



## **Modul 3-**

# **Wasserstoff-Hochdruckfittings und -Anschlüsse**

## Rohrleitungssysteme, Fittings, Gewinde und Schläuche und für H2

### Lernergebnisse

#### Wasserstoff-Rohrleitungssystem

- ✓ Unterirdisches Rohrleitungssystem
- ✓ Oberirdische Rohrleitungssysteme

#### Unterirdisches Rohrleitungssystem

- ✓ Muss komplett geschweißt sein
- ✓ Außenbeschichtung zum Schutz vor Bodenkorrosion
- ✓ Sie muss ausreichend eingegraben werden, um sie vor Frost, zufälligen Oberflächenkonstruktionen, Verschiebungen aufgrund von instabilem Boden, Beschädigungen der äußeren Oberfläche des Rohrs oder der Umhüllung durch Aufschüttungen und oberirdische Lasten wie Fahrzeuge oder Geräte, die sich über den Verlauf der Pipeline bewegen, zu schützen.
- ✓ Wenn eine Ummantelung erforderlich ist (z. B. unter Bahngleisen), sollte sie Probleme mit dem kathodischen Schutz und Lichtbogenbildung vermeiden.
- ✓ Durch diese Risse kann auch Wasserstoff durch die Materialoberfläche in die Umgebung eindringen, was in einigen Systemen ein Sicherheitsrisiko und eine Verunreinigung darstellen kann.

*Die Rohrleitungen sollten vollständig geschweißt sein und einer Spezifikation und Prüfvorschrift wie API 1104 entsprechen. Unterirdisch verlegte Rohrleitungen müssen zum Schutz vor Bodenkorrosion von außen nach einer zugelassenen Spezifikation beschichtet werden. Es wird empfohlen, sich auf die aktuellen, international anerkannten Beschichtungsstandards und -spezifikationen zu beziehen. Erdverlegte Rohrleitungen sollten angemessen eingegraben werden, um sie vor Frost, zufälligen Oberflächenkonstruktionen, Verschiebungen aufgrund von instabilem Boden, Beschädigungen der äußeren Rohroberfläche oder der Beschichtung durch Aufschüttungen sowie vor oberirdischen Lasten wie Fahrzeugen oder Geräten, die sich über den Verlauf der Rohrleitung bewegen, zu schützen. An Bahn- oder Straßenkreuzungen oder an Stellen, an denen ungewöhnliche oberirdische Belastungen auftreten können, sollten Rohrummantelungen oder Lastabschirmungen installiert werden, falls dies von speziellen Behörden gefordert wird. Ummantelungen oder Manschetten erfordern sorgfältige Überlegungen und besondere Maßnahmen, um Probleme mit dem kathodischen Schutz und Lichtbögen zu vermeiden, die durch eine elektrische Verbindung zwischen Manschette und Mediumrohr aufgrund von Setzungen usw. entstehen können. Generell ist die Verwendung von metallischen Umhüllungen oder Muffen nach Möglichkeit zu vermeiden. Unterirdisch verlegte Wasserstoffleitungen sind anfällig für Schäden durch Blitzeinschläge oder Erdschlüsse, die das Rohrmaterial aufreißen können. Um die Wahrscheinlichkeit eines dieser Ereignisse zu*



*verringern, sollte ein elektrischer Durchgang zwischen unterirdischen Wasserstoffleitungen und oberirdischen Leitungen oder anderen Metallstrukturen vermieden werden.*

### **Oberirdische Rohrleitungssysteme**

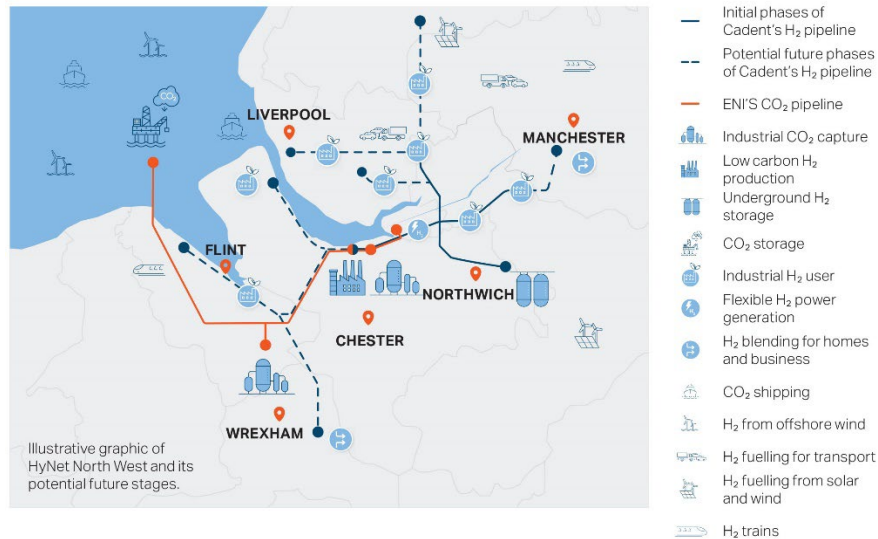
- ✓ Wo immer es möglich ist, werden geschweißte Verbindungen empfohlen.
- ✓ Sollte zum Schutz gegen atmosphärische Korrosion gestrichen werden.
- ✓ Oberirdische Teile von Rohrleitungssystemen sollten mit unterirdischen Teilen durch eine elektrisch isolierte Verbindung verbunden werden, um das unterirdische kathodische Schutzsystem zu isolieren, und bestimmte Normen und Kriterien befolgen, wie z. B.: Der elektrische Erdungswiderstand der installierten Rohrleitung sollte 10  $\Omega$  nicht überschreiten, um das Personal vor elektrischen oder Hochspannungsschlägen zu schützen.
- ✓ Die Rohrleitungen sollten keinen äußeren Kräften ausgesetzt sein, die ein Versagen oder eine gefährliche Situation verursachen können, wie z. B. äußere Einwirkung durch heiße Gas- oder Dampfentlüftungen, Vibrationen von außen, auf die Leitung tropfendes Lecköl usw.
- ✓ Sie sollten regelmäßig auf Korrosion und Leckagen untersucht werden.

*Oberirdische Teile von Rohrleitungssystemen sollten mit unterirdischen Teilen durch eine elektrisch isolierte Verbindung verbunden sein, um das unterirdische kathodische Schutzsystem zu isolieren. Alle oberirdischen Rohrleitungen müssen über alle Verbindungen, mit Ausnahme von Isolierflanschen, elektrisch durchgängig sein und in geeigneten Abständen geerdet werden, um vor den Auswirkungen von Blitzschlag und statischer Elektrizität zu schützen. Der elektrische Erdungswiderstand der installierten Rohrleitung sollte 10 Ohm nicht überschreiten, um das Personal vor elektrischen oder Hochspannungsschlägen zu schützen. Die Flanschverschraubung sorgt für die notwendige elektrische Verbindung, sofern die Schrauben nicht mit einem dielektrischen Material oder Farbe beschichtet sind und gut gewartet werden, um Rost zu vermeiden. Bei kurzen oberirdischen Abschnitten, bei denen keine Isolierflansche verwendet werden, sollte das Rohr durch eine Isolierplatte von der Tragkonstruktion isoliert werden. Wasserstoffleitungen sollten keinen äußeren Kräften ausgesetzt werden, die ein Versagen oder eine gefährliche Situation verursachen können, wie z. B. äußere Einwirkung durch heiße Gas- oder Dampfentlüftungen, Vibrationen von außen, auf die Leitung tropfendes Öl usw. Oberirdische Rohrleitungssysteme außerhalb der Umzäunung der Anlage können absichtlich oder versehentlich beschädigt werden. Es sollte in Erwägung gezogen werden, Rohre und Ventile unterirdisch zu verlegen, mit Erweiterungen für oberirdische Bediener und Messgeräte.*

### **Beispiel für einen H<sub>2</sub> Pipeline-Vorschlag im Vereinigten Königreich**



Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union



### Mögliche Gefahrenquellen:

#### Wärmestrahlung durch anhaltendes Feuer und Druckstoß durch Gaswolkenexplosion!

- Schäden durch Dritte
- Verwendung von nicht kompatiblen Materialien und Geräten unter allen Betriebsbedingungen
- Wasserstoffversprödung
- Außenkorrosion durch unsachgemäßen kathodischen Schutz
- Leckagen an Ventilpackungen, Dichtungen,...
- Überdruck in der Pipeline
- Unsachgemäßes Inertisierungsverfahren
- Unsachgemäßer Betrieb und Wartung der Pipeline
- Abnormale Belastungen durch Erdbeben, Überschwemmungen, Erdbeben, Überquerung von Straßen, Eisenbahnlinien, ...
- Beeinflussung durch andere Bauwerke, wie Hochspannungsleitungen, elektrische Bahnen
- Schäden aufgrund eines anormalen Ereignisses an einer parallelen Leitung
- Verkehrsunfall oder Brand in der Nähe der oberirdischen Teile der Pipeline
- Die Strahlung eines Schlotfeuers oder einer Fackel

*Alle menschlichen Aktivitäten sind mit einem gewissen Risiko behaftet, und es sollten positive Schritte unternommen werden, um die Risiken auf ein vernünftiges Maß zu reduzieren, wann immer dies möglich ist. Jedes neue Transportpipelinesystem muss so geplant, gebaut und betrieben werden, dass das zusätzliche Risiko für Menschen, Eigentum und die Umwelt in akzeptablen Grenzen gehalten wird. Zu*

