

Systematische Darstellung, Bewertung und Einordnung des Dichtheitsbegriffs in Bezug auf technische Anlagen

I. Pfeifer, B. Hoffner, M. Mauermann, S. Engel, J. Sommer

Vorwort

Der Umgang mit Gefahrstoffen am Arbeitsplatz erfordert oft eine sichere Umschließung, damit Beschäftigte keinen gesundheitsschädlichen Wirkungen ausgesetzt werden und es nicht zur Bildung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre kommen kann. Der Begriff der „dichten Anlage“ findet sich daher in verschiedenen Regelwerken und Normen. Allerdings gibt es in unterschiedlichen Schriften unterschiedliche Interpretationen, was „dicht“ bedeutet. Im Rahmen einer Bachelorarbeit an der Hochschule Mannheim, in Zusammenarbeit mit der Berufsgenossenschaft Rohstoffe und Chemische Industrie (BG RCI) und der Sektion für Prävention in der chemischen Industrie der Internationalen Vereinigung für Soziale Sicherheit (IVSS Sektion Chemie) wurden insgesamt 829 deutschsprachige Literaturstellen identifiziert, in denen die Begriffe Dichtheit beziehungsweise Dichtigkeit verwendet werden. Ziel war es, durch detaillierte Analyse einen Überblick über die unterschiedliche Verwendung zu erlangen.

1 Einleitung

In Produktionsanlagen, wie sie an Chemiestandorten und in Chemieparken zu finden sind, müssen hohe Sicherheitsstandards eingehalten werden, um Mensch und Umwelt vor stoffbedingten Schädigungen zu schützen. Zu den Grundlagen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes gehört beispielsweise die Einhaltung gesundheits- und risikobasierter Grenzwerte, von denen viele in den vergangenen Jahren stetig abgesenkt wurden. Auch zum Schutz der Umwelt und zur Vermeidung der Bildung explosionsgefährlicher Atmosphäre müssen Emissionen durch Undichtigkeiten von Anlagen vermieden werden. Man könnte denken, dass in den unterschiedlichen Rechtsgebieten gleiche Auffassungen über die Definitionen der Begriffe Dichtheit beziehungsweise zw. Dichtigkeit bestehen. Doch in der Praxis ist dem nicht so. Diese nicht eindeutigen Begriffsbestimmungen führen somit zu Unschärfen im technischen Regelwerk und zu Fragen bei der Umsetzung im betrieblichen Alltag. Infolgedessen kann der Praktiker mit den verwendeten Dichtheitsbegriffen nur zum Teil Rückschlüsse auf notwendige technische Anforderungen und die Wirksamkeit der getroffenen Schutzmaßnahmen ziehen.

2 Vorgehensweise

Im Rahmen einer Bachelorarbeit wurde die einschlägige europäische und nationale Literatur nach verschiedenen, häufig verwendeten Begriffen im Zusammenhang mit technischer Dichtheit durchsucht, darunter Begriffe wie dicht, technisch dicht, Undichtigkeit, geschlossenes System, geschlossener Arbeitsbereich, Dichtheitsprüfung, Leckage und strikt kontrolliert. Dabei waren

ausschließlich Dichtheitsbegriffe von Interesse, die im Zusammenhang mit einer Freisetzung von Gefahrstoffen aus Maschinen und Apparaten in die Umgebung stehen und somit im bestimmungsgemäßen Betrieb zu einer Exposition führen können.

Recherchiert wurde in 829 EU-Verordnungen und -Richtlinien, Gesetzen, nationalen Verordnungen, in den nachgeordneten Technischen Regeln (Technische Regeln für Gefahrstoffe, TRGS; Technische Regeln für Betriebssicherheit, TRBS; Technische Regeln Anlagensicherheit, TRAS), DGUV Vorschriften, Regeln und Informationen, DIN-, DIN EN- und DIN EN ISO-Normen sowie in wissenschaftlichen Publikationen.

