerte und die zugehörige Berechnung im Zusammenhang mit der VDI 2290, wird klar, dass diese Vereinfachungen sinnvoll sind. Neben der Anwendung der Dichtungskennwerte in der Berechnung fordert die VDI 2290 zusätzlich eine Ausnutzung der Festigkeitsgrenzen der Einzelbauteile, was wiederum zu einer möglichst hohen Flächenpressung bei Montage und damit zur höchstmöglichen Dichtheit im Betrieb führt. Wären diese Vereinfachungen nicht möglich bzw. zulässig, entstünde ein immenser Prüfaufwand für jede denkbare Flanschverbindung, was weder technisch noch kommerziell betrachtet sinnvoll wäre.

- Zu a)
  - Es ist sinnvoll, für alle weiter zu betrachtenden Flanschverbindungen eine repräsentative Flanschgröße für die Bauteilprüfungen zu wählen. Um eine Vergleichbarkeit sicherzustellen, als auch eine einheitliche Vorgehensweise zu gewährleisten, vgl. Abschnitt 7, bietet sich die Größe DN40 für die Bauteilprüfungen nach TA Luft (Entwurf vom 16.07.2018) an, wie sie auch vorrangig für Prüfungen nach EN 13555 Anwendung findet.
- Zu b)
  - Im Gegensatz zu Prüfständen für Prüfungen nach EN 13555 ist die Bauteilprüfung näher an der Realität, da die Mikro- und Makro-Dichtflächentopografie (z.B. bei Stahl-Email-Flanschen), die Flanschblattneigung (z.B. bei Kunststoffflanschen) usw. den wirklichen Bedingungen der geprüften Flanschverbindung entsprechen.
- Zu c)
  - Mit dem Bauteilversuch erhält man eine realistische Aussage zum erwartbaren Flächenpressungsverlust der Dichtverbindung, bedingt durch die auftretende Kriech-Relaxation bei Auslagerungstemperaturen, die zumeist über der Raumtemperatur liegen. Dichtheitsprüfungen nach EN 13555 unterliegen dagegen reinem Kriechen, was nicht der Praxis entspricht, bei der die Dichtungen eingesetzt werden.
  - Zudem führt der Bauteilversuch, der zumeist bei von der Raumtemperatur abweichenden Temperaturen durchgeführt wird, zu einer realistischeren Betrachtung der zu erwartenden Dichtheit in der betrieblichen Praxis.
  - Zu beachten ist, dass die Übertragbarkeit des Flächenpressungsverlustes auf andere Nennweiten nur eingeschränkt möglich ist, bedingt durch eine dann abweichende Nachgiebigkeit der Bauteile, im Vergleich zum Bauteilversuch. Das trifft aber auch für Kennwerte nach EN 13555 zu, bei denen typischerweise Steifigkeiten von 500 kN/mm bei den Kriech-Relaxationsversuchen zugrunde liegen.

- Zu d)
  - Da auch die Bauteilprüfung mit Helium erfolgen soll (soweit das Medium geeignet ist) gibt es keine Unterschiede zu Prüfungen nach EN 13555, wohlwissend, dass eine Übertragung der Prüfergebnisse auf andere Prüfmedien und/oder Aggregatszustände nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich ist.
- Zu e)
  - Mit der Bauteilprüfung kann nur eine Montageflächenpressung während eines Prüfdurchlaufes abgeprüft werden und auch ein gezieltes Entlasten der Dichtverbindung ist nicht möglich. Somit besteht im Gegensatz zu Prüfungen nach EN 13555 nicht die Möglichkeit konkrete Mindestflächenpressungen für eine bestimmte Dichtheitsklasse bei Montage und im Betrieb zu bestimmen. Das ist aber unkritisch, da beispielsweise die nach TA Luft (Entwurf vom 16.07.2018) geforderte Dichtheitsklasse L0,01 im Bauteilversuch unterschritten werden muss. Das bedeutet, die beim Bauteilversuch angewendete Dichtkraft oder Flächenpressung wird in der Praxis zu Dichtheitsklassen führen, die immer unterhalb der nach TA Luft (Entwurf vom 16.07.2018) geforderten liegen.

Die obigen Erläuterungen machen deutlich, dass der Bauteilversuch mit den Versuchen zur Ermittlung von Kennwerten nach EN 13555 vergleichbar ist. Er ist sogar näher an den realen Bedingungen, weshalb er für den Dichtheitsnachweis im Zweifelsfall vorzuziehen ist. Nachteilig ist aber der deutlich höhere Prüfaufwand beim Bauteilversuch, im Vergleich zur Dichtheitsprüfung nach EN 13555. Aus diesem Grund sollte nach Möglichkeit die Prüfung nach EN 13555 Vorrang haben, wobei aber bei begründeten Ausnahmefällen auch ein Dichtheitsnachweis für Stahlflansche mit Hilfe des Bauteilversuchs geführt werden kann.

Wichtigstes Ergebnis beim Bauteilversuch ist die Flächenpressung bei Montage (oder beispielsweise die prozentuale Vorverformung des Dichtelements bei Anwendungen im Kraftnebenschluss, bezogen auf die Ausgangshöhe), sofern die geforderte Dichtheitsklasse unterschritten wurde, was dann dem Dichtheitsnachweis entspricht. Diese beim Bauteilversuch aufgebrachte Flächenpressung ist dann die maßgebende Größe, die nennweitenübergreifend angewendet, nicht unterschritten werden darf, um den Dichtheitsnachweis für vom Bauteilversuch abweichende Flanschgrößen zu erlangen.

Weiterhin sind wichtige Größen aus dem Bauteilversuch die Prüftemperatur als auch der Prüfdruck, die abdeckend gewählt werden sollten. Abdeckend bedeutet in diesem Zusammenhang, dass alle Flanschverbindungen den Dichtheitsnachweis erfüllen, die

1. mit Dichtflächenpressungen (synonym für Verformung des Dichtelements) über oder gleich der Montageflächenpressung des Bauteilversuchs montiert werden,
2. einer Betriebstemperatur unterliegen, die kleiner oder gleich der Prüftemperatur des Bauteilversuchs ist und
3. einem Betriebsdruck ausgesetzt sind, der kleiner oder gleich des Prüfdrucks des Bauteilversuchs ist.

Aus den obigen Ausführungen (insbesondere zu 3.) erklärt sich zudem, dass der bislang durchgeführte „TA Luft-Bauteilversuch“ nach VDI 2200 den abdeckenden Dichtheitsnachweis nicht erfüllen kann, da er typischerweise mit einem Prüfdruck von 1 bar durchgeführt wurde, wodurch der Versuch für höhere Betriebsdrücke nicht als abdeckend zu betrachten ist.

## 6.2 Stand der Leckagemesstechnik

In der Dichtungstechnik wird als Prüfmedium typischerweise Helium verwendet, was vorrangig dadurch begründet ist, dass mit He-Massenspektrometern (im Vakuumverfahren) sehr geringe Leckagen bis zu $10^{-12}$ mbar·l/s nachgewiesen werden können.

Ein weiteres, oft angewandtes Verfahren, ist die Spülgasmethode, wobei die Auswertung z.B. mittels FID (Flammen-Ionisationsdetektoren) erfolgt. Mit diesem Verfahren, das nur für Kohlenwasserstoffe geeignet ist, liegt die Nachweisgrenze bei etwa $10^{-5}$ mbar·l/s.

Die dritte Methode: Druckabfall- bzw. Druckanstiegsmethode hat den Vorteil alle Gase prüfen zu können, wobei die Nachweisgrenze bei etwa $10^{-4}$ mbar·l/s liegt.

Alle drei Verfahren eignen sich grundsätzlich, um Dichtheitsnachweise gemäß TA Luft (Entwurf vom 16.07.2018) durchführen zu können, wobei aber eine Übertragung der Ergebnisse auf reale Leckagen mit den Realstoffen der Anlage derzeit nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich ist. Weiterhin sei darauf hingewiesen, dass ein Dichtheitsnachweis nach der He-Schnüffelmethode nicht möglich ist, da nur eine Heliumkonzentration in ppm in einem nicht definierten Volumenstrom erfasst wird.

Da die Prüfung mit He-Massenspektrometern weit verbreitet ist, sollte sie nach Möglichkeit angewandt werden. Zudem wird das Verfahren nach TA Luft (16.07.2018) gefordert. Nachteilig ist dabei, dass Helium relativ leicht durch typische Dichtwerkstoffe, wie beispielsweise PTFE, diffundieren kann. Erste Versuchsergebnisse und theoretische Berechnungen zeigen, dass bei entsprechend großer Fläche, beispielsweise bei ausgekleideten Rohrleitungen oder in Armaturen, alleine durch Permeation von Helium durch die Auskleidung so hohe Leckagen entstehen können, das ein Dichtheitsnachweis nach TA Luft (Entwurf vom 16.07.2018) nicht möglich ist. Aus diesem Grund scheint es angeraten, die beiden anderen Prüfverfahren (oder weiter geeignete) mit anderen Medien, beispielsweise Methan, für die Prüfungen zuzulassen, bei unveränderter Dichtheitsklasse. Grundsätzlich gelten diese Überlegungen auch für Konstruktionswerkstoffe wie z.B. Kunststoffe.

An dieser Stelle sei angemerkt, dass Permeation auch mit anderen Prüfmedien als Helium vorliegt. Derzeit gibt es noch keine gesicherte Datenbasis, die es erlaubt auszusagen, ob damit das Problem der immer vorhandenen Permeation vernachlässigbar gering ist oder nicht, vgl. hierzu auch folgenden Abschnitt.

## 6.3 Prüfmedium

Wie bereits im obigen Abschnitt deutlich gemacht, sollte als Prüfmedium Helium verwendet werden. Nur in begründeten Ausnahmefällen sollten andere Prüfmedien, beispielsweise Methan, Einsatz finden.

Flüssigkeiten als Prüfmedien sind in einem annehmbaren Zeitraum nur sehr aufwendig zu prüfen. Eine Möglichkeit ist die Druckanstiegsmethode, wobei der mit Flüssigkeit gefüllte Prüfflansch dann in einem Vakuumbehälter unter Hochvakuum gesetzt werden muss. Unter Hochvakuum verdampft dann die ausgetretene Flüssigkeit, also die zu messende Leckage, wodurch sich ein Druckanstieg einstellt, der dann eine Bestimmung der Leckage erlaubt, beispielsweise in mbar·l/s, wenn das Innenvolumen des Vakuumbehälters bekannt ist. Eine Umrechnung auf andere Einheiten der Leckage, wie z.B. mg/s/m ist dann einfach möglich.

Derzeit gibt es einige Aussagen, die davon ausgehen, dass Helium so große Leckagen alleine durch Permeation durch den zu prüfenden Werkstoff selbst erzeugt, dass die Vorgaben der TA Luft nicht erfüllt werden können. Genannt werden in diesem Zusammenhang gängige

Kunststoffe (beispielsweise PE, PP, PVDF, PTFE), die zumeist als Auskleidungsmaterial in Stahlrohrleitungen/Stahlapparaten und/oder als Rohrleitungswerkstoffe Anwendung finden.

Der Stofftransport durch Thermoplaste oder auch Gummiwerkstoffe ist dabei vorrangig durch Permeation (Synonym ist hier „molekulare Strömung“) gegeben, sofern Trennflächenleckagen ausgeschlossen werden können.

Für ein einfaches Beispiel eines Rohrstücks aus beispielsweise Polyamid (PA) wird gezeigt, mit welchen „Permeations-Leckagen“ zu rechnen ist. Dabei soll das Rohrstück eine Länge von 50 cm, der Inliner eine Dicke von 5 mm und einen mittleren Durchmesser von 50 mm aufweisen. Der Innendruck soll 10 bar betragen.

Wichtig ist, dass die „Permeations-Leckage“ keinen Bezug zu der zu ermittelnden Leckage nach TA Luft hat. Diese zielt auf die Leckage durch eine Dichtverbindung einer Flanschverbindung ab, nicht auf Permeation durch einen Apparat, eine komplette Rohrleitung oder eine Armatur. Die „Permeations-Leckage“ ist vielmehr eine vom Polymerwerkstoff und den geometrischen Größen abhängige, nicht vermeidbare Permeation, wie nachstehend dargestellt wird.

Der Begriff „Leckage“ ist dabei falsch gewählt, da die Permeation durch den Feststoff unvermeidlich ist und nicht in Zusammenhang mit der zu bestimmenden Leckage nach z.B. TA Luft gesetzt werden darf. Die Problematik ist aber, dass diese „Leckage“ bei Dichtheitsmessungen mit erfasst wird, wenn keine geeigneten Gegenmaßnahmen getroffen werden.

Die „Permeations-Leckage“ $L_P$ [mbar·l/s] eines Gases durch einen Feststoff ist durch den Permeationskoeffizienten P [mbar·l·cm/s/cm²/bar], die Oberfläche der Heliumbeaufschlagung A, die Dicke t des Feststoffs als auch dem Differenzdruck Δp zwischen Innen- und Außenseite nach folgender Gleichung gegeben.

$$L = P \cdot \frac{A}{t} \cdot \Delta p$$

Für das obige Beispiel ergibt sich die Fläche A, welche mit Helium beaufschlagt ist durch:

$$A = l \cdot d \cdot \pi = 50cm \cdot 5cm \cdot \pi = 785cm^2$$

Mit der Dicke des PA-Rohrstücks von 0,5 cm, dem Differenzdruck von 10 bar und einem angenommenen Permeationskoeffizienten von $5 \cdot 10^{-9}$ mbar·l·cm/s/cm²/bar (Quelle: „Lecksuche Kompendium, Pfeiffer Vacuum GmbH 2014) ergibt sich somit eine „Permeations-Leckage“ von:

$$L = 5 \cdot 10^{-9} \frac{mbar \cdot l \cdot cm}{s \cdot cm^2 \cdot bar} \cdot \frac{785cm^2}{0{,}5cm} \cdot 10bar = 7{,}85 \cdot 10^{-6} \frac{mbar \cdot l}{s}$$

Der Permeationskoeffizient ist spezifisch für ein bestimmtes Material und dessen Herstellung. Bei Kenntnis des Permeationskoeffizienten, der mit Helium berührten Oberfläche und der Dicke des Materials ist dann eine Abschätzung der Permeation möglich, die aber nicht der zu messenden Leckage nach z.B. TA Luft zugeschlagen werden darf.

In vielen Fällen wird der Anteil der Permeation an der Gesamtleckage, die nicht durch die eigentliche Dichtung geht, vernachlässigbar gering sein. Ein Beispiel dafür sind klassische Stahlrohrleitungen. Hier liegt der Permeationskoeffizient durch den Stahl des Rohres um etwa sieben Zehnerpotenzen unter dem Permeationskoeffizienten von PTFE (Quelle: Lecksuche Kompendium, Pfeiffer Vacuum GmbH, download unter www.pfeiffer-vacuum.de). Für obiges Beispiel erhielte man damit eine „Leckage“ durch ein 5 mm dickes Stahlrohr von $7{,}85 \cdot 10^{-13}$ mbar·l/s, was in jedem Fall vernachlässigbar ist.

Sonderfälle bilden aber Verbindungselemente, die eine große Fläche an hoch permeablen Werkstoffen, im Vergleich zu z.B. Stahl, aufweisen (beispielsweise PTFE, PFA, PP, PE usw.). Diese müssen bei zu erwartender hoher Permeation, die nicht durch die eigentliche Abdichtung geht, gesondert betrachtet werden.

Beispiele, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, sind hierfür:

1. Rohrleitungen aus Thermoplasten, z.B. PE oder PP
2. GFK-Rohrleitungen mit/ohne Inliner, aus z.B. PVDF oder PP
3. Stahl-Rohrleitungen mit PTFE-Inliner
4. Armaturen mit Auskleidungen aus beispielsweise PFA

Wird eine Dichtheitsprüfung mit den o.g. Bauteilen durchgeführt, muss entweder sichergestellt sein, dass nur der Bereich mit Helium beaufschlagt wird, in dem sich die eigentliche Abdichtung befindet oder es ist auf Prüfmedien auszuweichen, die eine deutlich geringere Permeation als Helium aufweisen. Die erste Möglichkeit, also die Begrenzung der mit Helium beaufschlagten Oberfläche, ist dabei vorzuziehen, da dieses konstruktiv in der Prüftechnik einfach umzusetzen ist.

## 6.4 Durchführung Bauteilversuche

Die Prüfung nach EN 13555 ist klar in der Norm vorgegeben. Datenblätter sind unter www.gasketdata.org kostenlos einzusehen. An dieser Stelle besteht derzeit kein Handlungsbedarf, abgesehen von stetigen Verbesserungen an der Prüfnorm, die aber von den zuständigen Normungsgremien im DIN und CEN regelmäßig aufgegriffen werden.

Der neue Bauteilversuch für Flanschverbindungen, die nicht nach EN 1591-1 mit Dichtungskennwerten nach EN 13555 berechnet werden können, soll nach TA Luft (Entwurf vom 16.07.2018) „weitestgehend am Bauteilversuch nach Richtlinie VDI 2200 (Ausgabe Juni 2007) ausgerichtet werden“.

Der bisherige Bauteilversuch nach VDI 2440 / VDI 2200 zur Erlangung des sogenannten TA Luft Zertifikates für die Dichtung gibt Stahlflansche nach EN 1092-1 als Prüfflansche vor. Als Prüfdrücke finden sich 1 bar als auch 40 bar, wobei für 1 bar eine Dichtheit von $1 \cdot 10^{-4}$ mbar·l/s/m, bzw. für 40 bar $1 \cdot 10^{-2}$ mbar·l/s/m nicht überschritten werden darf, um den Anforderungen zu genügen. Ein Nachziehen der Verbindung ist nicht vorgesehen. Weiterhin ist für die Warmlagerung eine Zeit von 48 Stunden vorgegeben, die auf bis zu 2000 Stunden ausgedehnt werden kann, sofern eine starke Alterung bei den Dichtungen zu erwarten ist. Die Temperatur während der Auslagerung ist wiederum frei wählbar.

Der neue Bauteilversuch nach TA Luft (Entwurf vom 16.07.2018) soll den Vorgaben der VDI 2200 weitestgehend folgen, vgl. oben, weshalb nachstehend die Gemeinsamkeiten als auch erforderliche Abweichungen hergeleitet werden.

Die Randbedingungen der Prüfung sind in einem Prüfbericht zu dokumentieren. Insbesondere ist anzugeben, für welche Bereiche, z.B. Nennweiten, Größen etc., der Bauteilversuch als abdeckend anzusehen ist.

### ► Prüfgerät

Nach VDI 2200 wird ein Prüfflanschpaar nach EN 1092-1 DN40/PN40 vorgegeben. Sofern höhere Flächenpressungen erforderlich sind, können Flansche DN40/PN160 verwendet werden.

Da gemäß TA Luft (Entwurf vom 16.07.2018) eine Systemprüfung gefordert wird, muss entsprechend das Prüfflanschpaar aus dem betrachteten Material bestehen, beispielsweise sind

das Stahl-Email-Flansche, Kunststoffflansche, Sterilflansche usw. Die Größe der Flansche sollte mit DN40 beibehalten werden. Die Druckstufe ist dann entsprechend der erforderlichen Festigkeit für den vorgesehenen maximalen Betriebsdruck zu wählen.

- **Dichtung**

Nach VDI 2200 wäre eine Dichtung DN40 nach EN 1514-1 zu wählen, da nur die Dichtung selbst der Prüfung unterzogen wird, nicht das Flanschsystem, bestehend aus Flanschen, Dichtung und Verspannelementen (hier Schrauben). Für die Systemprüfung nach TA Luft (Entwurf vom 16.07.2018) ist diese Dichtungsgröße selbsterklärend nur in Ausnahmefällen einsetzbar.

Bei der Systemprüfung wird eine bestimmte Dichtung einem bestimmten Flanschaufbau zugeordnet, für die dann eine Zulassung ausgestellt werden kann. Wie auch bei den Prüfungen nach EN 13555 ist die Dicke der Dichtung hierbei eine Größe, die mit berücksichtigt werden muss, zumindest für Flanschverbindungen, die sich im Krafthauptschluss befinden.

Bei Dichtungen im Kraftnebenschluss, oftmals sind das O-Ringe aus Gummi, ist dagegen die prozentuale Verpressung maßgebend, weshalb die Prüfung unterschiedlicher Dichtungsdicken nicht als erforderlich angesehen wird, siehe hierzu auch die Ausführungen zur „Dichtflächenpressung“.

- **Dichtflächenpressung**

Die VDI 2200 gibt praktisch keine Vorgaben zur Dichtflächenpressung, was dort auch nachvollziehbar begründet ist.

Bei der Systemprüfung nach TA Luft (Entwurf vom 16.07.2018) ist die Dichtflächenpressung für Anwendungen im Krafthauptschluss aber die maßgebende Größe für den Dichtheitsnachweis.

Die Dichtflächenpressung muss so gewählt werden, dass sie für alle in Betracht gezogenen Nennweiten abdeckend ist. Das bedeutet, es ist im Vorfeld, beispielsweise mit Hilfe von Festigkeitsnachweisen, die „schwächste Verbindung“ einer Nennweitenreihe zu bestimmen. Hierdurch erklärt sich, dass die Prüfung mit der geringsten Flächenpressung durchzuführen ist, die bei einer Nennweitenreihe vorliegt. Da höhere Flächenpressungen immer zu einer niedrigeren Leckage führen, sofern keine Bauteile überbeansprucht werden, ist dann die Prüfung für alle anderen Größen der betrachteten Nennweitenreihe abdeckend.

Für die Erstellung einer Montagevorgabe muss dann sichergestellt sein, dass die geprüfte Flächenpressung bei Montage nicht unterschritten wird.

Anders sind Flanschverbindungen im Kraftnebenschluss zu betrachten, bei denen oftmals Gummi als Dichtwerkstoff zur Anwendung kommt. Bedingt dadurch, dass der Stofftransport durch die Dichtung auf Permeation beruht, wobei die dann auftretende Leckage praktisch unabhängig von der Verpressung des Dichtelements ist, kann hier vereinfacht vorgegangen werden. Voraussetzung hierfür ist aber, dass einschlägige Vorgaben zu den Verpresswerten von O-Ringen, beispielsweise nach ISO 3601-2 eingehalten werden. Mit diesen Verpresswerten wird sichergestellt, dass die Dichtung eine ausreichende Verformung bei der Montage erfährt als auch die Alterung (vorrangig der Druckverformungsrest) Berücksichtigung findet, sodass kein signifikanter Anstieg der Leckage im Betrieb zu erwarten ist. Aus diesem Grund ist es für Flanschverbindungen im Kraftnebenschluss, mit Einsatz von Gummidichtungen, ausreichend, eine Prüfung durchzuführen, bei der die Verpresswerte innerhalb der anerkannten Grenzen liegen. Konstruktiv ist dann sicherzustellen, dass alle Verbindungen einer Nennweitenreihe die Anforderungen an die Verpresswerte erfüllen.

In sehr wenigen Fällen finden sich auch Dichtelemente im Kraftnebenschluss, die keine Gummidichtungen sind, beispielsweise Spiralringdichtungen. In diesen Fällen ist analog zu den Krafthauptschlussverbindungen zu verfahren, was in der Praxis bedeutet, dass die ungünstigste Kombination aus Nuttiefe und Dichtungshöhe zu prüfen ist, also größte Nuttiefe in Verbindung mit kleinster Dichtungshöhe. Dieses führt dann zur geringsten Montageflächenpressung auf der Dichtung im Kraftnebenschluss, die dann wiederum abdeckend für alle höheren Verpresswerte ist.

- **Prüfdruck**

Der Prüfdruck hat sich an den Einsatzbedingungen des Dichtsystems zu orientieren. Wird beispielsweise der Dichtheitsnachweis für Stahl-Email-Flansche der Nennweitenreihe DN10 bis DN300 angestrebt, in Kombination mit maximal auftretenden Drücken in Betrieb von 10 bar, ist zunächst mittels eines Festigkeitsnachweises die „schwächste“ Nennweite der Reihe zu bestimmen, um damit die Montage-Flächenpressung für den Bauteilversuch vorgeben zu können, vgl. oben. Daraufhin ist der Prüfdruck zu wählen, hier wären das 10 bar.

Es ist somit in allen Fällen sinnvoll, passende (also abdeckende) Prüfdrücke zu wählen, bei denen eine bestimmte Art der Flanschverbindung innerhalb einer Nennweitenreihe eingesetzt wird.

- **Montage**

Die Montage des Prüfaufbaus hat so zu erfolgen, wie sie dann in den Montageanweisungen vorgegeben wird.

Für Anwendungen im Krafthauptschluss wird zumeist die Vorgabe der VDI 2200 zur Montage ausreichend sein.

Flanschverbindungen im Kraftnebenschluss müssen nach der Montage im Kraftnebenschluss liegen, was durch optische Prüfung einfach nachzuweisen ist. Durch die Vorgaben der Montageanweisungen ist sicherzustellen, dass der Kraftnebenschluss nicht aufgehoben werden kann, beispielsweise bedingt durch den Betriebsdruck.

- **Warmlagerung**

Die Prüftemperatur ist nach VDI 2200 frei wählbar, was auch praxisnah ist. Nach TA Luft (Entwurf vom 16.07.2018) sollte die Prüftemperatur, wie der Prüfdruck auch, abdeckend für die betrachtete Nennweitenreihe sein. Die Auslagerungsdauer von 48 Stunden ist für alle Dichtungen als ausreichend lange anzusehen.

Nach VDI 2200 sollen für „Dichtungen, deren Eigenschaften sich mit der Zeit unter dem Einfluss der Temperatur so stark ändern, dass bei langen Warmlagerungszeiten eine um mehr als eine Dekade größere Leckagerate zu erwarten ist“ längere Warmlagerungsdauer gewählt werden.

Konkret, wenn auch nicht explizit genannt, sind damit Dichtungen auf Basis von gummigebunden Aramidfasern (mit diversen Füllstoffen) gemeint. Im Rahmen eines Forschungsprojekts: „Lebensdauervorhersage für Dichtungen“ mit dem Förderkennzeichen 03FH034PX2, vgl. den zugehörigen Abschlussbericht, konnte gezeigt werden, dass auch diese Dichtungen keine signifikant hohen Leckagen zeigen, sofern die Auslagerungstemperaturen nicht extrem hoch gewählt werden. Aus diesem Grund sind Prüfzeiten von 48 Stunden als ausreichend anzusehen, unabhängig von der eingesetzten Dichtungstype.

Für einige Flanschverbindungen ist es ggf. erforderlich und gängige Praxis, dass diese nach einer ersten Warmfahrt nachgezogen werden. In diesem Zusammenhang sind beispielsweise Stahl-

Email und Kunststoffflansche zu nennen. Sofern ein Nachziehen erforderlich ist, vorrangig bedingt durch eine hohe Kriech-Relaxation des Dichtelements und/oder der Flansche, kann dieses im Rahmen des Bauteilversuchs stattfinden. Das Vorgehen ist aber dann in der zu erstellenden Montageanweisung mit zu berücksichtigen.

► **Leckagerate und Dichtheitsnachweis**

Die Bestimmung der Leckagerate kann entsprechend den Vorgaben der VDI 2200 erfolgen, wobei für den Dichtheitsnachweis des geprüften Aufbaus die maximal zulässige Leckagerate L0,01 mg/s/m beträgt.

Abdeckend ist der Dichtheitsnachweis des Bauteilversuchs dann für alle Flanschverbindungen, die mindestens die Montageflächenpressung erreichen, höchstens die Prüftemperatur im Betrieb erreichen und höchstens mit dem maximalen Prüfdruck betrieben werden.

## 6.5 Besondere Anforderungen

Da bei einem Betrieb unter Vakuum oder Umgebungsdruck naturgemäß keine Leckagen auftreten können, wäre ein Dichtheitsnachweis formal gesehen nicht erforderlich. Da aber in vielen Fällen gleiche Flanschverbindungen wie im Überdruck eingesetzt werden, empfiehlt es sich auch hier, Flanschverbindungen mit nachgewiesener Dichtheit einzusetzen und die Montagevorgaben ebenso wie Verbindungen unter Überdruck umzusetzen.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass eine passend ausgelegte und montierte Dichtverbindung einen hohen Schutz gegen unzulässige Leckagen bietet. Sofern aber Dichtungen beispielsweise gesondert gegen Herausdrücken gesichert sein müssen, ist das in den Montageanweisungen zu berücksichtigen.

# 7 Vorschlag einer Umsetzungsstrategie zu einheitlichen Dichtheitsanforderungen

Die neue TA Luft verweist auf die VDI 2290 und VDI 2200 und legt damit den Rahmen für die konkrete Umsetzung fest, ohne alle Details zu fixieren.

- Der Dichtheitsnachweis über die Einhaltung der Dichtheitsklasse ist für Flanschverbindungen im Krafthauptschluss **im Anwendungsbereich der Richtlinie VDI 2290 (Ausgabe Juni 2012)** nach den darin zugrunde gelegten Berechnungsvorschriften oder nachgewiesen gleichwertigen Verfahren zu erbringen. Für Flanschverbindungen mit Metalldichtungen, z.B. Ring-Joint oder Linsendichtungen, **ist das Verfahren der Richtlinie VDI 2290 (Ausgabe Juni 2012)** entsprechend anzuwenden, soweit geeignete Dichtungskennwerte zur Verfügung stehen.

- Soweit für Metalldichtungen und **für sonstige Flanschverbindungen** keine Dichtungskennwerte zur Verfügung stehen, **ist die Richtlinie VDI 2290** (Ausgabe Juni 2012) bis auf die darin enthaltenen Berechnungsvorschriften, **z.B. hinsichtlich Montage und Qualitätssicherung, anzuwenden.**

- Für die Bauteilversuche gilt die Dichtheitsklasse L0,01 mit der entsprechenden spezifischen Leckagerate ≤ 0,01 mg/(s·m) für das Prüfmedium Helium. **Die Prüfung ist weitestgehend am Bauteilversuch nach Richtlinie VDI 2200 (Ausgabe Juni 2007) auszurichten**.

Beide VDI-Richtlinien 2290 und 2200 sind im Zuge der Umsetzung der Anforderungen der TA Luft 2002 entwickelt worden und entsprechen nicht vollumfänglich den Forderungen der zu erwartenden TA Luft (Entwurf vom 16.07.2018). Um hier Umsetzungssicherheit zu erlangen, empfiehlt es sich die beiden Richtlinien zu überarbeiten und an die neuen Anforderungen anzupassen.

Die VDI 2290 (Ausgabe Juni 2012) könnte zu einer Richtlinie erweitert werden, die alle vom Geltungsbereich der TA Luft erfassten Flanschverbindungen erfasst. Sie müsste dazu um die Anforderungen der Flanschverbindungen, für die die Dichtheit nur über einen typbasierten Bauteilversuch nachzuweisen ist und die individuelle Prüfung an einer realen Verbindung als Einzelfalllösung erweitert werden. Die Durchführung, Auswertung und Dokumentation der Bauteilversuche muss dazu präzisiert werden. Da im Einzelfall auch Messungen in den Anlagen analog zu den Vorgaben des BVT-Merkblattes: „CWW Abwasser-/ Abgasbehandlung und Abwasser-/Abgasmanagementsysteme in der chemischen Industrie“ möglich sind, müssen die entsprechenden Vorgehensweisen konkretisiert werden.

Eine weitere Alternative wäre eine eigenständige VDI Richtlinie ergänzend zur VDI 2290 (z.B. VDI 2290 Blatt 1) nur für die nicht nach DIN EN 1591-1 rechenbaren Verbindungen zu erstellen und bei der Überarbeitung der VDI 2290 (Ausgabe Juni 2012) entsprechende Anpassungen einzufügen.