*diesem Zweck sollte für jedes neue Pipelinesystem oder jede wesentliche Änderung an einem bestehenden System eine Sicherheitsanalyse durchgeführt werden. Die Sicherheitsanalyse ist ein bewährtes Mittel, um die Risiken des Pipelinesystems für die Umwelt und die Risiken, die von der Umgebung auf die Pipeline ausgehen, zu bewerten und die Maßnahmen festzulegen, die während der Planung, des Baus und des Betriebs anzuwenden sind, um die Wahrscheinlichkeit des Auftretens und die Folgen anormaler Ereignisse zu verringern. Normalerweise richtet sich der Detaillierungsgrad der Sicherheitsanalyse nach der Bevölkerungsdichte in der Umgebung der Pipelinetrasse, der potenziellen Schwere eines Zwischenfalls und der Wahrscheinlichkeit, dass ein Zwischenfall eintreten könnte. Die übliche Methode einer Sicherheitsbewertung besteht darin, das individuelle Risiko zu bestimmen und zu zeigen, dass es sich innerhalb akzeptabler Grenzen bewegt. Es ist nicht unüblich, das individuelle Risiko als die Wahrscheinlichkeit zu definieren, dass eine Person, die sich zu jeder Zeit an einem bestimmten Ort im Freien aufhält, infolge eines außergewöhnlichen Ereignisses, das die Pipeline betrifft, tödlich verletzt wird, und einen akzeptablen Grenzwert in Form von Todesfällen pro Anzahl von Jahren anzugeben. Örtliche Vorschriften enthalten häufig Richtlinien für die Durchführung von Sicherheitsanalysen und legen akzeptable Grenzwerte fest.*

#### **Beispiel für mildernde Maßnahmen:**

- *Kontrolle der Beeinflussung durch Dritte*
- *Erhöhte Dicke des Rohrs*
- *Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißnähten*
- *Kennzeichnung von Rohrleitungen*
- *Absperrventile*
- *Absperrventile für übermäßigen Durchfluss oder niedrigen Druck*
- *Lecksuche durch Massenbilanz*
- *Vertiefung der Pipeline*
- *Physikalische Schutzmaßnahmen: Betonummantelung oder -umhüllung, Betonplatten*
- *Umleitung von Pipelines*
- *Verringerung des Betriebsdrucks in der Pipeline*
- *Betriebsverfahren, einschließlich: Inspektionsprogramme, Korrosionsschutzprogramme,*
- *Notfallplan, Personalschulung, Information Dritter, Zusammenarbeit mit den örtlichen Behörden*

#### **Maßnahmen zum Risikomanagement**

- ✓ **Festlegung von Risikozonen**
- ✓ **Identifizierung von Risiken Kriterien**
- ✓ **Standort**



*Innerhalb der durch die Simulation ermittelten bedenklichen Entfernungen ist die Zoneneinteilung für die gesamte Länge des Rohrs zu untersuchen, um Punkte zu ermitteln, an denen Ausgleichsmaßnahmen in Betracht gezogen werden sollten. Eine weitere weit verbreitete Methode zur Festlegung der Zone um die Rohrleitung, die von einem Leck oder Bruch betroffen sein könnte, ist die Verwendung eines potenziellen Aufprallradius.*

*Die zu berücksichtigenden Risikokriterien hängen von den geltenden nationalen oder lokalen Vorschriften ab.*

*Die Lage von Wasserstoffsystemen muss sorgfältig geprüft werden, insbesondere an Stellen, an denen es zu einer Entlüftung in die Atmosphäre kommen kann, z. B. Ventilstationen, Entlüftungen, Abflüsse, Sicherheitsventile usw. Der Standort potenzieller Entlüftungsstellen sollte sorgfältig gewählt werden, und zwar, soweit dies praktisch möglich ist, so, dass die unmittelbare Nähe von gefährdeten Bereichen und Geräten wie elektrischen Geräten, Lagertanks für brennbare Produkte, öffentlichen Straßen, öffentlichen Gebäuden, Parkplätzen und Umladestationen vermieden wird. Standortwahl und Sicherheitsabstände sollten der gängigen Praxis und den geltenden Vorschriften entsprechen.*

### **Entlüftung als Sicherheitsmaßnahme**

- Die Entflammbarkeit und das Selbstentzündungspotenzial von Wasserstoffgas sind ein erheblicher potenzieller Risikofaktor. Daher sollte die Entlüftung gemäß den Sicherheitsvorschriften erfolgen.

### **Entlüftungsmethoden:**

- Entlüftung in die Atmosphäre
- Zerstörung in einer Fackel

### **Entlüftung in die Atmosphäre**

- ✓ Sehr große Wasserstoffgasströme können an einem sicheren Ort im Freien direkt in die Atmosphäre abgeleitet werden. Wenn große Mengen Wasserstoff in die Atmosphäre abgeleitet werden müssen, empfiehlt es sich, zunächst eine Ausbreitungsstudie durchzuführen, um die Auslegung der Entlüftung zu bestimmen. Die Entlüftung in die Atmosphäre erfolgt in der Regel entlang der Rohrleitung, da eine Fackel in der Regel nicht verfügbar ist.
- ✓ Um die Möglichkeit einer Selbstentzündung beim Austritt des Wasserstoffs aus dem Schornstein zu minimieren, wird empfohlen, die Rohrleitungen unmittelbar vor dem Austritt entweder aus rostfreiem Stahl oder aus einem nicht funkenbildenden metallischen Werkstoff herzustellen.
- ✓ In einigen Fällen kann das Spülen der Entlüftungsleitung mit einem Inertgas wie Stickstoff helfen, eine Selbstentzündung zu verhindern,



### Zerstörung in einer Fackel

- Das Abfackeln wird nicht empfohlen, es sei denn, es wird kontinuierlich ein Wasserstoffstrom abgeleitet. Das Abfackeln erfordert eine konstante Geschwindigkeit und Kontrollen, um sicherzustellen, dass die Fackel nicht erloschen ist und keine Luft in den Abluftkamin zurückfließen kann.
- In bestimmten Notfall- oder Wartungssituationen kann Wasserstoff auch abgefackelt werden. Ein Sicherheitsmerkmal einiger wasserstoffbetriebener Fahrzeuge besteht beispielsweise darin, dass sie den Kraftstoff abfackeln können, wenn der Tank brennt, so dass er vollständig ausbrennt, ohne das Fahrzeug zu beschädigen, wie es bei einem benzinbetriebenen Fahrzeug der Fall wäre.



### Materialspezifikation für Rohrleitungen

\*\*Materialien, die für industrielle Rohrleitungen geeignet sind, sind in GR-2.2.1-1 aufgeführt



**Table GR-2.1.1-2 Material Specification Index for Pipelines**

| Spec. No.   | Grade | Description  |
|-------------|-------|--|
| <b>ASTM</b> |       |  |
| A53         | A     | Electric resistance welded, seamless 30,000 psi  |
| A53         | B     | Electric resistance welded, seamless 35,000 psi  |
| A106        | A     | Seamless 30,000 psi  |
| A106        | B     | Seamless 35,000 psi  |
| A106        | C     | Seamless 40,000 psi  |
| A135        | A     | Electric resistance welded 30,000 psi  |
| A135        | B     | Electric resistance welded 35,000 psi  |
| A139        | A     | Electric fusion welded 30,000 psi  |
| A139        | B     | Electric fusion welded 35,000 psi  |
| A139        | C     | Electric fusion welded 42,000 psi  |
| A139        | D     | Electric fusion welded 46,000 psi  |
| A139        | E     | Electric fusion welded 52,000 psi  |
| A333        | 1     | Seamless, electric resistance welded 30,000 psi  |
| A333        | 6     | Seamless, electric resistance welded 35,000 psi  |
| A333        | 10    | Seamless, electric resistance welded 65,000 psi  |
| A381        | ...   | Class Y-35 double submerged-arc welded 35,000 psi  |
| A381        | ...   | Class Y-42 double submerged-arc welded 42,000 psi  |
| A381        | ...   | Class Y-46 double submerged-arc welded 46,000 psi  |
| A381        | ...   | Class Y-48 double submerged-arc welded 48,000 psi  |
| A381        | ...   | Class Y-50 double submerged-arc welded 50,000 psi  |
| A381        | ...   | Class Y-52 double submerged-arc welded 52,000 psi  |
| A381        | ...   | Class Y-56 double submerged-arc welded 56,000 psi  |
| A381        | ...   | Class Y-60 double submerged-arc welded 60,000 psi  |
| A381        | ...   | Class Y-65 double submerged-arc welded 65,000 psi [Note (1)]                               |
| <b>API</b>  |       |  |
| API 5L      | A     | Electric resistance welded, double submerged-arc welded 30,000 psi                         |
| API 5L      | B     | Electric resistance welded, seamless, double submerged-arc welded 35,000 psi               |
| API 5L      | X42   | Electric resistance welded, seamless, double submerged-arc welded 42,000 psi               |
| API 5L      | X52   | Electric resistance welded, seamless, double submerged-arc welded 52,000 psi               |
| API 5L      | X56   | Electric resistance welded, seamless, double submerged-arc welded 56,000 psi               |
| API 5L      | X60   | Electric resistance welded, seamless, double submerged-arc welded 60,000 psi               |
| API 5L      | X65   | Electric resistance welded, seamless, double submerged-arc welded 65,000 psi<br>[Note (1)] |
| API 5L      | X70   | Electric resistance welded, seamless, double submerged-arc welded 70,000 psi<br>[Note (1)] |
| API 5L      | X80   | Electric resistance welded, seamless, double submerged-arc welded 80,000 psi<br>[Note (1)] |

(a) Der maximale Betriebsdruck (MOP) darf für alle Werkstoffe, sofern nicht anders angegeben, 3.000 psi nicht überschreiten, vorausgesetzt, dass der Werkstoff durch Tests in Wasserstoff, z. B. gemäß Artikel KD-10 des ASME BPV Code Section VIII, Division 3, geeignet nachgewiesen wird. (b) Werkstoffe mit einem Ni-Anteil von über 0,50 dürfen nicht verwendet werden. (c) Siehe Obligatorischer Anhang II für Bezugsdaten der Spezifikationen. ANMERKUNG: (1) Der MOP muss weniger als 1.500 psi betragen.