3 Ergebnisse

3.1 Begriffe im Regelwerk

Insgesamt wurden 197 unterschiedliche Begriffe zur Beschreibung der Dichtigkeit in 354 unterschiedlichen Literaturquellen identifiziert, die in Summe weit über tausendmal verwendet wurden. **Tabelle 1** gibt einen Eindruck von der Vielfalt der verwendeten Begriffe in unterschiedlichen Literaturquellen.

Es zeigte sich, dass vielfach Begriffe zur Dichtheit verwendet wurden, ohne dass eine ausreichende Begriffsbestimmung vorlag oder auf Literaturquellen mit einer entsprechenden aussagekräftigen Definition verwiesen wurde.

3.2 Zwischenfazit 1: Es gibt eine Vielzahl von Begriffen

Es konnte keine einheitliche Verwendung der Begriffe rund um das Thema Dichtheit identifiziert werden. Aufgrund der verschiedenen Themengebiete wie Arbeitsschutz, Anlagensicherheit und Umweltschutz sowie der unterschiedlichen regelsetzenden Gremien und Experten wird eine Vielzahl von Vokabeln verwendet.

Diese sind jedoch nur in wenigen Fällen mit einer konkreten Beschreibung hinterlegt. Besonders sprachfindig erscheint die TRGS 509 – hier werden innerhalb des Regelungsbereiches nicht weniger als ein Dutzend Begriffe genutzt: auf Dauer technisch dicht, mindestens technisch dicht, gasdicht, besonders dicht, möglichst dicht, ausreichend dicht, technisch dicht, gegenüber der Umgebung abgedichtet, dicht abschließend, dicht schließend, dicht verbunden, dicht verschlossen.

3.3 Bewertung der Aussagekraft der Begriffe

Bei der Analyse der Literaturstellen zeigte sich auch: Die Herangehensweise an den Begriff Dichtheit und seine Verwendung sind sehr unterschiedlich. Die oben genannten 354 Literaturquellen wurden daher nach Aussagekraft der Begriffsbestimmung kategorisiert:

- Literaturquellen, die keine eindeutige Definition enthalten, wie beispielsweise die pauschale Forderung zur Reduzierung der Emission (wie in Verordnung EG Nr. 842/2006) oder die nur auf andere nicht eindeutige Begriffsbestimmungen verweisen, wurden als Literaturquellen mit geringer Aussagekraft bewertet.

Tabelle 1. Beispiele identifizierter Begriffe (nicht abschließend).