Als sehr erfolgreich und praxistauglich hat sich der VCI-Montageleitfaden für die Umsetzung der VDI 2290 (Ausgabe Juni 2012) in der Prozessindustrie erwiesen. Der Erfolg liegt sicher auch in der großen Verbreitung der Vorschweißflansche mit der hohen Standardisierung (Normenabdeckung) der eingesetzten Komponenten und der Beschreibung einer konkreten Vorgehensstrategie begründet. Obwohl der Anwendungsbereich der VDI Montagerichtlinie sich ausschließlich auf Vorschweißflansche bezieht, könnte die dort beschriebene Vorgehensweise

auf andere Flanschausführungen (Stahl-Email, ausgekleidete Flansche, Kunststoffflansche, …) in Form eigener branchen- oder verbändebezogene Leitfäden angewendet werden.

Bei der nächsten Überarbeitung der VDI 2200 muss sie angepasst werden. Der Punkt 8: „Anforderungen an Flanschverbindungen aus anderen Normen und Regelwerken“ sollte entsprechend neu formuliert werden. Anhänge B und C könnten gestrichen werden. Die VDI 2440, mit dem Verweis auf den Bauteilversuch, wird z.Z. überarbeitet und an die zu erwartende Neufassung der TA Luft angepasst.

Im Hinblick auf eine rechtsgebietsübergreifende Standardisierung der Anforderungen an Flanschverbindungen im Krafthaupt- und Kraftnebenschluss erscheint eine einheitliche Richtlinie für alle konstruktiven Lösungen mit einer ganzheitlichen Vorgehensweise von der Auslegung, dem Dichtheitsnachweis, der hochwertigen Montage und der Qualitätssicherung sinnvoll.

## 7.1 Konzept für eine neue einheitliche VDI 2290

Am Beispiel einer möglicherweise neuen und einheitlichen VDI 2290 soll eine rechtssichere Umsetzung der Anforderungen der neuen TA Luft beschrieben werden. Die Konsequenzen bei einer Anwendung der Vorgehensweise auf andere Rechtsgebiete werden immer mit berücksichtigt. Wie in den Abschnitten 5.2 und 5.3 gezeigt, fordern alle Rechtsgebiete Elemente aus dem Anforderungskatalog der neuen TA Luft, jedoch jeweils mit unterschiedlicher Ausprägung und Tiefe.

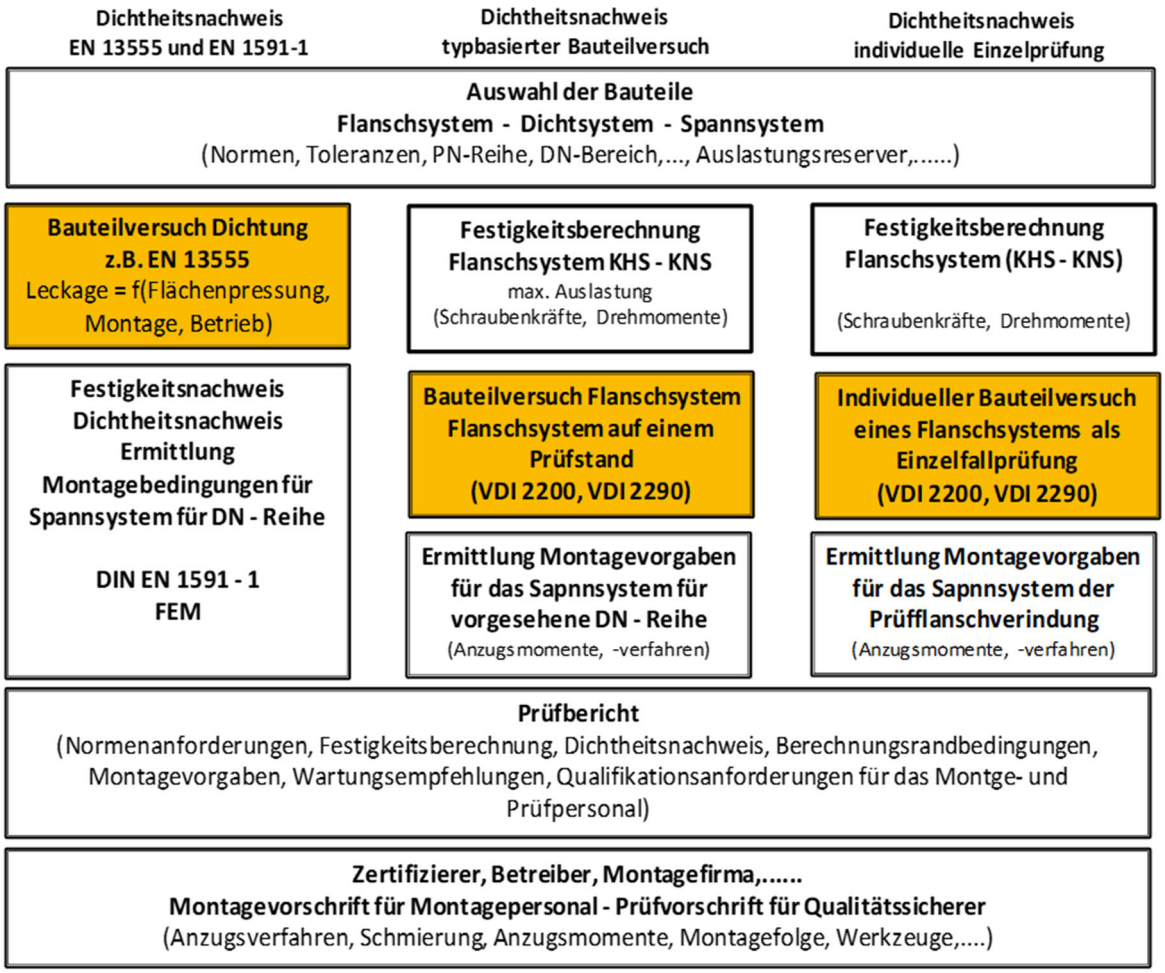
Im Folgenden wird eine mögliche inhaltliche Struktur vorgestellt, mit dem Ziel qualitative Vorgaben durch quantitative Vorgaben zu ersetzen. Abbildung 10 zeigt die Grundelemente des Aufbaus.

Die neue Struktur sieht in Anlehnung an die TA Luft drei Säulen vor, die in ihrem Prüfergebnis gleichwertig sind, in der Übertragbarkeit auf andere Nennweiten, Konstruktionssysteme und im Aufwand für den Dichtheitsnachweis jedoch unterschiedlich zu bewerten sind. Sie unterscheiden sich durch die Art und Weise der Erbringung des Dichtheitsnachweises. Basis für alle drei Säulen ist ein Bauteilversuch zum Dichtheitsnachweis sowie der Festigkeitsnachweis, die Ermittlung der Montagevorgaben und die Dokumentation im Prüfbericht.

Teile der Struktur sind für alle drei Wege gleich und zwar die Anforderungen an die Auswahl der Systeme und Komponenten, sowie die Dokumentationsanforderungen des Prüfberichtes und die Anforderungen an die Schulung und Qualifikation des Montagepersonals. Säulenspezifisch ist der Festigkeits- und Dichtheitsnachweis mit der Ermittlung der Montagebedingungen für die Nennweitenreihen im Anwendungsbereich.

**Leak Detection and Repair (LDAR) ist in der Struktur nicht berücksichtigt. Die in der TA Luft vorgesehene Dichtheitsklasse ist mit der üblicherweise bei LDAR verwendeten Schnüffelmethode nicht ermittelbar und ein für die Bewertung anzuwendender Konzentrationswert in z.B. ppm ist in der TA Luft nicht aufgeführt.**

**Abbildung 10: Grundelemente einer neuen VDI 2290**




Quelle: eigene Darstellung

### 7.1.1 Auswahl der Bauteile des Flanschsystems

Um beurteilen zu können, ob z.B. Ergebnisse eines Bauteilversuches oder eines Festigkeits- und/oder Dichtheitsnacheises auf Bauteile anderer Hersteller übertragen werden dürfen, ist die Auslegungsbasis in Form der anzuwendenden Normen und Produktspezifikationen für den Geltungsbereich eindeutig festzulegen. Ggf. ist bei Normen mit weiten Toleranzbereichen der Gültigkeitsbereich einzugrenzen.

Bei Vorschweißflanschen nach DIN EN 1092 und den zugehörigen Schrauben ist die Normenbasis sehr stabil und wird von allen Herstellern akzeptiert und umgesetzt. Dadurch sind die Bauteile in weiten Bereichen unabhängig vom Hersteller austauschbar. Der VCI-Montageleitfaden ist hier ein positives Beispiel für eine herstellerübergreifende Komponentenbetrachtung. Im Anhang C des Leitfadens werden z.B. die Mindestkennwerte für Dichtungen beschrieben für welche die errechneten Anzugsmomente verwendet werden dürfen. Die erlaubten Schraubenfestigkeiten sind ebenso definiert. Ein weiteres Beispiel sind Rohrklassen, dessen Festigkeitsnachweis auf Basis der Normenvorgaben (ggf. mit bestimmten Einschränkungen) erstellt wird. Die realen Komponenten können bei beliebigen Herstellern gekauft werden. Je nach Kritikalität der Anwendung ist die Normeneinhaltung durch Zeugnisse zu belegen.

Handelt es sich z.B. um eine herstellerspezifische Konstruktion gelten die Ergebnisse der Festigkeitsberechnung und/oder des Dichtungsnachweises nur für diese Konstruktion des einen Herstellers mit den entsprechend festgelegten Komponenten und können nicht auf (oftmals vermeintlich) ähnliche Konstruktionen anderer Hersteller übertragen werden.

VDI 2200 geht intensiv auf Kriterien zur Auswahl der Bauteile für Flanschverbindungen im KHS und KNS ein.

### 7.1.2 Festigkeits- und Dichtheitsnachweis

Für jede Komponente, die in eine druckbeaufschlagte Prozessanlage eingebaut werden soll, ist nach BetrSichV nachzuweisen, dass sie für den zulässigen Betriebsdruck und die zulässige Betriebstemperatur geeignet ist und über ausreichend Stabilität verfügt. In den meisten Regelwerken (AD2000, DIN EN 13480, DIN EN 13445, usw.) ist die Festigkeitsberechnung unabhängig vom Dichtheitsnachweis beschrieben, lediglich die DIN EN 1591-1 berücksichtigt die Wechselwirkung zwischen Festigkeit und Dichtheit, wodurch beide Nachweise gekoppelt erbracht werden können.

Die Durchführung eines Festigkeitsnachweises nach dem Stand der Technik wird üblicherweise mit einer Konformitätserklärung oder einer Herstellererklärung in Verbindung mit einer Betriebsanleitung und/oder einer Berechnungsdokumentation belegt.

Beim Festigkeitsnachweis sollte die maximal mögliche Belastung der Verbindung ermittelt werden, bei der eine Komponente (Flansch, Spannelement, Dichtung) an die Auslastungsgrenze geführt wird. Zu Ausnahmen davon vgl. Abschnitt 6. Diese Vorgehensweise ergibt die maximal mögliche Flächenpressung auf die Dichtung und legt damit die höchstens erreichbare Dichtheitsklasse fest. Je nach Vorgabe der Dichtheitsklasse ist das System dann für die Anwendung geeignet oder nicht.

Für den Dichtheitsnachweis stehen drei Wege zur Verfügung, siehe auch Abbildung 10:

**1. Dichtheitsnachweis mit EN 13555 und EN 1591-1 oder gleichwertig**

Der Dichtheitsnachweis basiert auf den leckageabhängigen Kennwerten der Dichtung aus dem Bauteilversuch nach EN 13555, als Funktion der Montage- und Betriebsflächenpressung auf der Dichtung für eine Normnennweite. Steht ein hinreichend gutes mathematisches Modell zur Beschreibung des Bauteilverhaltens des Dichtsystems (Flansch, Schraube, Dichtung) zur Verfügung, kann damit die Dichtheit des Systems für bestimmte, in dem Modell abbildbare Konstruktionen und unterschiedliche Nennweiten nachgewiesen werden. Das Modell, das sowohl analytisch wie nummerisch sein kann, weist bei richtiger Auswahl der Komponenten und der für die Berechnung relevanten Randbedingungen (Reibung, Toleranzen, der Bauteile und der Anzugsverfahren, Zusatzkräfte, Randbedingungen usw.) die Dichtheit nach und ermittelt die dazu notwendigen Montagebedingungen. Die Umsetzung der bei der Auslegung angenommen Berechnungsrandbedingungen (Reibbeiwerte, Toleranzen durch das Anzugsverfahren) in der Montage ist für die Erreichung der Dichtheit in der Anlage von großer Bedeutung.

**2. Dichtheitsnachweis über typbasierte Bauteilversuch**

Diese Art des Nachweises ist immer dann anzuwenden, wenn keine leckageklassenabhängige Dichtungskennwerte oder kein mathematisches Modell der Verbindung zur Verfügung steht. Der typbasierte Bauteilversuch soll mit einer repräsentativen Nennweite mit Originalbauteilen durchgeführt werden. Sollen die Ergebnisse des Bauteilversuches (DN-Prüfung) auf eine Nennweitenreihe hochgerechnet werden, ist die Verbindung der Nennweite mit der niedrigsten über das Spannsystem aufzubringenden Flächenpressung auf die Dichtung unter ggf.

Berücksichtigung von Reserven für äußere Lasten zugrunde zu legen. Die Prüfbedingungen müssen die vorgesehenen zulässigen Betriebstemperaturen und zulässigen Betriebsdrücke abdecken. Zu Ausnahmen davon vgl. Abschnitt 6.

Die Prüfbedingungen sind weitestgehend am Bauteilversuch nach Richtlinie VDI 2200 (Ausgabe Juni 2007) auszurichten. Die zulässige Betriebstemperatur wird bei der Auslagerung des Prüflings berücksichtigt und der zulässige Betriebsdruck bei der Festlegung des Prüfdruckes.

Die Durchführung der Prüfung muss entsprechend den Materialeigenschaften des Flansch- und Dichtungswerkstoffes ggf. angepasst werden. Permeation von Helium bei Kunststoffen oder Aufheizmethoden (von innen durch Patronen oder von außen) für die Auslagerung machen ggf. Verbindungstyp- bzw. materialspezifische Prüfstandsausführungen erforderlich. Hier empfiehlt es sich branchenspezifische Absprachen zu treffen. Sollte die Permeation des Prüfmediums Helium in der Größenordnung der Leckageklasse liegen und für den Werkstoff des Druckkörpers keine Alternative zur Verfügung stehen, muss ggf. über ein anderes Prüfmedium oder konstruktive Maßnahmen beim Prüfaufbau nachgedacht werden.

Bei einigen Werkstoffen oder Dichtungen kann ein Nachziehen der Verbindung erforderlich sein. Entsprechende Prüfschritte sind dann in den Prüfablauf einzuplanen. Kriterien sind dazu z.B. auch in der EN 15848-1 aufgezeigt.

### 3. Dichtheitsnachweis über Messungen an individuellen Systemen als Einzelfallprüfung

Sollten die Wege 1 und 2 nicht gangbar sein, (z.B. Bauteil ist Einzelanfertigung, Abmessungen zu groß, usw.) bleibt nur die Prüfung in einer für den Einzelfall ausgelegten Prüfumgebung im z.B. Fertigungsbetrieb oder im eingebauten Zustand in der Anlage, i.d.R. dann mit dem Realstoff im System. Hierfür stehen erprobte Verfahren mit z.B. der Spülgasmethode zur Verfügung, die sowohl im Labor wie im Feld erfolgreich angewendet worden sind. Dazu ist das System entsprechend dicht zu kapseln und mit einem Spülgas definierter Zusammensetzung zu umströmen. Mit entsprechend geeigneten Detektoren lässt sich der aus der Verbindung emittierte Massenstrom des Prüfmediums bestimmen.

Die Methode des Schnüffelns (damit LDAR) erlaubt dagegen keine belastbare Konzentrationsmessung der Emissionen und kann für diesen Dichtheitsnachweis nicht angewendet werden.

Sollen die Ergebnisse der Messung an einer Nennweite vor Ort auf andere Nennweiten oder Einbauorte übertragen werden, sind die dafür notwendigen Montagevorgaben analog zur Vorgehensweise beim Bauteilversuch zu ermitteln.

Die Montagevorgaben ergeben sich aus der Anwendung der DIN EN 1591-1, direkt in Form von Schraubenkräften bzw. Drehmomenten je Nennweitenstufe, sind aber zu ergänzen um die Berechnungsrandbedingungen (Toleranzen, Festigkeitskennwerte, usw.) mit Vorgaben zur Reibung (Schmierung, Unterlegscheiben, usw.) und dem zugrunde gelegten Anzugsverfahren (von Hand, Drehmomentschlüssel, usw.). Bei den anderen Wegen sind aus dem Bauteilversuch für eine Nennweite, der Festigkeitsberechnung für alle Nennweiten und der für die Dichtheit erforderlichen Flächenpressung der Dichtung die Anzugsbedingungen für alle anderen Nennweiten zu ermitteln.

Im Kraftnebenschluss sind die Geometrie des Dichtelementes und der Werkstoff sowie die Geometrie des Aufnahmeraumes zur Kapselung des Dichtelementes entscheidend. Die Montagevorgaben müssen gewährleisten, dass die auf Block gezogenen Flansche im Betrieb über ausreichend Flächenpressung verfügen.

Soweit für die Montage und die Qualitätskontrolle besondere Anforderungen an das Personal zu stellen sind, bezüglich Schulung bzw. Unterweisung, ist dies vom Hersteller mitzuteilen.

Die für den Dichtheitsnachweis getroffenen Vereinbarungen und Prüfbedingungen sowie die Ermittlung der Montagebedingungen sind im Prüfbericht zu beschreiben. EN 13555 fasst heute schon die Ermittlung der Kennwerte in einem entsprechenden Prüfbericht, jedoch nur für die Dichtung zusammen und muss entsprechend ergänzt werden.

### 7.1.3 Verantwortlichkeiten für Prüfung und Dokumentation

Detaillierte Vorgaben zur Verantwortlichkeit und zur Durchführung der Dichtheitsnachweise enthält weder die TA Luft noch andere Regelwerke. Die BetrSichV, die GefStoffV, die AwSV und einige andere Verordnungen fordern eine Gefährdungsbeurteilung und eine Prüfung vor Inbetriebnahme zur Feststellung, dass der Stand der Technik eingehalten ist und die Anlage zur Inbetriebnahme allen gesetzlichen Anforderungen entspricht. In einigen Fällen ist die Einbindung eines Sachverständigen gefordert.

**Letztverantwortlich ist aber immer der Betreiber im Rahmen seiner Betreiberverantwortung.**

Für die Auslegung und Fertigung eines Druckgerätes nach dem Stand der Technik ist immer der Hersteller des Druckgerätes verantwortlich und bestätigt die regelwerkskonforme Durchführung mit einer Konformitäts- oder Herstellererklärung in Verbindung mit ggf. einer Betriebsanleitung und einer Berechnungsdokumentation.

Auf Basis des Festigkeitsnachweises muss ein Bauteilversuch mit Vorgabe der Prüfkörper (Flansch, Schraube, Dichtung) und der Prüfbedingungen durchgeführt werden, mit dem Ziel den Dichtheitsnachweis zu erlangen. Die Prüfung kann der Hersteller selbst oder durch qualifizierte Dienstleister durchführen lassen. Auf Basis der Ergebnisse des Festigkeitsnachweises und des Bauteilversuches wird die Montageanleitung für den vorgesehenen Geltungsbereich erstellt. Der Ersteller der Montageanleitung überzeugt sich von der Richtigkeit der Ergebnisse des Festigkeitsnachweises und des Bauteilversuches bei Erstellung durch Dienstleister.

Im Geltungsbereich der TA Luft können die Dichtungskennwerte nach EN 13555, sowie das sogenannte TA Luft Zertifikat für eine Dichtung vom Dichtungshersteller in eigener Verantwortung ermittelt werden, auf Basis der Normenvorgaben oder Vorgaben in VDI-Richtlinien. Die Prüfungen können aber auch bei Prüfinstituten in Auftrag gegeben werden. Eine Zertifizierung der Prüfinstitute ist nicht vorgesehen, es gibt dazu auch keine spezielle Grundlage. Die Durchführung der Messungen setzt jedoch aufwendiges Prüfequipment und entsprechend qualifiziertes Personal zur Durchführung voraus. Entsprechende Prüfberichte stehen neben den Zertifikaten und Datenblättern für die Dichtungen zur Verfügung. Eine gewisse Qualitätskontrolle findet z.B. bei Veröffentlichung der Datenblätter für Dichtungen auf der Plattform gasketdata der FH Münster (www.gasketdata.org) statt.

Der Nachweis zur Einhaltung der Dichtheitsklasse nach VDI 2290 für rechenbare Flanschverbindungen kann jeder Betreiber in eigener Verantwortung durchführen. Die Qualitätskontrolle obliegt den Betreibern und, im Rahmen ihrer Aufsichtsfunktion, den kontrollierenden Behörden.

Mit dem Übergang von der Komponentenprüfung (für EN 13555 keine Änderungen) zur Systemprüfung beim Bauteilversuch nach TA Luft (Entwurf vom 16.07.2018) sind zwei Wege denkbar. In beiden Fällen wird das Ergebnis in entsprechenden Prüfberichten und einer entsprechenden Montageanleitung veröffentlicht.

1. Der **Hersteller der Verbindung ist Systemlieferant** und liefert Druckteil, Spannelement und Dichtsystem. In diesem Fall wird er auch die **Systemzertifizierung** mit einem entsprechenden Prüfbericht in eigener Verantwortung mitliefern. Das ist vergleichbar mit einer Hersteller- oder Konformitätserklärung für Modul A z.B. nach Druckgeräte- oder Maschinenrichtlinie. Der Hersteller ist dann verantwortlich für die richtige Umsetzung der Richtlinienvorgaben wie z.B. für die Montageanleitung und erklärt dies mit einer Konformitätserklärung.
2. Ein Betreiber, ein Branchenverband, eine Prüforganisation oder eine andere **Interessengruppe führt den Bauteilversuch als Systemprüfung** für eine bestimmte Verbindungskonfiguration durch, mit dem Ziel, seine Produkte oder bestimmte technische Lösungen in Verbindung mit Produkten anderer Hersteller zu qualifizieren. Ein Verantwortlicher aus der Kette muss dann den Prüfbericht und die Montageanleitung und ggf. das Zertifikat unterschreiben und die Verantwortung für das Gesamtergebnis übernehmen, ähnlich wie bei Hersteller- oder Konformitätserklärungen für komplexe Produkte, die arbeitsteilig realisiert werden.

### 7.1.4 Prüfbericht für den Bauteilversuch

Alle Schritte zum Nachweis einer dauerhaft dichten Verbindung im Sinne der TA Luft oder anderer regulatorischer Vorgaben müssen nachvollziehbar in einem Prüfbericht beschrieben sein. Wesentliche Inhalte könnten stichprobenweise sein:

- Daten zur Identifikation Prüfungsverantwortlichen
  - Name, Anschrift, …
  - Datum der Prüfung
  - Gültigkeitsdauer der Prüfung
  - …
- Verbindungsausführung
  - Bauteilspezifikationen; Werkstoffe, Abmessungen, …
  - Bezugsnormen
  - …
- Festigkeitsnachweis
  - Regelwerk
  - Zusatzkräfte
  - Zulässige Betriebstemperatur
  - Zulässiger Betriebsdruck
  - …
- Dichtheitsnachweis

- Nachgewiesene Dichtheitsklasse
- Prüfmedium
- Rechnerischer Dichtheitsnachweis
  - Dichtheitsklasse
  - Regelwerk / Norm
  - Berechnungsrandbedingungen
  - …
- Bauteilversuch
  - Aufbau des Prüfstandes
  - Beschreibung des Detektionsverfahrens
  - Ablauf der Versuchsdurchführung
  - Besondere Bedingungen z.B. Nachziehen
  - …
- Messung in Anlagen
  - Prüfaufbau
  - Beschreibung des Detektionsverfahrens
  - Ablauf der Versuchsdurchführung
  - Besondere örtliche Bedingungen
  - …

► Ermittlung der Montagebedingungen für den zertifizierten Einsatzbereich

- Anzugsmomente, Schraubenkräfte
- Anzugsmethode
- Anzugsrandbedingungen (Reibung, ...)
- …

► Empfehlungen zur Qualitätssicherung des Montageprozesses

- Prüfverfahren
- Prüfvorgaben (Prüfmittel, Prüfmomente)
- …

- Empfehlungen zu Wartung und Inspektion
  - Methode
  - Beurteilungswerte, ...
  - ...

Im Anhang A.5, ist beispielhaft eine Dokumentation für einen Prüfbericht und Regeln zur Durchführung der Prüfung analog zur VDI 2200 für die unterschiedlichsten technischen Verbindungssysteme aufgezeigt. Verbindungsspezifische Anpassungen sind im Prüfbericht explizit auszuweisen.

### 7.1.5 Montage- und Qualitätssicherungsvorschrift für Ausführungspersonal

Der Betreiber oder ein von ihm Beauftragter hat auf Basis des Prüfberichtes, den örtlichen und verfahrenstechnischen Besonderheiten, sowie seinen betrieblichen Erfahrungen mit den Flanschverbindungen in der Prozessanlage einen entsprechenden Leitfaden zur Umsetzung der verbindungsspezifischen Vorgaben aus dem Prüfbericht für Montage und Qualitätssicherung zu erstellen und in seinem Managementsystem für verbindlich zu erklären.

Der Leitfaden soll die Basis zur Schulung des einzusetzenden Personals für den Montage- und Qualitätssicherungsprozess bilden. Das mit der Montage zu beauftragende Personal ist entsprechend zu schulen und die Schulungen sind zu dokumentieren.

Als Praxisbeispiel kann der VCI-Montageleitfaden für nach DIN EN 1591-1 rechenbare Flanschverbindungen dienen.

### 7.1.6 Prozessbeschreibung im Managementsystem

Jede gut organisierte Firma, die Anlagen im Geltungsbereich der GefStoffV, des WHG, des BImSchG und der BetrSichV betreibt, verfügt in der Regel über ein Managementsystem nach den einschlägigen Normen für Qualitätsmanagement, Anlagensicherheit, Arbeitssicherheit und Energiemanagement oder Störfallmanagementsystem. Firmen, die viele Dienstleister mit Wartungs-, Instandsetzungs- und Änderungs- bzw. Neubauaufträgen beauftragen, verfügen sehr oft auch über ein Fremdfirmenmanagement zur Qualitätssicherung ihrer fremd vergebenen Leistungen. In der Regel werden diese Systeme auch Passagen zur Gewährleistung der Dichtheit von montierten Flanschverbindungen enthalten. Hieran kann angeknüpft werden. Alle Rechtsbereiche fordern zumindest den qualitativen Nachweis der Dichtheit aller Flanschverbindungen und ggf. den quantitativen Nachweis für eine bestimmte Dichtheitsklasse.

Durch die zu erwartende neue TA Luft reichen diese Prozessbeschreibungen nicht mehr aus und müssen um die quantitativen Anforderungen des Nachweises einer Dichtheitsklasse sowie Montagevorgaben, Qualitätssicherungsvorgaben und Vorgaben zur Personal-qualifikation ergänzt werden.

Soweit nicht schon in den Managementsystemen implementiert, sind Managementanweisungen für den Prozess Gewährleistung dichter Flanschverbindungen nach den jeweiligen rechtlichen Vorgaben neu zu erstellen oder vorhandene anzupassen. Managementanweisungen dienen dazu den Weg zur rechtssicheren Erfüllung der Anforderungen aus den gesetzlichen Vorgaben zu beschreiben, die Umsetzung in der Organisation nachhaltig zu sichern und zu verankern. Für die genehmigenden und aufsichtführenden Behörden dienen die Managementanweisungen als Basis für ihre Prüfungen. Sie müssen sich überzeugen, dass die Regelungen inhaltlich vollständig sind und in der Praxis gelebt werden.

Auch hier gilt, je weniger komplex die Prozesse organisiert sind, desto niedriger wird die Fehlerrate bei der Umsetzung und die Akzeptanz bei den Durchführenden sein.

## 7.2 Standardisierung der Dichtheitsanforderungen in anderen Rechtsgebieten

### 7.2.1 Randbedingungen, Ansatzpunkte

Konkrete Anforderungen mit Vorgaben an die Dichtheit von technischen Komponenten in Anlagen finden sich nahezu ausschließlich in den Rechtsbereichen, die den Betrieb von Anlagen regeln, wie z.B. Gesetze und Verordnungen zum Gesundheits-, Arbeits-, Umweltschutz und zur Anlagensicherheit und sind von den Eigenschaften der in den Komponenten vorhandenen Medien abhängig. Primärer Adressat der Regelungen ist der Betreiber der Anlage.

In weiten Bereichen kann der Gesetzgeber unter Berücksichtigung von z.B. europäischen Rahmenvorgaben die Anforderungen eigenverantwortlich festlegen. Die Festlegungen werden in technischen Regeln oder VDI-Richtlinien zu den entsprechenden Verordnungen oder Verwaltungsvorschriften von nationalen Gremien ausformuliert, unter Beteiligung der betroffenen Kreise (Betreiber, Behörden, Hersteller, Verbände, NGO, usw.). Die administrative Umsetzung der Anforderungen obliegt den genehmigenden und überwachenden Behörden, letztverantwortlich für die Durchführung ist der Betreiber.

Die Rechtsbereiche und zugehörige „Technische Regeln“ zeigt Abbildung 11.

**Tabelle 1: Rechtsbereiche zum Betrieb von Anlagen mit Dichtheitsanforderungen**

| Rechtsbereich | Technische Regel |
|---|---|
| BetrSichV (Betriebssicherheitsverordnung) | TRBS (Technische Regeln für Betriebssicherheit) |
| GefStoffV (Gefahrstoffverordnung) | TRGS (Technische Regeln für Gefahrstoffe) |
| AwSV (Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen) | TRwS (Technische Regeln wassergefährdender Stoffe) |
| TA Luft - Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft | VDI-Richtlinien (Kommission Reinhaltung der Luft) |

Die Rechtsbereiche zur Produktsicherheit geben üblicherweise keine konkreten Grenzwerte zur Dichtheit von technischen Komponenten vor. Sie stellen aber ein Instrumentarium in Form von Normen und Methoden, in Verbindung mit den technischen Regeln zum Betrieb von Anlagen zur Verfügung, um den Stand der Technik zu gewährleisten. Der Betreiber wird je nach Einsatz der technischen Komponente in der Anlage, in Abhängigkeit der jeweils zu berücksichtigenden Rechtsbereiche, die Dichtheitsanforderungen in die technische Spezifikation der Komponente schreiben. Der Hersteller der Komponente, der üblicherweise nicht der Hersteller der Anlage ist, hat dann, soweit in der Spezifikation gefordert, entsprechend der dazu gelten Normen und Richtlinien den Dichtheitsnachweis zu erbringen. Für den Nachweis der Dichtheitsanforderungen nach Einbau der technischen Komponente z.B. in die Prozessanlage ist weiterhin der Betreiber verantwortlich. An einem möglichst einfachen, alle Rechtsbereiche abdeckenden Nachweisverfahren, müssten auch die Hersteller technischer Komponenten großes Interesse haben, wenn damit zu rechnen ist, dass Betreiber derartige Anforderungen spezifizieren.

Eine Standardisierung über unterschiedlichste Rechtsbereiche hinweg, muss sich an dem Rechtsbereich mit den umfassendsten Anforderungen orientieren, was, wie weiter vorne gezeigt, durch die Anforderungen der TA Luft gegeben ist.