## Überlegungen zum Schweißen

- Reinigung von Bauteiloberflächen





- *Gelenkvorbereitung und -ausrichtung*  
*Vorbereitung der Enden von Rohrkomponenten*  
*Ausrichten zum Schweißen*
- *Schweißnahtverstärkung*
- *Vorwärmen für Schweißteile*
- *Wärmebehandlung nach dem Schweißen*

**Table GR-3.4.6-1 Weld Reinforcement**

| Wall Thickness, $\bar{T}_w$ , mm (in.)<br>[Note (1)]    | Height, mm (in.)<br>[Note (2)] |
|---|--------------------------------|
| $\leq 6$ ( $\frac{1}{4}$ )                              | $\leq 1.5$ ( $\frac{1}{16}$ )  |
| $> 6$ ( $\frac{1}{4}$ ) and $\leq 13$ ( $\frac{1}{2}$ ) | $\leq 3$ ( $\frac{1}{8}$ )     |
| $> 13$ ( $\frac{1}{2}$ ) and $\leq 25$ (1)              | $\leq 4$ ( $\frac{5}{32}$ )    |
| $> 25$ (1)  | $\leq 5$ ( $\frac{3}{16}$ )    |

*Innere und äußere Oberflächen, die thermisch geschnitten oder geschweißt werden sollen, müssen gereinigt werden, um Farbe, Öl, Rost, Zunder, Fett, Schlacke, Oxide und anderes schädliches Material zu entfernen, das dem Grundmetall schaden würde.*

*Das Vorwärmen wird zusammen mit der Wärmebehandlung eingesetzt, um die schädlichen Auswirkungen der hohen Temperaturen und der starken thermischen Gradienten beim Schweißen zu minimieren. Die Notwendigkeit des Vorwärmens und die zu verwendende Temperatur sind in der technischen Auslegung festzulegen und durch Verfahrensprüfung nachzuweisen.*

*Die Wärmebehandlung wird eingesetzt, um die nachteiligen Auswirkungen hoher Temperaturen und starker Temperaturgradienten beim Schweißen zu vermeiden oder zu mildern und die durch Biegen und Umformen entstandenen Eigenspannungen abzubauen.*

#### **Unterstützung von Pipelines und Rohrleitungen**

Die Auslegung und Konstruktion der Rohrleitungen und ihrer Tragelemente muss darauf ausgerichtet sein, Folgendes zu verhindern: (a) Spannungen in den Rohrleitungen, die über die in diesem Code zulässigen Spannungen hinausgehen, b) Leckagen an den Verbindungen, c) übermäßige Schübe und Momente auf die angeschlossenen Ausrüstungen (z. B. Pumpen und Turbinen), d) übermäßige Spannungen in den tragenden (oder einspannenden) Elementen, e) Resonanz mit aufgezwungenen oder flüssigkeitsinduzierten(f) übermäßige Beeinträchtigung der thermischen Ausdehnung und Kontraktion von Rohrleitungen, die ansonsten ausreichend flexibel sind (g) unbeabsichtigtes Lösen der Rohrleitungen von ihren Halterungen (h) übermäßiger Durchhang von Rohrleitungen, die ein Abflussgefälle erfordern (i) übermäßige Verformung oder Durchhang von Rohrleitungen, die unter den Bedingungen wiederholter thermischer Zyklen einem Kriechverhalten unterliegen (j) übermäßiger Wärmefluss, der die tragenden Elemente Temperaturextremen außerhalb ihrer Auslegungsgrenzen aussetzt. Im Allgemeinen kann die

Positionierung und Auslegung von Rohrleitungsstützelementen auf einfachen Berechnungen und technischem Urteilsvermögen beruhen. Ist jedoch eine genauere Analyse erforderlich und wird eine Rohrleitungsanalyse durchgeführt, die auch die Steifigkeit der Halterung einschließen kann, so sind die dabei ermittelten Spannungen, Momente und Reaktionen bei der Auslegung der Halterungselemente zu berücksichtigen.

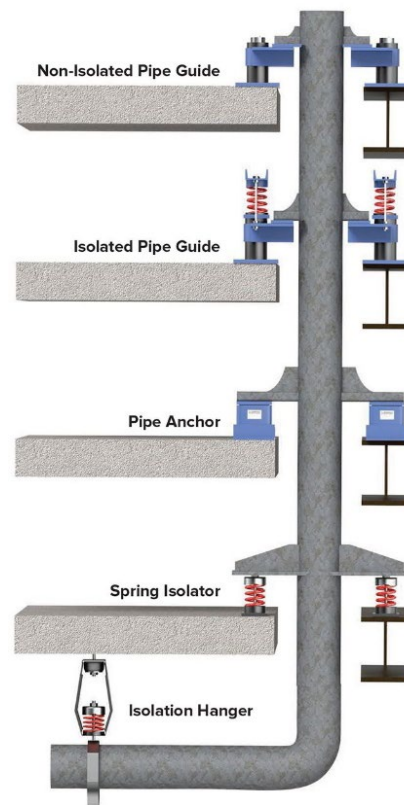
## **Halterungen und Stützen**

### **(a) Verankerungen und Führungen**

(1) Ein als Anker verwendetes Tragelement muss so konstruiert sein, dass es eine im Wesentlichen feste Lage beibehält.

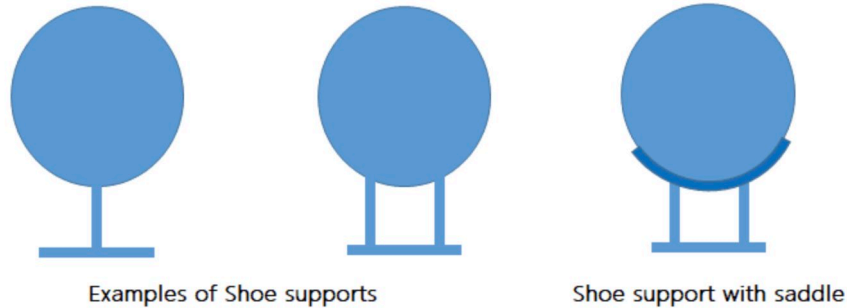
(2) Zum Schutz von Endeinrichtungen oder anderen (schwächeren) Teilen des Systems sind erforderlichenfalls Rückhaltevorrückungen (z. B. Anker und Führungen) vorzusehen, um Bewegungen zu kontrollieren oder die Ausdehnung in die Teile des Systems zu leiten, die dafür ausgelegt sind, sie aufzunehmen. Die Konstruktion, die Anordnung und die Lage der Halterungen müssen sicherstellen, dass die Bewegungen des Kompensators in die Richtungen erfolgen, für die der Kompensator ausgelegt ist. Zusätzlich zu den anderen thermischen Kräften und Momenten sind bei der Bemessung solcher Verankerungen und Führungen auch die Auswirkungen der Reibung in anderen Trägern des Systems zu berücksichtigen.

(3) Die Auslegung von Rohrleitungen, Verankerungen, Halterungen, Führungen und Abstützungen für alle Arten von Kompensatoren muss in Übereinstimmung mit Anhang X, para. X301.2 der ASME B31.3.



### **(b) Unausdehbare Halterungen außer Verankerungen und Führungen**

- (1) Die tragenden Elemente müssen so beschaffen sein, dass sie die freie Bewegung der Rohrleitungen aufgrund von Wärmeausdehnung und -kontraktion zulassen.
- (2) Zu den Aufhängungen gehören Rohr- und Balkenschellen, Klammern, Bügel, Stangen, Bänder, Ketten und andere Vorrichtungen. Sie müssen für alle erforderlichen Lasten bemessen sein. Sichere Lasten für Gewindeteile basieren auf dem Fußbereich der Gewinde.
- (3) Gleitlager (oder -schuhe) und Halterungen müssen so ausgelegt sein, dass sie zusätzlich zu den Lagerbelastungen auch den Reibungskräften standhalten. Die Abmessungen der Halterung müssen der zu erwartenden Bewegung der gelagerten Rohrleitung Rechnung tragen.