Literaturquelle	Begriff
TA Luft (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft)[1]	Dichtigkeit, Dichtungskennwerte, technisch gasdicht, staubdicht, technisch dicht, Undichtigkeiten
TRBS 2141 „Gefährdungen durch Dampf und Druck“[2]	Auf Dauer technisch dicht, Dichtheit, Dichtheitsanforderungen, Dichtheitskontrolle, Dichtheitsprüfung, Dichtheitsüberwachung, Dichtigkeit, innere Dichtheit, technisch dicht, Undichtheiten, Undichtigkeiten
TRBS 2152-2/TRGS 722 „Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre“[3]	Abdichtungssysteme, auf Dauer technisch dicht, ausreichend dicht, Dichtheit, Dichtheitsprüfung, Dichtheitsüberwachung, metallisch dichtend, technisch dicht, undichte Stellen, Undichtheiten
TRBS 3145/TRGS 745 „Ortsbewegliche Druckgasbehälter – Füllen, Bereithalten, innerbetriebliche Beförderung, Entleeren“[4]	Auf Dauer technisch dicht, äußere Dichtheit, dauerhaft technisch dicht, Dichtheitskontrolle, gasdicht, innere Dichtheit, Undichtigkeiten, technisch dicht
TRGS 500 „Schutzmaßnahmen“[6]	Dichtheit, Dichtheitsanforderungen, Dichtheitsprüfung, Dichtigkeit, Dichtigkeitsgrad, flüssigkeitsdicht, hermetisch dicht, staubdicht, technisch dicht, Undichtigkeiten
TRGS 509 „Lagern von flüssigen und festen Gefahrstoffen in ortsfesten Behältern [...]“[7]	Auf Dauer technisch dicht, ausreichend dicht, besonders dicht, dicht abschließend, dicht schließend, dicht verbunden, Dichtheit, Dichtheitskontrolle, Dichtheitsprüfung, Dichtheitsüberwachung, gasdicht, gegenüber der Umgebung abgedichtet, möglichst dicht, technisch dicht, dicht verschlossen, Undichtheit, Undichtigkeiten
TRGS 525 „Gefahrstoffe in Einrichtungen der medizinischen Versorgung“[8]	Dichtheit, Dichtheitskontrolle, Dichtheitsprüfung, Dichtheitsüberwachung, Dichtigkeit, flüssigkeitsdicht, technisch dicht, wasserdicht, Undichtheit
DGUV Regel 100-500 „Betreiben von Arbeitsmitteln“[9]	Dicht schließend, dicht verschlossen, dicht und verschlossen, Dichtheit, Dichtheitskontrolle, Dichtheitsprüfung, flüssigkeitsdicht, gasdicht, technisch dicht, wasserdicht, Undichtigkeiten
DGUV Information 203-081 „Arbeiten an Rohbiogasleitungen – Handlungshilfe für die Gefährdungsbeurteilung“ [10]	Dichtheit, Dichtheitsprüfung, Dichtigkeitsprüfung, gasdicht
DGUV Information 213-012 „Gefahrgutbeförderung in Pkw und in Kleintransportern“ (Merkblatt A 014 der BG RCI) [12]	Dichtheit, gasdicht, luftdicht, Undichtheit
DGUV Information 213-083 „Sicheres Arbeiten in der pharmazeutischen Industrie“[13]	Abdichtarbeiten, Abdichtungsversuche, Dichtheit, Dichtheitsprüfung, Dichtheitstest, Dichtigkeit, Dichtigkeitstest, Staubabdichtmaßnahmen, Undichtigkeiten
DGUV Information 213-086 „Sichere Biotechnologie – Laboratorien“ (Merkblatt B 002 der BG RCI) [14]	Aerosoldicht, dicht genug, dicht schließend, dicht verschließbar, Dichtheit, Dichtheitsanforderungen, Dichtheitsprüfung, Dichtigkeit, druckdicht, flüssigkeitsdicht, gasdicht, keimdicht, luftdicht, wasserdicht
DIN EN 378-1 „Kälteanlagen und Wärmepumpen – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen“ [15]	Dichtheit, kältemitteldicht, luftdicht, Undichtigkeit
DIN EN 1127-1 „Explosionsfähige Atmosphären – Explosionsschutz“ [16]	Auf Dauer technisch dicht, Dichtheit, Dichtheitsprüfung, Dichtheitsüberprüfung, Dichtheitsüberwachung, druckdicht, erhöhte Dichtheit, normale Dichtheit, Prozessabdichtung, Undichtheiten, Undichtigkeiten
DIN EN 1779 „Zerstörungsfreie Prüfung – Dichtheitsprüfung – Kriterien zur Auswahl von Prüfmethode und -verfahren“[17]	Betriebsdichtheit, Dichtheitsanforderungen, Dichtheitsprüfung, Gesamtdichtheit
DIN EN 13445-3 „Unbefeuerte Druckbehälter – Konstruktion“[22]	Dichtgeschweißst, Dichtheit, Dichtheitskriterien, Dichtheitsmessung, Dichtheitsparameter, Dichtheitsprüfung, Dichtigkeit, Dichtwirkung, selbstabdichtend, tatsächliche Dichtheit, Undichtheit
DIN EN ISO 14903 „Kälteanlagen und Wärmepumpen – Qualifizierung der Dichtheit der Bauteile und Verbindungen“[26]	Dichtheit, Dichtheitsgrad, Dichtheitskontrollgrad, Dichtheitsprüfdruck, Dichtheitsprüfung, hermetisch dicht
VDI 2440 „Emissionsminderung Mineralölraffinerien“ [29]	Dichtheit, Dichtheitsanforderungen, Dichtheitsklasse, Dichtheitsnachweis, Dichtheitsüberwachung, Dichtigkeit, gasdicht, hermetisch dicht, technisch dicht, Undichtheiten, zur Atmosphäre abgedichtet
DVFG-TRF 2012 „Technische Regeln Flüssiggas 2012“ [27]	Dauerhaft dicht, dauerhaft technisch dicht, dicht abgeschlossen, dicht schließend, dicht verschlossen, dicht zu verschließen, Dichtheit, Dichtheitsprüfung, fugendicht, für dicht befunden, gasdicht, schwadendicht, Rauchgasdichtheit, technisch dicht, Undichtheiten, wasserdicht