Wie oben schon ausgeführt, können in der Praxis viele Flanschverbindungen in den Geltungsbereich mehrerer Rechtsbereiche fallen, daher bietet sich eine rechtsbereichsübergreifende Standardisierung der Anforderungen an dichte Flanschverbindungen an. Ein weiterer Grund ist z.B., dass eine konstruktive Lösung in Abhängigkeit des beaufschlagenden Mediums in einen Rechtsbereich mit erhöhten Anforderungen wie der TA Luft oder dem WHG fällt und in einem anderen Fall nur im Geltungsbereich der BetrSichV verordnet ist. Bei jeweils unterschiedlichen rechtsbereichsspezifischen Vorgehensweisen ist im betrieblichen Alltag durch entsprechende Aufzeichnungen die Erfüllung der jeweiligen geforderten rechtsbereichsspezfischen Dokumentation zu gewährleisten. Bei einer standardisierten Vorgehensweise würden alle Flanschverbindungen z.B. nach den Anforderungen der TA Luft ausgelegt, mit einem Dichtheitsnachweis L0,01 versehen und von entsprechend qualifiziertem Personal montiert und qualitätsgesichert. Der VCI-Montageleitfaden geht diesen Weg für Rohrleitungen, die über Rohrklassen beschrieben werden, im Geltungsbereich der BetrSichV und der TA Luft.

Eine übergreifende Vorgehensweise ist für alle Rechtsbereiche jedoch nur möglich, wenn es eine standardisierte Lösung gibt, wie z.B. die nach VDI 2290 beschriebene, die dann von den Experten und Behörden als gleichwertig eingestuft wird.

Der Geltungsbereich in Abhängigkeit des Aggregatzustandes der Medien ist in den Verordnungen nicht immer klar definiert. Der Punkt 5.2.6 der TA Luft gilt z.B. für gasförmige Emissionen von flüssigen organischen Stoffen. Die TRGS und die TRBS betrachtet sowohl Emissionen aus flüssigen wie auch gasförmigen Medien. Dadurch, dass die Bauteilversuche zum Dichtheitsnachweise mit Helium gemacht werden, können die Ergebnisse des Nachweises auf beide Aggregatzustände des Mediums angewendet werden.

Vorteile der standardisierten Lösung sind:

- Planung, Auslegung
  - Einheitliche Planungs- und Auslegungsgrundlagen
  - Keine rechtsgebietsspezifischen Nachweisverfahren mehr erforderlich
  - Standardisierte Betriebsanweisungen, Montagevorschriften
  - Rechtssichere Umsetzung in der eigenen Organisation, bei Fremdfirmen
  - Komplexitätsreduzierung, Reduzierung von Planungsfehlern (Rechtsgebiets-zuordnung), einheitliche Standardlösungen
  - Reduzierung des Dokumentationsaufwandes - Vereinfachte Bestandsdokumentation – keine besonderen Dokumentationsanforderungen erforderlich je nach Rechtsbereich
- Montage, Lagerhaltung, Dokumentation
  - Einheitliche Anforderungen an das Montagepersonal, Ausbildungsqualifikation

- Reduzierte Lagerhaltung (Zeugnisbelegung), da alle Teile an allen Positionen verbaut werden können
- Rechtssichere Umsetzung in der eigenen Organisation, bei Fremdfirmen
- Vereinfachte Vorgangsdokumentation – keine besonderen Dokumentationsanforderungen erforderlich je nach Rechtsbereich, Nachweis der richtigen Zuordnung

► Qualitätssicherung

- Einheitliche, quantitative Methoden zur Qualitätssicherung – Verfahrensanweisung
- Qualitätssicherungsaufwand kann rechtsgebietsspezifisch angepasst werden, beispielhaft im VCI-Montageleitfaden angewendet

Den Vorteilen stehen als Nachteil ggf. nicht ausgenutzte Kostenvorteile bei der Beschaffung von Komponenten durch nicht zertifizierte Hersteller (keine entsprechenden Dichtheitsnachweise vorhanden) oder die Nichteinsetzbarkeit entsprechend geringer qualifiziertem und damit vermutlich billigerem Montagepersonal gegenüber. Diese vermeintlichen Vorteile können aber schnell wieder zum Nachteil werden, weil dann eine entsprechend aufwändige Dokumentation des Nachweises der Einhaltung der rechtsgebietsspezifischen Vorgaben erforderlich wird. Die administrativen Zusatzkosten werden vermutlich die Einkaufseinsparungen übertreffen und die Systemkomplexität deutlich erhöhen.

Die Struktur der neuen Vorgehensweise zum Nachweis der Dichtheit in allen Rechtsgebieten gibt Abbildung 11 wieder.

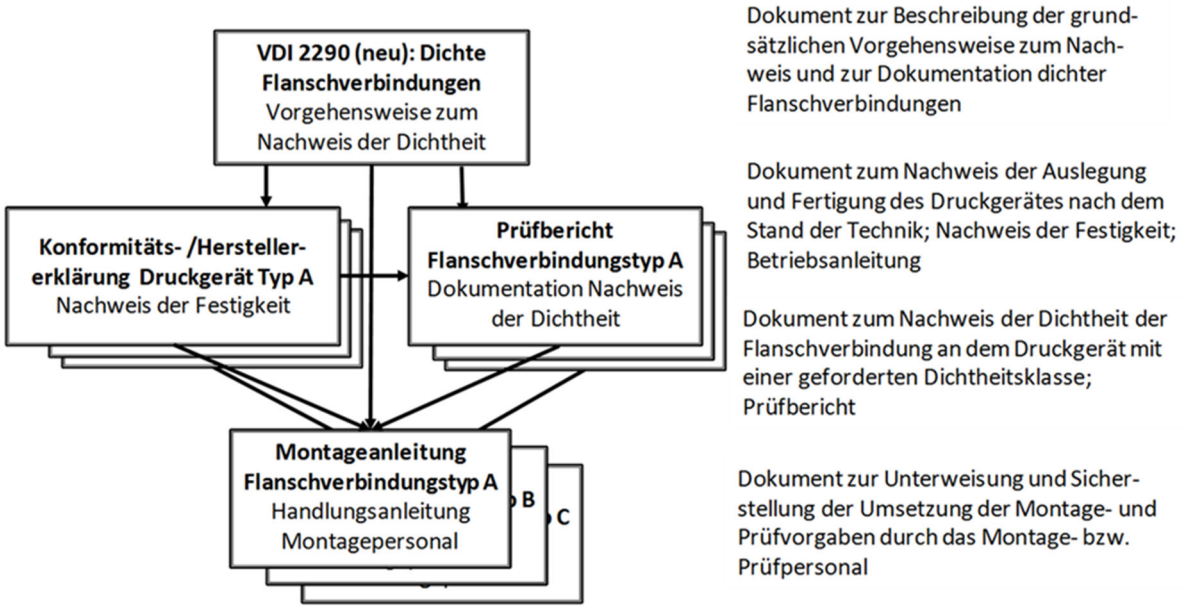
► Die VDI 2290 (neu) beschreibt die Vorgehensweise zum Nachweis und zur Dokumentation der Dichtheit wie in Kapitel 7 beschrieben.

► Die Konformitäts- / Herstellererklärung belegt die Durchführung des Festigkeitsnachweises nach dem Stand der Technik und einem zugelassenen Regelwerk durch den Hersteller des Druckgerätes, für dessen Verbindungssysteme der Dichtheitsnachweis erbracht werden muss.

► Der Prüfbericht ist das Dokument zur Dokumentation der Aktivitäten zum Dichtheitsnachweis für eine spezielle oder eine Gruppe von Flanschverbindungen und dient dem Betreiber als Nachweis für die Aufsichtsbehörden.

► Die Montageanleitung fasst die Ergebnisse des Festigkeitsnachweises und des rechnerischen Nachweises bzw. des Bauteilversuches zusammen und beschreibt unter Berücksichtigung betrieblicher Besonderheiten die Vorgaben für das Prüf- bzw. Montagepersonal auf Basis der Vorgaben des Prüfberichtes und kann zur Unterweisung des Personals dienen.

**Abbildung 11: Struktur der neuen Vorgehensweise zum Nachweis der Dichtheit in allen Rechtsgebieten**



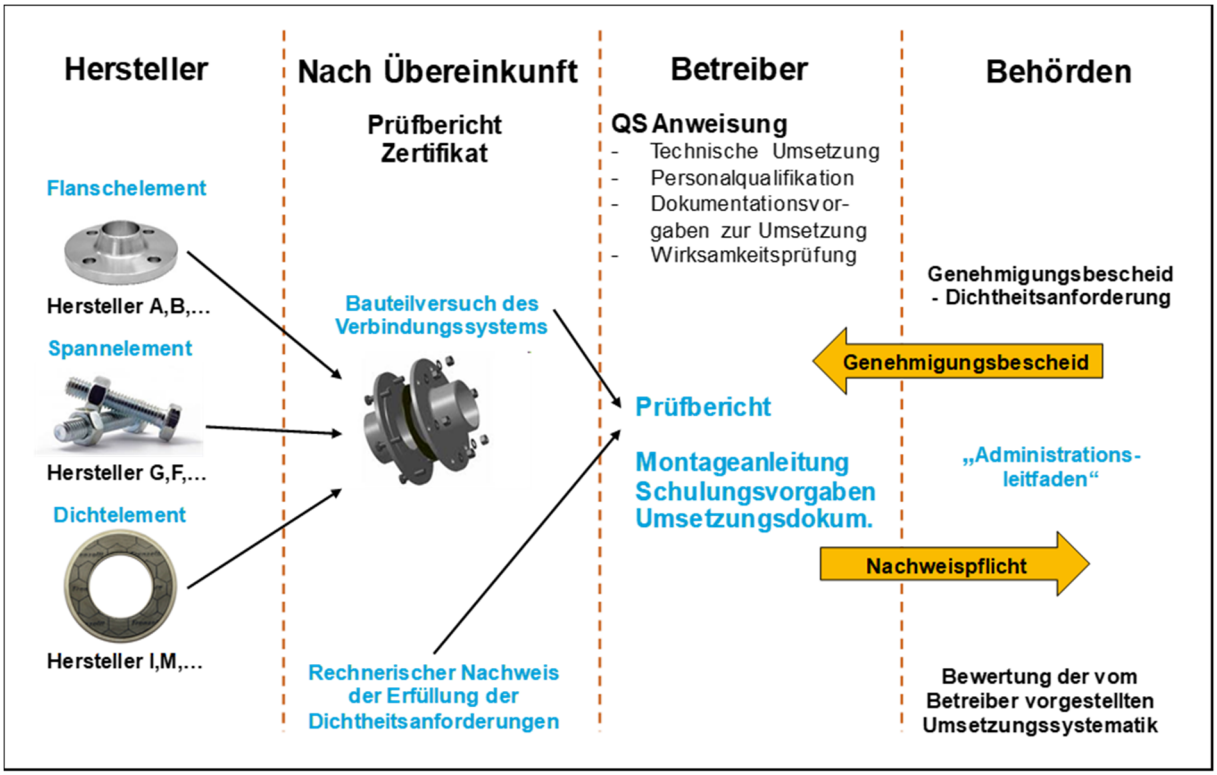

Quelle: eigene Darstellung

Am Beispiel der TA Luft zeigt Abbildung 12 beispielhaft das Zusammenwirken von Herstellern, Betreibern und Behörden. Der Betreiber steht im Mittelpunkt der Interaktion. Er ist der Ansprechpartner der Behörden und steht in der Nachweispflicht. Ohne entsprechende Informationen oder Unterstützung von Herstellern kann er seiner Nachweispflicht nicht nachkommen.

In diesem Workflow ist noch vieles zu regeln bzw. zu präzisieren und zu dokumentieren, um einen reibungslosen Ablauf mit allen Beteiligten gewährleisten zu können. Über die Technik des Dichtheitsnachweises erforderliche Festlegungen z.B. zum Anwendungsbereich und zur Zuständigkeit müssen im Rahmen rechtsgebietsspezifischer Festlegungen in entsprechenden Dokumenten präzisiert werden.

Mit der beschriebenen Vorgehensweise lassen sich Doppelnachweise vermieden und das gesamte rechtsgebietsspezifische Nachweisverfahren vereinfachen und transparenter gestalten.

**Abbildung 12: Beispielhafter Workflow zur Erfüllung der Nachweispflichten über einen Bauteilversuch am Beispiel der TA Luft**




Quelle: eigene Darstellung

### 7.2.2 Strategieansätze zur Realisierung in anderen Rechtsgebieten

Die Umsetzung der vorgeschlagenen Standardisierungsstrategie in den einzelnen Rechtsbereichen muss bei den entsprechenden technischen Regeln zu den Rechtsnormen (vgl. Tabelle 1) ansetzen, da hier die konkreten Umsetzungsvorgaben definiert sind. Hierzu bieten sich drei Wege an:

1. Beibehaltung der derzeitigen Inhalte der technischen Regeln, ergänzt um einen Verweis auf ein Standardisierungsdokument, wie die z.B. neu zu erstellende VDI 2290 als gleichwertige Option zu den bisherigen Vorgehensweisen.
2. Aufnahme eines Verweises auf ein entsprechendes allgemein akzeptiertes Standardisierungsdokument, wie die neu zu erstellende VDI 2290 als alleinige Beschreibung des Standes der Technik zum Nachweis der Einhaltung der Dichtheitsanforderung. Streichung aller bisherigen Vorgaben zur Definition technisch dichter und auf Dauer technisch dichter Verbindungen mit einem Bestandsschutz für Altsysteme.
3. Neuformulierung eines einheitlichen Standes der Technik in den jeweiligen technischen Regeln entsprechend den Ansätzen der VDI 2290 (TA Luft) und streichen der bisherigen untergesetzlichen Anforderungen.

Der Prozess, Technische Regeln zu Verordnungen und VDI-Richtlinien im Geltungsbereich der Kommission Reinhaltung der Luft neu zu erstellen oder zu überarbeiten, erfolgt nach dem Kooperationsprinzip, unter Einbeziehung aller relevanten Interessensgruppen.

Federführend für die Ausarbeitung technischer Regeln sind die in den jeweiligen Verordnungen benannten Ausschüsse bzw. Gremien wie der Ausschuss für Betriebssicherheit (ABS) für die TRBS, der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) für die TRGS, die Kommission Reinhaltung der Luft

für VDI-Richtlinien im Geltungsbereich der TA Luft und die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (DWA) für die TRwS mit den jeweiligen Geschäftsordnungen.

Von den aufgezeigten Möglichkeiten scheint unter den gegebenen Randbedingungen der erste Weg der erfolgversprechendste zu sein. Durch die Vorgehensweise einen neuen Weg zur Erfüllung der Anforderungen des Standes der Technik in die Technischen Regeln aufzunehmen, ergibt sich eine Öffnungsmöglichkeit zu erweiterter Standardisierung und erlaubt einen fließenden Übergang zu den neuen technischen Lösungen.

In der TRwS 780-1 (ATV-DVWK-A-780-1) Oberirdische Rohrleitungen - Teil 1: Rohrleitungen aus metallischen Werkstoffen vom Mai 2108 ist die in der VDI 2290 beschriebene Vorgehensweise (Auslegung und Montage) für nach DIN EN 1591-1 als gleichwertig mit den in der Vorgängerversion der technischen Regel beschriebenen Lösungen eingestuft worden. Im Gegensatz zur VDI 2290 wurde die geforderte Leckageklasse von L0,01 auf L0,1 reduziert. Mit der Umsetzung in der TRwS 780-1 ist der Weg aufgezeigt, wie er auch für die zutreffenden TRGS und TRBS gegangen werden kann. Bei allgemeiner Akzeptanz, sollte der Aufwand für eine Implementierung überschaubar sein. Nach der Verabschiedung der neuen TA Luft muss konsequent der Weg zur Neuerstellung der z.B. VDI 2290 (neu) gegangen werden, um auch den quantitativen Dichtheitsnachweis für nicht nach DIN EN 1591-1 rechenbare Flanschverbindungen zu integrieren.

Die Umsetzung des zweiten Weges würde Überschneidungen, differierende Vorgehensweisen und alte qualitative technische Ansätze beseitigen.

Der dritte Weg sollte auf keinen Fall gegangen werden, da dadurch die Gefahr steigen würde, dass sich die Regelungen in den unterschiedlichen Rechtsbereichen wieder auseinanderentwickeln.

# 8 Vorschlag einer Umsetzungsstrategie zu einheitlichen Dichtheitsanforderungen

Nachstehend wird mit Hilfe von zwei Beispielen aus dem Bereich des Krafthauptschlusses (Stahl-Email-Flanschverbindung) und dem Bereich des Kraftnebenschlusses (Sterilflansch-Verbindung) erläutert, wie eine einfache Erfüllung aller Rechtsbereiche – mit nur einem Vorgehen – im Zuge der Umsetzung der TA Luft (Entwurf vom 16.07.2018) geschehen kann.

Details hierzu sind dann beispielsweise im Nachgang zu diesem Forschungsprojekt in einer zu überarbeitenden und ergänzenden VDI 2290 zu regeln.

## 8.1 Stahl-Email-Flansche im KHS

Stahl-Email-Flanschverbindungen finden immer dann Einsatz, wenn chemisch aggressive Medien verarbeitet und gefördert werden. Vereinfacht gesagt, wird auf Stahlflansche in mehreren Brennvorgängen eine Glasschicht aufgebracht, die dann die erforderliche chemische Beständigkeit liefert.

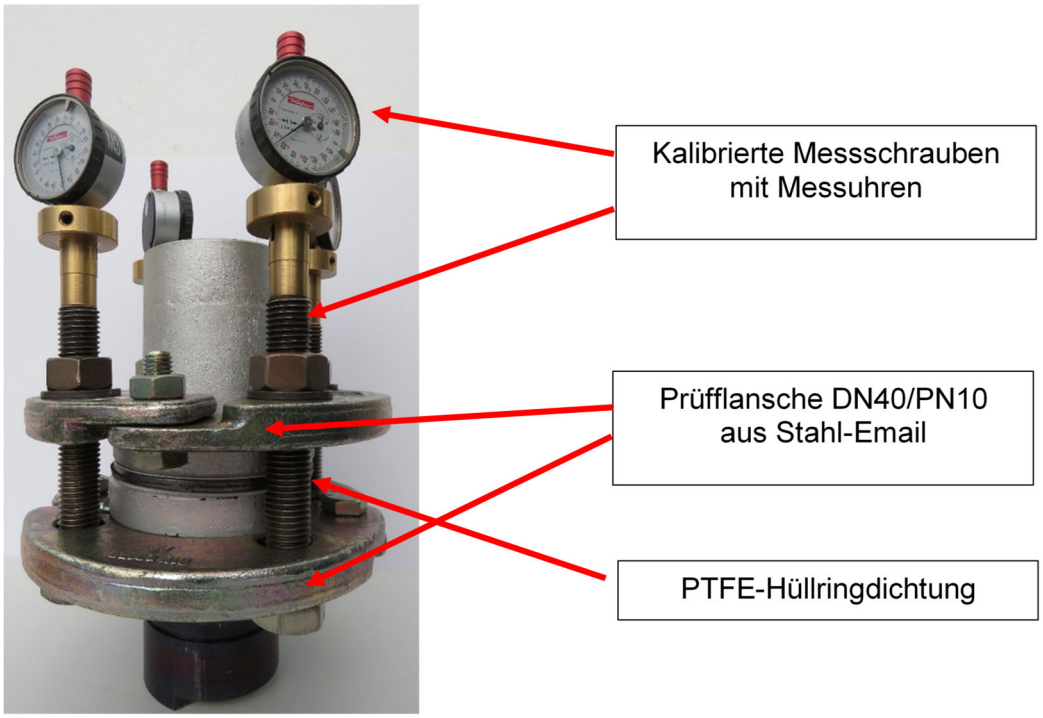
Typische Einsatzbereiche sind hierbei Drücke bis 10 bar bei Temperaturen bis 200°C.

Analog zu Abschnitt 6 wird gezeigt, wie die Vorgaben der TA Luft (Entwurf vom 16.07.2018) und damit auch alle weiteren Rechtsbereiche erfüllt werden können.

### 8.1.1 Prüfgerät

Die Systemprüfung bzw. Bauteilprüfung wird mit Stahl-Email-Flanschen der Größen DN40/PN10 durchgeführt. Ein mögliches Beispiel zeigt Abbildung 13.

**Abbildung 13: Möglicher Prüfaufbau der Bauteilprüfung**




Quelle: eigene Darstellung

Das obige Bild zeigt zwei emaillierte Bunde, die mittels kalibrierten Messschrauben verspannt sind, geteilte Losflansche und eine PTFE-Hüllringdichtung.

Der Aufbau entspricht damit weitestgehend den Vorgaben der VDI 2200, abgesehen davon, dass die einzelnen Komponenten das Dichtsystem Stahl-Email repräsentieren.

### 8.1.2 Dichtung

Die gewählte Dichtung ist eine sogenannte PTFE-Hüllringdichtung. Diese sind für Stahl-Email-Flanschverbindungen meist aus einer PTFE-Hülle mit Weichstoffeinlagen und oftmals einer metallischen Einlage aufgebaut. Die PTFE-Hülle schützt die Einlagen vor chemischen Angriff durch das Betriebsmedium. Die Einlagen sollen der Dichtung mechanische Festigkeit verleihen und durch deren Verformbarkeit die Anpassung an Flanschunebenheiten sicherstellen.

An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass die Bauteilprüfung (und damit der Dichtheitsnachweis) nur für den geprüften Dichtungstyp in Kombination mit den eingesetzten Bundtypen gilt. Abweichungen davon bedürfen einer weiteren Prüfung, wie das auch analog für Dichtungskennwerte nach EN 13555 erforderlich ist.

### 8.1.3 Dichtflächenpressung

Für die Dichtflächenpressung gilt es, wie oben erläutert, den schwächsten Flansch einer Nennweitenreihe zu bestimmen.

Hierbei gibt es eine Vielzahl möglicher Vorgehensweisen.

**Beispiel 1:** Es kann mit Hilfe eines Festigkeitsnachweises (unter Ausnutzung der Auslastungsgrade der einzelnen Komponenten der Flanschverbindung, um den Vorgaben der VDI 2290 zu genügen) und der daraus resultierenden Dichtkraft, unter Berücksichtigung der verpressten Dichtfläche, die Dichtflächenpressung berechnet werden.

Wird das für eine komplette Nennweitenreihe durchgeführt, entspricht die geringste Dichtflächenpressung der betrachteten Nennweitenreihe dem „schwächsten Flansch“. Diese Dichtflächenpressung wäre dann im Bauteilversuch bei Montage aufzubringen.

**Beispiel 2:** Für etablierte Verbindungen, wie Stahl-Email-Flanschverbindungen, kann eine existierende Drehmomenttabelle die Basis bilden. Hierbei kann so vorgegangen werden, dass mit Hilfe der existierenden Drehmomentwerte die Gesamtschraubenkraft pro Nennweite bestimmt wird. Dividiert man nun die Gesamtschraubenkraft durch die Dichtfläche, ergibt sich wiederum eine Flächenpressung pro Nennweite. Mit der geringsten Flächenpressung erhält man dann den „schwächsten“ Flansch. Diese geringste Flächenpressung pro Nennweitenbereich ist dann bei der Montage der Bauteilprüfung aufzubringen.

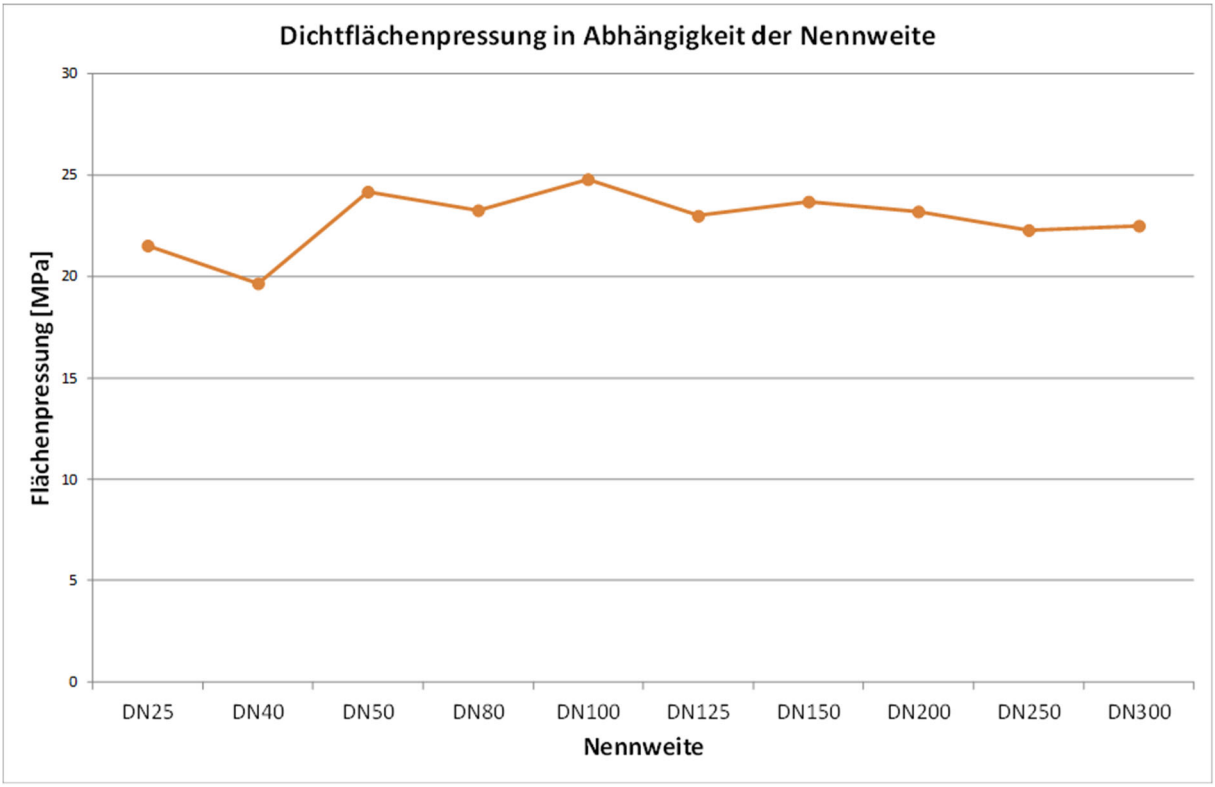
Im Vergleich zum ersten Beispiel müssen, wenn nicht bereits geschehen, die Festigkeitsnachweise dazu genutzt werden, die Auslastungsgrade der Komponenten der einzelnen Nennweiten auszunutzen. Hierdurch können sich dann im Vergleich zur ursprünglichen Drehmomenttabelle höhere Drehmomente ergeben, was dann aber wieder die Vorgaben der VDI 2290 erfüllt.

Unschärfen sind bei dieser Vorgehensweise die Streuung des Anziehverfahrens (hier Drehmomentschlüssel), die aber einfach durch eine Reduzierung bei der Montageflächenpressung um den Streuwert berücksichtigt werden kann. Weiter ist ein bestimmter Reibwert für das Anziehen der Schrauben anzunehmen, der sich dann in der Montageanweisung wiederfinden muss. Zudem ist die verpresste Dichtfläche nicht genau

bekannt, bedingt durch die Topografie der Stahl-Email-Oberfläche. Um Letzteres zu umgehen, bietet es sich an, eine Dichtfläche für Flachdichtungen nach EN1514-1 anzunehmen.

Abbildung 14 zeigt die errechnete Flächenpressung auf Basis einer Drehmomenttabelle eines Flanschherstellers (Quelle Fa. Estrella).

**Abbildung 14: Errechnete Flächenpressung auf Basis einer bestehenden Drehmomenttabelle**




Quelle: Fa. Estrella (Rohdaten aus Drehmomenttabelle)

Aus obigem Bild wird deutlich, dass der schwächste Flansch (zufällig) durch die Größe DN40 gegeben ist, da die Drehmomentvorgaben der anderen Nennweiten zu höheren Dichtflächenpressungen führen. Die resultierende Flächenpressung beträgt dabei etwa 20 MPa. Diese Flächenpressung stellt dann die Montageflächenpressung für den Bauteilversuch dar.

### 8.1.4 Prüfdruck

Der Prüfdruck hat sich an den Einsatzbedingungen des Dichtsystems zu orientieren. Wird beispielsweise der Dichtheitsnachweis für Stahl-Email-Flansche der Nennweitenreihe DN10 bis DN300 angestrebt, in Kombination mit maximal auftretenden Drücken in Betrieb von 10 bar, ist zunächst mittels eines Festigkeitsnachweises die „schwächste“ Nennweite der Reihe zu bestimmen, um damit die Montage-Flächenpressung für den Bauteilversuch vorgeben zu können, vgl. oben. Daraufhin ist der Prüfdruck zu wählen, hier wären das 10 bar.

### 8.1.5 Montage

Im betrachteten Fall kann die Montage gemäß VCI-Montageleitfaden Anhang A erfolgen, jedoch mit Schraubenkräften, die eine Dichtflächenpressung von 20 MPa erzeugen, nicht mit den im Anhang A gegebenen Drehmomenten, die sich auf Stahlflansche nach EN1092-1 beziehen.

Das Vorgehen der Montage nach Anhang A ist anerkannt und kann problemlos auf Stahl-Email-Anwendungen übertragen werden. Allerdings ist in der Praxis für Stahl-Email-Verbindungen

stark anzuraten, durchgehend mit Drehmomentschlüsseln zu verspannen, was nach Anhang A des VCI-Montageleitfadens nicht durchgehend gefordert wird.

Bei den Bauteilprüfungen ist nach Möglichkeit mit kalibrierten Messschrauben oder anderen geeigneten/gleichwertigen Methoden zu verspannen, um die Streuung der Schraubenkräfte möglichst klein zu halten.

### 8.1.6 Warmlagerung

Stahl-Email-Flanschverbindungen unterliegen durch die Verwendung von ausschließlich PTFE-Dichtungen, der glatten Dichtflächen, die zudem ungünstig gekrümmt sein können, einem vergleichsweise hohen Verlust an Flächenpressung, bedingt durch Kriech-Relaxation.

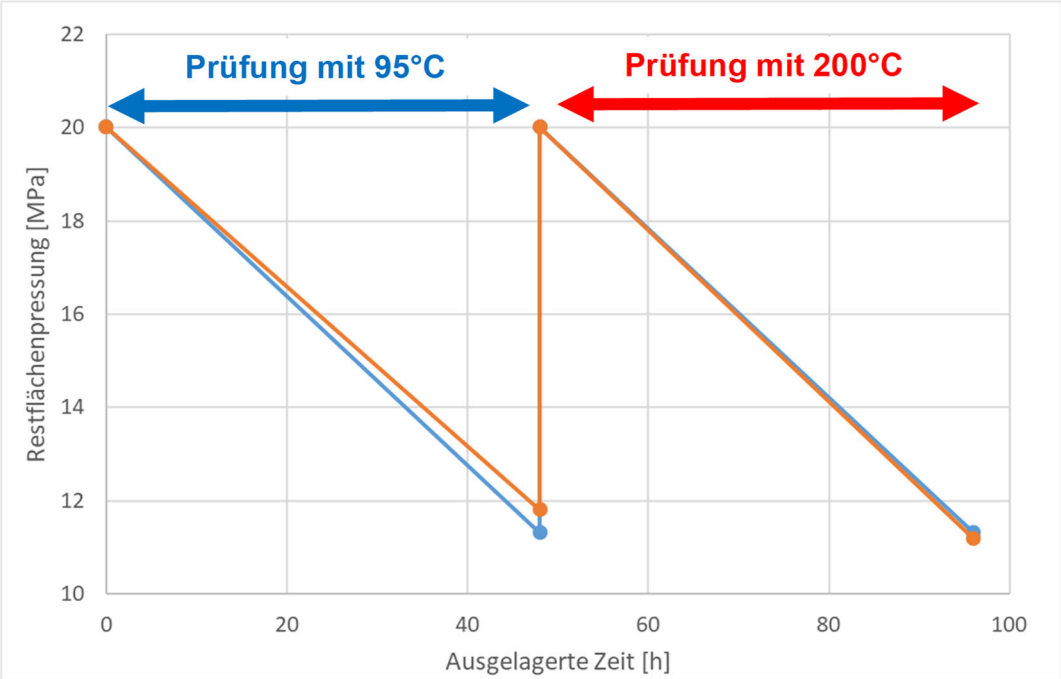
Um dem entgegenzuwirken, ist es gängige Praxis, eine erste „Warmfahrt“ einer Anlage durchzuführen (oftmals mit Wasser unter dem Siedepunkt). Anschließend werden die Flanschverbindungen nachgezogen, um den regelmäßig auftretenden hohen anfänglichen Flächenpressungsverlust zu kompensieren.