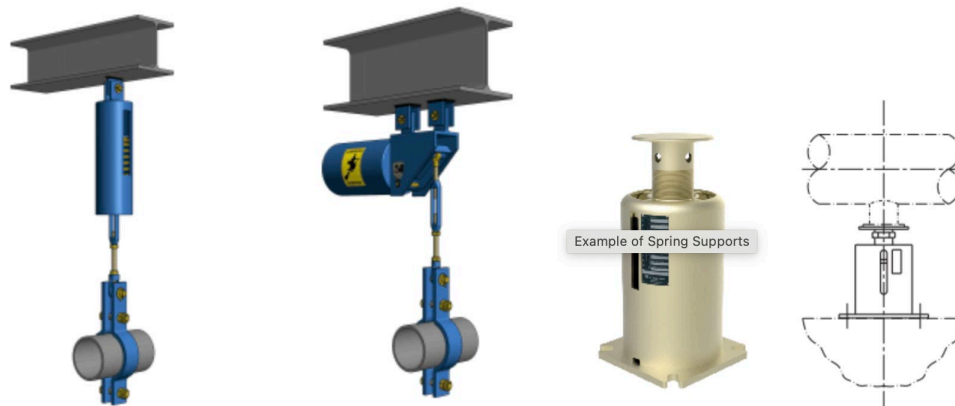


### (c) Belastbare Stützen

(1) Federstützen müssen so ausgelegt sein, dass sie an der Befestigungsstelle am Rohr eine Stützkraft ausüben, die der durch Gewichtsausgleichsberechnungen ermittelten Last entspricht. Sie müssen mit Vorrichtungen versehen sein, die eine Fehlausrichtung, ein Ausknicken oder eine exzentrische Belastung der Federn sowie ein unbeabsichtigtes Ausklinken der Last verhindern.

(2) Federhänger mit konstanter Stützkraft bieten eine im Wesentlichen gleichmäßige Stützkraft über den gesamten Verfahrbereich. Die Verwendung dieser Art von Federhängern ist an Stellen vorteilhaft, die bei thermischen Veränderungen spürbaren Bewegungen ausgesetzt sind. Hänger dieses Typs sollten so ausgewählt werden, dass ihr Verfahrbereich die zu erwartenden Bewegungen übersteigt.

(3) Es sind Vorkehrungen zu treffen, die eine Überbeanspruchung der Federhänger durch übermäßige Verformungen verhindern. Es wird empfohlen, alle Federhänger mit Positionsanzeigen zu versehen.



### (d) Gegengewichtsstützen

Die Gegengewichte müssen mit Anschlägen zur Begrenzung des Weges versehen sein. Die Gewichte müssen sicher befestigt sein. Für Ketten, Seile, Hänger, Kipphelb oder andere Vorrichtungen zur Befestigung der Gegengewichtslast an den Rohrleitungen gelten die Anforderungen von Buchstabe b) oben.



### (e) Hydraulische Stützen

Zur Erzielung einer konstanten Stützkraft kann eine Anordnung mit einem Hydraulikzylinder verwendet werden. Es sind Sicherheitsvorrichtungen und Anschläge vorzusehen, um die Last im Falle eines Versagens der Hydraulik zu stützen.



### Erhitzungsmethoden für die Wärmebehandlung

**Ofenheizung:** Gas- oder Elektroheizungen sind zulässig.

(1) Wenn möglich, sollte eine Baugruppe in einem Ofen erwärmt werden; die Größe oder Form der Einheit oder die nachteiligen Auswirkungen einer gewünschten Wärmebehandlung auf ein oder mehrere Bauteile, wenn es sich um ungleiche Werkstoffe handelt, können jedoch alternative Verfahren vorschreiben.

(2) Eine Baugruppe darf nach dem Schweißen in einem Ofen in mehreren Durchgängen wärmebehandelt werden, vorausgesetzt, die erwärmten Abschnitte überlappen sich um mindestens 300 mm und der Teil der Baugruppe, der sich außerhalb des Ofens befindetet, ist abgeschirmt, so dass der Temperaturgradient nicht schädlich ist.

(3) Eine direkte Flammeneinwirkung auf die Baugruppe ist verboten.

**Lokale Heizung:** Brenngas, elektrische Induktion oder Widerstand sind zulässig.

(1) Schweißnähte dürfen durch Erwärmung eines umlaufenden Bandes um das gesamte Bauteil mit der Schweißnaht in der Mitte des Bandes lokal PWHT-gehärtet werden. Die Breite des auf die PWHT-Temperatur erwärmten Bandes für Rundnähte muss mindestens das Dreifache der Wanddicke an der Schweißnaht des dicksten zu verbindenden Teils betragen.

(2) Bei Stutzen- und Ansatzschweißungen muss die Breite des auf die PWHT-Temperatur erwärmten Bandes über die Stutzen- oder Ansatzschweißung hinaus auf jeder Seite mindestens das Zweifache der Kopfdicke betragen und vollständig um den Kopf herum verlaufen.

(3) Umfasst das Heizband der Stutzen- oder Ansatzschweißung eine Rundnaht oder ein gebogenes oder geformtes Teilstück, so muss das Heizband mindestens 25 mm über deren Enden hinausreichen.

### Wärmebehandlung nach dem Schweißen Erwärmung und Kühlung Anforderungen

Oberhalb von 335°C (600 °F) darf die Erwärmungs- und Abkühlungsrate 335 °C /h (600 °F /hr) geteilt durch die Hälfte der maximalen Materialdicke in Zoll an der Schweißnaht nicht überschreiten, aber in keinem Fall darf die Rate 335 °C /h (600 °F /hr) übersteigen. Der Abkühlungszyklus muss die erforderliche oder gewünschte Abkühlungsrate gewährleisten und kann die Abkühlung in einem Ofen, an ruhender Luft, durch lokale Wärmezufuhr oder Isolierung oder durch andere geeignete Mittel umfassen.

### Vorwärmtemperaturen

**Table GR-3.5-1 Preheat Temperatures**

| Base Metal<br>P-No. or S-No.<br>[Note (1)] | Base Metal Group                           | Nominal Thickness<br>[Note (2)] |       | Specified Min. Tensile<br>Strength, Base Metal |      | Min. Preheat<br>Temperature<br>Required<br>[Note (3)] |     |
|--|--|---------------------------------|-------|--|------|---|-----|
|  |  | mm                              | in.   | MPa  | ksi  | °C  | °F  |
| 1  | Carbon steel                               | < 25                            | < 1   | ≤ 490  | ≤ 71 | 80  | 175 |
|  |  | ≥ 25                            | ≥ 1   | All  | All  | 80  | 175 |
|  |  | All                             | All   | > 490  | > 71 | 80  | 175 |
| 3  | Alloy steels,<br>Cr ≤ 1/2%                 | < 13                            | < 1/2 | ≤ 490  | ≤ 71 | 80  | 175 |
|  |  | ≥ 13                            | ≥ 1/2 | All  | All  | 80  | 175 |
|  |  | All                             | All   | > 490  | > 71 | 80  | 175 |
| 4  | Alloy steels,<br>1/2% < Cr ≤ 2%            | All                             | All   | All  | All  | 150   | 300 |
| 5A, 5B                                     | Alloy steels,<br>2 1/4% ≤ Cr<br>≤ 9Cr max. | All                             | All   | All  | All  | 175   | 350 |
| Note (4)                                   | Nonferrous                                 | All                             | All   | All  | All  | 24  | 75  |