- Begriffe, die den Dichtheitsbegriff nur verwenden oder vage um- oder beschreiben, wurden als qualitative Beschreibungen bezeichnet. Sie sind in der Praxis häufig wenig nützlich.
- Eindeutige quantitative oder semi-quantitative Definitionen wurden als besonders hilfreich angesehen und werden in der Folge als Literaturquellen mit hoher Aussagekraft bezeichnet.

- Dabei wurde in diesem Zusammenhang als „definiert“ gewertet, wenn der Begriff im Zusammenhang mit
- der Beschreibung von Bauteilen (beispielsweise Flanschverbindungen),
 - der Angabe von Leckageraten (beispielsweise quantifizierte Gasdichtheit),

Tabelle 2. Vergleich des Anwendungsbereiches und der unterschiedlichen Herangehensweise in TRGS 722, TRGS 500 und TA Luft [3; 6; 1].

TRBS 2152-2/TRGS 722	TRGS 500	TA Luft
<p>Anwendungsbereich: Anforderungen zur Vermeidung oder Einschränkung von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre</p>	<p>Anwendungsbereich: Beschreibt Schutzmaßnahmen für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen</p>	<p>Anwendungsbereich: Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen und der Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen</p>
<p>Relevante Begriffe</p> <p>Technisch dicht: (1) „...sind seltene Freisetzungen zu erwarten.“ (2) „...“, wenn bei einer [...] Dichtheitsprüfung [...] eine Undichtheit nicht erkennbar ist.“</p> <p>Auf Dauer technisch dicht: (1) „...sind keine Freisetzungen zu erwarten.“ (2) „...Aufgrund ihrer Konstruktion technisch dicht bleiben oder [...] durch Wartung und Überwachung ständig gewährleistet wird.“</p>	<p>Relevante Begriffe</p> <p>Verweis auf „Begriffsglossar zu den Regelwerken der BetrSichV, BioStoffV und GefStoffV“</p> <p>Verfahrensindex: Empirische Werte von 0,25 / 0,5 / 1 / 2 / 4 dienen der Beurteilung anlagenspezifischer Bedingungen und beschreiben den Grad der Geschlossenheit, beispielsweise vollkommen geschlossen, geschlossen, weitgehend geschlossen, (teilweise) offen.</p>	<p>Relevante Begriffe</p> <p>Keine eindeutigen Begriffsbestimmungen in Bezug auf technische Anlagen, stattdessen Verweise auf andere Literaturquellen (beispielsweise VDI 2440)</p> <p>Gefahrstoff-Beurteilungen: Angabe von Richtwerten für den Umgang mit Bauteilen mit den darin befindlichen Gefahrstoffen, Angaben zu gesundheitsbasierten Grenzwerten und deren Einstufung (Klasseneinteilung)</p>
<p>Zu berücksichtigende Randbedingungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aggregatzustand - Bauteile und Dichtungselemente - Beanspruchungen <p>Erläutert notwendige Maßnahmen, um die Dichtheit einer Anlage zu gewährleisten</p>	<p>Flankierende Maßnahmen: Beispielsweise Gewährleistung der Dichtung durch Überwachung und Instandsetzung</p> <p>Erläutert, wie die Dichtheitsprüfungen zur Gewährleistung der Dichtheit einer Anlage durchzuführen sind</p>	<p>Fokus: Überwiegend einzelne Baugruppen, beispielsweise Pumpen und Verdichter, Flanschverbindungen und ihre Anwendungsbereiche bis hin zu Grenzwerten</p> <p>Erläutert Messung und Überwachung von Emissionen oder Auswahl von Messverfahren</p>