Im Anschluss daran geht die Anlage mit der vorgesehenen Betriebstemperatur in Betrieb.

Im betrachteten Beispiel wurden deshalb die zu prüfenden Flanschsysteme nach der Montage, vgl. Abschnitt 8.1.5, über 48 Stunden bei 95°C ausgelagert, gefolgt von einer Abkühlung auf Raumtemperatur. Anschließend wurden die Schrauben wieder so angezogen, dass die Flächenpressung bei Montage wieder erreicht wurde. Dem folgte eine weitere Auslagerung über 48 Stunden bei nunmehr 200°C, welche dann wieder abdeckend für alle Betriebstemperaturen sind, die unter 200°C liegen. Nachdem die Flansche wieder abgekühlt waren, wurde die Leckagemessung analog zur VDI 2200, jedoch mit 10 bar Prüfdruck durchgeführt. Man erhält damit eine „Abdeckende“ für 10 bar und 200°C. Im Anschluss daran wurde die Restflächenpressung gemäß VDI 2200 erfasst.

Abbildung 15 zeigt am Beispiel von zwei Versuchen mit identischem Flanschaufbau, aber natürlich zwei Dichtungen, den Verlauf der Flächenpressung, wobei streng genommen nach VDI 2200 nur die Flächenpressung nach der Dichtheitsprüfung zum Ende des Versuches zu prüfen wäre.

**Abbildung 15: Flächenpressungen beider Prüfaufbauten**




Quelle: eigene Darstellung

Obiges Bild zeigt die Flächenpressung bei Montage von 20 MPa. Danach fiel die Flächenpressung nach der Warmlagerung bei 95°C auf etwa 11,5 MPa (Mittelwert der beiden Messungen) ab. Der Verlust wurde durch das Nachziehen auf wieder 20 MPa kompensiert. Nach der Warmlagerung bei 200°C, der nachfolgenden Abkühlung auf Raumtemperatur und der Dichtheitsmessung lag die Flächenpressung bei etwa 11,3 MPa (Mittelwert der beiden Messungen).

Ohne die erste Warmfahrt bei 95°C wäre die Restflächenpressung nach Auslagerung bei 200°C mutmaßlich deutlich geringer als 11,3 MPa gewesen. Ob dann noch ein Dichtheitsnachweis möglich gewesen wäre, ist fraglich.

Dieses Beispiel zeigt, dass spezielle Montageverfahren, hier mit einer ersten Warmfahrt, aus technischer Sicht sinnvoll sein können. Wird dieses im Bauteilversuch so durchgeführt, muss sich das Vorgehen in der zu erstellenden Montagevorgabe wiederfinden.

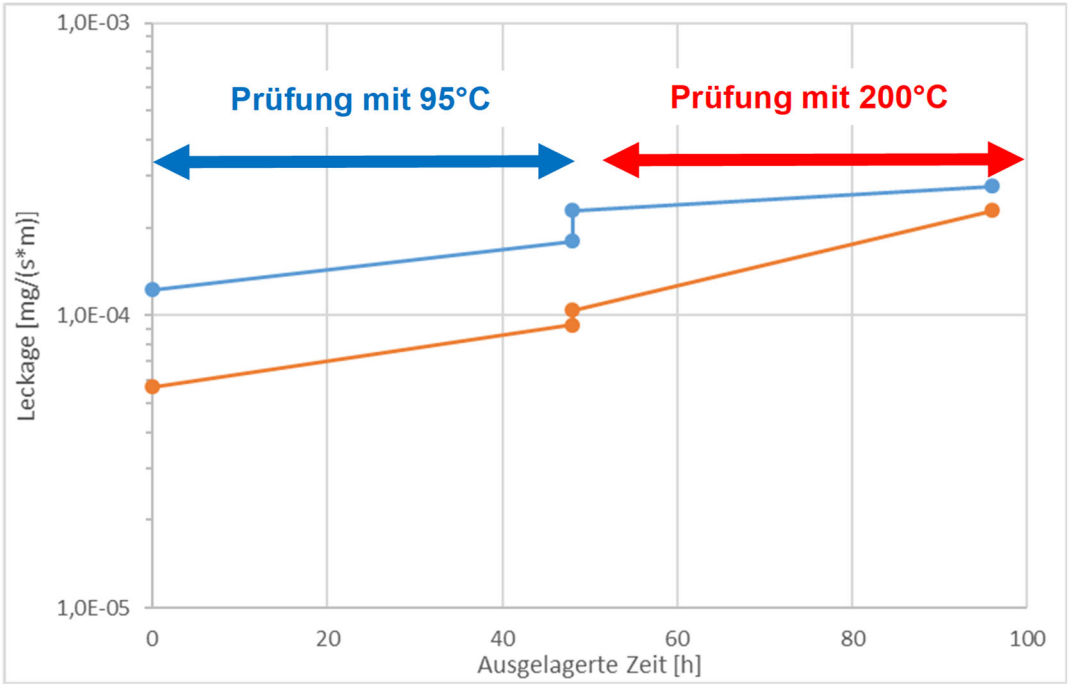
### 8.1.7 Leckagerate und Dichtheitsnachweis

Die Bestimmung der Leckagerate soll nach den Vorgaben der VDI 2200 erfolgen, wobei für den Dichtheitsnachweis des geprüften Aufbaus die maximal zulässige Leckagerate $L_{0,01}$ mg/s/m beträgt.

Im betrachteten Beispiel wurden die Dichtheitsversuche entsprechend durchgeführt.

Abbildung 16 zeigt die Messergebnisse, wobei für den Bauteilversuch nur die letzte Leckagemessung nach der Auslagerung bei 200°C erforderlich gewesen wäre.

**Abbildung 16: Ergebnisse der Dichtheitsversuche beider Prüfaufbauten**




Quelle: eigene Darstellung

Die Leckagemessung nach Ende der Versuche, welche maßgebend für den Dichtheitsnachweis sind, zeigen Leckageraten von $2{,}8 \cdot 10^{-4}$ mg/s·m bzw. $2{,}3 \cdot 10^{-4}$ mg/s·m, was den Anforderungen der TA Luft (Entwurf vom 16.07.2018) genügt, da die Leckageraten unter $1 \cdot 10^{-2}$ mg/s·m liegen.

**Ein Dichtheitsnachweis für diesen Systemaufbau wäre damit für alle Flanschverbindungen im Nennweitenbereich DN25 bis DN300 erbracht, die bei ≤ 200°C und ≤ 10 bar betrieben werden, sofern die zugehörige Montagevorgabe sicherstellt, dass bei Montage mindestens 20 MPa Dichtflächenpressung erzielt werden, hier bezogen auf eine Dichtgeometrie nach EN1514-1.**

Nachstehend sollen die weiteren Leckagemesswerte kurz erläutert werden. Wie oben beschrieben wurde, unterliegt der Stofftransport bei PTFE der Permeation (molekulare Strömung). Sofern die Trennflächenleckage gering ist, wird das Prüfmedium vorrangig durch die dünnste Stelle der PTFE-Hülle der Dichtung durchtreten und die gemessene Leckage erzeugen. Mit dieser Hypothese lässt sich der obige Leckageverlauf erklären.

Direkt nach Montage wurde eine Dichtheitsprüfung durchgeführt (bei 0 Stunden), was zu den geringsten gemessenen Leckagen führte. Im Anschluss daran stieg die Leckage an, was prinzipiell auf die verringerte Flächenpressung zurückgeführt werden könnte. Im vorliegenden Fall erscheint das aber als unwahrscheinlich, da die Leckage nach dem Nachziehen auf 20 MPa wiederum etwas angestiegen ist, vgl. die Messwerte bei 48 Stunden. Unter Annahme der Richtigkeit obiger Hypothese ist der Anstieg nach der ersten Auslagerung also auf eine dünnere PTFE-Schicht zurückzuführen (was wirklich vorlag). Nach dem Nachziehen auf 20 MPa wurde die PTFE-Hülle dann noch weiter verpresst und damit dünner, was die erhöhte Leckage erklärt. Die dann weiter ansteigende Leckage nach der Auslagerung bei 200°C ist wiederum auf die dann noch dünnere PTFE-Hülle zurückzuführen, nicht auf die geringere Flächenpressung.

## 8.2 Steril- oder Aseptik-Verbindungen im KNS

Steril- oder Aseptikflansche werden häufig in der Pharmaindustrie, in der Biotechnologie oder der Herstellung von Mikroelektronik eingesetzt, wenn besondere Anforderungen an Good Manufacturing Practice (GMP), Sterilität, gute Reinigbarkeit usw. gestellt werden. Typische Prozessbedingungen sind Temperaturen bis 150°C und Drücke bis 10 bar.

Es gibt einige Flanschverbindungen im Krafthauptschluss (KHS), die meisten Dichtungen befinden sich aber während der Abdichtung im Kraftnabenschluss (KNS).

Verspannelemente können Schrauben, Klammern oder Überwurfmuttern sein, vgl. Abbildung 17.

**Abbildung 17: Typische Verspannelemente an Rohrleitungsteilen**

Quelle: Fa. Neumo

Das typische Dichtelement ist ein Gummi-O-Ring, wie nachstehend behandelt. Es finden sich aber auch Profildichtungen usw.

### 8.2.1 Prüfgerät

Die Systemprüfung bzw. Bauteilprüfung wird mit einem Aufbau der Nennweite DN40 durchgeführt. Ein mögliches Beispiel zeigt Abbildung 18.

**Abbildung 18: Typischer Prüfaufbau einer Sterilflanschverbindung**

Quelle: eigene Darstellung

Das obige Bild zeigt zwei Prüfflansche (am Innendurchmesser befindet sich nicht sichtbar die Dichtung), die im Gegensatz zur oben behandelten Stahl-Email-Flanschverbindung ohne Messschrauben verspannt sind. Für Flansche im KNS ist das nicht erforderlich, da die maßgebende Größe für die Vorverformung des Dichtelements das Erreichen des KNS ist.

Unabhängig davon sind natürlich in den Montagevorgaben beispielsweise Drehmomentwerte vorzugeben, die sicherstellen, dass der KNS erreicht und im Betrieb auch aufrechterhalten wird.

### 8.2.2 Dichtflächenpressung

Für die Dichtflächenpressung gilt es, wie oben erläutert, den „schwächsten" Flansch einer Nennweitenreihe zu bestimmen. Für eine Nennweitenreihe mit Verbindungen im KNS wäre das die Verbindung mit der geringsten Verpressung, also die Kombination aus größter Nut und kleinstem Dichtelement, was dann zur geringsten Verpressung des Dichtelements führt.

Im betrachteten Fall ist das Dichtelement aber eine Gummi-O-Ring-Dichtung. Dadurch ist es nur erforderlich mit einer repräsentativen Verpressung zu prüfen. Die vermeintlich ungünstigste Kombination von Nuttiefe und O-Ring-Querschnittsdurchmesser ist dabei nicht maßgebend, wie nachstehend erläutert wird.

Erklären lässt sich diese Aussage mit dem Stofftransport durch einen Gummi-O-Ring hindurch. Dieser ist durch molekulare Strömung (Permeation) gegeben. Da die Permeation, vgl. Abschnitt 6, aber praktisch unabhängig von der Verpressung ist, ist es ausreichend die Dichtheit der Verbindung mit einer repräsentativen Verpressung zu messen. Unter einer „repräsentativen Verpressung" ist dabei beispielsweise eine beliebige Verpressung zu verstehen, die sich innerhalb anerkannter Grenzen befindet. Für O-Ring-Verbindungen finden sich diese Verpressungen regelmäßig in der ISO 3601-2, vgl. Abschnitt 6.4. Als groben Richtwert für eine ausreichende Vorverformung kann man eine Verpressung von 15-30% ansehen, bezogen auf den Querschnittsdurchmesser („Schnurdurchmesser") eines O-Rings. Da der Stofftransport molekularer Natur ist, unterscheidet sich die gemessene Leckage bei Verpressungen des O-Rings von 15-30% nur geringfügig, weshalb eine beliebige Verpressung innerhalb dieser Grenzen als dann zulässig für den Bauteilversuch angesehen werden kann.

### 8.2.3 Dichtung

Für den betrachteten Fall einer O-Ring-Abdichtung muss der O-Ring sich innerhalb der Grenzen bewegen, welche die Verformung nach Abschnitt 8.2.2 sicherstellt. Wichtig ist hervorzuheben, dass die Bauteilprüfung und damit der nennweitenübergreifende Dichtheitsnachweis nur in Verbindung mit dem geprüften O-Ring-Material zulässig sind. Sofern in der Praxis ein anderes Material, von einem anderen Dichtungshersteller eingesetzt wird, ist die Bauteilprüfung hierfür nicht mehr abdeckend.

Beispielsweise bestehen die in diesen Anwendungen oftmals verwendeten Fluorkautschuke (FKM) aus einer Vielzahl von Einzelkomponenten, welche (neben den wichtigen Verarbeitungsbedingungen) die Eigenschaften des Gummis bestimmen. Kälteflexible Varianten bestehen beispielsweise aus einem Mischpolymer aus PMVE (Perfluormethylvinylether), $VF_2$ (Vinylidenfluorid) und TFE (Tetrafluorethylen). Basenresistente Typen dagegen aus Propylen, TFE und $VF_2$. Hinzu kommen eine Vielzahl weiterer Zusatzstoffe, wie Ruße, Verarbeitungshilfsmittel, Metalloxide, unterschiedliche Vulkanisiermittel usw. Die Eigenschaften unterscheiden sich also von Hersteller zu Hersteller und/oder von Compound zu Compound. Es ist somit keinesfalls ausreichend FKM-O-Ringe – und das gilt auch für alle weiteren Gummi-Materialien – nach beispielsweise Schnurstärke, Innendurchmesser und Shore-Härte einzuordnen.

Aus diesem Grund ist die Bauteilprüfung, also die Systemprüfung, immer auf die genau zu spezifizierenden Komponenten des Systems bezogen.

### 8.2.4 Prüfdruck

Der Prüfdruck hat sich an den Einsatzbedingungen des Dichtsystems zu orientieren.

Als abdeckender Prüfdruck bieten sich z.B. 10 bar an, da die meisten Betriebsbedingungen unter 10 bar liegen. Alle Verbindungen mit Betriebsdrücken kleiner oder gleich 10 bar wären dann mit der Prüfung abgedeckt.

### 8.2.5 Montage

Die Montage hat im vorliegenden Fall so zu erfolgen, dass der KNS erreicht wird. Kontrollieren lässt sich das sehr einfach durch eine optische Lichtspaltprüfung. Die Montage mit Hilfe eines „normalen“ Schraubenschlüssels ist damit grundsätzlich ausreichend. Im Rahmen einer hochwertigen Montage wird empfohlen, Drehmomente bei der Montage anzuwenden, um den Vorgaben der VDI 2290 auch in diesem Bereich zu genügen.

### 8.2.6 Warmlagerung

Die Warmlagerung kann analog zur VDI 2200 erfolgen, da beispielsweise ein Nachziehen der Verbindung nicht vorgesehen ist und bei Verbindungen im KNS auch keinen Erfolg hätte. Im vorliegenden Fall würde die Auslagerungstemperatur 150°C betragen.

### 8.2.7 Leckagerate und Dichtheitsnachweis

Die Bestimmung der Leckagerate kann entsprechend den Vorgaben der VDI 2200 erfolgen, wobei für den Dichtheitsnachweis des geprüften Aufbaus die maximal zulässige Leckagerate L=0,01 mg/s/m beträgt, für den Prüfdruck von hier 10 bar.

Sofern bei der Dichtheitsprüfung die o.g. Leckagerate nicht überschritten ist, wäre damit der Dichtheitsnachweis für diesen Systemaufbau für alle Flanschverbindungen für einen Nennweitenbereich geführt, für die die Verpressung innerhalb der anerkannten Grenzen liegen, die Betriebstemperatur ≤ 150°C und der Betriebsdruck ≤ 10 bar betragen.

# 9 Quellenverzeichnis

**Europa: Richtlinien – Technische Regeln**

**EU-Richtlinien**

Richtlinie 2010/75/EU des Rates über Industrieemissionen; Anmerkung:

Die Richtlinie 1999/13/EG des Rates über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen, die bei bestimmten Tätigkeiten und in bestimmten Anlagen bei der Verwendung organischer Lösungsmittel entstehen ist in die RL 2010/75/EU integriert worden.

**BVT-Merkblätter**

Abwasser- und Abgasbehandlung/ -management in der chemischen Industrie

Herstellung organischer Feinchemikalien

Herstellung organischer Grundchemikalien

Herstellung von Polymeren

Lagerung gefährlicher Substanzen und staubender Güter

Oberflächenbehandlung unter Verwendung von organischen Lösemitteln

Raffinerien

Ökonomische und medienübergreifende Effekte

Überwachung von Emissionen aus IE-Anlagen

Eisen-Stahl-Herstellung (u.a. Kokereien)

**BUND - Länder: Gesetze – Verordnungen – Technische Regeln**

**Arbeitsschutzgesetz - ASchG**

**Betriebssicherheitsverordnung - BetrSichV**

TRBS 1111 „Gefährdungsbeurteilung / sicherheitstechnische Bewertung“;

TBBS 1201 „Prüfung von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen“

TRBS 1201 Teil 1 „Prüfung von Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen und Überprüfung von Arbeitsplätzen in explosionsgefährdeten Bereichen“

TRBS 1201 Teil 2 „Prüfung bei Gefährdung durch Dampf und Druck“

TRBS 2141 „Gefährdungen durch Dampf und Druck - Allgemeine Anforderungen“

TRBS 2141 Teil 1 „Versagen der drucktragenden Wandung durch Abweichen von zulässigen Betriebsparametern“

TRBS 2141 Teil 2 „Gefährdung durch Dampf und Druck - Schädigung der drucktragenden Wandung“

TRBS 2141 Teil 3 „Gefährdungen durch Dampf und Druck bei Freisetzung von Medien“

**Sozialgesetzbuch VII – SG VII**

**Berufsgenossenschaftliches Regelwerk**

DGUV Regel 100-500: Betreiben von Arbeitsmitteln (April 2008; Infoquelle)

BGV B6 Gase (zurückgezogen, Infoquelle)

**Chemikaliengesetz - ChemG**

**Gefahrstoffverordnung - GefStoffV**

TRGS 400 Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen

TRGS 500 Schutzmaßnahmen

TRGS 720 / TRBS 2152 „Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Allgemeines“

TRGS 721 / TRBS 2152 Teil 1 „Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre - Beurteilung der Explosionsgefährdung“

TRGS 722 / TRBS 2152 Teil 2 „Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre“

**Produktsicherheitsgesetz - ProdSG**

9. ProdSV: Maschinenverordnung – Richtlinie 2006/42/EU Maschinenrichtlinie

Harmonisierte Normen

14. ProdSV: Druckgeräteverordnung – Richtlinie 2014/68/EU Druckgeräterichtlinie

DIN EN 13480 1-8 Industrielle Rohrleitungen

DIN EN 13445 1-8 Unbefeuerte Druckbehälter

Harmonisierte referenzierte Bauteil - Normen

7. ProdSV: Gasverbrauchseinrichtungsverordnung

Harmonisierte Normen

**Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG**

BImSchVwV (TA Luft)

VDI 3479 (2010-08): Emissionsminderung - Raffinerieferne Mineralöltankläger

VDI-Richtlinie 2440 (2000-11): Emissionsminderung Mineralölraffinerien

VDI-Richtlinie 2200 (2007-06): Dichte Flanschverbindungen - Auswahl, Auslegung, Gestaltung und Montage von verschraubten Flanschverbindungen

VDI-Richtlinie 2290 (2011-06): Emissionsminderung – Kennwerte für dichte Flanschverbindungen

20. BImSchV - VO zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen beim Umfüllen und Lagern von Ottokraftstoffen, Kraftstoffgemischen oder Rohbenzin

21. BImSchV - VO zur Begrenzung der Kohlenwasserstoffemissionen bei der Betankung von Kraftfahrzeugen

31. BImSchV - VO zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Anwendung organischer Lösemittel in bestimmten Anlagen

**Wasserhaushaltsgesetz - WHG**

Bundesanlagenverordnung (Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen) - AwSV

TRwS 779 – 1 (ATV-DVWK-A-779) Allgemeine Technische Regelungen

TRwS 780 – 1 (ATV-DVWK-A-780-1) Oberirdische Rohrleitungen - Teil 1: Rohrleitungen aus metallischen Werkstoffen

TRwS 780 – 2 (ATV-DVWK-A-780-2) Oberirdische Rohrleitungen - Teil 2: Rohrleitungen aus polymeren Werkstoffen

**Energiewirtschaftsgesetz - EnWG**

Gashochdruckleitungsverordnung (GasHDrLtgV)

Niederdruckanschlussverordnung (NDAV)

TRGI (DVGW – Regelwerk) G 600 Arbeitsblatt 04/2008

TRGI DVGW - G 465-1: Überprüfung von Gasrohrnetzen mit einem Betriebsdruck bis 4 bar

TRGI DVGW - G 465-3: Beurteilung von Leckstellen an erdverlegten und freiliegenden Gasleitungen in Gasrohrnetzen

TRGI DVGW - G 465-4: Gasspür- und Gaskonzentrationsmessgeräten für die Überprüfung von Gasanlagen

TRGI DVGW - G 491(A): Gas-Druckregelanlagen für Eingangsdrücke bis einschließlich 100 bar (Planung, Fertigung, Errichtung, Prüfung, Inbetriebnahme und Betrieb)

TRGI DVGW - G614-1 (A) Freiverlegte Gasleitungen auf Werksgelände hinter der Übergabestelle; Planung, Errichtung, Prüfung und Inbetriebnahme

TRBS 2152, Teil 2: Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre

**Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) (Land)**

Rohrfernleitungsverordnung (RohrFLtgV) (Bund)

TRFL Technischen Regel für Rohrfernleitungen

**VDI – Richtlinien**

VDI-Richtlinien herausgegeben von der Kommission Reinhaltung der Luft

VDI-Richtlinie 3479 (2010-08): Emissionsminderung – Raffinerieferne Mineralöltankläger

VDI-Richtlinie 2440 (2000-11): Emissionsminderung Mineralölraffinerien

VDI-Richtlinie 2200 (2007-06): Dichte Flanschverbindungen - Auswahl, Auslegung, Gestaltung und Montage von verschraubten Flanschverbindungen

VDI-Richtlinie 2290 (2011-06): Emissionsminderung – Kennwerte für dichte Flanschverbindungen

VDI-Richtlinie 2230 Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schrauben-verbindungen; Blatt 1 (2015) und 2 (2014)

**LASI Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik;** Keine relevanten Informationen

**Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI)**

Bekanntmachung des Fortschreitens des Standes der Technik für bestimmte Vorsorgeanforderungen der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft Merkblätter über die besten verfügbaren Techniken: 1. Herstellung anorganischer Grundchemikalien – Ammoniak, Säuren und Düngemittel 2. Herstellung anorganischer Spezialchemikalien 3. Herstellung organischer Feinchemikalien 4. Abfallbehandlungsanlagen 5. Gießereiindustrie 6. Herstellung anorganischer Grundchemikalien – Feststoffe und andere – hier nur Herstellung von Wasserglas (Natriumsilikat), vom 27. April 2015

Erstellung einer Arbeitshilfe für den Vollzug der nationalen Rechtsvorschriften zur Umsetzung der Industrie-Emissions-Richtlinie

TA Luft, Anhang 6, Stand der Messtechnik (Stand: Juni 2013)

Vollzugsempfehlungen bei der Aufhebung der Bindungswirkung der TA Luft für bestimmte Vorsorgeanforderungen: z.B.

Vollzugsempfehlung Herstellung organischer Feinchemikalien (OFC) (Stand: 26.03.2015)

**Normen**

DIN EN 13480 Teile 1-8 Industrielle Rohrleitungen

DIN EN 13445 Teile 1-8 Unbefeuerte Druckbehälter

DIN EN 1092-1 (2013-04): Flansche und ihre Verbindungen - Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehörteile, nach PN bezeichnet - Teil 1: Stahlflansche;

EN 1591 (2014-04): Flansche und ihre Verbindungen - Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen; Teil 1: Berechnung; Teil 3: Berechnungsmethoden für Flanschverbindungen mit runden Dichtungen im Kraft-Nebenschluss; Teil 4: Qualifizierung der Befähigung von Personal zur Montage von Schraubverbindungen in druckbeaufschlagten Systemen im kritischen Einsatz

DIN EN 13555 (2014-07): Flansche und ihre Verbindungen - Dichtungskennwerte und Prüfverfahren für die Anwendung der Regeln für die Auslegung von Flanschverbindungen mit runden Flanschen und Dichtung

DIN 28090: Statische Dichtungen für Flanschverbindungen. Teil 1: Dichtungskennwerte und Prüfverfahren; Ersatz: DIN EN 13555; Teil 2: Dichtungen aus Dichtungsplatten; Spezielle Prüfverfahren zur Qualitätssicherung; Teil 3: Dichtungen aus Dichtungsplatten; Prüfverfahren zur Ermittlung der chemischen Beständigkeit; Berlin: Beuth-Verlag 1995.

DIN 28091: Technische Lieferbedingungen für Dichtungsplatten; Teil 1: Dichtungswerkstoffe; allgemeine Festlegungen; Teil 2: Dichtungswerkstoffe auf Basis von Fasern (FA); Anforderungen und Prüfung; Teil 3: Dichtungswerkstoffe auf Basis von PTFE (TF); Anforderungen und Prüfung; Teil 4: Dichtungswerkstoffe auf Basis von expandiertem Graphit (GR); Anforderungen und Prüfung. Berlin: Beuth-Verlag 1995.

DIN EN 1092 Flansche und ihre Verbindungen – Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehörteile, nach PN bezeichnet; Teil 1: Stahlflansche; Teil 2: Gusseisenflansche; Teil 3: Flansche aus Kupferlegierungen; Teil 4: Flansche aus Aluminiumlegierungen

DIN EN 1759 Flansche und ihre Verbindungen – Runde Flansche für Rohre, Armaturen, Formstücke und Zubehörteile, nach Class bezeichnet; Teil 1: Stahlflansche, NPS ½ bis 24; Teil 3: Flansche aus Kupferlegierungen; Teil 4: Flansche aus Aluminiumlegierungen

DIN 28033: 2013-09 - Flanschverbindungen für Apparate - Schweißflansche für druckbeanspruchte Apparate.

DIN EN 1514-1: Flachdichtungen aus nichtmetallischen Werkstoffen mit und ohne Einlagen

DIN EN 1514-2: Spiraldichtungen

DIN EN 1514-3: nichtmetallischen Weichstoffdichtungen mit PTFE-Mantel

DIN EN 1514-4: Dichtungen aus Metall mit gewelltem, flachem oder gekerbtem Profil

DIN EN 1514-6: Kammprofildichtungen

DIN EN 1514-7: Metallummantelte Dichtungen mit Auflage

DIN EN 1514-8: Runddichtringe mit Auflage

DIN EN 12560-1 bis 7: Flansche und ihre Verbindungen - Dichtungen für Flansche mit Class-Bezeichnung

DIN 21057 1, 5, 6, 10, 11, 12: Rohrklassen für verfahrenstechnische Anlagen

DIN 30690-1: Anforderungen an Bauteile von Gasversorgungs-Anlagen

DIN 3535 Dichtungen für die Gasversorgung; Teil 5: Dichtungswerkstoffe aus Gummi, Kork und synthetischen Fasern für Gasarmaturen und Gasgeräte; Sicherheitstechnische Anforderungen, Prüfungen; Teil 6: Flachdichtungswerkstoffe auf Basis von Fasern, Graphit oder Polytetrafluorethylen (PTFE) für Gasarmaturen, Gasgeräte und Gasleitungen

DIN EN 378-2: Kälteanlagen, Konstruktion, Herstellung, Prüfung, Dokumentation

DIN EN 1779: Dichtheitsprüfung: Kriterien zur Auswahl von Prüfmethoden und –verfahren

DIN EN ISO 20484: 2013-07 (alt DIN 1330-8): Zerstörungsfreie Prüfung – Terminologie – Begriffe für Dichtheitsprüfung

DIN 1518: Zerstörungsfreie Prüfung –Dichtheitsprüfung – Charakterisierung von massenspektrometrischen Leckdetektoren (ISO 13530)

DIN EN 1593: Zerstörungsfreie Prüfung –Dichtheitsprüfung – Blasenprüfverfahren

DIN EN 13184: Zerstörungsfreie Prüfung –Dichtheitsprüfung – Druckänderungsverfahren

DIN EN 13185: Zerstörungsfreie Prüfung –Dichtheitsprüfung – Prüfgasverfahren

DIN EN 13192:2002-03: Zerstörungsfreie Prüfung - Dichtheitsprüfung - Kalibrieren von Referenzlecks für Gase; Deutsche Fassung EN 13192:2001

DIN EN 13625: Zerstörungsfreie Prüfung - Dichtheitsprüfung - Anleitung zur Wahl von Dichtheitsprüfgeräten

DIN EN 12842:2012-11: Duktile Gussformstücke für PVC-U- oder PE-Rohrleitungssysteme - Anforderungen und Prüfverfahren

DIN 2848 (2002-06): Flansch-Rohre aus Stahl und Flansch-Formstücke aus Stahl und Gusseisen mit Auskleidung - PN 10, PN 25 und PN 40

DIN 2874 (2002-06): Flansch-Rohre aus Stahl und Flansch-Formstücke aus Stahl und Gusseisen mit Auskleidung aus PTFE oder PFA - Technische Lieferbedingungen

DIN EN ISO 28721-1: Emails und Emaillierungen - Emaillierte Apparate - Teil 1 Qualitätsanforderungen

DIN EN ISO 28721-4 (2016-03): Emails und Emaillierungen - Emaillierte Apparate für verfahrenstechnische Anlagen - Teil 4: Qualitätsanforderungen an Flansch-Rohre und Flansch-Formstücke aus Stahl mit Emaillierung

DIN 2873 (2002-06): Flansch-Rohre aus Stahl und Flansch-Formstücke aus Stahl mit Emaillierung - PN 10 und PN 25

DIN 28115: Stutzen aus unlegiertem Stahl PN10 bis PN 40

DIN 28005-2: Allgemeine Toleranzen für Behälter - aus Stahl Emailliert (2017-04)

DIN 28006-2: Allgemeine Toleranzen für Rührbehälter - aus Stahl Emailliert (2017-04)

DIN 28007-2: Allgemeine Toleranzen für Kolonnen - aus Stahl Emailliert 2017-04

DIN 8117: Blockflansche für Apparate - Anschlussmaße PN 10 bis PN 40

DIN 28125-3: Klappverschlüsse rund, mit Schutzring und Oberflächenschutz Nennweite DN 500 und DN 600 (1989-04)

DIN 28136-3: Rührbehälter Anordnung und Größe der Stutzen für Rührbehälter aus Stahl, emailliert (2005-12)

DIN 28138-2: Gleitringdichtungen für Rührwellen aus Stahl, emailliert Betriebsdaten Einbaumaße 2006-06

DIN 28139: Vorschweißbunde für emaillierte Apparate Form H Hauptflansche für Klammer-schrauben Maße (1985-06)

DIN 28139-2: Vorschweißbunde für emaillierte Apparate Form M Mannloch-, Handlochstutzen, Montageöffnung mit Klammerschrauben Anschlussmaße (1985-06)

DIN 28139-3: Vorschweißbunde für emaillierte Apparate Stutzen mit Losflansch Anschlussmaße

DIN 28139-3: Vorschweißbunde für emaillierte Apparate Stutzen mit Losflansch Anschlussmaße (1976-11)

DIN 28140-2: Anschlüsse für Auslaufarmaturen an Behältern aus Stahl, emailliert, Anschlussmaße PN 10 (2005-01)

DIN 28148: PTFE-umhüllte Dichtungen für Rührbehälter aus Stahl, emailliert (1992-01)

DIN 28150: Losflansche geteilt für emaillierte Vorschweißbunde Nenndruck PN 10 (1992-08)

DIN 2815: Mantelstutzen für Rührbehälter aus Stahl, emailliert Stutzenanordnung (1999-11)

DIN 28152-1: Beiblatt 1 Klammerschrauben für emaillierte Apparate Maße Zuordnung, Bestimmung der Mindestanzahl (1999-11)

DIN 28152-1: Klammerschrauben für emaillierte Apparate Maße Zuordnung 1999-11

DIN 28152-2: Klammerschrauben für emaillierte Apparate Technische Lieferbedingungen (1999-11)

DIN 28706-4: Emails und Emaillierungen - Chemische Korrosion alkalische Flüssigkeiten

DIN EN ISO 28706-5: Bestimmung der Beständigkeit gegen chemische Korrosion in geschlossenen Systemen

DIN EN 1595, Druckgeräte aus Borosilicatglas 3.3.