### Temperaturen bei der Nachbehandlung von Schweißnähten

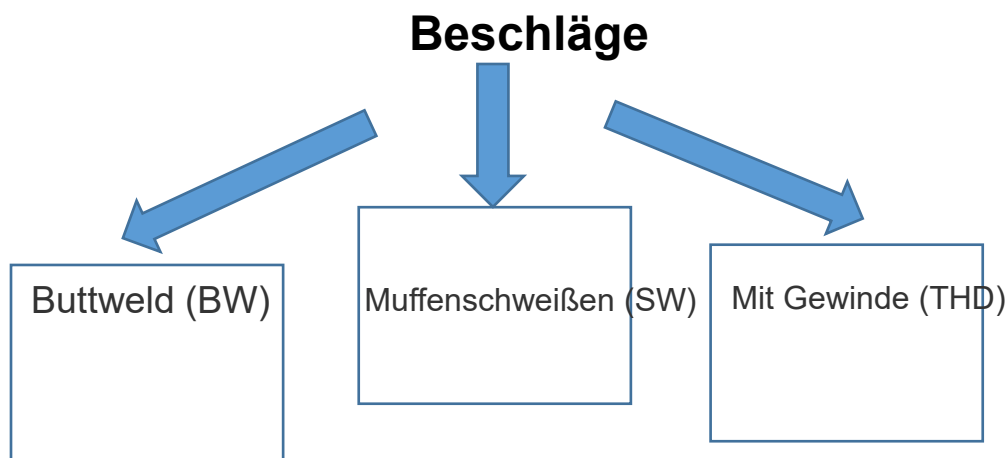


**Table GR-3.6.1-1 Requirements for Postweld Heat Treatment of Weldments**

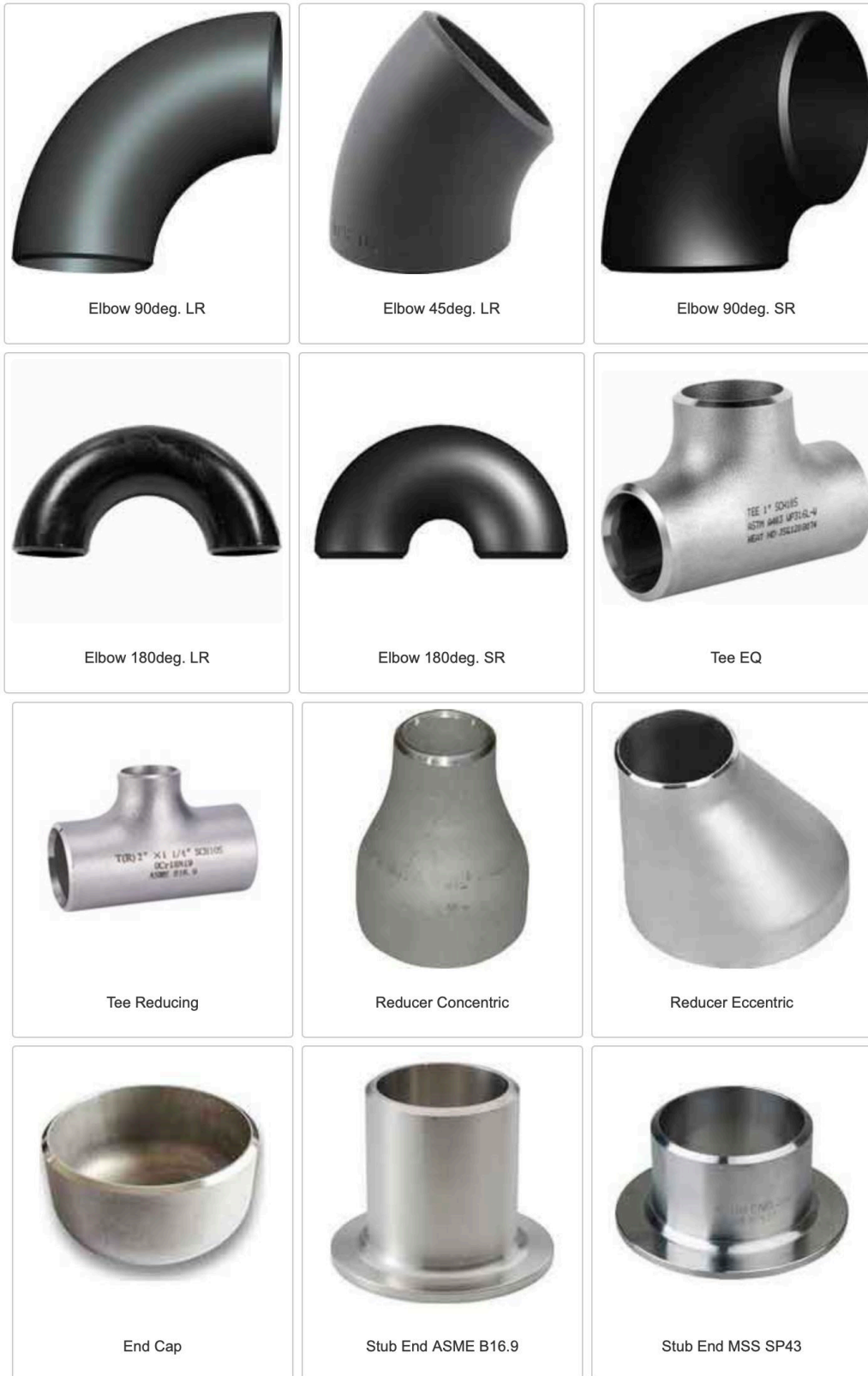
| Base Metal<br>P-No. or S-No.<br>[Note (1)] | Base Metal Group   | Nominal<br>Thickness<br>[Note (2)] |       | Specified<br>Min. Tensile<br>Strength,<br>Base Metal |      | Metal<br>Temperature Range |             | Holding Time               |        |                     |
|--|--|------------------------------------|-------|--|------|----------------------------|-------------|----------------------------|--------|---------------------|
|  |  | mm                                 | in.   | MPa  | ksi  | °C                         | °F          | Nominal Wall<br>[Note (3)] |        | Min.<br>Time,<br>hr |
|  |  |                                    |       |  |      |                            |             | min/mm                     | hr/in. |                     |
| 1  | Carbon steel   | ≤ 20                               | ≤ 3/4 | All  | All  | None                       | None        | ...                        | ...    | ...                 |
|  |  | > 20                               | > 3/4 | All  | All  | 595-650                    | 1,100-1,200 | 2.4                        | 1      | 1                   |
| 3  | Alloy steels, Cr ≤ 1/2%  | ≤ 20                               | ≤ 3/4 | ≤ 490  | ≤ 71 | None                       | None        | ...                        | ...    | ...                 |
|  |  | > 20                               | > 3/4 | All  | All  | 595-720                    | 1,100-1,325 | 2.4                        | 1      | 1                   |
|  |  | All                                | All   | > 490  | > 71 | 595-720                    | 1,100-1,325 | 2.4                        | 1      | 1                   |
| 4<br>[Note (4)]                            | Alloy steels, 1/2% < Cr ≤ 2%   | ≤ 13                               | ≤ 1/2 | ≤ 490  | ≤ 71 | None                       | None        | ...                        | ...    | ...                 |
|  |  | > 13                               | > 1/2 | All  | All  | 705-745                    | 1,300-1,375 | 2.4                        | 1      | 1                   |
|  |  | All                                | All   | > 490  | > 71 | 705-745                    | 1,300-1,375 | 2.4                        | 1      | 1                   |
| 5A, 5B<br>[Note (4)]                       | Alloy steels (2 1/4% ≤ Cr ≤ 10%)<br>≤ 3% Cr and ≤ 0.15% C<br>≤ 3% Cr and ≤ 0.15% C<br>> 3% Cr or > 0.15% C | ≤ 13                               | ≤ 1/2 | All  | All  | None                       | None        | ...                        | ...    | ...                 |
|  |  | > 13                               | > 1/2 | All  | All  | 705-760                    | 1,300-1,400 | 2.4                        | 1      | 1                   |
|  |  | All                                | All   | All  | All  | 705-760                    | 1,300-1,400 | 2.4                        | 1      | 1                   |
| 8  | High alloy steels, austenitic  | All                                | All   | All  | All  | None                       | None        | ...                        | ...    | ...                 |

## Beschläge

Ein Rohrfitting ist ein Teil eines Rohrleitungssystems, das zur Richtungsänderung, Abzweigung oder Änderung des Rohrdurchmessers verwendet wird und mechanisch mit dem System verbunden ist. Es gibt viele verschiedene Arten von Fittings und sie sind in allen Größen und Ausführungen gleich wie das Rohr.



## Stumpfschweißfittings

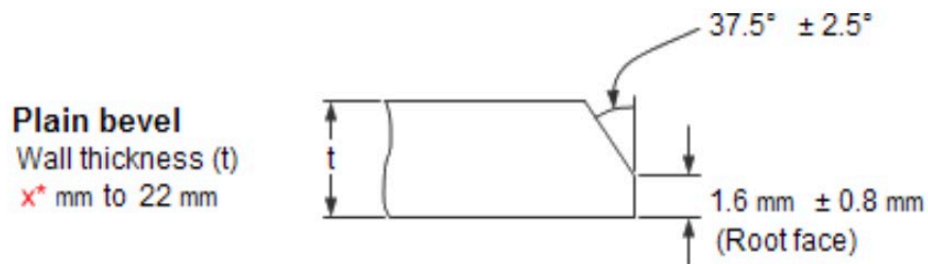


- Die Enden aller stumpfgeschweißten Formstücke sind ab einer Wandstärke von 4 mm bei austenitischem nichtrostendem Stahl bzw. 5 mm bei ferritischem nichtrostendem Stahl

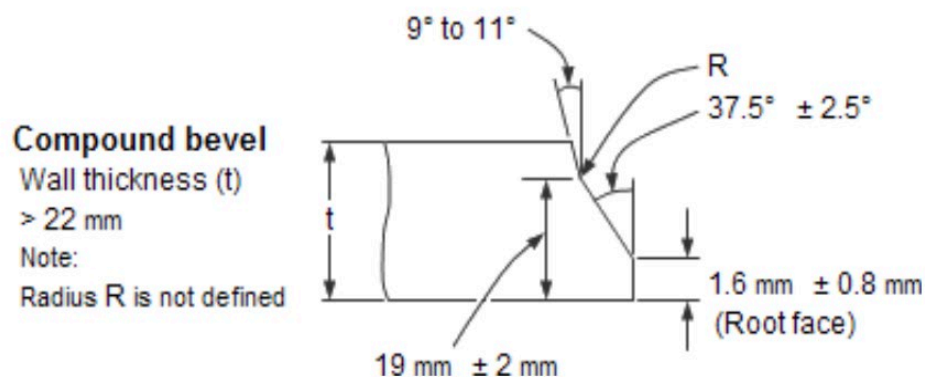


abgeschrägt. Die Form der Fase hängt von der tatsächlichen Wandstärke ab. Diese abgeschrägten Enden werden benötigt, um eine Stumpfschweißung durchführen zu können.