- der Einhaltung von Arbeitsplatzgrenzwerten (beispielsweise der Staubgrenzwerte) oder
- der Validierung durch Druckprüfungen (beispielsweise Dichtheitsprüfung) beschrieben wurde.

Insgesamt konnten auf diese Weise schließlich rund 30 Literaturquellen identifiziert werden, die Begriffsbestimmungen mit hoher Aussagekraft enthalten, davon acht im technischen Regelwerk (TRBS, TRGS, Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft)), siehe [1 bis 8]), sechs berufsgenossenschaftliche Schriften (DGUV-Regeln und -Informationen, siehe [9 bis 14]) sowie 15 normative Schriften (DIN EN, DIN EN ISO, DVFG, VDI, siehe [15 bis 29]).

Zur Illustration der unterschiedlichen Verwendung der Begriffe werden nachfolgend drei Literaturquellen zitiert, die im technischen Regelwerk eine besondere Bedeutung besitzen und in denen entsprechende Begriffe zur Dichtheit häufig vorkommen:

- TRBS 2152-2/TRGS 722 „Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre“ [3],
- TRGS 500 „Schutzmaßnahmen“ [6] und
- TA Luft [1].

Die unterschiedliche Verwendung der Begriffsbestimmungen zur Dichtheit wird in **Tabelle 2** exemplarisch dargestellt. Verglichen werden hierbei der Anwendungsbereich der jeweiligen Schrift, die verwendete Begriffsbestimmung und ergänzende Informationen.

3.4 Zwischenfazit 2: Es gibt unterschiedliche Ansätze zur Definition

Aufgrund der verschiedenen Themengebiete Arbeitsschutz, Anlagensicherheit und Umweltschutz unterscheidet sich zwangsläufig auch der Fokus der Schriften. Bei den Begriffsbestimmungen nutzen

- manche Regelungen qualitative Beschreibungen (wie beispielsweise TRGS 722) [3],
- andere Regelungen quantitative Ansätze (wie beispielsweise TA Luft) [1],
- wieder andere Regelungen semi-quantitative Ansätze mittels empirisch festgelegter Verfahrensindizes (wie beispielsweise TRGS 500) [6].

Eine einheitliche, regelwerksübergreifende Vorgehensweise bei den Begriffsbestimmungen ist nicht erkennbar.

3.5 Gleicher Begriff – unterschiedliche Bedeutung

Wie eingangs dargestellt, gibt es eine unübersichtliche Zahl von Begriffen rund um das Thema Dichtheit. In manchen Regelwerken werden Begriffe verwendet, ohne diese beziehungsweise zw. ihre Bedeutung zu erklären. Andere Gremien wiederum haben versucht, die verwendeten Begriffe mehr oder minder genau zu beschreiben.