DIN EN ISO 15874-1 (2013-06): Kunststoff-Rohrleitungssysteme für die Warm- und Kaltwasserinstallation - Polypropylen (PP) - Teil 1: Allgemeines

DIN 16964: Rohre aus glasfaserverstärkten Polyesterharzen (UP-GF), gewickelt; Allgemeine Güteanforderungen, Prüfung

DIN 16965-1 bis 5: Rohre aus glasfaserverstärkten Polyesterharzen (UP-GF)

DIN 16966-1 bis 8: Formstücke und Verbindungen aus glasfaserverstärkten Polyesterharzen (UP-GF)

DIN EN 12573-4 (2000-12): Geschweißte ortsfeste drucklose Behälter (Tanks) aus Thermoplasten - Teil 4: Konstruktion und Berechnung von Flanschverbindungen

DIN 13121 – 3: Oberirdische GFK – Tanks und –Behälter; Auslegung und Herstellung

DIN EN ISO 10931 (2015-11): Kunststoffrohrleitungssysteme für industrielle Anwendungen – Polyvinyliden Fluoride (PVDF) – Anforderungen an Rohrleitungsteile und das Rohrleitungssystem

DIN EN ISO 15493 (2017-07): Kunststoff-Rohrleitungssysteme für industrielle Anwendungen - Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS), weichmacherfreies Polyvinylchlorid (PVC-U) und chloriertes Polyvinylchlorid (PVC-C) - Anforderungen an Rohrleitungsteile und das Rohrleitungssystem - Metrische Reihen

DIN EN ISO 15494 (2016-03): Kunststoff-Rohrleitungssysteme für industrielle Anwendungen - Polybuten (PB), Polyethylen (PE), Polyethylen erhöhter Temperaturbeständigkeit (PE-RT), vernetztes Polyethylen (PE-X), Polypropylen (PP) - Metrische Reihen für Anforderungen an Rohrleitungsteile und das Rohrleitungssystem

DIN 11864: Armaturen aus nichtrostendem Stahl für Aseptik, Chemie und Pharma Teil 2: Aseptik-Flanschverbindung, Normalausführung; Teil 3: Aseptik-Klemmverbindung,

DIN 32676:2009-05: Armaturen für Lebensmittel, Chemie und Pharmazie – Klemmverbindungen für Rohre aus nichtrostendem Stahl - Ausführung zum Stumpfschweißen

DIN EN 12516-1 bis 4: Industriearmaturen - Gehäusefestigkeit

**Werknormen - Verbändenormen**

AD 2000 Regelwerk (Verbändevereinbarung FDBR, HV gewerbl. BG, VCI, VDMA, VDEh, VGB Power Tech e.V., VdTüV)

AD 2000 Merkblatt N1 Druckbehälter aus textilglasverstärkten duroplastischen Kunststoffen (GFK)

AD 2000 Merkblatt B7 Schrauben

AD 2000 Merkblatt B8 Flansche

AD 2000 Merkblatt HP 100 R Rohrleitungen aus metallischen Werkstoffen

AD 2000 Merkblatt HP 110 R Rohrleitungen Duroplast

AD 2000 Merkblatt HP 120 R Thermoplaste

ATV-DVWK Regelwerk: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser, und Abfall e.V.

TRwS 779 – 1 (ATV-DVWK-A-779) Allgemeine Technische Regelungen

TRwS 780 – 1 (ATV-DVWK-A-780-1) Oberirdische Rohrleitungen - Teil 1: Rohrleitungen aus metallischen Werkstoffen

TRwS 780 – 1 (ATV-DVWK-A-780-1) Oberirdische Rohrleitungen - Teil 2: Rohrleitungen aus polymeren Werkstoffen

DVGW Regelwerk: Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e.V.

TRGI (DVGW – Regelwerk) G 600 Arbeitsblatt 04/2008

TRGI G 465-1: Überprüfung von Gasrohrnetzen mit einem Betriebsdruck bis 4 bar

TRGI G 465-3: Beurteilung von Leckstellen an erdverlegten und freiliegenden Gasleitungen in Gasrohrnetzen

TRGI G 465-4: Gasspür- und Gaskonzentrationsmessgeräten für die Überprüfung von Gasanlagen

TRGI G 491(A): Gas-Druckregelanlagen für Eingangsdrücke bis einschließlich 100 bar (Planung, Fertigung, Errichtung, Prüfung, Inbetriebnahme und Betrieb)

TRGI G614-1 (A) Freiverlegte Gasleitungen auf Werksgelände hinter der Übergabestelle; Planung, Errichtung, Prüfung und Inbetriebnahme

DSV: Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V.

DVS Richtlinie 2210-1: Industrierohrleitungen aus thermoplastischen Kunststoffen

DVS Richtlinie 2210-1 Beiblatt 3: Industrierohrleitungen aus thermoplastischen Kunststoffen; Oberirdische Rohrleitungen; Flanschverbindungen

ASME – Regelwerk: American Society of Mechanical Engineers

Installation Instructions A 1465; Pressure Pipes - Planning, Construction, Operation; KRV Kunststoffrohrverband e.V.

Technische Ausführungen von Flanschsystemen nach jeweiligem Firmen-Standard z.B. Fa. Cremo, Fa. Neumo

**Arbeitsblätter / Merkblätter**

U.S. Environmental Protection Agency Leak Detection and Repair – A Best Practice Guide

Electronic Code of Federal Regulations Title 40 – Protection of Environment Protocol for Emission Equipment Leak Emission Estimates EPA-453/R-95-017, Nov. 1995

U.S. Environmental Protection Agency Method 21 – Determination of Volatile Organic Compound Leaks

South Coast Air Quality Management District (SCAQMD), Rule 301 – Permitting and Associated Fees

Haas, W.: Grundlehrgang Dichtungstechnik; IMA Universität Stuttgart;

**Leitfäden**

VCI-Leitfaden zur Montage von Flanschverbindungen in verfahrenstechnischen Anlagen; März 2016

Anhang A Leitfaden zur Montage von Flanschverbindungen in verfahrenstechnischen Anlagen; Kurzanweisung für das Montagepersonal

Anhang C Leitfaden zur Montage von Flanschverbindungen in verfahrenstechnischen Anlagen; Berechnungsgrundlagen für die ermittelten Anzugsmomente

PAS (Publicly Available Specification) 1050: Leitfaden zur Umsetzung der TA Luft in der chemisch-pharmazeutischen Industrie; Teil 1: Allgemeine Anforderungen, Teil 2: Flansche und Dichtungen.

PAS 1010: Leitfaden für die Bestellung & Herstellung von Druckgeräten nach DGRL (ersatzlos zurückgezogen); Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Teil 2: Unbefeuerte Behälter; Teil 3: Industrielle Rohrleitungen; Teil 4: Druckhaltende Ausrüstungsteile; Teil 5: Ausrüstungsteile mit Sicherheitsfunktion; Teil 6: Baugruppen

PAS 1023: Leitfaden zur Umsetzung der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) (ersatzlos zurückgezogen);.Teil 1: Arbeitsmittel, Allgemeine Anforderungen; Teil 2: Gesamtanlage; Teil 3: Behälter; Teil 4: Rohrleitungen

**Publikationen – Veröffentlichungen – Fachzeitschriften**

Bern, A.C., Limpert, R., Wilming, H.: Der VCI-Leitfaden zur Flanschmontage: eine praktikable Umsetzungshilfe der VDI 2290 zur Erfüllung der TA Luft;

Bern, A.; Göbel, D.; Hecker, H.-P.; Hövel, A.; Hahn, R. Kockelmann, H.: Alternatives praxisorientiertes Prüfverfahren zum Hochwertigkeitsnachweis für Flanschverbindungen nach TA Luft. XIV. Dichtungskolloquium „Untersuchung und Anwendung von Dichtelementen“, Steinfurt, 11. und 12. Mai 2005.

Bramsiepe, C.: Beitrag zur Modellierung diffuser Emissionen an flüssig beaufschlagten Flanschverbindungen mit Graphitdichtungen; Dissertation TU Dortmund; 2010

Davids, P.: Die Nutzung der BVT-Merkblätter der EU bei der Anwendung der TA Luft, Landesumweltamt NRW

Kockelmann, H.; Hahn, R.; Schaaf, M.: Zulässige Emissionen bei Flanschverbindungen im Anwendungsbereich der TA Luft; 25. FDBR-Tagung Rohrleitungstechnik, März 2010

Lambertz, P.; Riedl, A.: Lebensdauervorhersage für Dichtungen aus PTFE, Faser und Grafit; XX. Dichtungskolloquium; Steinfurt; 2017

Limpert, R.: Flanschberechnungen gemäß EN 1591 – Vergleich von EN 1591-2001 und 2009 und Berücksichtigung von VDI 2290; Symposium IDT / SGL, 2010

Lüttecke, M.; Riedl, A.: Untersuchung von PTFE-Materialien zur Bestimmung der unvermeidbaren Mindestleckage; XX. Dichtungskolloquium; Steinfurt; 2017

Riedl, A.: Generating of gasket data for flange gaskets for strength and tightness approvals in the German nuclear power industry; XII. Sealing Conference Wroclaw; Breslau/Polen; 2013

Riedl, A.: Vorgehen zur Bestimmung der Fire-Safety Eignung von Flanschdichtungen; IDT/SGL Symposium; Frankfurt; 2015

Riedl, A.: Änderungen der TA Luft (2017) und deren Auswirkungen bei

Anwendung von Dichtungen im Prozessbereich; 6. Praxiswissen Dichtungstechnik; Oberhausen; 2017

Schaaf, M.: Optimierung von Rohrklassen unter Berücksichtigung der VDI 2290; XVII. Dichtungskolloquium am 29./30. September 2011 in Steinfurt

Schaaf, M.: Auswirkungen der Neufassungen der EN 1591-1 und EN 13555 auf die Umsetzung der VDI 2290; XVIII. Dichtungskolloquium am 25./26. September 2013 in Rheine

Schaaf, M.: Strategie zur Verminderung von Emissionen aus Flanschverbindungen; Dissertation Universität Stuttgart; 2015

Schembecker, G., Bramsiepe, C.: Betriebsmessungen und Modellierung diffuser Emissionen an Flanschen und Armaturen; Dechema Kolloquium, März 2008

Schettki-Schäferdieck, B.: Aktueller Stand der europäischen Normung im Umfeld der Rohrleitungsflansche, speziell die neuen Dichtungskennwerte; GVC-AK-Sitzung, Okt. 2008

Schröder, G.: Neue Norm zur Auswahl eines geeigneten Verfahrens zur Lecksuche und Dichtheitsprüfung; ZfP-Zeitung 74, April 2001

Schünemann, A.; Riedl, A.: Lebensdaueranalyse für Flanschdichtungen; XVIII. Dichtungskolloqium; Steinfurt; 2013

Schünemann, A.; Riedl, A.: Dichtheit von Klemmverbindungen nach DIN 32676; XIX. Dichtungskolloquium; Steinfurt; 2015

Wick, W.: Dichtheitsnachweis für technisch dichte Flanschverbindungen im Sinne der TA-Luft; Dichtungstechnik Heft 1, 2010

Wilming H.: Emissionen in verschiedenen Regelwerken – TA-Luft, VDI 2440, VDI 2200, VDI 2290, PAS 1050; Internationaler Umgang mit Emissionen ein gemeinsames Thema?, ProcessNet Fachausschuss Pipe, Valves and Pumps, 2009

Wilming, H.: Grenzen von Flanschverbindungen hinsichtlich Dichtheits- und Festigkeitsnachweis; XVI. Dichtungskolloquium, 16./17. September 2009, Steinfurt

Wilming H.: Montage dichter Flanschverbindungen – rechtliche, normative und technische Anforderungen, 3. Tag der Schraubtechnik; Hytorc Seis GmbH, 2011

Wilming H.: Grundsätzliche Strategien zur Umsetzung der VDI 2290 in der chemischen Industrie, XVII Dichtungskolloquium, 2011

Wilming H.: Qualitative und quantitative Anforderungen an Dichtsysteme im Bereich Anlagensicherheit, Arbeits- und Umweltschutz, XVIII. Dichtungskolloquium 2013

Wilming H.: VDI 2862-2: Mindestanforderungen an Schraubsysteme – Auswirkungen auf Montagen an Flanschverbindungen drucktragender Bauteile, XIX. Dichtungskolloquium, Steinfurt, 09-2015

Wilming H.: Sicherheitsanforderungen an Rohrleitungen, 4. VDI - Fachkonferenz Anlagensicherheit, Frankfurt 05-2017

Steinbach, O.: Flanschverbindungen in Gasanlagen, Dichtungen und andere Komponenten der Flanschverbindung; Hausmesse CeH4 technologies in Celle, Juli 2015

Kurz, H: Auslegung und Optimierung von Flanschverbindungen mit SMC-Losflanschen und PTFE Dichtungen; Dissertation Universität Stuttgart; 2014

**Forschungsberichte**

Köppke, K.-E.: Ermittlung und Verminderung diffuser flüssiger und gasförmiger Emissionen in der chemischen und petrochemischen Industrie, Forschungsbericht 200 44 322 UBA-FB000346, 2002

Riedl, A.: Sachverständigengutachten zur Bestimmung der TA Luft-konformen Vorgehensweise für Rohrleitungs- und Apparateflansche der Firma Basell Polyolefine GmbH am Standort Wesseling; Steinfurt; 2016

AiF/DECHEMA Forschungsvorhaben 13239 N: „Nachweis der Hochwertigkeit von Dichtelementen nach TA Luft bzw. VDI- Richtlinie 2440“. Abschlussbericht März 2004, MPA Stuttgart.

AiF Forschungsvorhaben 14264 N: „Ausblassichere Dichtungen für Flanschverbindungen mit emaillierten und glasfaserverstärkten Kunststoffflanschen in der chemischen Industrie“, Abschlussbericht Juni 2007; MPA Stuttgart

FHprofUnt-Forschungsprojekt; Projektträger ptj-Jülich; gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung; Thema: „LeFD“ Lebensdauervorhersage für Dichtungen; Laufzeit 2012-2016

Verminderung diffuser Emissionen in der chemischen und Mineralölindustrie; Fachgespräch zum UBA Forschungsprojekt (FKZ – 200 44 322) am 27.11. 2002; Texte 10-03; 2003

ZIM-Forschungsprojekt; Projektträger AiF Projekt GmbH; gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung; Thema: 3D-Dichtung für die Prozessindustrie; Laufzeit 2016-2018

# A Anhänge

## A.1 TA Luft (Stand 18.07.2018), Abschnitt 5.2.6.3 Flanschverbindungen

(1) Flanschverbindungen sollen in der Regel nur verwendet werden, wenn sie verfahrenstechnisch, sicherheitstechnisch oder für die Instandhaltung notwendig sind. Für diesen Fall sind technisch dichte Flanschverbindungen zu verwenden. Für die Auswahl der Dichtungen und die Auslegung der technisch dichten Flanschverbindungen ist die Dichtheitsklasse L0,01 mit der entsprechenden spezifischen Leckagerate ≤ 0,01mg/(s·m) für das Prüfmedium Helium anzuwenden.

(2) Flanschverbindungen mit Schweißdichtungen sind bauartbedingt technisch dicht.

(3) Der Dichtheitsnachweis über die Einhaltung der Dichtheitsklasse ist für Flanschverbindungen im Krafthauptschluss im Anwendungsbereich der Richtlinie VDI 2290 (Ausgabe Juni 2012) nach den darin zugrunde gelegten Berechnungsvorschriften oder nachgewiesen gleichwertigen Verfahren zu erbringen. Für Flanschverbindungen mit Metalldichtungen, z.B. Ring-Joint oder Linsendichtungen, ist das Verfahren der Richtlinie VDI 2290 (Ausgabe Juni 2012) entsprechend anzuwenden, soweit geeignete Dichtungskennwerte zur Verfügung stehen.

(4) Soweit für Metalldichtungen und für sonstige Flanschverbindungen keine Dichtungskennwerte zur Verfügung stehen, ist die Richtlinie VDI 2290 (Ausgabe Juni 2012) bis auf die darin enthaltenen Berechnungsvorschriften, z.B. hinsichtlich Montage und Qualitätssicherung, anzuwenden. Für diese Fälle dürfen spätestens ab dem [Bitte einsetzen: Datum des Inkrafttretens zuzüglich vier Jahre] nur noch Flanschverbindungen verwendet werden, für die ein Dichtheitsnachweise durch typbasierte Bauteilversuche der Flanschverbindungen oder nachgewiesen gleichwertige Verfahren vorliegt. Für die Bauteilversuche gilt die Dichtheitsklasse L0,01 mit der entsprechenden spezifischen Leckagerate ≤ 0,01 mg/(s·m) für das Prüfmedium Helium. Die Prüfung ist weitestgehend am Bauteilversuch nach Richtlinie VDI 2200 (Ausgabe Juni 2007) auszurichten.

(5) Der Betreiber hat sicherzustellen, dass dem Montagepersonal für die Montage der Flanschverbindungen Montageanweisungen und Vorgaben zur Qualitätskontrolle nach der Richtlinie VDI 2290 (Ausgabe Juni 2012) zugänglich sind und das Montagepersonal eine Qualifikation gemäß DIN EN 1591-4 (Ausgabe Dezember 2013) oder nach der Richtlinie VDI 2290 (Ausgabe Juni 2012) aufweist. Die Anforderungen für die Montage, Prüfung und Wartung der Dichtsysteme sind in Managementanweisungen festzulegen.

## A.2 Anschreiben der Prozessbeteiligten und Fragebogen

In dem Anschreiben an die ausgesuchten Experten wurde das Projekt vorgestellt, die Zielsetzung erläutert und um Mitarbeit geworben. Dem Anschreiben lag eine vorläufige Literaturliste bei, mit der Bitte um Prüfung und Vervollständigung.

Die angeschriebenen Experten wurden gebeten folgende Fragen zu beantworten:

*Im Anhang sind die uns bislang bekannten Regelwerke, Normen, relevante Literatur etc. aufgeführt, welche im Zusammenhang mit dem oben beschriebenen Forschungsprojekt stehen. Hierzu nun die folgenden Fragen, die wir Sie bitten zu beantworten, sofern diese in Ihren Bereich fallen:*

1. *Beinhaltet die Liste alle für Ihren Bereich relevanten Regelwerke hinsichtlich Umweltschutz, Anlagen-, Arbeits- und Produktsicherheit? Falls nein, ergänzen Sie bitte die Liste durch Nennung der fehlenden Dokumente.*
2. *Benennen Sie bitte die für Ihren Bereich entscheidenden Regelwerke.*
   a. *Entsprechen die Regelwerke nach Ihrer Kenntnis dem Stand der Technik? Falls nein, welche Verbesserungsvorschläge haben Sie?*
   b. *Wirken sich die Regelwerke in irgendeiner Weise nachteilig für Ihren Bereich aus? Falls ja, benennen Sie diese kurz.*
   c. *Besteht aus Ihrer Sicht die Notwendigkeit der Überarbeitung der Regelwerke? Falls ja, benennen Sie diese, mit einer kurzen Nennung des Änderungsbedarfs.*
3. *Sofern Flanschverbindungen nicht nach EN1591-1 berechenbar sind, z.B. Stahl-Email- oder Kunststoffflansche etc., wie werden in Ihrem Bereich der Festigkeits- und Dichtheitsnachweis bezüglich einer festgelegten Dichtheitsklasse geführt? Welche vorhandenen Regelwerke/Normen werden hierfür herangezogen?*
4. *Wären Sie grundsätzlich an der (leider unentgeltlichen) Mitarbeit im oben beschriebenen Projekt bereit, im Rahmen eines sogenannten Expertenkreises?*

*Aufgaben wären hierbei vorrangig die Prüfung der u.a. aus dieser Befragung resultierenden Literaturliste auf Vollständigkeit und Richtigkeit und nachfolgend ein Fachgespräch (mutmaßlich im Dezember 2018) mit Diskussion des Sachstandsberichts beim UBA in Dessau.*

## A.3 Stand der Technik in den aktuellen Regelwerken

### Arbeitsschutz, Anlagensicherheit, Produktsicherheit

### Gefahrstoffverordnung

Die Gefahrstoffverordnung ist immer dann anzuwenden, wenn Gefahrstoffe in der technischen Einrichtung gehandhabt und eingesetzt werden und insbesondere, wenn diese innerhalb bestimmter Flammpunktgrenzen brennbar sind. Die Klassifizierung der Stoffe und Gemische erfolgt auf Basis der CLP-Richtlinie (**C**lassification **L**abelling **P**ackaging). Der Anforderungsgrad an die technische Ausführung von Dichtelementen ist in einer Gefährdungsbeurteilung nach § 6 „Informationsermittlung und Gefährdungsbeurteilung“ der GefStoffV und der TRGS 400 ff „Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen“ von einer fachkundigen Person zu ermitteln. Die Gefährdungsbeurteilung ist entsprechend zu dokumentieren, bei Brand- und Explosionsgefahr ist ein Explosionsschutzdokument zu erstellen.

### Tätigkeiten mit Gefahrstoffen in der Technischen Einrichtung

Technisch mögliche Lösungen werden in der TRGS 500 „Schutzmaßnahmen“ vorgestellt. Sollte die Gefährdungsbeurteilung ergeben, dass ein geschlossenes System erforderlich ist, muss dieses so „beschaffen sein, dass in der Regel während des Produktionsvorganges zwischen dem Gefahrstoff enthaltenen Innenraum und der Umgebung keine betriebsmäßig offene Verbindung besteht oder strömungsbedingt ein Stoffaustritt verhindert wird“ (TRGS 500 Abschnitt 2 Begriffsbestimmungen). Die Wirksamkeit der Maßnahmen ist zu überprüfen und durch Wartung und Inspektion zu gewährleisten. Zur Überprüfung werden Checklisten empfohlen. Auf die Einhaltung der Anforderungen der BetrSichV wird hingewiesen.

Technische Schutzmaßnahmen zu Gewährleistung der Dichtheit im geschlossenen System werden mit Verfahrensindices bewertet. „Der Verfahrensindex charakterisiert das durch die technische Lösung verbleibende verfahrensbedingte Expositionspotential und kann die Werte 0,25, 0,5, 1, 2 und 4 annehmen, vgl. Abbildung 19. Für ein geschlossenes System muss der

Verfahrensindex 0,25 betragen. Dabei ist die Anzahl der erforderlichen Dichtelemente so weit wie möglich zu reduzieren. Vor Wiederinbetriebnahme sind geeignete Dichtheitsprüfungen vorzunehmen und bei getrennten Verbindungen neue Dichtungen zu verwenden. Für betriebsmäßig zu öffnende Flansche sind aufgrund der Verkantungsgefahr möglichst Verbindungen einzusetzen, die „*nicht mit Nut und Feder ausgerüstet sind*." (TRGS 500 Abschnitt 6.2 (3), (4), „ergänzende technische Schutzmaßnahmen").

**Abbildung 19: Bewertung von Dichtungslösungen über Verfahrensindices in der TRGS 500**

Verfahrensindices für Bauteile eines geschlossenen Systems, inklusive integrierte Absaugung (Auszug), vollständige Tabelle in Anlage 2

| Ausführung | Ausführungsbeispiel | Verfahrensindex ohne | Verfahrensindex mit Zusatzmaßnahmen |
|---|---|---|---|
| **Funktionselement: Statische Dichtungen** | | | |
| unlösbare Verbindungen | geschweißt gelötet | 0,25 | |
| lösbare Verbindungen | Schweißlippendichtung | 0,25 | |
| | Schneid- und Klemmringverbindung ≤ DN 32 | 0,25 | |
| | NPT-Gewinde ≤ DN 50, Δ t ≤ 100°C | 0,25 | |
| | Schneid- und Klemmringverbindung > DN 32 | 1 | 0,25 Gewährleistung der Dichtheit durch Überwachung und Instandsetzung * (siehe FN zu Tabelle in Anlage 2) |
| | Flansch mit Vor- und Rücksprung mit geeigneter Dichtung | 1 | |
| **Funktionselement: Quasistatische Dichtungen/Armaturen** | | | |
| Schaltwellen und Spindelabdichtungen von Armaturen z.B. Kugelhähne, Kükenhähne, Ventile | Stopfbuchsabdichtungen mit Selbstnachstellung (federbelastet) | 1 | 0,25 Gleichwertigkeit analog Nr. 3.1.8.4 TA Luft nachgewiesen |
| | Kolbenabdichtung | 1 | |
| | O-Ringabdichtung | 1 | |
| | Faltenbalg- und Membranabdichtung | 0,25 | |
| | Magnetkupplung | 0,25 | |
| **Funktionselement: Dynamische Dichtungen/mit drehenden Teilen** | | | |
| hermetisch dicht | Spaltrohrmotor | 0,25 | |
| nicht berührungsfreie Dichtungen | Doppelte Gleitringdichtung mit Sperrflüssigkeit | 1 | 0,25 Mit Überwachung des Sperrdrucksystems durch regelmäßige Kontrolle i.d.R. 1 x täglich… |
| berührungsfreie Dichtungen | gasgeschmierte Dichtungen | 1 | 0,25 Mit Überwachung des Gasflusses |

**Geschlossene Bauart**
0,5 Dichtheit gewährleistet
1.0 Dichtheit nicht gewährleistet
AGW eingehalten bei <=0,5 oder Messungen zum Nachweis der Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes (AGW)

Quelle: eigene Darstellung

Weitere Beispiele finden sich in Anhang 2 der TRGS 500. Bis auf die metallisch dichtenden Dichtsysteme sind für alle anderen Systeme Wartungs- und Inspektionsmaßnahmen erforderlich, um eine Bewertung mit dem Verfahrensindex 0,25 zu erhalten. Für bestimmte Dichtsysteme z.B. an Armaturen oder drehenden Teilen werden die Maßnahmen zum Nachweis nach TA Luft 5.2.6 (Diffuse Emissionen) als ausreichend anerkannt. Zur Dichtheitsprüfung wird auf das DVGW Arbeitsblatt G 464 oder die BGR 500 verwiesen. Zur Montagequalität finden sich

keine Aussagen, gefordert wird aber eine eingehende Dichtheitsprüfung vor Wiederinbetriebnahme der instandgesetzten Verbindungen.

Die qualitative Absicherung der dichten Verbindungen findet über Technologieauswahl und regelmäßige Prüfung statt. Rechnerische Nachweise sind nicht gefordert, eine Dichtheitsklasse kann nicht angegeben werden. Art und Umfang der Druckprüfung vor Inbetriebnahme ist der Nachweis der Dichtheit für alle Komponenten und das Gesamtsystem.

**Brand- und Explosionsgefahr**

Die Vorgehensweise beim Umgang mit brennbaren Stoffen, die beim Austritt aus einer Technischen Einrichtung zu einer explosiblen Atmosphäre führen kann, ist in TRGS 720 (inhaltlich identisch mit TRBS 2151) „Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Allgemeines“ beschrieben. Um ein Austreten von brennbarem Medium zu vermeiden, muss die Anlage als geschlossenes System ausgeführt werden.

**Abbildung 20: Vergleich der Kriterien für technisch dichte und auf Dauer technisch dichte Anlagenteile nach TRGS 722, TRBS 2152-2**

| **Auf Dauer techn. dichte Anlagenteile** | **Technisch dichte Anlagenteile** |
|---|---|
| ***Keine Freisetzungen zu erwarten*** | ***Seltene Freisetzungen zu erwarten*** |
| So ausgeführt sind, dass sie **aufgrund ihrer Konstruktion technisch dicht bleiben**:<br>Lösbare Komponenten / Verbindungen, die selten gelöst werden<br>Doppelt wirkende Gleitringdichtung<br>Spaltmotorpumpe<br>Armaturen mit Faltenbalg<br>Magnetantriebe<br>Geschweißte Verbindungen<br>Flansche Schweißlippendichtung<br>Flansche mit Nut und Feder; oder ähnlich<br>Flansche mit glatter Dichtleiste und besonderen Dichtungen bis PN 25 bar<br>Schneid- u. Klemmring < DN 32<br>NPT Gewinde | Beispiele **technisch dichter Anlagenteile**<br>Flansche mit glatter Dichtleiste, keine besonderen konstruktiven Anforderungen an die Dichtung<br>Schneid- u. Klemmring > DN 32<br>Pumpen: einfach wirkende Gleitringdichtung<br>Auf Dauer technisch dichte Anlagenteile, wenn sie nicht nur selten gelöst werden |
| Vor der ersten Inbetriebnahme, längeren Betriebsunterbrechungen, Veränderungen, Reparatur- oder Umbauarbeiten größeren Ausmaßes als Ganzes oder in Abschnitten ist auf Dichtheit zu prüfen | Bei Dichtheitsprüfung mit schaumbildenden Mitteln oder Lecksuchgeräten darf keine Undichtigkeit erkennbar sein |
| Techn. Dichtheit durch Überwachung und Wartung ständig gewährleistet ist:<br>Dyn. beanspruchte Dichtungen(Pumpen)<br>Thermisch beanspruchte Dichtungen<br>Mechanisch beanspruchte Anlagenteile<br>Überwachung durch (Gase, Dämpfe):<br>Begehung, Schlieren, Geruch, Geräusche<br>Mobile Leckanzeigegeräte, Gaswarner<br>Installierte Messgeräte mit Warnfunktion<br>Regelmäßig entsprechend eines Prüfplanes auf Dichtheit zu prüfen | Regelmäßig entsprechend eines Prüfplanes auf Dichtheit zu prüfen |

Quelle: eigene Darstellung

Bezüglich der Dichtheit der Anlage werden in der TRGS 722 (identisch mit TRBS 2152-2) „Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre“ folgende Dichtheitskategorien unterschieden, vgl. auch Abbildung 20.

**Auf Dauer technisch dichte Anlagenteile**

**Technisch dichte Anlagenteile**

Die qualitative Absicherung der dichten Verbindungen findet über Technologieauswahl und regelmäßige Prüfung statt. Rechnerische Nachweise sind nicht gefordert, eine Dichtheitsklasse kann nicht angegeben werden. Art und Umfang der Druckprüfung vor Inbetriebnahme ist der Nachweis der Dichtheit für alle Komponenten und das Gesamtsystem.

Die praktische Umsetzung der Auswirkungen einer technisch dichten Verbindung oder einer auf Dauer technisch dichten Verbindung, z.B. bei Einrichtung einer Ex-Zone, findet man in BGR 104 Teil 1-3 Explosionsschutz Regeln mit Beispielsammlungen (neu DGUV Regel 113-001 Teil 1–3) der BG RCI (Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie).