- Die ASME B16.25 behandelt die Vorbereitung der Schweißenden von Rohrleitungsbauteilen, die durch Schweißen zu einem Rohrleitungssystem verbunden werden sollen. Sie enthält Anforderungen für Schweißfasen, für die äußere und innere Formgebung von dickwandigen Bauteilen und für die Vorbereitung der inneren Enden (einschließlich Abmessungen und Maßtoleranzen). Diese Anforderungen an die Schweißnahtvorbereitung sind auch in den ASME-Normen (z. B. B16.9, B16.5, B16.34) enthalten.



Less than  $x^*$  = Cut square or slightly chamfer, at manufacturer's option.



- Stumpfschweißfittings (BW), deren Abmessungen, Maßtoleranzen usw. in den Normen ASME B16.9 festgelegt sind. Leichte korrosionsbeständige Fittings werden nach MSS SP43 hergestellt.

Ein Rohrleitungssystem mit Stumpfschweißfittings hat viele Vorteile gegenüber anderen Formen, wie z. B.:

- Durch das Anschweißen eines Fittings an das Rohr ist es dauerhaft dicht.
- Die durchgehende Metallstruktur zwischen Rohr und Fitting erhöht die Festigkeit des Systems
- Glatte Innenflächen und allmähliche Richtungsänderungen verringern Druckverluste und Turbulenzen und minimieren die Wirkung von Korrosion und Erosion
- Ein geschweißtes System benötigt nur ein Minimum an Platz

## Muffenschweißfittings



Eine Schweißmuffe ist ein Rohrbefestigungselement, bei dem ein Rohr in einen ausgesparten Bereich eines Ventils, Fittings oder Flansches eingeführt wird. Im Gegensatz zu Stumpfschweißfittings werden Muffenschweißfittings hauptsächlich für kleine Rohrdurchmesser (Small Bore Piping) verwendet; im Allgemeinen für Rohrleitungen mit einer Nennweite von NPS 2 oder kleiner.

Für den Anschluss von Rohren an Ventile und Formstücke oder an andere Rohrabschnitte werden Kehlnahtschweißungen verwendet. Muffenschweißverbindungen sind eine gute Wahl, wenn die Vorteile einer hohen Leckagesicherheit und einer großen strukturellen Festigkeit wichtige Konstruktionsüberlegungen sind. Die Ermüdungsfestigkeit ist aufgrund der Verwendung von Kehlnähten und der abrupten Fittinggeometrie geringer als bei der stumpfgeschweißten Konstruktion, aber immer noch besser als bei den meisten mechanischen Verbindungsmethoden.

SW-Armaturen sind eine Familie von Hochdruckarmaturen, die in verschiedenen industriellen Prozessen eingesetzt werden.

- Sie werden für Leitungen verwendet, die entflammbare, giftige oder teure Stoffe befördern, bei denen keine Leckage zulässig ist, sowie für Dampf mit 300 bis 600 PSI.
- Sie werden nur in Verbindung mit ASME-Rohren verwendet und sind in demselben Größenbereich erhältlich.
- Sie werden in Bereichen eingesetzt, in denen Rohrleitungen dauerhaft verlegt sind, und sind so konzipiert, dass sie gute Fließeigenschaften aufweisen.
- Sie werden nach verschiedenen ASTM-Normen und in Übereinstimmung mit ASME B16.11 hergestellt. Die Norm B16.11 umfasst Druck- und Temperaturbereiche, Abmessungen, Toleranzen, Kennzeichnung und Materialanforderungen für geschmiedeten Kohlenstoffstahl und legierten Stahl. Annehmbare Materialformen sind Schmiedestücke, Stangen, nahtlose Rohre und nahtlose Rohre, die den chemischen Anforderungen an Armaturen, den Schmelzverfahren und den Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften der ASTM A105, A182 oder A350 entsprechen.
- Sie sind in drei Druckstufen erhältlich. Klasse 3000, 6000 und 9000

### **Muffenschweißfittings**

#### **Vorteile:**

- Das Rohr muss zur Schweißnahtvorbereitung nicht angeschrägt werden.
- Vorübergehendes Heftschweißen ist zum Ausrichten nicht erforderlich, da der Beschlag im Prinzip die richtige Ausrichtung gewährleistet.
- Das Schweißgut kann nicht in die Bohrung des Rohres eindringen.
- Sie können anstelle von Gewindeanschlüssen verwendet werden, so dass die Gefahr von Leckagen wesentlich geringer ist.
- Die Kehlnaht kann nicht geröntgt werden; daher ist eine korrekte Montage und Verschweißung entscheidend. Die Kehlnaht kann durch Oberflächenprüfung, Magnetpulver- (MP) oder Flüssigeindringprüfung (PT) geprüft werden.
- Die Konstruktionskosten sind niedriger als bei stumpfgeschweißten Verbindungen, da die Anforderungen an die Passgenauigkeit nicht so hoch sind und keine spezielle Bearbeitung für die Vorbereitung der Stumpfschweißenden erforderlich ist.

### **Muffenschweißfittings**

#### **Nachteile:**

- Der Schweißer sollte für einen Dehnungsspalt von 1/16 Zoll (1,6 mm) zwischen dem Rohr und der Schulter der Muffe sorgen. ASME B31.1 para. 127.3 Vorbereitung zum Schweißen (E) Muffenschweißung - Montage. Bei der Montage der Verbindung vor dem Schweißen ist das Rohr oder der Schlauch bis zur maximalen Tiefe in die Muffe einzuführen und dann etwa 1/16" (1,6 mm) vom Kontakt zwischen dem Rohrende und der Muffenschulter wegzuziehen.

- Die Dehnungsfuge und die inneren Spalten, die bei muffengeschweißten Systemen verbleiben, fördern die Korrosion und machen sie weniger geeignet für korrosive oder radioaktive Anwendungen, bei denen sich Feststoffe an den Verbindungen ablagern und Betriebs- oder Wartungsprobleme verursachen können. In der Regel sind bei allen Rohrgrößen Stumpfschweißnähte mit vollständiger Schweißnahtdurchdringung bis zur Innenseite der Rohrleitung erforderlich.
- Muffenschweißungen sind für Anwendungen mit ultrahohem hydrostatischem Druck (UHP) in der Lebensmittelindustrie inakzeptabel, da sie keine vollständige Durchdringung zulassen und Überlappungen und Spalten hinterlassen, die sehr schwer zu reinigen sind, was zu virtuellen Lecks führt.

*Der Zweck des Bodenspiels bei einer Muffenschweißung ist in der Regel die Verringerung der Eigenspannung an der Wurzel der Schweißnaht, die während der Erstarrung des Schweißguts auftreten könnte, und die Ermöglichung einer unterschiedlichen Ausdehnung der zusammenpassenden Elemente.*

### **Gewinde in Rohrleitungen, Ventilen und Armaturen**

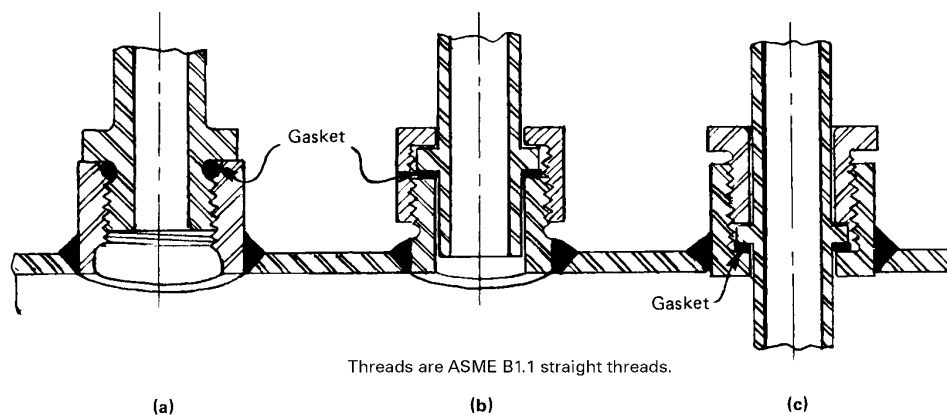
**Gewindeverbindungen sind auf ein absolutes Minimum zu beschränken. Jedoch immer dann, wenn es sich nicht vermeiden lässt:**

- Reduziergewindebuchsen sollten nicht in Druck-/Durchflussregelanlagen verwendet werden, wo sie hochfrequenten Rohrleitungsvibrationen ausgesetzt sind.
- Gewindeverbindungen mit einer geeigneten Gewindedichtung sind für die Verwendung in gasförmigen Wasserstoffsystemen akzeptabel, sollten aber in Flüssigwasserstoffsystemen nach Möglichkeit vermieden werden.
- Wenn Gewindeverbindungen in Flüssigwasserstoffsystemen verwendet werden müssen, sollten die Außen- und Innengewinde mit einem 60%igen Blei-40%igen Zinnlot verzinnt und dann erhitzt werden, um eine Lötverbindung mit Rohrgewindefestigkeit zu erhalten.
- Gewindedichtmittel. Konische Gewindeverbindungen mit geeigneten Gewindedichtungen sind für Wasserstoffgas innerhalb von Gebäuden zulässig.
- Es sollten Vorkehrungen getroffen werden, um Kräften entgegenzuwirken, die dazu neigen würden, konische Gewindeverbindungen aufzuschrauben.
- Gewindeverbindungen mit einer geeigneten Gewindedichtung sind für die Verwendung in gasförmigen Wasserstoffsystemen akzeptabel, sollten aber in Flüssigwasserstoffsystemen nach Möglichkeit vermieden werden.
- Wenn Gewindeverbindungen in Flüssigwasserstoffsystemen verwendet werden müssen, sollten die Außen- und Innengewinde mit einem 60%igen Blei-40%igen Zinnlot verzinnt und dann erhitzt werden, um eine Lötverbindung mit Rohrgewindefestigkeit zu erhalten.
- Gewindeverbindung oder Schmiermittel. Jede Verbindung oder jedes Schmiermittel, das für Gewinde verwendet wird, muss für die Betriebsbedingungen geeignet sein und darf weder mit der Betriebsflüssigkeit noch mit dem Rohrleitungsmaterial reagieren.