Im ungünstigsten Fall werden Dichtheitsbegriffe in unterschiedlichen Schriften widersprüchlich verwendet. Dass sich manche Literaturquellen in ihren Aussagen sogar widersprechen, zeigen die Begriffsbestimmungen zu technisch dicht in TRBS 2151-2/TRGS 722, Absatz 2.4.3.3 [3]: „Bei Anlagenteilen, die technisch dicht sind, sind seltene Freisetzungen zu erwarten“ und somit akzeptiert, während in der VDI-Norm 2440, Tabelle 4 zu Absatz 5.3.1.2 [29] bestimmte Bauteile, beispielsweise Mehrfach-Labyrinthdichtungen, nur dann als technisch dicht eingestuft werden, wenn sie als „völlig emissionsfrei“ gelten.

Des Weiteren verweisen verschiedene Literaturstellen auf eine andere Quelle, die jedoch von dort wieder zurückverweist. Ein Beispiel ist der Begriff technisch dicht, bei dem von der VDI-Norm 2290 zur TA Luft und wieder zurückverwiesen wird, ohne dass in einer der beiden Schriften eine eindeutige Begriffsbestimmung erfolgt. Zwar findet sich in TRBS 2151-2/TRGS 722 eine

Definition für technisch dicht, auf die jedoch weder in der VDI-Norm 2290 noch in der TA Luft hingewiesen wird.

3.6 Zwischenfazit 3: Begriffe werden teilweise widersprüchlich belegt

Die Verwendung des Begriffes dicht orientiert sich an den Anforderungen zur Erreichung des jeweiligen Schutzzieles. Daraus resultiert, dass unterschiedliche Begriffe und Begriffsbestimmungen verwendet werden, was aber zum Teil nicht konsistent erfolgt.

3.7 Dichtheit und Technik

Aus technischer Sicht erfordern dichte Anlagen beziehungsweise zw. Anlagenteile ungeachtet von der Begriffsbestimmung stets ein Zusammenwirken mehrerer Maßnahmen:

- stoffspezifische Auswahl von Bauteilen,
- einwandfreie und korrekte Montage,
- Durchführung von Dichtheitskontrollen, Wartungen und Prüfungen,
- Überwachung von Leckageraten.

Bei der Auswahl von Bauteilen sind wiederum der Aggregatzustand der verwendeten Einsatzstoffe, Zwischenprodukte oder Produkte sowie die Verfahrensbedingungen und die daraus resultierende Werkstoffbeanspruchung wie beispielsweise durch Druck und Temperatur zu berücksichtigen.

Dieses Zusammenspiel wird in der DIN EN 1127-1 [16] bei den Definitionen aufgegriffen:

- Normale Dichtheit ist das „Nichtvorhandensein von Leckagen, wenn jegliche Dichtheitsprüfungen oder Dichtheitsüberwachungen, die für die Anwendung geeignet sind, während des Normalbetriebs keine gefährlichen Leckagen zeigen“.
- Erhöhte Dichtheit ist das „Nichtvorhandensein von Leckagen, wenn aufgrund der Konstruktion und Wartungsmaßnahmen jegliche Dichtheitsprüfungen oder Dichtheitsüberwachungen, die für die Anwendung geeignet sind, während des Normalbetriebs und erwarteten Funktionsstörungen keine gefährlichen Leckagen zeigen“.

Für den Begriff gefährliche Leckage findet sich allerdings in der Norm keine explizite Definition, aus dem Kontext lässt sich aber schließen, dass damit die Bildung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre gemeint ist.

3.8 Zwischenfazit 4: Dichtheit baut auf vielen Voraussetzungen

Nur eine wirksame Kombination von Maßnahmen führt zu dem Ziel, dichte Anlagen beziehungsweise zw. Anlagenteile zu gewährleisten, um die Freisetzung von Gefahrstoffen auf ein Minimum zu reduzieren und so weder Beschäftigte noch die Umwelt zu gefährden.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Der Begriff Dichtheit wird in unterschiedlichen Rechtsgebieten (Arbeitsschutz, Anlagensicherheit und Umweltschutz) verwendet. Dabei werden an eine dichte Anlage oder ein Anlagenteil unterschiedliche Anforderungen gestellt. Eine allgemeingültige Definition des Begriffes dicht gibt es in der Literatur nicht.