**Arbeitsschutzgesetz, Betriebssicherheitsverordnung**

Die Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) fordert die Erstellung einer Gefährdungsbeurteilung von fachkundigem Personal, die alle Gefährdungsaspekte ausgehend von der technischen Einrichtung (Arbeitsmittel oder überwachungsbedürftige Anlage), dem Arbeitsplatz, der Arbeitsumgebung und den eingesetzten Medien umfasst. Die Gefährdungsbeurteilung nach BetrSichV muss immer die nach GefStoffV mit berücksichtigen, um die Aspekte der Gefahrstoffe und des Explosionsschutzes einzubeziehen. Ziel ist festzustellen, ob die technische Einrichtung nach dem Stand der Technik geplant, gefertigt und montiert worden ist, ob eine Prüfung vor Inbetriebnahme und wiederkehrend durchzuführen ist und welche Qualifikation das Personal zur Prüfung haben muss.

Der Stand der Technik bezüglich Konstruktion und Fertigung ist z.B. erfüllt, wenn die Anforderungen des ProdSG mit der Maschinen- oder Druckgeräteverordnung erfüllt sind und mit einer Konformitätserklärung und einer Betriebsanleitung bestätigt werden.

Relevante technische Regeln mit Hinweisen zu Dichtsystemen sind:

TRBS 1111 „Gefährdungsbeurteilung/sicherheitstechnische Bewertung“;

TBBS 1201 „Prüfung von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen“

TRBS 1201 Teil 1 „Prüfung von Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen und Überprüfung von Arbeitsplätzen in explosionsgefährdeten Bereichen“

TRBS 1201 Teil 2 „Prüfung bei Gefährdung durch Dampf und Druck“

Anforderungen an Dichtsysteme werden in folgenden technischen Regeln definiert:

**Brand- und Explosionsschutz** (identisch mit den entsprechenden TRGS 7xx)

TRBS 2152 „Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre – Allgemeines“

TRBS 2152 Teil 1 „Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre-Beurteilung der Explosionsgefährdung“

TRBS 2152 Teil 2 „Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre“

TRBS 2152 Teil 3 „Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre-Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre“

TRBS 2152 Teil 4 „Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre-Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes, welche die Auswirkung einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß beschränken“

Die Anforderungen an die Dichtsysteme unter dem Aspekt Brand- und Explosionsschutz sind schon bei der GefStoffV vorgestellt worden.

**Freisetzung von Medien unter Druck**

TRBS 2141 „Gefährdungen durch Dampf und Druck-Allgemeine Anforderungen“

TRBS 2141 Teil 1 „Versagen der drucktragenden Wandung durch Abweichen von zulässigen Betriebsparametern“

TRBS 2141 Teil 2 „Gefährdung durch Dampf und Druck-Schädigung der drucktragenden Wandung“

TRBS 2141 Teil 3 „Gefährdungen durch Dampf und Druck bei Freisetzung von Medien“

Die TRBS 2141 ff enthält eine Vielzahl von Kriterien, die bei der Gefährdungsbeurteilung zu berücksichtigen sind und geht im Teil 3 insbesondere auf Dichtelemente und Dichtsysteme ein; beispielhaft:

„3.1.1 Undichtigkeiten an Verschlüssen und lösbaren Verbindungen mit statischen Dichtelementen

Undichtigkeiten an Verschlüssen und lösbaren Verbindungen mit statischen Dichtelementen (z. B. Flachdichtungen, kammprofilierte Dichtungen, Metallprofildichtungen) infolge von:

- Beschädigungen der Dichtelemente oder Dichtflächen, insbesondere bei beweglichen Leitungen (Schläuche und Gelenkrohrleitungen), wenn dadurch eine sichere Verbindung und damit technische Dichtheit nicht mehr gewährleistet ist,
- gegenüber dem Medium oder äußeren Einwirkungen nicht geeigneten Dichtelementen
- (z. B. Korrosionsangriff an Schrauben durch Umgebungseinflüsse),
- alterungsbedingten oder zeitabhängigen Veränderungen von Dichtelementen, z.B. Setzen, Verspröden,
- unzulässiger Beanspruchung von Dichtelementen z. B. Materialunverträglichkeiten oder Abweichungen von der bestimmungsgemäßen Betriebsweise (siehe TRBS 2141 Teil 1),
- Montagefehlern, z. B. wenn die konstruktiv vorgesehenen Verschlusselemente nicht bestimmungsgemäß verwendet werden (z. B. falsches Anzugsmoment) oder wenn unzulässige Spannungen durch falsche Anschlagpunkte eingebracht werden, die zu Verformungen führen.
- Thermoschock, z. B. beim Befüllen von drucklosen Druckbehältern mit druckverflüssigten Gasen oder beim nicht bestimmungsgemäßen Eintritt von kalten Fluiden in Anlagenteile, sofern die Dichtungen bzw. Anlagenteile für die auftretenden tiefen Temperaturen nicht ausgelegt sind.“

Die Klassifizierung der Dichtsysteme entspricht derjenigen der TRBS 2152/TRGS 722 in „technisch dichte Systeme“ und „auf Dauer technisch dichte Systeme“. Die stoffbedingten Gefährdungen sind nach TRGS 400 zusätzlich zu ermitteln und zu bewerten.

In Abschnitt 4 „Maßnahmen zur Erreichung des Schutzzieles“ werden Hinweise zur Beschaffung, Montage, Installation, Aufstellung, Benutzung und An- und Abfahren gegeben. Z.B. wird auf die Verwendung drehmomentbegrenzender Werkzeuge und damit die Ermittlung von Anzugmomenten ausdrücklich hingewiesen. Eine Dichtheitsüberwachung wird für alle technischen Arbeitsmittel die unter Druck betrieben werden gefordert, auch für die auf Dauer technisch dichten.

Die qualitative Absicherung der dichten Verbindungen findet auch hier über Technologie-auswahl und regelmäßige Prüfung statt. Rechnerische Nachweise sind nicht gefordert, eine Dichtheitsklasse kann nicht angegeben werden. Art und Umfang der Druckprüfung vor Inbetriebnahme ist der Nachweis der Dichtheit für alle Komponenten und das Gesamtsystem.

**Berufsgenossenschaftliches Regelwerk**

Die Unfallversicherungsträger tragen dazu bei, dass in ihren Mitgliedsbetrieben mit allen geeigneten Mitteln Arbeitsunfälle, Berufskrankheiten und arbeitsbedingte Erkrankungen verhütet und deren Ursachen ermittelt werden. Sie beraten ihre Mitglieder zur Gestaltung und Umsetzung einer wirksamen Arbeitsschutzorganisation, setzen Mindeststandards und überwachen die Betriebe. Seit 2014 ist die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) als Dachorganisation zuständig für den öffentlichen und gewerblichen Bereich.

Die Erkenntnisse werden als DGUV – Vorschriften, Regeln; Informationen und Grundsätze veröffentlicht. Zu bestimmten Medien, Arbeitsweisen, technischen Einrichtungen wurden Empfehlungen zusammengetragen und z.B. in DGUV-Informationen oder in BGI`s z.B. der Berufsgenossenschaft Rohstoffe chemische Industrie oder anderen branchenbezogenen Berufsgenossenschaften veröffentlicht. Ein sehr prägnantes Beispiel mit hoher technischer Relevanz sind die BGI Informationen zu Sauerstoff:

DGUV Information 213-073 Sauerstoff (Merkblatt M 034 der Reihe „Gefahrstoffe“) 2010

Bisher BGI 617

DGUV Information 213-075 Liste der nichtmetallischen Materialien zu Merkblatt M 034 „Sauerstoff) (…) 2015

Bisher BGI 617-1

DGUV Information 213-076 Liste der Armaturen, Schläuche und Anlagenteile zu Merkblatt M 034 „Sauerstoff) (…) 2015

Bisher BGI 617-2

Allen Herstellern von technischen Einrichtungen wird z.B. bei der Erstellung einer Risikobetrachtung oder Betreibern bei der Erstellung einer Gefährdungsbeurteilung empfohlen, die einschlägigen berufsgenossenschaftlichen Regelungen zu prüfen, ob sich darin Anforderungen oder Empfehlungen für die Ausgestaltung von Dichtsystemen finden lassen.

**Produktsicherheit, Lebensmittel, Pharmaprodukte, Trinkwasser**

In diesem Anwendungsspektrum muss sichergestellt werden, dass nur geeignete Dicht-systemkonstruktionen eingesetzt werden, die z.B. totraumfrei sind, sich im Betrieb reinigen und/oder sterilisieren lassen und die Gesundheits- und Sicherheitsanforderungen der für sie zutreffenden technischen Richtlinien erfüllen. Es dürfen für Anwendungen im Pharma- und

Lebensmittelbereich nur Werkstoffe verbaut werden, aus denen keine Verunreinigungen, Weichmacher, Monomere, Additive, Verarbeitungshilfsmittel, Gleitmittel oder Antioxidantien in das abzudichtend Medium migrieren können. Hier sind im Wesentlichen die Vormaterialhersteller gefordert, die jeweiligen international, europäisch oder national geforderten Anforderungen umzusetzen und z.B. mit einer Konformitätserklärung für die einzusetzenden Werkstoffe zu bestätigen.

Die Erfüllung dieser besonderen Anforderungen ist durch entsprechende Nachweise/Zeugnisse zu belegen und gilt i.d.R. zusätzlich.

**Produktsicherheitsgesetz**

Das Produktsicherheitsgesetz soll sicherstellen, dass ein Produkt nur auf dem Markt bereitgestellt werden darf, wenn es bei bestimmungsgemäßer oder vorhersehbarer Verwendung die Sicherheit und Gesundheit von Personen nicht gefährdet. Um den freien Warenverkehr in Europa sicherzustellen, sind die Anforderungen europäisch harmonisiert und in entsprechenden europäischen Verordnungen festgelegt, die verbindlich in nationales Recht umgesetzt werden müssen; in Deutschland durch das ProdSG. Zur Umsetzungsunterstützung hat die europäische Kommission sogenannte harmonisierte Normen bei CEN/CENELEC beauftragt, die bei Anwendung die Vermutungswirkung der Richtlinienerfüllung haben und die Basis für den Stand der Technik sind. Jeder Hersteller hat jedoch im Einzelfall zu prüfen, ob sie für sein Produkt zutreffen, um damit die Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen (Anhang I der jeweiligen Richtlinien) erfüllen. Beispielhaft sollen die Maschinen- und die Druckgeräteverordnung (Richtlinie) mit den Anforderungen an die Dichtheit der technischen Systeme betrachtet werden.

**9. ProdSV: Maschinenverordnung- Richtlinie 2006/42/EG (Maschinenrichtlinie)**

Der Hersteller einer Maschine hat in einer Risikoanalyse die von der Maschine ausgehenden Risiken unter Zugrundelegung des Anhang I mit den grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen zu ermitteln. Die Maschine muss dann unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Risikobeurteilung konstruiert und gebaut werden. Bei den iterativen Verfahren der Risikobeurteilung und Risikominderung hat der Hersteller den Stand der Technik umzusetzen.

Aus Sicht der Dichtsysteme sind folgende Forderungen für brennbare Medien (i.d.R. leichtflüchtige organische Verbindungen) des Anhang I von besonderer Bedeutung:

1.5.7. „Explosion: Die Maschine muss so konstruiert und gebaut sein, dass jedes Explosionsrisiko vermieden wird, das von der Maschine selbst oder von Gasen, Flüssigkeiten, Stäuben, Dämpfen und anderen von der Maschine freigesetzten oder verwendeten Stoffen ausgeht. Hinsichtlich des Explosionsrisikos, das sich aus dem Einsatz der Maschine in einer explosionsgefährdeten Umgebung ergibt, muss die Maschine den hierfür geltenden speziellen Gemeinschaftsrichtlinien entsprechen.“

Soll die Maschine in explosionsgefährdeten Bereichen eingesetzt werden, ist zusätzlich die ATEX Richtlinie 2014/34/EU (Vorgängerversion 94/9/EG) anzuwenden, unter Berücksichtigung des Explosionsschutzdokumentes nach GefStoffV. Je nach anzuwendender Philosophie kann dabei mit unterschiedlichen Dichtheitsklassen bzw. Sekundärmaßnahmen (Absaugung, Belüftung, usw.) gearbeitet werden.

1.5.13. „Emission gefährlicher Werkstoffe und Substanzen: Die Maschine muss so konstruiert und gebaut sein, dass das Risiko des Einatmens, des Verschluckens, des Kontaktes mit Haut, Augen und Schleimhäuten sowie des Eindringens von gefährlichen Werkstoffen und von der Maschine erzeugten Substanzen durch die Haut vermieden werden kann. Kann eine Gefährdung

nicht beseitigt werden, so muss die Maschine so ausgerüstet sein, dass gefährliche Werkstoffe und Substanzen aufgefangen, abgeführt, durch Sprühwasser ausgefällt, gefiltert oder durch ein anderes ebenso wirksames Verfahren behandelt werden können."

Zur Umsetzung dieser Forderung ergeben sich vielfältige technische Lösungen unter Einsatz unterschiedlichster Dichtungssysteme. Hinweise zur Umsetzung kann man dem „Leitfaden für die Anwendung der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG, 2. Auflage Juni 2010 entnehmen. Hilfreich können folgende Normen sein:

EN 626-1:1994+A1:2008 – „Sicherheit von Maschinen – Reduzierung des Gesundheitsrisikos durch Gefahrstoffe, die von Maschinen ausgehen – Teil 1: Grundsätze und Festlegungen für Maschinenhersteller".

EN 626-2:1996 +A1:2008 – „Sicherheit von Maschinen – Reduzierung des Gesundheitsrisikos durch Gefahr-stoffe, die von Maschinen ausgehen – Teil 2: Methodik beim Aufstellen von Überprüfungsverfahren".

Vorschläge zur konstruktiven Umsetzung sind bespielhaft aufgeführt in DIN EN ISO 12100-2 Sicherheit von Maschinen Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze Teil 2: Technische Leitsätze (ISO 12100¬2:2003)."

Da die Maschinen im Betrieb in den Geltungsbereich der BetrSichV und ggf. der GefStoffV fallen können, sind deren jeweilige Anforderungen ebenfalls zu berücksichtigen und ggf. ein Dichtheitsnachweis vor Inbetriebnahme zu erbringen. Fallen die Maschinen auch unter das BImSchG/TA Luft und oder WHG ergeben sich zusätzliche Anforderungen.

**14. ProdSV: Druckgeräteverordnung-Richtlinie 2014/68/EG Druckgeräterichtlinie**

Der Hersteller eines Druckgerätes hat in einer Risikoanalyse die mit seinem Gerät verbundenen druckbedingten Gefahren und Risiken zu ermitteln. Er muss das Gerät dann unter Berücksichtigung seiner Analyse auslegen und bauen. Die wesentlichen Sicherheits-anforderungen sind so zu interpretieren und anzuwenden, dass dem Stand der Technik und der Praxis zum Zeitpunkt der Konzeption und der Fertigung sowie den technischen und wirtschaftlichen Erwägungen Rechnung getragen wird. Die Umsetzung muss ein hohes Maß des Schutzes von Gesundheit und Sicherheit gewährleisten.

Druckgeräte sind so auszulegen, herzustellen, zu überprüfen und ggf. auszurüsten und zu installieren, dass ihre Sicherheit gewährleistet ist, wenn sie im Einklang mit der Betriebsanleitung des Herstellers oder unter nach vernünftigem Ermessen vorhersehbaren Bedingungen in Betrieb genommen werden.

Der Anhang I mit den grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen enthält explizit keine speziellen Formulierungen zur Dichtheit des Druckgerätes an nicht geschweißten Verbindungen. Der Schwerpunkt liegt auf der Druckfestigkeit, die natürlich auch die Dichtungssysteme des Druckgerätes erfüllen müssen.

Die harmonisierten EN Normen zur Druckgeräterichtlinie (DGRL), EN 13455 für Druckbehälter und EN 13480 für industrielle Rohrleitungen, lassen mehrere Verfahren zur Flanschauslegung zu, wobei nur mit dem Verfahren nach EN 1591-1 „Regeln für die Auslegung von Flanschver-bindungen mit runden Flanschen und Dichtung-Teil 1: Berechnung" neben dem Nachweis der Festigkeit auch ein Dichtheitsnachweis zu einer festzulegenden Dichtheitsklasse möglich ist. Das Verfahren nach EN 1591-1 wird nicht grundsätzlich gefordert, sondern dem Anwender empfohlen, wenn besondere Dichtheitsanforderungen zu erfüllen sind. Die anderen zugelassenen Berechnungsverfahren z.B. nach der Taylor Forge Methode oder AD 2000 B7/B8 erlauben nur die Festigkeitsauslegung.

Zur Montage und zur Dichtheit bei der Druckfestigkeitsprüfung macht die Richtlinie keine Vorgaben. Die Norm DIN EN 1591 Teil 4: „Qualifizierung der Befähigung von Personal zur Montage von Schraubverbindungen in druckbeaufschlagten Systemen im kritischen Einsatz“ ist keine harmonisierte Norm zur Druckgeräterichtlinie. Die Anwendung obliegt der freien Entscheidung eines Herstellers bzw. Betreibers von Druckgeräten und kann ein Element zur Qualitätssicherung im Rahmen des Dichtheitsnachweises zur Gefahrstoff- bzw. Betriebssicherheitsverordnung sein. Ob es sich bei dem betrachteten druckbeaufschlagten System um ein System im kritischen Einsatz handelt, legt der Betreiber in eigener Verantwortung fest.

Da die Druckgeräte in den Geltungsbereich der BetrSichV und ggf. der GefStoffV fallen können, sind deren jeweilige Anforderungen im Betrieb ebenfalls zu berücksichtigen. Ggf. ist ein Dichtheitsnachweis vor Inbetriebnahme zu erbringen. Fallen die Druckgeräte auch unter das BImSchG/TA Luft und oder WHG, ergeben sich ggf. zusätzliche Anforderungen.

**Umweltschutz**

Mit der Umsetzung der bisher beschriebenen Anforderungen ergibt sich eine technische Einrichtung/Anlage, die sicher betrieben werden kann und bezüglich Arbeitsschutz und Anlagensicherheit genehmigungsfähig ist. Die umgesetzten Anforderungen beruhen auf dem Schutzprinzip, das erfüllt ist, wenn z.B. die Arbeitsplatzgrenzwerte (AGW) eingehalten werden und eine explosible Atmosphäre nie 25 % der unteren Explosionsgrenze überschreitet. Zudem muss die mechanische Integrität der Anlage über die Lebensdauer gewährleistet sein.

Der anlagenbezogene Umweltschutz und das Umweltrecht orientieren sich am Vorsorgeprinzip. Ziel ist es, ein hohes Schutzniveau für die Umwelt insgesamt zu erreichen. Die Grundsätze des anlagenbezogenen Umweltschutzes werden heute europäisch festgelegt, der nationale Gesetzgeber hat aber das Recht der Verschärfung. Die zentrale europäische Regelung ist die Industrieemissionsrichtlinie (IE) 2010/75/EU (IPPC-integrated pollution prevention and control), die in nationales Recht umgesetzt werden muss.

Die IE-Richtlinie setzt dabei auf das Konzept der besten verfügbaren Techniken (BVT), diese entsprechen dem in Deutschland traditionell verwendeten Konzept des Standes der Technik.

BVT-Merkblätter enthalten im Abschnitt 5. BEST AVAILABLE TECHNIQUES (BAT) CONCLUSIONS. Diese werden von der europäischen Kommission als Durchführungsbeschlüsse veröffentlicht und müssen innerhalb von vier Jahren in neue und bestehende Anlagen umgesetzt werden. BVT-Merkblätter enthalten i.d.R. keine verbindlichen Grenzwerte. Die BVT-Schlussfolgerungen sind bei der Festlegung der Genehmigungs-anforderungen zu berücksichtigen.

Das für die Dichtungspraxis relevanteste BVT-Merkblatt ist das BVT-Merkblatt-„CWW Abwasser-/ Abgasbehandlung und Abwasser-/Abgasmanagementsysteme in der chemischen Industrie“. Im Teil über diffuse VOC-Emissionen (BVT 19) werden zur Vermeidung und Verringerung diffuser VOC-Emissionen zwei Strategien vorgestellt (vgl. auch Bild 27):

1. Vorgehen wie nach VDI 2290 beschrieben (BVT 19 e und f), also Einsatz hoher technischer Standards, qualifizierter Montage, ohne Messungen der Emissionen in den Anlagen.
2. Leak Detection and Repair (BVT 19 h), d.h. Ermittlung der Objekte in der Anlage mit zu hohen Emissionen und Reparatur bei der nächsten Abstellung.

Grenzwerte in Form von Dichtheitsklassen werden grundsätzlich nicht vorgegeben. Ein Managementsystem zum Monitoring diffuser Emissionen wird gefordert.

In vielen weiteren BVT-Merkblättern werden qualitative Hinweise zur Ausführung und Bewertung von Dichtelementen gegeben. Sie sind Basis für die nationale Genehmigungspraxis und die Beurteilung des Standes der Technik.

**Bundes-Immissionsschutzgesetz, TA Luft**

Bedingt durch Änderungen im Europäischen Gesetzgebungsrahmen müssen entsprechende nationale Gesetze, Verordnungen und das untergesetzliche Regelwerk angepasst werden. Z.Z. steht z.B. eine Überarbeitung der TA Luft an.

Die TA Luft als Verwaltungsvorschrift zum BImSchG gilt streng genommen nur für genehmigungsbedürftige Anlagen und enthält u.a. Anforderungen an gefasste Emissionsquellen und diffuse Emissionen. Für die Bewertung von Dichtungssystemen sind die diffusen Emissionen aufgrund z.B. einer vorgegebenen einzuhaltenden Dichtheitsklasse von Bedeutung. Die TA Luft gibt im Kapitell 5.2.6 den stofflichen Geltungsbereich vor und definiert die Anforderungen an Pumpen in 5.2.6.1, die an Verdichter in 5.2.6.2, an Flanschbedingungen in 5.2.6.3 und an Absperrorgane in 5.2.6.4.

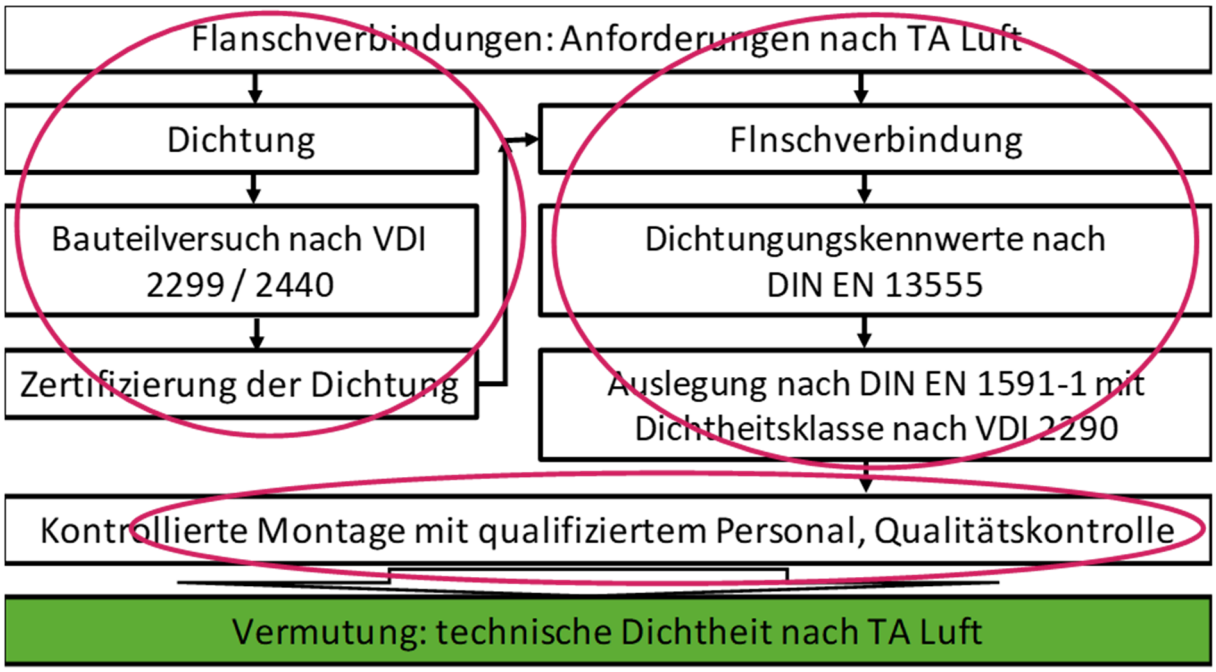
Die TA Luft verweist auf zahlreiche DIN-Normen und VDI-Richtlinien, erarbeitet von der Kommission der Reinhaltung der Luft im VDI und DIN (KRdL).

Dichtungen für Flanschverbindungen müssen z.Z. noch einen Bauteilversuch nach VDI-Richtlinie 2440 bzw. VDI 2200 mit einer spezifischen Leckagerate von 10–5 kPa·l/(s·m) bestanden haben. Die Dichtheit von Dichtsysteme von Absperrorgane gilt als nachgewiesen, wenn sie im Nachweisverfahren entsprechend Richtlinie VDI 2440 (Ausgabe November 2000) die temperatur-spezifischen Leckageraten eingehalten haben.

Der Bauteilversuch ist in VDI 2440 „Emissionsminderung Mineralölraffinerien“ und in VDI 2200 „Dichte Flanschverbindungen, Auswahl, Auslegung, Gestaltung und Montage von verschraubten Flanschverbindungen“ beschrieben. VDI 2200 gibt einen umfassenden Überblick über die Auswahl der Bauteile, Berechnung, Montage und die Qualitätssicherung von Flanschverbindungen im Krafthaupt- und Nebenschluss. Die besondere Bedeutung der Montage wird herausgestellt.

Die VDI 2290, vgl. Abbildung 21: „Kennwerte dichter Flanschverbindungen“ fasst die Vorgaben zusammen und präzisiert diese durch Definition einer einzuhaltenden Dichtheitsklasse von L0,01 mit einer spezifischen Leckagerate von ≤ 0,01 mg·s-1·m-1 für das Prüfmedium Helium. Die zulässigen Spannungen der Bauteile sind auszuschöpfen; das Minimierungsgebot für Stoffe der Nr. 5.2.7 der TA Luft ist zu beachten.

**Abbildung 21: Bisherige Vorgehensweise zur Erfüllung der Anforderungen der VDI 2290**




Quelle: eigene Darstellung

Zusammenfassend gibt die VDI 2290 folgende Vorgaben:

- Geltungsbereich:
  - Flüssige und gasförmige Medien nach 5.2.6 (5.2.7) TA Luft,
  - Alle Metallflansche (Stahl, Gusseisen, Kupfer, Aluminium) bis 400 °C
  - Flanschverbindungen in Rohrleitungen, an Apparaten, Armaturen, Maschinen
  - Alle Industriezweige
- Berechnung nach EN 1591-1, mit Dichtungskennwerten nach EN 13555
- Nachweis einer Dichtheitsklasse L0,01 nach VDI 2290
- Auswahl einer Dichtung mit Bauteilversuch nach VDI 2440 oder VDI 2200
- Ermittlung von Anzugsmomenten
- Vorgabe einer Montagerichtlinie
- Vorgaben zur Qualitätssicherung und Dokumentation
- Einsatz von sachkundigem Montagepersonal
- Umsetzung in einem Managementsystem

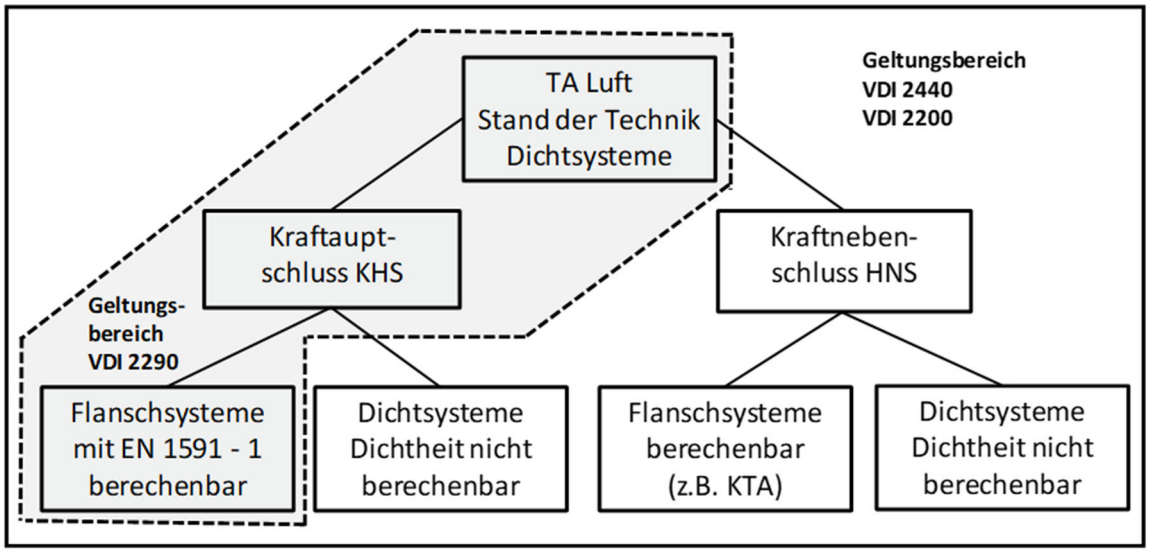
Das BImSchG/TA Luft fordert mit dem Bauteilversuch einen Nachweis für qualitative Eigenschaften des Dichtelementes Flachdichtung unter Standardbedingungen. Die Vorgehensweise mit einem Bauteilversuch kann ebenso auf andere Dichtelemente wie z.B. O-Ringe oder andere

Dichtsysteme wie Clamp-Verbindungen, Milchrohrverschraubungen oder KNS-Verbindungen angewendet werden.

Mit der Vorgehensweise nach VDI 2290 wird eine Vorgehensweise implementiert, die sich von der Vorgabe bestimmter Technologien des Dichtsystems löst und diese durch eine Berechnungsmethode zum Festigkeits- und Dichtheitsnachweis ersetzt. Dies gelingt nur, weil für die Dichtelemente entsprechende Dichtungskennwerte vorliegen, die auf die Berechnungsmethode abgestimmt sind. Die Berechnung der Anzugsmomente, die für das Erreichen der Dichtheitsklasse erforderlich sind, verbunden mit einer hochwertigen Montagetechnologie, qualifiziertem Personal und einer Qualitätssicherung garantieren die technische Dichtheit nach TA Luft. Die von der GefStoffV und der BetrSichV geforderten Dichtheitsnachweise sind dann noch ein zusätzliches Element der Qualitätssicherung.

**Besonders hervorzuheben ist, dass die mit der VDI 2290 eingeführte Vorgehensweise allen Vorgehensweisen wie z.B. in der GefStoffV, BetrSichV, DGRL gefordert überlegen ist und deren Anforderungen vollumfänglich beinhaltet. Die Umsetzung dieser Vorgehensweise führt ggf. zu einer „Übererfüllung" bestimmter rechtsgebietsspezifischer Anforderungen, erlaubt dafür aber eine erheblich einfachere Dokumentation und vermeidet Nachweise zur Verwechselung. Durch die Reduzierung der Komplexität in der praktischen Umsetzung wird eine Anhebung des Qualitätsniveaus erreicht, d.h. beispielsweise weniger Undichtigkeiten bei Inbetriebnahmen als auch im Betrieb.**

**Abbildung 22: Geltungsbereiche der VDI 2440, VDI 2200 und VDI 2290**




Quelle: eigene Darstellung

Soweit Dichtsysteme nicht vollständig von der VDI 2290 erfasst werden, sollte die VDI 2290 sinngemäß so weit wie möglich auf diese Dichtsysteme angewendet werden. Die Zuordnung der Geltungsbereiche der VDI-Richtlinien ist Bild 23 zu entnehmen.