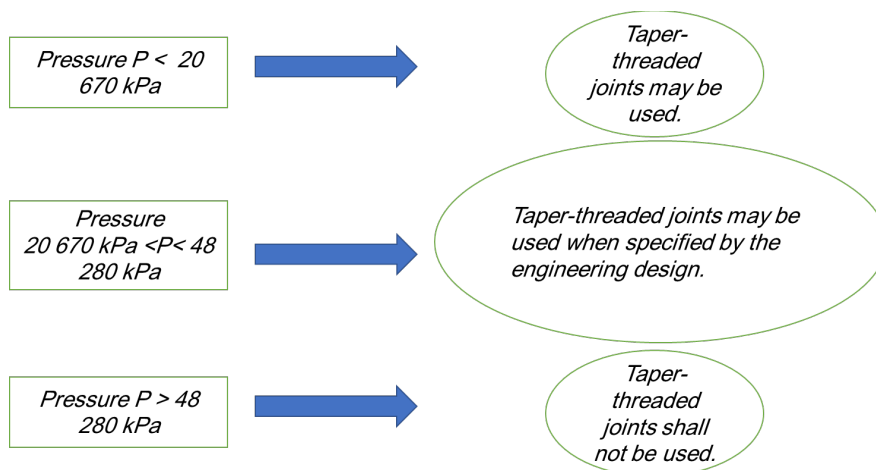
- Eine Gewindeverbindung, die abgedichtet werden soll, muss ohne Gewindemittel hergestellt werden. Eine Verbindung, die Gewindemischung enthält und bei der Dichtheitsprüfung undicht wird, kann gemäß dem folgenden Absatz geschweißt werden, vorausgesetzt, die gesamte Mischung wird von den freiliegenden Gewinden entfernt:

Das Dichtschweißen von konischen Gewindeverbindungen sollte für Wasserstoffgas innerhalb von Gebäuden in Betracht gezogen werden. Kegelförmige Gewindeverbindungen dürfen nur dann dichtgeschweißt werden, wenn die Zusammensetzung der Metalle in der Verbindung bekannt ist und geeignete Verfahren für diese Metalle befolgt werden. Gewindedichtmittel dürfen nicht verwendet werden, und das Schweißmaterial muss die gesamte Umfangslänge des Gewindes abdecken.

- Gewindeverbindungen, bei denen die Dichtheit der Verbindung durch eine andere Sitzfläche als das Gewinde gewährleistet wird, z. B. eine Verschraubung mit Außen- und Innengewinde, die mit einer Überwurfmutter mit Gewinde verbunden sind, oder andere Konstruktionen, die typischerweise wie unten dargestellt sind, können verwendet werden.



### Kegelförmige Gewindeverbindungen



Die Druckauslegung von Verbindungen mit geradem Gewinde muss auf Berechnungen beruhen, die den Auslegungsanforderungen dieses Codes entsprechen. Diese Berechnungen sind durch Prüfungen in

*Übereinstimmung mit festzulegenden Verfahren und Protokollen zu belegen. Bei den Prüfungen sind Faktoren wie Montage und Demontage, zyklische Belastung, Vibration, Schock, Wasserstoffversprödung, Wärmeausdehnung und -kontraktion sowie andere zu bestimmende Faktoren zu berücksichtigen.*

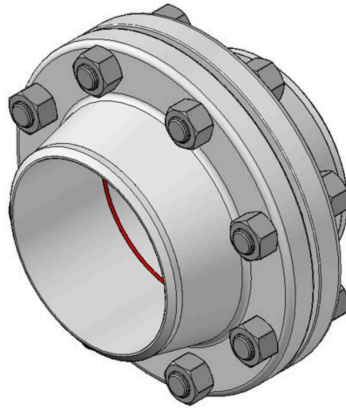
## Flanschverbindungen

Ein Flansch ist eine Methode zur Verbindung von Rohren, Ventilen, Pumpen und anderen Geräten zu einem Rohrleitungssystem. Er ermöglicht auch einen einfachen Zugang zur Reinigung, Inspektion oder Änderung. Flansche werden normalerweise geschweißt oder geschraubt. Flanschverbindungen werden durch Verschrauben von zwei Flanschen mit einer Dichtung dazwischen hergestellt, um eine Abdichtung zu gewährleisten.



## Geschraubte Flanschverbindungen

Eine verschraubte Flanschverbindung ist eine komplexe Kombination aus vielen Faktoren (Flansch, Schrauben, Dichtungen, Prozess, Temperatur, Druck und Medium). Alle diese verschiedenen Elemente sind miteinander verbunden und hängen voneinander ab, um ein erfolgreiches Ergebnis zu erzielen. Die Zuverlässigkeit der Flanschverbindung hängt entscheidend von einer kompetenten Kontrolle des Verbindungsprozesses ab.



## Spezielle Flanschverbindungen

### Blendenflansch

Blendenflansche werden mit Blendenmessgeräten zur Messung des Durchflusses von Flüssigkeiten oder Gasen in der jeweiligen Rohrleitung verwendet. In den Blendenflansch sind paarweise Druckentnahmen, meist auf 2 Seiten, direkt gegenüberliegend, eingearbeitet. Dies macht separate Blendenträger oder Entnahmestellen in der Rohrwand überflüssig.

Blendenflansche werden in der Regel entweder mit hochgezogenen Dichtflächen oder mit RTJ-Dichtungen (Ring Type Joint) geliefert. Sie sind im Grunde genommen dasselbe wie Vorschweiß- und Aufsteckflansche mit zusätzlicher Bearbeitung.



### Ankerflansch

Ein Ankerflansch ist eine Vorrichtung, die an einer Rohrleitung installiert wird, um axiale Bewegungen auszugleichen und die Rohrleitung an der Bewegung zu hindern. Sobald der Flansch am Rohr befestigt (geschweißt) ist, wird er normalerweise in einem Betonfundament verankert.

Der Ankerflansch verhindert nicht nur axiale Bewegungen, sondern wird auch eingebaut, wenn die Pipeline eine Brücke oder einen Fluss überquert. Über eine lange Strecke neigt das Rohr mit großer Flüssigkeit zum Absinken.

Durch die Verwendung von Ankerflanschen an beiden Abschnitten der Rohrleitung wird die Lage des Rohres gesichert.

Eines der gemeinsamen Merkmale einer Metallrohrleitung ist die inhärente Bewegung, die durch den Flüssigkeitsstrom durch das Rohr sowie durch die Ausdehnung und Kontraktion aufgrund von Temperaturänderungen verursacht wird. Wenn eine Rohrleitung eine scharfe Kurve macht, versucht der Flüssigkeitsstrom in der Rohrleitung, das Rohr in die Richtung der Strömung zu drücken. Durch das Anbringen eines Ankerflansches an der Rohrleitung und dessen Verankerung in einem tief in den Boden eingegrabenen Betonpfeiler werden die Kräfte, die gegen das Rohr drücken, auf das Erdreich übertragen.

Bei Pipelines mit großem Durchmesser, hohem Druck und großen Entfernungen dienen Ankerflansche als wichtige Stützelemente. Sie werden in der Regel unterirdisch oder erdverlegt angebracht.



### **Drehbarer Ringflansch**

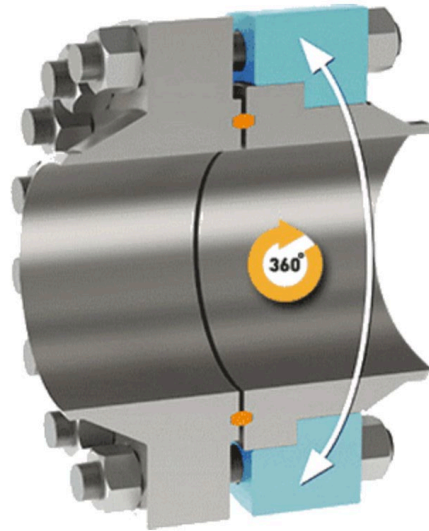
Der drehbare Ringflansch ist vergleichbar mit einem Satz von Vorsteck- und Überlappungsflanschen, mit dem Unterschied, dass ein drehbarer Ringflansch für höhere Drücke und meist in Offshore- / Unterwasseranwendungen verwendet wird.

Die Flansche des Drehkranzes gleichen Fehlausrichtungen der Bolzenlöcher vor Ort aus, indem sie das Bolzenlochmuster auf dem Flansching relativ zum Spulenstück drehen.

Der drehbare Ringflansch ist eine zweiteilige Konstruktion, die aus einer schweren geschmiedeten Schweißnabe mit einem drehbaren geschmiedeten Ring besteht, der als Gegenflansch zu einem Schweißstutzen oder einem anderen Flansch dient. Er verfügt über einen Sicherungsring, um die Schweißnabe zu sichern und den Drehring in Position zu halten.