Die Dichtheit einer Anlage hängt immer von den umschlossenen Stoffen, deren Aggregatzustand, dem Freisetzungsverhalten (z. B. Dampfdruck oder Staubungsindex) und den Anforderungen

an die maximal zulässige Leckagerate ab. Diese wiederum ergibt sich aus dem jeweiligen Schutzziel und wird durch die Verfahrensbedingungen wie beispielsweise Druck und Temperatur beeinflusst.

Derzeit finden sich in der Literatur für identische Begriffe zum Teil widersprüchliche Begriffsbestimmungen. Neue Regelungen und Veröffentlichungen sollten daher keine neuen Begriffe einführen, sondern bestehende Begriffsbestimmungen mit hoher Aussagekraft verwenden, dabei nachvollziehbare Grenzwerte und Leckageraten berücksichtigen sowie Methoden zur Dichtheitskontrolle vorschlagen.

Darüber hinaus könnte der Aufbau einer Datenbank zu Anlagenteilen mit Angaben typischer Leckageraten in der Praxis eine willkommene Hilfestellung sein.

Literatur

- [1] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002. GMBI. (2002), Nr. 25-29, S. 511-605.
- [2] Technische Regeln für Betriebssicherheit: Gefährdungen durch Dampf und Druck (TRBS 2141). Ausg. 3/2019. GMBI. (2019) Nr. 13-16, S. 270
- [3] Technische Regel für Gefahrstoffe: Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre (TRGS 722/TRBS 2152-2). Ausg. 3/2012. GMBI. (2012) Nr. 22, S. 398.
- [4] Technische Regel für Gefahrstoffe: Ortsbewegliche Druckgasbehälter – Füllen, Bereithalten, innerbetriebliche Beförderung, Entleeren (TRGS 745/TRBS 3145). Ausg. 2/2016. GMBI. (2016) Nr. 12-17, S. 256-314.
- [5] Technische Regel für Gefahrstoffe: Gefährdung durch Hautkontakt – Ermittlung, Beurteilung, Maßnahme (TRGS 401). Ausg. 6/2008. GMBI. (2008) Nr. 40-41, S. 818; zul. geänd. GMBI. (2011) Nr. 9, S. 175.
- [6] Technische Regel für Gefahrstoffe: Schutzmaßnahmen Ausgabe (TRGS 500). Ausg. 9/2019. GMBI. (2019) Nr. 66/67, S. 1330-1366; zul. geänd. GMBI. (2020) Nr. 4, S. 88.
- [7] Technische Regel für Gefahrstoffe: Lagern von flüssigen und festen Gefahrstoffen in ortsfesten Behältern sowie Füll- und Entleerstellen für ortsbewegliche Behälter (TRGS 509). Ausg. 9/2014. GMBI. (2014) Nr. 66-67, S. 1346-1400; zul. geänd. GMBI. (2020) Nr. 38, S. 817.
- [8] Technische Regel für Gefahrstoffe: Gefahrstoffe in Einrichtungen der medizinischen Versorgung (TRGS 525). Ausg. 9/2014. GMBI. (2014) Nr. 63, S. 1294-1307; zul. geänd. GMBI. (2015) Nr. 27, S. 542.
- [9] DGUV Regel: Betreiben von Arbeitsmitteln (100-500). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2008.
- [10] DGUV Information: Arbeiten an Rohbiogasleitungen – Handlungshilfe für die Gefährdungsbeurteilung (203-081). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2015.
- [11] DGUV Information: Schleifen (209-002). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2017.
- [12] DGUV Information: Gefahrgutbeförderung in Pkw und in Kleintransportern (213-012). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2020.
- [13] DGUV Information: Sicheres Arbeiten in der pharmazeutischen Industrie (213-083). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2012.
- [14] DGUV Information: Biologische Laboratorien – Ausstattung und organisatorische Maßnahmen (213-086). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2019.
- [15] DIN EN 378-1: Kälteanlagen und Wärmepumpen – Sicherheitstechnische und umweltrelevante Anforderungen – Teil 1: Grundlegende Anforderungen, Begriffe, Klassifikationen und Auswahlkriterien (4/2018). Berlin, Beuth 2018.
- [16] DIN EN 1127-1: Explosionsfähige Atmosphären – Explosionsschutz – Teil 1: Grundlagen und Methodik (10/2019). Berlin, Beuth 2019.
- [17] DIN EN 1779: Zerstorungsfreie Prüfung – Dichtheitsprüfung – Kriterien zur Auswahl von Prüfmethoden und -verfahren (10/1999). Berlin, Beuth 1999.
- [18] DIN EN 12266-1: Industriearmaturen – Prüfung von Armaturen aus Metall – Teil 1: Druckprüfungen, Prüfverfahren und Annahmekriterien – Verbindliche Anforderungen (6/2012). Berlin, Beuth 2012.
- [19] DIN EN 12266-2: Industriearmaturen – Prüfung von Armaturen aus Metall – Teil 2: Prüfungen, Prüfverfahren und Annahmekriterien – Ergänzende Anforderungen (4/2012). Berlin, Beuth 2012.