Da für diese Dichtsysteme keine eindeutigen objektiven Vorgaben zur Beurteilung der Dichtheit des Dichtsystems vorliegen, ist die Eignung jeweils im Einzelfall für den Einsatz in TA Luft Anlagen mit den Genehmigungsbehörden abzuklären. Im einfachsten Fall wird im Krafthauptschluss eine Dichtung mit TA Luft Zertifikat nach VDI 2440/2200 ausgewählt und nach den Vorgaben der BetrSichV montiert.

**Wasserhaushaltsgesetz**

Alle Anlagen, die wassergefährdende Stoffe beinhalten, unterliegen den Anforderungen des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG). Die Anlagen werden in LAU-Anlagen (Anlagen zum Lagern, Abfüllen und Umschlagen) bzw. HBV-Anlagen (Anlagen zum Herstellen, Behandeln und Verwenden) und Rohrleitungen unterteilt und können aus den unterschiedlichsten technischen Einrichtungen bestehen. Bei allen Anlagen muss sichergestellt sein, dass es in keinem Fall zu einer Kontamination des Bodens kommt.

Sind aber z.B. Rohrleitungen außerhalb der Tasse oberirdisch geführt, werden an die Dichtheit der Flanschverbindungen und Armaturen besondere Anforderungen gestellt. Die mechanische Integrität kann über die Anforderungen der Maschinen- bzw. Druckgeräterichtlinie abgedeckt werden. Die neue TRwS 780-1 (Mai 2018) (ATV-DVWK-A-780-1 Oberirdische Rohrleitungen - Teil 1: Rohrleitungen aus metallischen Werkstoffen) fordert nicht mehr, dass eine Dichtung nicht aus dem Sitz gedrückt werden kann. Dies ist i.d.R. immer ausgeschlossen, wenn das Dichtsystem hochwertig montiert wurde und eine ausreichende Flächenpressung auf der Dichtung im Betrieb vorhanden ist. Bei Armaturen findet sich noch die Forderung „Armaturen sind technisch dicht, wenn konstruktionsbedingt die Dichtungen nicht aus dem Gehäuse herausgedrückt werden können und zur Verhinderung von Leckagen regelmäßige Wartungsmaßnahmen durchgeführt werden."

Die Technischen Regeln TRwS zum WHG werden von der ATV Abwassertechnischen Vereinigung und DVWK Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau herausgegeben. Beispielhaft sollen die Anforderungen an Dichtsysteme in oberirdischen Rohrleitungen vorgestellt werden. Die ATV-DVWK- A 780 Teil 1 (TRwS 780-1) unterscheidet wie folgt:

**Flanschverbindungen**

**Technisch dauerhaft dichte Verbindungen**

Aufzählung bestimmter technologischer Lösungen vergleichbar der Tabelle aus der TRGS 722 (identisch mit TRBS 2152-2)

Flanschverbindungen gemäß TA Luft mit einem rechnerischen Dichtheitsnachweis nach DIN EN 1591-1 und Montage nach VDI 2290.

**Technisch dichte Verbindungen**

Bei technisch dichten Verbindungen sind seltene Freisetzungen zu erwarten. Diese Verbindungen erfordern regelmäßige Überprüfung und Wartung nach einem Instandhaltungsplan. Siehe auch Bild 21 mit der Tabelle aus der TRGS 722.

Sollten Leckagen zu befürchten sein, müssen diese ggf. abgeführt werden müssen.

**Armaturen**

**Technisch dauerhaft dichte Armaturen**

Technisch dauerhaft dichte Armaturen sind solche, bei denen Tropfleckagen/ Leckagen durch besondere technische Vorkehrungen ausgeschlossen sind.

**Armaturen gemäß TA Luft**

**Technisch dichte Armaturen**

Armaturen sind technisch dicht, wenn konstruktionsbedingt die Dichtungen nicht aus dem Gehäuse herausgedrückt werden können und zur Verhinderung von Leckagen regelmäßige Wartungsmaßnahmen durchgeführt werden. Technisch dichte Armaturen sind z. B. Armaturen mit Stopfbuchse, nach DIN 3356 Teil 1, die nach einem Instandhaltungsplan gewartet und auf Dichtheit kontrolliert werden.

Tätigkeiten in LAU- und HBV- Anlagen und an Rohrleitungen erfordern eine Fachbetriebszulassung.

Wassergefährdende Medien können als organische Flüssigkeiten auch TA Luft-relevante Medien sein. **Die Anforderungen des WHG und der AwSV sind für diese Medien erfüllt, wenn die in der TA Luft geregelten Anforderungen erfüllt werden** (TRwS 780-1, 2.1.2.1 Technisch dauerhaft dichte Verbindungen).

**Energiewirtschaftsgesetz**

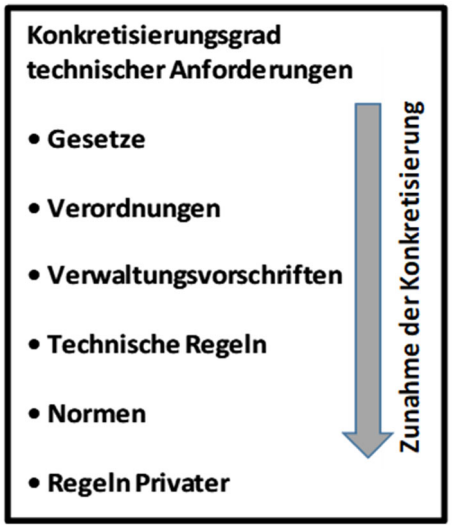
Die öffentliche Gasversorgung fällt anders als industrielle Erdgasnetze nicht unter das BImSchG sondern das Energiewirtschaftsgesetz. Das EnWG fordert nicht die Einhaltung des Standes der Technik, sondern nur der Regeln der Technik. Die Technischen Regeln werden vom DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches) verantwortet. Für die technischen Grundanforderungen bezüglich Sicherheit und Gesundheitsschutz gelten auch hier die Anforderungen des ProdSG mit der Druckgeräteverordnung und z.B. der 7. ProdSV: Gasverbrauchseinrichtungsverordnung (EG-Richtlinie 2009/142/EG (Richtlinie für Gasverbrauchseinrichtungen). Die Anforderungen der GefStoffV bezüglich des Ex-Schutzes sind einzuhalten, sowie mit Ausnahmen die Vorgaben der BetrSichV.

Im Sinne der BetrSichV sind überwachungsbedürftige Anlagen solche nach § 2 Nummer 30 des ProdSG, soweit sie in Anhang 2 genannt sind. Demnach gehören die druckführenden Rohrleitungen und Anlagen der öffentlichen Gasversorgung nicht zu den überwachungsbedürftigen Anlagen, da sie zu den Energieanlagen nach EnWG zählen, für die die Anforderungen an die technische Sicherheit, die Prüfungen und die Aufsicht durch Behörden im EnWG und seinen Verordnungen festgelegt sind.

**Normative Vorgaben zum Stand der Technik**

Normung bezeichnet die Formulierung, Herausgabe und Anwendung von Regeln, Leitlinien oder Merkmalen durch eine anerkannte Organisation und deren Normengremien. Sie sollen auf den gesicherten Ergebnissen von Wissenschaft, Technik und Erfahrung basieren und auf die Förderung optimaler Vorteile für die Gesellschaft abzielen. Die Festlegungen werden mit Konsens erstellt und von einer anerkannten Institution angenommen (EN 45020:2007-03 Normung und damit zusammenhängende Tätigkeiten – Allgemeine Begriffe).

**Abbildung 23: Konkretisierungsgrad technischer Anforderungen**




Quelle: eigene Darstellung

Die Normung hat für das tägliche Leben und die Funktionsfähigkeit der Wirtschaft eine große Bedeutung. Im Normungsverfahren erstellte Regeln informieren zusätzlich über den Stand der Technik des jeweiligen Gegenstandes oder Fachgebietes. Wer Normen anwendet, folgt Empfehlungen, die von Kreisen der Fachwelt aufgestellt wurden. Ihr Zustandekommen und ihre Anwendung qualifiziert sie als anerkannte Regeln der Technik, vgl. Abbildung 23.

Gemeinsame Normen und Standards erlauben den freien Handel von Waren und Dienstleistungen ohne zusätzliche Anpassungskosten. Normung fördert die Rationalisierung und Qualitätssicherung in Wirtschaft, Technik, Wissenschaft und Verwaltung. Die Normung stellt ein klassisches industriepolitisches Feld dar. Bezogen auf die Wirtschaft unterstützen Normung und Standardisierung insbesondere die Freizügigkeit der Märkte und die Innovationsfähigkeit der Unternehmen. Normung trägt dazu bei, dass sich technisches Wissen und Innovationen schneller verbreiten. Dazu wird die Wettbewerbs- und Konkurrenzfähigkeit der Unternehmen gestärkt.

Normen haben kraft Entstehung, Trägerschaft, Inhalt und Anwendungsbereich den Charakter von Empfehlungen. Sie haben keine rechtliche Verbindlichkeit; ihre Beachtung steht jedermann frei. Normen können durch Rechts- und Verwaltungsvorschriften eines Gesetz- oder Verordnungsgebers oder durch Verträge, in denen ihre Einhaltung vereinbart wurde, verbindlich werden. Sie dienen häufig der Ausfüllung unbestimmter Rechtsbegriffe (zum Beispiel des Begriffs "Stand der Technik") und erlangen dadurch rechtliche Bedeutung. (Quelle: Wikipedia)

Im Rahmen der europäischen Gesetzgebung zur Produktsicherheit haben Normen insoweit eine besondere Qualität, wenn sie als harmonisierte Norm zu einer entsprechenden Richtlinie beauftragt und veröffentlicht worden ist. Im Rahmen des Konformitätsbewertungsprozesses kann auf diese Norm verwiesen werden, ansonsten muss bei Nichtanwendung ggf. aufwendig nachgewiesen werden, dass die Anforderungen der Richtlinie erfüllt werden. Bei Anwendung harmonisierter Normen besteht dann die Vermutungswirkung der Richtlinienerfüllung.

Werden Normen in Technischen Regeln zu einer Verordnung explizit genannt, sind diese auch anzuwenden oder die Gleichwertigkeit einer anderen Vorgehensweise muss nachgewiesen werden.

Der Schwerpunkt der Normungsarbeit war und ist sicher die Erstellung und Überarbeitung von Normen zu:

- Regelungen zur Begrifflichkeit und Kennzeichnung
- Abmessungen und Toleranzen
- Anforderungen an Werkstoff
- Definition von Prüfkriterien und Prüfverfahren
- Definition von technischen Lieferbedingungen
- Anforderungen an Lagerung, Reinigung und Wartung
- Definition von Berechnungsverfahren und Kennwerten

Ein sehr hilfreiches Tool stellt die Kommission Arbeitsschutz und Normung zur Recherche von Normen-NoRA-Normenrecherche Arbeitsschutz zur Verfügung.[2]

**Vergleichende Darstellung zu Dichtheitsdefinitionen**

Abbildung 24 zeigt vergleichend über ausgewählte Rechtsbereiche die in unterschiedlichen technischen Regeln verwendeten Begrifflichkeiten zu organischen Vorgaben, zur Beschreibung und Definition der Anforderungen an die Dichtheit für die jeweils in Bezug genommenen Dichtsysteme.

Die Kriterien 1–18 leiten sich aus den technischen Regeln zur Erfüllung der Anforderungen aus der GefStoffV, der BetrSichV und weiteren in dem Umfeld einzuordnenden Rechtsbereichen ab, zur Gewährleistung von Anlagensicherheit, Arbeits- und Gesundheitsschutz. Sie basieren alle auf einer bewerteten Technologieauswahl, die sich mehr aus subjektiven Kriterien als aus objektiven Emissionsmessungen abgeleiteten Kriterien begründen. Das hat sicherlich historische Gründe.

Die Kriterien 19–23 beziehen sich auf technische Regeln und die TA Luft aus dem Geltungsbereich des BImSchG. Hier sind Ansätze enthalten, wie der Bauteilversuch zum Nachweis der Hochwertigkeit einer Dichtung oder die Vorgehensweise der Leckageklassen-abhängigen Dichtungskennwerte, die eine quantitative Bewertung der Dichtheit einer Dichtverbindung erlaubt.

Beiden Bereichen ist gemeinsam, dass sie sich nur auf die klassischen Flanschsysteme beschränken, die unter anderem z.B. in der DIN EN 1092 genormt sind. Für Dichtsysteme, die in diese Systematik nicht hineinpassen, gibt es keine allgemein gültigen Regeln zum Nachweis der Systemdichtigkeit. Betreiber und genehmigende Behörde müssen in diesen Fällen gemeinsam eine rechtsgebietskonforme Lösung erarbeiten.

Besonders auffällig ist, dass für alle nicht rechenbaren Flanschverbindungen und insbesondere für die Verbindungen im Kraftnebenschluss dieser Mangel auftritt. Das zeigt die Heterogenität der Anforderungen. Bei dem Zwang gleichzeitig Anforderungen aus mehreren Rechtsgebieten zu erfüllen, muss sich der Betreiber an den „hochwertigsten“ orientieren. Die technische Lösung ist jedoch in vielen Fällen identisch.

Beispielsweise empfiehlt die GefStoffV für betriebsmäßig zu öffnende Flansche aufgrund der Verkantungsgefahr möglichst Verbindungen einzusetzen, die nicht mit Nut und Feder ausgerüstet sind (TRGS 500 Nr. 6.2 (3), (4)). Im Gegensatz dazu empfiehlt die TRGS 722 zum Explosionsschutz die Verwendung von Nut-Feder-Flanschverbindung. Solche Widersprüche gilt es aufzulösen.

Alle relevanten BVT-Merkblätter, vgl. Tabelle 5, enthalten Vorgaben zur Minimierung von VOC, fugitive oder diffuse Emissionen, über den ganzen Lebenslauf der Anlagen. Das startet mit Vorgaben zur Planung, der Montage und zum Betrieb der Anlage. Die Vorgaben beinhalten ein EMS „Environmental Management System“ mit Monitoring der VOC-Emissionen. Ein Ansatz, den Aufwand für ein Monitoring System, wie z.B. LDAR, das in allen BVT-Merkblättern erwähnt wird, zu verringern, ist der Einsatz sehr hochwertiger dichter Verbindungselemente.

Die Einträge in Abbildung 24 und Abbildung 25 sind folgendermaßen zu lesen:

- **x** im Text genannt

[2] NoRA ist in Zusammenarbeit der KAN und der DIN Software entwickelt worden und steht den Nutzern in Deutsch und Englisch zu Verfügung. Die Datenbank enthält Informationen zu etwa 13.500 Normen. NoRA ist für jedermann kostenfrei nutzbar. (https://nora.kan-praxis.de/)

- **(x)** sinngemäß aufgeführt
- **xx** alternative Möglichkeit
- ***** Überwachungsmaßnahmen zusätzlich erforderlich
- **o** Flanschverbindungen, wenn nicht nur selten gelöst
- **b** Bevorzugt eingesetzt

**Abbildung 24: Anforderungen an den Nachweis der Dichtheit einer Dichtverbindung in unterschiedlichen technischen nationalen Regeln.**

| Kriterien für Dichtsysteme / Technische Regeln | GefStoffV, BetrSichV Bereich: Konstruktion auf Dauer technisch dicht | oder: technische Dichtheit durch Installation und Wartung | Dichtheitsüberwachung Dichtheitsprüfung | Flansch Schweissklippendichtung | Flansch Nut und Feder | Flansch Vor- und Rücksprung | Flansch V-Nuten / V-Nutdichtg. | Flansch - glatte-Dichtleiste: Werkstoff-/ geeignete Dichtungen | Flansch - glatte-Dichtleiste: metallinnenrandgefasste Dichtung | Flansch - glatte-Dichtleiste: metallummantelte Dichtung | Spiraldichtungen - Kammprofildichtungen | metallisch Dichtende Verbindung | Schneid- und Klemmring | NPT Verbindungen | keine Anzeige bei Dichtheitsprüfung | Stäube: einfache Flanschverb. clamp-Verschlüsse | Fl. glatte-Dichtleistel: keine bes. Anforderg an Dichtg | Fl. nach 4 - 13, wenn **selten** geöffnet | Fl. nach 4 - 13, wenn **öfter** geöffnet | BImSchG Bereich: Dichtung TA-Luft Zertifikat 10-4 mbar * l/(s*m) | Dichtungskennwerte nach DIN 28090 / DIN EN 13555 | Berechnung nach en 1591-1 | Hochwertige Montage | Ausblassicherheit | Kraftnebenschluss |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **BGV B6 (UVV 61) Gase (1995) § 12** | x | x | x | x | x | x | x | <= PN25 | x | x | | x | x | DN 50 | | | | | | | | | | | |
| - auf Dauer techn. dicht | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - technisch dicht | x | x | x | | | | | | | | | | | | x | | | | | | | | | | |
| **TRBS 2152-Teil 2 / TRGS 722 (2.4.3)** **TRBS 2141-Teil 3** | x | x | x | x | x | x | x | <= PN25 | x | x | | <= DN 32 | x | | | x | | | | | | | | | |
| - auf Dauer technisch dicht | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - Technich Dicht | | | | o | o | o | o | o | | o | | o | o | o | x | | x | | x | | | | | | |
| **TRBS 3146 / TRGS 746** ortsfeste Druckanlagen für Gase | Vorgaben orientieren sich an TRBS 2152 - Explosionsschutz und TRGS 500 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TRBS 3151 / TRGS 752 Tankstellen | Vorgaben orientieren sich an TRBS 2152 - Explosionsschutz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **TRGS 500 Schutzmaßnahmen** | | | x | 0,25 | 0,25* | 0,25* | 0,25* | | | | | | 0,25* | 0,25 * | | | | | | | | | | | |
| - Verfahrensindex <= 0,5 Dichtheit gewährleistet * mit Überwachung | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **TRwS 780 - 1: Rohrleitung Metall** | x | | | x | x | x | x | x | x | x | x | Linse/ Ring Joint | | | | | | | | | xx | xx | | x | |
| - Technisch dauerhaft dichte V. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - Technisch dichte Verbindung | | x | x | | | | | | | | | | <= DN32 | | | | x | | | | | | | x | |
| **TRwS 780 - 2: Rohrleitung Polymer** | Bauart A: wenn nach HP 110 R oder HP 120 R mit speziellen Dichtungen oder Beurteilung durch Sachverständigen nach WHG | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **TA-Luft (2002)** **- 5.2.6.3 Flanschverbindungen** | | | | | | | | | | | | | | | | | | | VDI 2440 | x | | | | | |
| **VDI 2440** | x | x | (x) | | b | b | | b | b | b | b | Ring Joint | | | | | | | x | x | | (x) | | | |
| **VDI 2200** | x | (x) | (x) | | | | | | | | | | | | | | | | X | x | x | x | x | (x) | |
| **VDI 2290** | x | (x) | (x) | | | | | | | | | | | | | | | | (x) | x | L0,01 | x | | | |
| **DVGW** | je nach Druckstufe z.B. bei 150 mbar, max. Leckage 1 l / h / bei höheren Drücken teilweise Anlehnung an TRBS 2152 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| **VDMA 24020-3: Kälteanlagen** | Vorgaben orientieren sich an TRBS 2152 - Explosionsschutz | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Quelle: eigene Darstellung

**Abbildung 25: Anforderungen an die Behandlung diffuser Emissionen (VOC) in verschiedenen BVT-Merkblättern**

**VOC:**
Flüchtige organische Verbindungen im Sinne von Artikel 3 Nr. 45 der RL 2010/75/EU
**Diffuse VOC Emissionen:**
nicht gefasste VOC-Emissionen, die aus "Flächen"-Quellen (Behälter) oder "Punkt"-Quellen (Rohrflansche) stammen können
**Diffuse VOC-Emissionen aus Punktquellen:**
Difffuse Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen aus Punktquellen

| BVT Merkblätter | Kriterien für diffuse Emissionen | | | | | | | | | | | | | Schlussfolgerungen | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | VOC (volatile organic compounds) | NMVOC (non Methan volatile organic compounds) | EMS Enviromental Management Systems | Monitoring diffuse VOC emissions | Recovery / abatement techniques for VOC | techniques to prevent/ reduce diffuse emissions: plant design plant operation | "VDI 2290" Methode | LDAR leak detection and repair | Calculating amount of VOC | Description of Techniques diffuse VOC emissions | Waste gas treatment techniques | Verweis auf cww BREF | TA Luft zitiert | Definition VOC Art. 3 Nr. 45 201075 | Umweltmanagementsystem | Überwachung | Emissionen in Luft | Beschreibung von Techniken |
| Abwasser- und Abgasbehandlung/ -management in der chemischen Industrie (cww 2016) | X | X | X | X | X | x | | | | x | x | | | | | | | |
| CWW Schlussfolgerungen (30.5.2016) | | | | | | | | | | | | | | X | X | BVT 5 (*1) | BVT 19 (*2) | 6.2 |
| Herstellung organischer Feinchemikalien (2005) | X | X | X | X | X | x | | | X | x | x | | x | | | | | |
| Schlussfolgerungen Herstellung Org. Feinchemiekalien | | | | | | | | | | | | | | liegt noch nicht vor | | | | |
| LVOC - Herstellung organischer Grundchemikalien (2017) | X | | X | X | X | X | | X | X | X | X | X | X | | | | | |
| LVOC - Schlussfolgerungen (30.11.2017) | | | | | | | | | | | | | | X | X | Verweis auf CWW BREF | | |
| Herstellung von Polymeren (2007) | X | | X | X | X | X | | X | X | X | | x | | | | | | |
| Schlussfolgerungen Herstellung von Polymeren | | | | | | | | | | | | | | liegt noch nicht vor | | | | |
| Raffinieren von Mineralöl und Gas (2015) | X | X | X | X | X | X | | X | X | X | X | X | | | | | | |
| Schlussfolgerungen Raffinieren von Mineralöl und Gas (9.10.14) | | | | | | | | | | | | | | X | X | BVT 6 (*1) | BVT 18 (*2) | 1.20 |

(*1) Inhaltlich starke Übereinstimmung; Anforderungen zur Überwachung
(*2) Inhaltlich starke Übereinstimmung; Anforderungen zu Planung, Montage und Anlagenbetrieb

Quelle: eigene Darstellung

**Abbildung 26: CWW BVT-Merkblatt (2016) BAT 19: anzuwendende Techniken zur Vermeidung oder Reduzierung diffuser VOC-Emissionen.**

**BAT 19. In order to prevent or, where that is not practicable, to reduce diffuse VOC emissions to air, BAT is to use a combination of the techniques given below.**

| | Technique | Applicability |
|---|---|---|
| *Techniques related to plant design* | | |
| a | Limit the number of potential emission sources | Applicability may be restricted in the case of existing plants due to operability requirements. |
| b | Maximise process-inherent containment features | |
| c | Select high-integrity equipment (see the description in Section 4.6.2) | |
| d | Facilitate maintenance activities by ensuring access to potentially leaky equipment | |
| *Techniques related to plant/equipment construction, assembly and commissioning* | | |
| e | Ensure well-defined and comprehensive procedures for plant/equipment construction and assembly. This includes using the designed gasket stress for flanged joint assembly (see the description in Section 4.6.2) | Generally applicable. |
| f | Ensure robust plant/equipment commissioning and handover procedures in line with the design requirements | |
| *Techniques related to plant operation* | | |
| g | Ensure good maintenance and timely replacement of equipment | Generally applicable. |
| h | Use a risk-based leak detection and repair (LDAR) programme (see the description in Section 4.6.2) | |
| i | As far as it is reasonable, prevent diffuse VOC emissions, collect them at source, and treat them | |

The associated monitoring is in BAT 5.

Quelle: CWW BVT-Merkblatt (2016) BAT 19

Abbildung 27 zeigt exemplarisch eine in den Durchführungsbeschlüssen aufgeführte Vorgabe zur Reduzierung von diffusen Emissionen von Flanschverbindungen.

In allen sektoralen BVT-Merkblättern gibt es keine Vorgaben, welche Konstruktionen „hochwertig“ sind, oder wie das Verbindungssystem/Flanschverbindung als dicht im Sinne der Industrieemissionsrichtlinie nachgewiesen werden kann. In keinem Merkblatt gibt es quantitative Vorgaben zur erlaubten Emission von diffusen VOC-Emissionen.

In dem horizontalen BVT-Merkblatt zur Abwasser- und Abgasbehandlung in der chemischen Industrie (CWW BVT-Merkblatt) wird auf den Einsatz von „high-integrity equipment“ verwiesen und die in der VDI 2290 sinngemäß beschriebene Vorgehensweise als ein Lösungsweg vorgestellt.

## A.4 Prüfbericht zum Bauteilversuch – Dokumentation und Vorgehensweise

Nachstehend wird beschrieben, welche Mindestinhalte ein Prüfbericht für einen Bauteilversuch, entsprechend der zweiten Säule aus Abbildung 10 enthalten muss und wie der Prüfablauf gestaltet sein kann.

Der letztendlich gültige Ablauf kann beispielsweise in einer überarbeiteten VDI 2290 festgelegt werden.

Die nachfolgenden Texte und Bilder des Abschnitts A.4 wurden redaktionell vorrangig von M. Reppien, Fa. Gaist GmbH, erstellt, in einem VCI Arbeitskreis zum Thema TA Luft inhaltlich diskutiert in dem auch die Verfasser dieses Forschungsberichts mitarbeiten.

**Mindestinhalte für einen Prüfbericht für den Bauteilversuch**

- Daten zur Identifikation Prüfungsverantwortlichen
  - Name, Anschrift des Auftraggebers
  - Name, Anschrift des Prüflabors
  - Datum der Prüfung
  - Gültigkeitsdauer Prüfbescheinigung (Sofern keine Änderung an den Systembauteilen stattfindet, gilt die Prüfbescheinigung unbefristet)
- Verbindungsausführung / Ausführung der Flanschverbindung
  - Bauteilspezifikationen; Werkstoffe, Abmessungen des Prüflings, KHS/KNS
  - Regelwerk / Norm
- Vorgegebene Anzugsmomente/Schraubenkraft
  - Ggf. Angaben zum Festigkeitsnachweis (Regelwerk / Norm)
  - Schraubenkraft, Anzugsmomente
  - Max. zulässige Betriebstemperatur
  - Max. zulässiger Betriebsdruck
- Dichtheitsnachweis
  - Prüfmedium
  - Aufbau der Prüfvorrichtung
  - Angaben zur Probenvorbereitung (Konditionierung der Dichtung)
  - Beschreibung der Messmethode (Massenspektrometrie, Druckabfallmethode etc.)
  - Ablauf der Versuchsdurchführung
  - Besondere Bedingungen z. B. Nachziehen in Abstimmung mit dem Auftraggeber
  - Nachgewiesene Leckagerate / Dichtheitsklasse
  - Angabe der Restflächenpressung und/oder Restschraubenkraft

**Bauteilversuch im Sinne der TA Luft:2018 und VDI 2290**

Randbedingungen/Festlegungen für den Nachweis anwendungsgerechter Flanschdichtungen auf nicht nach EN 1591-4 rechenbaren Flanschverbindungen im Sinne der TA Luft (neu) und VDI 2290.

**Vorbemerkung**

Der hier beschriebene Leckageversuch (Weiterentwicklung des Versuchs nach VDI 2200) ist ein Bauteilversuch zur Klassifizierung von Flanschverbindungen.

Gemäß der TA Luft (neu) ist das Leckagekriterium von $1 \cdot 10^{-2}$ mg/(s·m) einzuhalten.

Die Leckageprüfung nach Warmlagerung ist für alle Druck-Temperatur-Kombinationen abdeckend, die unterhalb der Prüfbedingungen liegen.

Für diese Flanschverbindungen ist ein Festigkeitsnachweis nach einschlägigen Normen erforderlich. Für den Dichtheitsnachweis ist nachfolgender Versuch anzuwenden.

**Dichtsystem**

Flanschpaar vorzugsweise DN 40 gemäß der entsprechenden Flanschnorm.

Eine für den Prüfflansch in Form und Dimension passende Dichtung.

Für den Prüfflansch passende Verspannungselemente.

**KHS: Dichtungspressung**

Bei Kraft-Hauptschlussverbindungen hängt die Dichtungspressung vom eingesetzten Dichtsystem ab. Dieser Wert ist unter Berücksichtigung der Festigkeit festzulegen.

**KNS: Vorverformung**

Bei Kraft-Hauptschlussverbindungen hängt die Dichtungspressung vom eingesetzten Dichtsystem ab. Dieser Wert ist unter Berücksichtigung der Festigkeit festzulegen.

**KHS: Montage**

Die Schraubenkraft ist entsprechend den Montagevorgaben aufzubringen. Die Montage hat kraftkontrolliert zu erfolgen, z.B. mit kraftkalibrierten Messschrauben oder kalibriertem Drehmomentschlüssel.

**KNS: Montage**

Das Erreichen der Blocklage des KNS ist sicherzustellen z. B. durch optische Kontrolle.

**Warmlagerung**

Warmlagerungstemperatur und Warmlagerungsdauer sind vom Dichtungs-, als auch Flanschwerkstoff abhängig und werden vom Auftraggeber festgelegt. Sie sollen die Betriebsbedingungen abdecken. Die Warmlagerungsdauer soll für alle Dichtungswerkstoffe mindestens 48 h inklusive Aufheizzeit betragen.

**Nachspannen**

Ein Nachspannen ist prinzipiell möglich und muss im Prüfbericht dokumentiert und in der Montageanweisung beschrieben werden.

**Prüfdruck**

Der Prüfdruck ist abdeckend zu wählen. Das Leckageratenkriterium ist auf $1 \cdot 10^{-2}$mg/(s·m) (Helium oder andere geeignete Prüfmedien wie z.B. Methan) festgelegt.

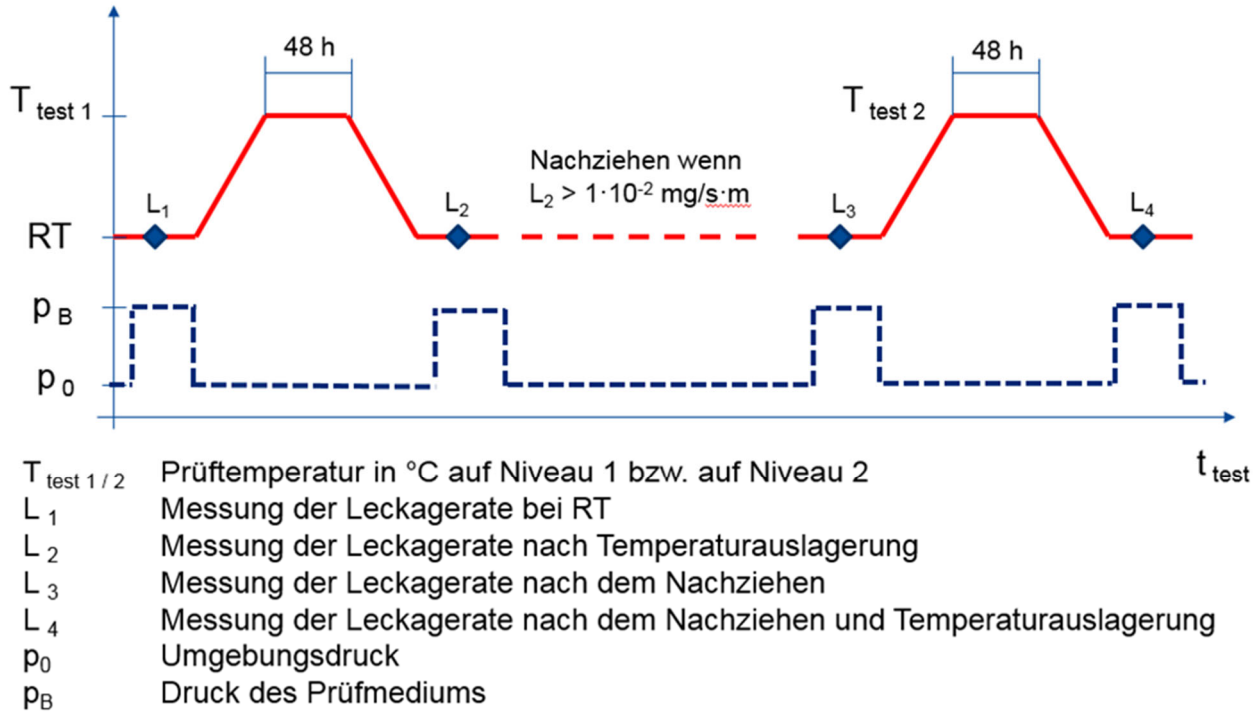
### Ermittlung der Leckagerate

Nach der Warmlagerung und Abkühlung auf Raumtemperatur erfolgt die Ermittlung der Leckagerate ohne (erneutes) Nachspannen der Verbindung. Bei Flanschverbindungen, bei denen der Betrieb überwiegend unter erhöhter Temperatur erfolgt, darf die Ermittlung der Leckagerate unter Temperatur geschehen, ebenfalls ohne (erneutes) Nachspannen der Verbindung. Für Flanschverbindungen, die bauartbedingt oder nach Vorgaben des Auftraggebers nachgespannt werden müssen, werden nach erstmaliger Warmlagerung nachgespannt, erneut, und diesmal bei Betriebstemperatur warmgelagert und abschließend die Leckage ermittelt.

Geprüft wird in der Regel mittels Helium-Massenspektrometer nach dem Vakuumverfahren, vgl. DIN EN 1779. Andere validierte Verfahren sind ebenfalls zulässig, z. B. die Spülgasmethode. Die Leckagerate wird als Funktion der Zeit registriert, und nach 24 h bzw. 100 h Messzeit mit dem Leckageratenkriterium $1 \cdot 10^{-2}$ mg/(s·m) nach TA Luft (neu) und VDI 2290 verglichen. Die Abbruchkriterien der Leckageprüfung im Hinblick auf die Erfüllung oder Nichterfüllung der Dichtheitsanforderung nach TA Luft (neu) und VDI 2290 sind im Flussdiagramm in Anhang festgelegt.

Bei der Demontage ist die Restschraubenkraft bzw. Restflächenpressung zu ermitteln und im Prüfbericht zu dokumentieren. Den prinzipiellen Ablauf zeigt Abbildung 27.

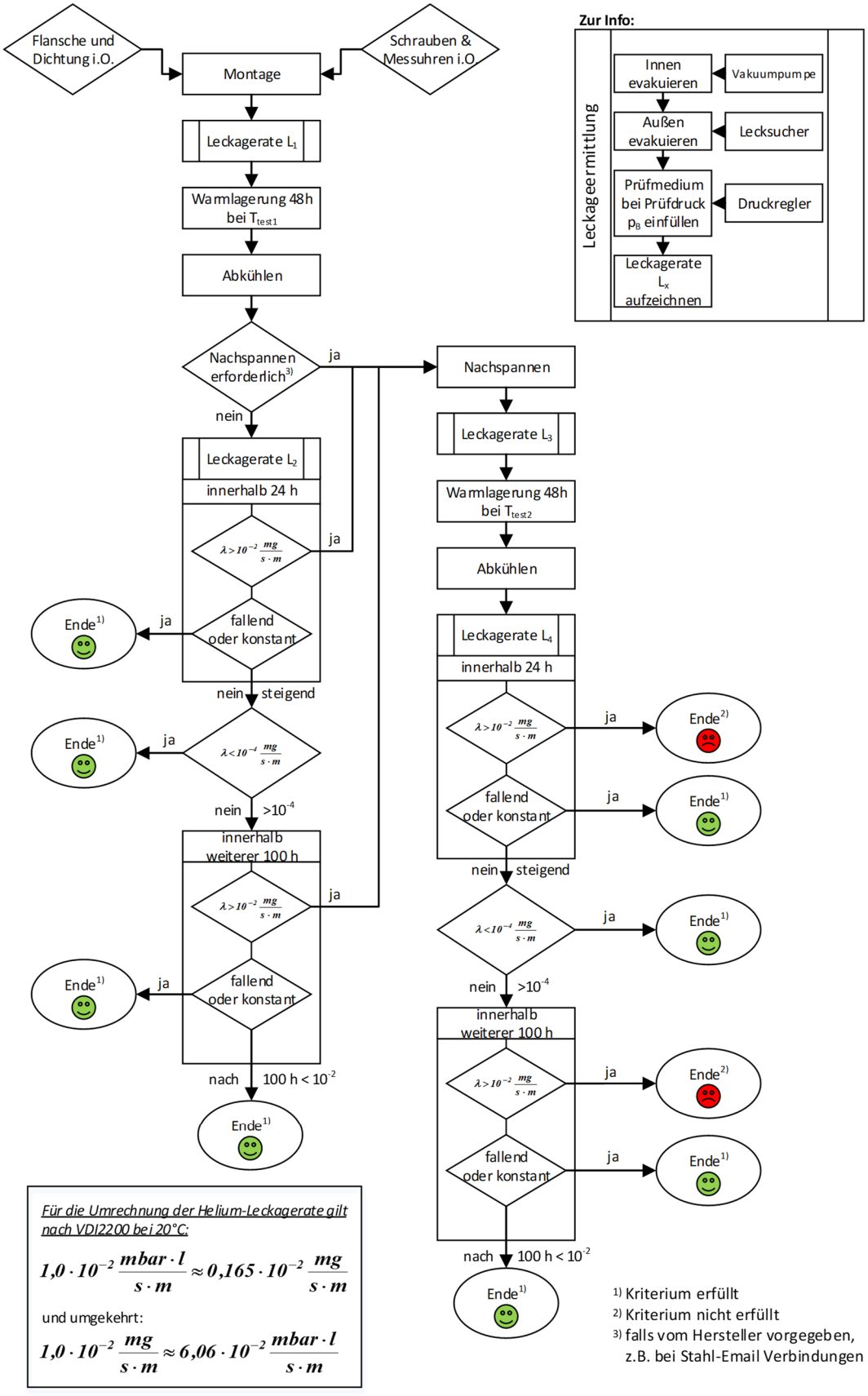
**Abbildung 27: möglicher Prüfablauf nach TA Luft (neu)**




Quelle: GAIST GmbH, Michael Reppien

Abbildung 28 zeigt den grundsätzlichen Ablauf der Prüfung und zugehörige Abbruchkriterien.

**Abbildung 28: Abbruchkriterien der Prüfung im Hinblick auf die Erfüllung oder Nichterfüllung der Dichtheitsanforderung nach TA Luft:2018 und VDI 2290**




Quelle: GAIST GmbH, Michael Reppien

## A.5 Montageanleitung zur Umsetzung der TA Luft (neu) am Beispiel von Stahl-Email-Flanschverbindungen

Nachstehende Ausführungen entstanden im Zusammenhang der Vorgaben der TA Luft (neu) durch die Ersteller dieses Abschlussberichts unter dankenswerter Mithilfe der Firmen Estrella (Herr F. Boeglin), Düker Emailtechnologie (Herr M. Vorbeck) und Thaletec (Herr J. Reinemuth).

Es zeigte sich, dass auf relativ einfache Weise eine firmenübergreifende, für eine ganze Branche geltende Montagevorgabe erstellt werden kann, die der Philosophie der VDI 2290 entspricht. Die Vorgehensweise kann analog für weitere Flanschverbindungstypen angewandt werden.

Es ist aber an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass bedingt durch den engen Zeitrahmen dieses Forschungsprojekts das nachfolgende Papier noch nicht als endgültig angesehen werden kann, bedingt durch noch ausstehende finale Abstimmungen und experimentelle Untersuchungen, was aber beispielsweise mit Hilfe einer überarbeiteten VDI 2290 einfach möglich ist.

**Dieses Dokument stellt einen ersten Entwurf mit den o.g. Herstellern dar, der in der Praxis nicht ungeprüft angewendet werden darf.**

Deckblatt

---

**Montageanleitung**

**Dokumentation zur Vorgehensweise zur Erreichung von Flanschsystemdichtheit nach TA Luft**

**HEINWEIS: Dieses Dokument stellt einen ersten Entwurf in Abstimmung mit Stahl-Email-Herstellern dar, der derzeit (noch) nicht in der Praxis ungeprüft angewandt werden darf.**

Firma: Mustermann GmbH

Bearbeiter: Herr Mustermann

Gesamtumfang des Berichts: xx Seiten

**Vorbemerkung: Der nachstehende Text beschreibt eine mögliche Vorgehensweise zum Nachweis der Erfüllung der Vorgaben nach TA Luft. Entgegen einer zukünftig zu erwartenden Montageanleitung für Stahl-Email-Flanschverbindungen werden nachstehend teils Annahmen getroffen als auch erläuternde Textteile eingefügt, die in einer abschließenden Montageanleitung nicht zwingend erscheinen müssen.**

Grundsätzlich ist die nachstehend beschriebene Vorgehensweise auf alle weiteren Flanschverbindungstypen übertragbar, wie Kunststoffflanschverbindungen oder Flanschverbindungen im Kraftnebenschluss.

Inhalt

1. Geltungsbereich
2. Beschreibung des Flanschsystems
   a. Rohrleitung
   b. Apparate
3. Geltende Normen und Standards
   a. Flanschsystem
   b. Spannelemente
   c. Dichtungen
4. Einsatzgrenzen für den Betrieb
5. Festigkeitsnachweis
   a. Vorgehensweise
   b. Berechnungsergebnisse und Drehmomentvorgaben
6. Dichtheitsnachweis
7. Montage- und Prüfvorgaben
   a. Vorgaben zur Montagevorbereitung
   b. Montagedurchführung
   c. Spezielle Vorgaben und Inbetriebnahme
   d. Anforderungen an die Personalqualifikation
8. Unterstützende Systemhersteller

## 1 Geltungsbereich

Unter den Geltungsbereich des vorliegenden Dokuments fallen alle Flanschverbindungen an emaillierten Rohrleitungen und Apparaten, die mit Bauteilen erstellt sind, wie sie in den Regelwerken/Normen/Standards nach Abschnitt 1.3 aufgeführt sind. Abweichungen von den Regelwerken widersprechen dem Geltungsbereich.

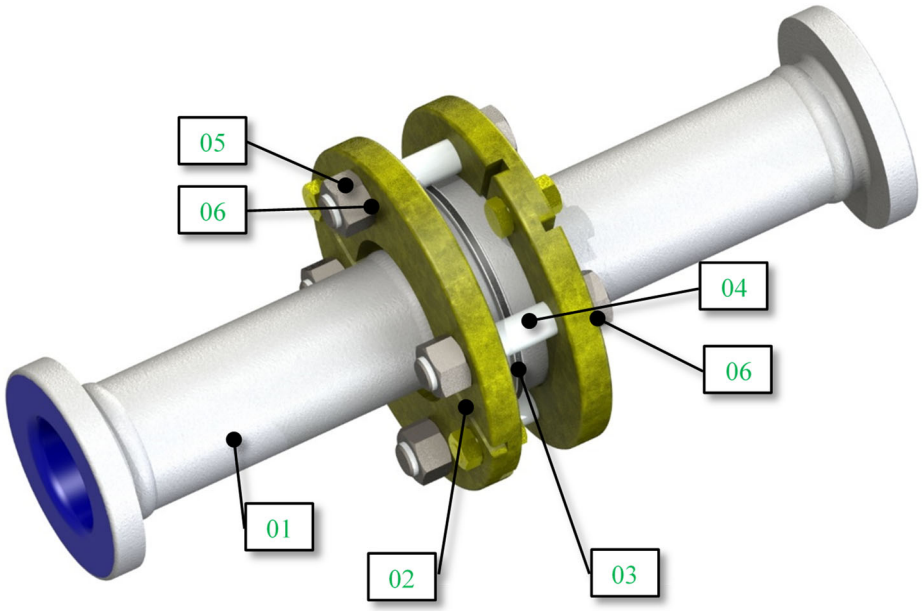
Weiterhin sind alle Betriebsbedingungen, welche weder die maximal zulässige Betriebstemperatur noch den maximal zulässigen Betriebsdruck überschreiten, durch diese Dokumentation abgedeckt.

## 2 Beschreibung des Flanschsystems

### 2 a) Rohrleitung

Eine Stahl-Email-Flanschverbindung, vgl. Abbildung 29, besteht in Regel aus den Komponenten Flansche, Schrauben, Muttern, Dichtung und Unterlegscheiben.

**Abbildung 29: Stahl-Email-Flanschverbindung in ISO-Ansicht**




Quelle: Fa. Düker

Legende zu Abbildung 29:

Pos. 01: Rohrleitung mit Bund

Pos. 02: Losflansch (in unterschiedlicher Ausführung)

Pos. 03: Dichtung

Pos. 04: Schraube

Pos. 05: Mutter

Pos. 06: Unterlegscheibe (nicht dargestellt)

### 2 b) Apparate

Apparateflansche entsprechen bei kleineren Nennweiten vom Aufbau her den Flanschverbindungen nach Abschnitt 2 b). Für größere Nennweiten werden aber anstatt Losflansche und Schrauben sogenannte Klammerschrauben eingesetzt, vgl. Abbildung 30.

**Abbildung 30: Apparate-Flanschverbindung mit Klammerschrauben**

Quelle: Fa. Thaletec

## 3 Geltende Normen und Standards

### 3 a) Flanschsystem

- DIN 28139-1:2018-09 – Entwurf; Vorschweißbunde für emaillierte Apparate - Teil 1: Form H Hauptflansche für Klammerschrauben – Anschlussmaße
- DIN 28139-2:2018-09 – Entwurf; Vorschweißbunde für emaillierte Apparate - Teil 2: Form M Personeneinstiegsöffnung, Handlochstutzen, Montageöffnung mit Klammerschrauben - Anschlussmaße
- DIN 28139-3:1985-06; Vorschweißbunde für emaillierte Apparate; Form S Stutzen mit geteiltem Losflansch; Anschlussmaße
- DIN 28140-2:2018-09 – Entwurf; Anschlüsse für Auslaufarmaturen an Behältern - Teil 2: Aus Stahl, emailliert; Anschlussmaße PN10
- DIN 28005-2:2017-04; Allgemeintoleranzen für Behälter - Teil 2: Behälter aus Stahl, emailliert
- DIN 28006-2:2017-04; Allgemeintoleranzen für Rührbehälter - Teil 2: Rührbehälter aus Stahl, emailliert
- DIN 28007-2:2017-04; Allgemeintoleranzen für Kolonnen - Teil 2: Kolonnen aus Stahl, emailliert
- DIN 2873:2002-06; Flansch-Rohre aus Stahl und Flansch-Formstücke aus Stahl mit Emaillierung - PN 10 und PN 25
- DIN EN ISO 28721-4:2016-03; Emails und Emaillierungen - Emaillierte Apparate für verfahrenstechnische Anlagen - Teil 4: Qualitätsanforderungen an Flansch-Rohre und Flansch-Formstücke aus Stahl mit Emaillierung (ISO 28721-4:2015); Deutsche Fassung EN ISO 28721-4:2015

**3 b) Spannelemente**

- DIN EN ISO 4014:2011-06; Sechskantschrauben mit Schaft - Produktklassen A und B (ISO 4014:2011); Deutsche Fassung EN ISO 4014:2011
- DIN EN ISO 4016:2011-06; Sechskantschrauben mit Schaft - Produktklasse C (ISO 4016:2011); Deutsche Fassung EN ISO 4016:2011
- DIN 939:1995-02; Stiftschrauben - Einschraubende ≈ 1,25 d
- DIN EN ISO 4032:2013-04; Sechskantmuttern (Typ 1) - Produktklassen A und B (ISO 4032:2012); Deutsche Fassung EN ISO 4032:2012
- DIN EN ISO 4033:2013-04; Hohe Sechskantmuttern (Typ 2) - Produktklassen A und B (ISO 4033:2012); Deutsche Fassung EN ISO 4033:2012
- DIN EN ISO 4034:2013-04; Sechskantmuttern (Typ 1) - Produktklasse C (ISO 4034:2012); Deutsche Fassung EN ISO 4034:2012
- DIN 28150:2018-09 – Entwurf; Losflansche, geteilt, für emaillierte Vorschweißbunde - Nenndruck PN 10
- DIN 28152-1:1999-11; Klammerschrauben für emaillierte Apparate - Teil 1: Maße, Zuordnung

**Besondere Bedingungen bei Anwendung der Normen:**

- Die Festigkeit bzw. Streckgrenze oder 0,2%-Dehngrenze der Schrauben muss mindestens 300N/mm$^2$ betragen, entsprechend der Qualität 5.6 oder höherwertig.
- Klammerschrauben sind aus 25CrMo4 oder Werkstoffen höherer Festigkeit zu fertigen.
- Die Festigkeit der Muttern muss mindestens denen der Schrauben entsprechen.
- Unterlegscheiben müssen mindestens eine Härte von 200HV aufweisen.

**3 c) Dichtungen**

Es sind ausschließlich Dichtungen zugelassen, die produktseitig aus PTFE bestehen und für die die Einhaltung der Dichtheitsklasse L0,01 in einem Bauteilversuch nach TA Luft (neu) mit Erfolg durchgeführt wurde. Typische Ausführungen sind:

- PTFE-Hüllringdichtungen mit unterschiedlichen Einlagewerkstoffen und Ausführungen
  - Hersteller A
  - Hersteller B
  - Hersteller C
- PTFE-Dichtungen (zumeist mit Füllstoff)
  - Hersteller D

- Hersteller E
- Hersteller F

► Dichtungen aus expandiertem PTFE (ePTFE)

- Hersteller G
- Hersteller H
- Hersteller I

Orientierend kann die Norm DIN 28148:1992-01 (PTFE-umhüllte Dichtungen für Rührbehälter aus Stahl, emailliert) herangezogen werden.

Bedingt dadurch, dass die Dichtung in Verbindung mit dem restlichen Flanschsystem (Verspannelemente und Flansche) den Dichtheitsnachweis gemäß TA Luft bestehen muss, ist eine konkrete Vorgabe zum konstruktiven Aufbau den Dichtungen nicht erforderlich. Die geometrischen Verhältnisse der Dichtung zum restlichen Flanschsystem, insbesondere die Abdeckung der Dichtfläche, sollten aber nennweitenübergreifend ähnlich sein. Beispielsweise sollte ein Hineinragen der Dichtung in die „Lichte Weite“ des Rohres/Behälters vermieden werden.

**4 Einsatzgrenzen für den Betrieb**

Maximal zulässiger Betriebsdruck (PS): 10 bar

Maximal zulässige Betriebstemperatur (TS): 200 °C

Medien: Alle Medien, außer Fluoride und Flusssäure (endgültige Festlegung tritt der Betreiber).

**5 Festigkeitsnachweis**

**5 a) Vorgehensweise**

Der Festigkeitsnachweis für das Druckgerät (Rohrleitung bzw. Apparat) wurde vom Hersteller nach dem Stand der Technik durchgeführt und deckt die Einsatzgrenzen nach Abschnitt 4 ab. Der Hersteller hat die Richtigkeit des Festigkeitsnachweises mit einer Konformitätserklärung bzw. einer Herstellererklärung und ggf. einer Betriebsanleitung bestätigt, die dem Verfasser der Montageanleitung vorliegt. Eine entsprechende Dokumentation des Festigkeitsnachweises liegt vor. Soweit erforderlich liegt auch eine Konformitätsbescheinigung einer notifizierten Stelle vor.

**5 b) Berechnungsergebnisse und Drehmomentvorgaben**

Auf Basis der im Festigkeits- und Dichtungsnachweis ermittelten Schraubenkräfte, zur Sicherstellung der geforderten Dichtheitsklasse, wurden für alle zugelassenen Nennweiten die erforderlichen Anzugsmomente ermittelt.

Die nachstehende Drehmoment-Tabelle 2 gilt für Rohrleitungsverbindungen.

Bei Übergängen von Rohrleitungsflanschen auf Apparateflansche ist die Drehmoment-Tabelle 3 anzuwenden. Die dort angegebenen, gegenüber der Drehmoment-Tabelle 2, reduzierten Drehmomentvorgaben, sind dadurch begründet, dass die radiale Wölbung bei Apparateflanschen fertigungsbedingt größer, als bei Rohrleitungsflanschen ist. Hierdurch ergeben sich partiell deutlich höhere Dichtungsflächenpressungen, was ein „Durchdrücken“ einer PTFE-Dichtung zur Folge haben kann, was in jedem Fall zu vermeiden ist.

Sofern sichergestellt ist, dass ein Durchdrücken bei Anwendung der Drehmoment-Tabelle 2 nicht erfolgt, ist diese auch bei Übergängen von Rohrleitungs- auf Apparateflansche anzuwenden.

**Tabelle 2: Drehmomentangaben und Randbedingungen für Übergänge von Rohrleitungsflanschen**

| Nennweite | Schraube | $Q_A$ für μ=0,13 [MPa] | Anzugsmoment [Nm] |
|---|---|---|---|
| DN25 | M12 | 24 | 35 |
| DN40 | M16 | 22 | 65 |
| DN50 | M16 | 18 | 65 |
| DN80 | M16 | 21 | 65 |
| DN100 | M16 | 20 | 65 |
| DN125 | M16 | 20 | 85 |
| DN150 | M20 | 22 | 125 |
| DN200 | M20 | 18 | 145 |
| DN250 | M20 | 23 | 145 |
| DN300 | M20 | 20 | 145 |

**Tabelle 3: Drehmomentangaben und Randbedingungen für Übergänge von Rohrleitungs- auf Apparateflansche**

| Nennweite | Schraube | QA für μ=0,13 [MPa] | Anzugsmoment [Nm] |
|---|---|---|---|
| DN25 | M12 | 14 | 20 |
| DN40 | M16 | 12 | 35 |
| DN50 | M16 | 10 | 35 |
| DN80 | M16 | 12 | 35 |
| DN100 | M16 | 11 | 35 |
| DN125 | M16 | 11 | 45 |
| DN150 | M20 | 12 | 65 |
| DN200 | M20 | 10 | 80 |
| DN250 | M20 | 13 | 80 |
| DN300 | M20 | 11 | 80 |

Die in den beiden obigen Tabellen angegebenen Flächenpressungen bei Montage sind auf eine Geometrie bezogen, die durch den Innendurchmesser einer Dichtung nach EN1514-1 und den

Außendurchmesser des Flanschbundes nach EN 1092-1 (Vorschweißflansche) gegeben sind. Die wirklich auftretende, maximale Dichtflächenpressung wird regelmäßig über diesen Werten liegen, bedingt durch die fertigungsbedingte Wölbung der Flanschdichtflächen beim emaillieren.

Die obigen Tabellen sind abdeckend, sofern beim Festigkeitsnachweis nach Tabelle 2 ein Reibbeiwert μ = 0,13 verwendet wurde. Der Dichtheitsnachweis ist nennweitenübergreifend abdeckend, wenn er mit einer Dichtungsflächenpressung von $Q_A$ = 18 MPa bei Rohrleitungsverbindungen bzw. $Q_A$ = 10 MPa bei Apparateverbindungen erfolgreich bestanden wurde.

Es ist sicherzustellen, dass bei der Montage ein Schmiermittel eingesetzt wird, womit die obigen Reibbeiwerte erreicht werden. Unterlegscheiben sind zu verwenden. Die Montagevorgaben nach Abschnitt 7 sind einzuhalten.

Sofern bei Übergängen von Stahl-Email-Flanschen auf andere Flanschmaterialien, beispielsweise Stahlflansche, Kunststoffflansche usw., geringere Drehmomentanforderungen vorliegen, sind die dort geforderten Drehmomente anzuwenden.

Falls die angegebenen Drehmomentwerte niedriger sind, beispielsweise oftmals der Fall bei Übergängen von Stahl-Email auf reine Stahlflansche, müssen die Drehmomente der Tabelle 2 bzw. Tabelle 3 angewandt werden.

Es ist jeweils die Dichtung des „schwächeren“ Teil-Flansches zu verwenden.

**6 Dichtheitsnachweis**

Der Dichtheitsnachweis für das Druckgerät (Rohrleitung bzw. Apparat) wurde vom Hersteller oder einem beauftragten Prüfinstitut nach dem Stand der Technik durchgeführt und deckt die Einsatzgrenzen nach Abschnitt 4 ab. Der Hersteller/Verfasser der Montageanleitung hat die Richtigkeit des Dichtheitsnachweises bestätigt. Der Prüfbericht liegt vor.

**7 Montage- und Prüfvorgaben**

**7 a) Vorgaben zur Montagevorbereitung**

Stahl-Email-Bauteile müssen sicher und sauber verpackt angeliefert werden. Der Zustand der Verpackung ist zu kontrollieren. Erst nach Feststellung der einwandfreien Verpackung ist das Material auszupacken.

Nach Entfernung der Gummikappen/Schutzdeckel sind die Teile visuell auf Emailschäden zu prüfen. Schadhafte oder fragwürdige Teile dürfen keinesfalls verwendet werden. Die Gummikappen/Schutzdeckel sind nach der Prüfung wieder anzubringen und die Bauteile schlagfrei zur Montagestelle zu transportieren.

Vor der Montage der Bauteile prüft der Monteur jedes Teil nochmals visuell auf Emailschäden. Schadhafte und fragwürdige Teile werden keinesfalls montiert. Entsprechende Stellen sind über die schadhaften Teile zu unterrichten.

**7 b) Montagedurchführung**

1. Erstes Rohrteil eines Rohrleitungsabschnitts beweglich, d.h. verschieb- und verdrehbar, in der günstigsten Anschlussposition aufhängen oder unterbauen.
2. Zweites Rohrteil so anbauen, dass nach Einlage der Dichtung die Dichtflächen der beiden Bunde planparallel zueinanderstehen. Mittels Rotieren der Rohrteile gegeneinander kann diese Position erreicht werden.
3. Flanschverbindung erst von Hand leicht anziehen, anschließend mit Drehmomentschlüssel mehrmals über Kreuz mit zunehmendem Drehmoment (30/60/100%) anziehen, gefolgt von

einem umlaufenden Nachziehen, bis kein Setzen mehr feststellbar ist. Beim ggf. notwendigen Nachziehen ist ebenso zu verfahren.
4. Während der Montage sind die Leitungen provisorisch zu unterstützen/aufhängen.
5. Ergeben die vorgeschriebenen Baulängen keinen spannungsfreien Zusammenschluss des Rohrleitungsabschnittes, sind Distanzstücke zur Überbrückung der fehlenden Längen zu verwenden.
6. Erst nachdem die Leitung sauber und spannungsfrei montiert ist, sind die Halterungen an den vorhandenen Leitungsverlauf anzupassen.
7. **Emaillierte Rohrleitungen sind spannungsfrei zu verlegen, jedes Beiziehen der Leitung ist verboten.**

**Wichtige Hinweise**

- Verbindungsschrauben der Losflansche sind vor der Montage festzuziehen.
- Losflansche sind sorgfältig über den Bunden zu zentrieren.
- Die Dichtung ist kraftfrei und sorgfältig zwischen den Dichtflächen zu zentrieren.
- Zur Minimierung der Reibkräfte sind die Gleitflächen der Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben vor dem Anziehen mit geeigneten Schmierstoffen zu behandeln.
- Unterlegscheiben sind bei der Mutter einzulegen.
- Kompensatoren sind bei der Montage mittels ihren Distanzbolzen auf das vorgegebene Einbaumaß zu fixieren.
- Jeder Rohrleitungsabschnitt verfügt über einen Festpunkt, um eine definierte Ausdehnung zu gewährleisten.
- Apparate- oder Pumpenstutzen gelten als Festpunkte, es sei denn, sie üben durch eigene thermische Ausdehnung eine Querkraft aus, in welchem Fall das erste Leitungsteil passend abgestützt werden muss.
- Jede Armatur oder Armaturengruppe ist unabhängig von der Rohrleitung zu haltern.
- Jeder Kompensator ist einseitig mit Festpunkt, gegenseitig mit Gleitpunkt zu führen.
- Festpunkte sind so zu gestalten, dass dadurch keine zusätzlichen Spannungen in der Rohrleitung erzeugt werden.
- Gleitpunkte sind frei beweglich zu gestalten.
- Halterungen sind so zu gestalten, dass durch Maßungenauigkeiten keine zusätzlichen Spannungen in der Rohrleitung erzeugt werden.
- Zwischen Rohr und Rohrschelle sind Weichstoffeinlagen vorzusehen, damit keine zusätzlichen Spannungen in der Rohrleitung auftreten.
- An emaillierten Rohren soll niemals geschweißt werden. Alle Halterungen, Halterungsteile und -hilfsmittel sind mittels Schraubverbindungen zu gestalten.

### 7 c) Spezielle Vorgaben und Inbetriebnahme

Zu den Anzugsmomenten, siehe Abschnitt 5 b).

1. Kontrolle vor Inbetriebnahme durch visuelle Überprüfung:
   a. Sind alle Rohrteile sauber ausgerichtet?
   b. Sind alle Flanschverbindungen angezogen?
   c. Sind die Halterungen korrekt montiert, vollständig, und ist ihre Bewegungsfreiheit sichergestellt?
   d. Sind die vorgesehenen Rohrspannweiten eingehalten?
   e. Sind die Armaturen sicher gehaltert?
   f. Sind die Kompensatoren korrekt gehaltert und vorgespannt, damit ihre vorgesehene Bewegung sichergestellt ist?
   g. Werden keine zusätzlichen Kräfte und/oder Momente auf die Leitung ausgeübt?
   h. Ist die Leitung nirgendwo verklemmt?

Jeder Rohrleitungsabschnitt wird im Abnahmeprotokoll einzeln aufgeführt.

2. Warm/kalt Prüfung vor Inbetriebnahme:
   a. Jedes Rohrsystem ist flüssigkeitsgefüllt, jedoch ohne Prozesschemikalien, auf 95°C bzw. bis zur Betriebstemperatur zu erwärmen. Es ist zu überprüfen, ob das System sauber in den Halterungen arbeitet, ob keine Kompensatoren ausknicken und ob es undichte Flanschverbindungen gibt.
   b. Behinderungen der freien Bewegung des Rohrsystems werden im heißen Zustand beseitigt.
   c. Undichte Stellen bei Flanschverbindungen sind zu markieren und zu dokumentieren. Das Rohrsystem wird zuerst auf Raumtemperatur abgekühlt, die markierten Flanschverbindungen werden visuell überprüft und mit den vorgegebenen Anzugsmomenten in kaltem Zustand nachgezogen.
   d. Im letzten Schritt werden die eingebauten Filter gereinigt. Falls sie dauerhaft eingebaut sind, sind die Filterkörbe wieder zu installieren.

Ein ggf. erforderliches Nachziehen darf nur im kalten Zustand erfolgen.

### 7 d) Anforderungen an die Personalqualifikation

Der Betreiber hat sicherzustellen, dass dem Montagepersonal für die Montage der Flanschverbindungen Montageanweisungen auf Basis der vorliegenden Dokumentation und Vorgaben zur Qualitätskontrolle nach der Richtlinie VDI 2290 (Ausgabe Juni 2012) zugänglich sind und dass Montagepersonal eine Qualifikation gemäß DIN EN 1591-4 (Ausgabe Dezember 2013) oder nach der Richtlinie VDI 2290 (Ausgabe Juni 2012) aufweist.

### 8 Unterstützende Systemhersteller

Die vorliegende Montageanleitung wird von folgenden Herstellern von Flanschsystemen im Geltungsbereich der Montagerichtlinie akzeptiert:

- Firma A
- Firma B
- Firma C