- [20] DIN EN 12288: Industriearmaturen – Schieber aus Kupferlegierungen (10/2010). Berlin, Beuth 2010.
- [21] DIN EN 13547: Industriearmaturen – Kugelhähne aus Kupferlegierungen (12/2013). Berlin, Beuth 2013.
- [22] DIN EN 13445-3: Unbefeuerte Druckbehälter – Teil 3: Konstruktion (12/2018). Berlin, Beuth 2018.
- [23] DIN EN 13445-8: Unbefeuerte Druckbehälter – Teil 8: Zusätzliche Anforderungen an Druckbehälter aus Aluminium und Aluminiumlegierungen (12/2018). Berlin, Beuth 2018.
- [24] DIN EN ISO 3458: Kunststoff-Rohrleitungssysteme – Mechanische Verbindungen zwischen Formstücken und Druckrohren – Prüfung der Dichtheit bei Innendruck (8/2015). Berlin, Beuth 2015.
- [25] DIN EN ISO 3459: Kunststoff-Rohrleitungssysteme – Mechanische Verbindungen zwischen Formstücken und Druckrohren – Prüfung der Dichtheit bei Unterdruck (6/2015). Berlin, Beuth 2015.
- [26] DIN EN ISO 14903: Kälteanlagen und Wärmepumpen – Qualifizierung der Dichtheit der Bauteile und Verbindungen (12/2017). Berlin, Beuth 2017.
- [27] Technische Regeln Flüssiggas (DVG-TRF 2012). Hrsg.: Deutscher Verband Flüssiggas (DVG), Berlin 2012.
- [28] VDI-Richtlinie 2200: Dichte Flanschverbindungen – Auswahl, Auslegung, Gestaltung und Montage von verschraubten Flanschverbindungen. Hrsg.: Verein Deutscher Ingenieure (VDI), Düsseldorf 2007.
- [29] VDI 2440 Blatt: Emissionsminderung Mineralölraffinerien (Ausg. 9/2019). Berlin, Beuth 2019.



Ida Pfeifer,
Prof. Dr.-Ing.
Bernhard Hoffner,
 Hochschule Mannheim, Institut für Mechanische
 Verfahrenstechnik, Fakultät für Verfahrens- und
 Chemietechnik

Martin Mauermann,
 Berufsgenossenschaft Rohstoffe und Chemische
 Industrie, Referat Anlagen- und Verfahrenssicherheit,
 Heidelberg

Dr. Stefan Engel,
 BASF SE, Ludwigshafen

Dr. Joachim Sommer,
 IVSS Sektion Chemie, Heidelberg