Diese vielseitigen Flansche kommen in vielen Anwendungen zum Einsatz und werden häufig in Offshore-Rohrleitungen verwendet, wo sie die Probleme lösen, die mit der Ausrichtung von Schraubenlöchern bei der Installation von Unterwasserflanschen verbunden sind.



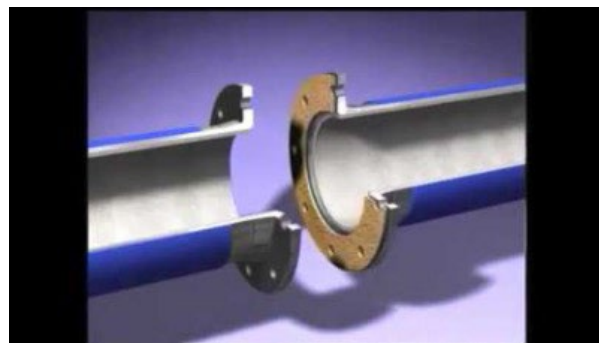


360° rotational swivel ring simplify bolt alignment

## Flanschverbindungen

Für leckagefreie Flanschverbindungen sollten folgende Faktoren berücksichtigt werden:

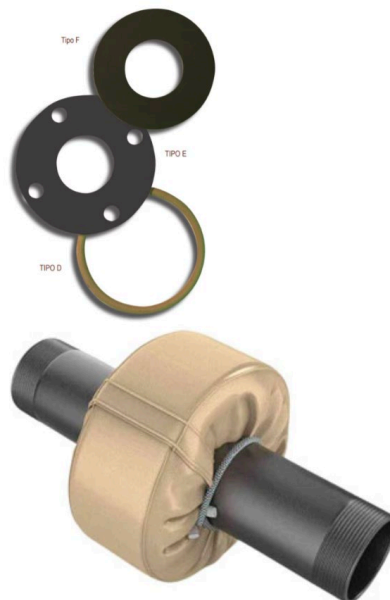
- Betriebsbedingungen, z. B. äußere Lasten, Biegemomente und Wärmedämmung
- Flanschgröße, -typ, -werkstoff, -verkleidung und Verkleidungsausführung für den Zugang zur Verbindung
- Zustand der Flanschanschlussflächen
- Ausrichtung der Fugen und Anbringen der Dichtungen vor dem Anschrauben
- Spezifikationen für das Anziehen von Schrauben



## Flanschverkleidungen und Dichtungen

- ✓ Die Flanschverkleidungen müssen für den vorgesehenen Einsatz und für die verwendeten Dichtungen und Verschraubungen geeignet sein.

- ✓ Die Dichtungen sind so auszuwählen, dass die erforderliche Sitzbelastung mit der Flanschgröße, der Auflagefläche, der Festigkeit des Flansches und der Verschraubung vereinbar ist.
- ✓ Die Dichtungsmaterialien müssen für die Betriebsbedingungen geeignet sein. Dichtungsmaterialien, die keinem Kaltfluss ausgesetzt sind, sollten für Temperaturen deutlich über oder unter der Umgebungstemperatur in Betracht gezogen werden.
- ✓ Die Verwendung von vollflächigen Dichtungen mit flachen Flanschen sollte in Betracht gezogen werden, wenn Dichtungsmaterialien verwendet werden, die bei Niederdruck- und Vakuumanwendungen bei moderaten Temperaturen kalt fließen. Wenn solche Dichtungsmaterialien in anderen Medien eingesetzt werden, sollte die Verwendung von Nut und Feder oder anderen dichtungsbegrenzenden Flanschdichtungen in Betracht gezogen werden.
- ✓ Bei der Auswahl des Dichtungsmaterials sollte die Auswirkung der Flanschflächenbeschaffenheit berücksichtigt werden.



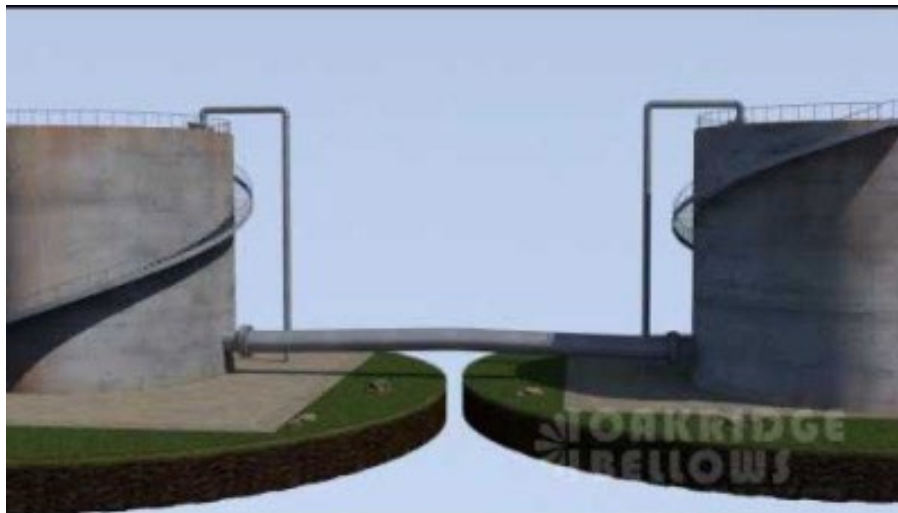
### Überlegungen zur Flanschverschraubung

- Die Anwendung kontrollierter Verschraubungsverfahren sollte bei hohen, niedrigen und wechselnden Temperaturen sowie bei Vibrationen oder Ermüdung in Betracht gezogen werden, um die Gefahr von Leckagen in der Verbindung aufgrund unterschiedlicher Wärmeausdehnung und die Möglichkeit der Spannungsrelaxation und des Verlusts der Schraubenspannung zu verringern.
- Wenn eine Spannungsrelaxation und ein Verlust der Schraubenspannung aufgrund von Temperaturschwankungen möglich ist, müssen die Schrauben gehärtet sein.
- Die gewählte Verschraubung muss ausreichend sein, um den Sitz der Dichtung und die Dichtheit der Verbindung unter allen Konstruktionsbedingungen zu gewährleisten.

- Schrauben mit einer spezifizierten Mindeststreckgrenze von nicht mehr als 207 MPa (30 ksi) dürfen weder für Flanschverbindungen der ASME B16.5 Class 400 und höher noch für Flanschverbindungen mit Metaldichtungen verwendet werden, es sei denn, es wurden Berechnungen durchgeführt, die eine ausreichende Festigkeit zur Aufrechterhaltung der Dichtheit der Verbindung belegen.
- Sofern nicht durch andere Bestimmungen dieses Codes eingeschränkt, können Schrauben aus Kohlenstoffstahl mit nichtmetallischen Dichtungen in Flanschverbindungen der ASME B16.5 Class 300 und niedriger für Schraubenmetalltemperaturen von -29°C bis 204°C (-20°F bis 400°F) verwendet werden. Wenn diese Schrauben verzinkt sind, müssen schwere Sechskantmutter mit entsprechendem Gewinde verwendet werden.
- Gewindebohrungen für Flanschbolzen müssen so tief sein, dass der Gewindeeingriff mindestens sieben Achtel des Gewindenenddurchmessers beträgt.

### Dehnungsfugen

- *Es sind geeignete Mittel vorzusehen, um eine Trennung der Verbindung zu verhindern. Eine Absicherung ist erforderlich.*
- *Die Dichtheit von Dehnungsfugen ist zu berücksichtigen, wenn sie Vibrationen, unterschiedlicher Ausdehnung oder Kontraktion aufgrund von Temperaturschwankungen oder äußeren mechanischen Belastungen ausgesetzt sind.*



### Dehnungsfugen

Kompensatoren werden in Rohrleitungssystemen verwendet, um thermische Ausdehnungen oder Endbewegungen zu absorbieren, wenn die Verwendung von Kompensationsschleifen unerwünscht oder unpraktisch ist. Kompensatoren sind in vielen verschiedenen Formen und Materialien erhältlich. Für Wasserstoff-Rohrleitungssysteme sollten es jedoch metallische Kompensatoren sein.

Metallische Kompensatoren werden in Rohrleitungen und Kanalsystemen eingebaut, um Schäden zu verhindern, die durch thermisches Wachstum, Vibrationen, Druckstöße und andere mechanische Kräfte

verursacht werden. Es gibt eine breite Palette von Metallbälgen aus einer Vielzahl von Materialien. Die Optionen reichen von den einfachsten Faltenbälgen, die in Erdölraffinerien verwendet werden. Zu den Werkstoffen gehören alle Arten von rostfreien Stählen und hochlegierten Nickelstählen.

Jedes Rohr, das zwei Punkte miteinander verbindet, ist zahlreichen Einwirkungen ausgesetzt, die zu Spannungen auf das Rohr führen. Einige der Ursachen für diese Spannungen sind:

- interner oder externer Druck bei Betriebstemperatur
- Gewicht des Rohrs selbst und der darauf gelagerten Teile
- Bewegung, die den Rohrabschnitten durch äußere Einspannungen aufgezwungen wird
- Wärmeausdehnung



### **Scharniergelenkskompensatoren aus Metall**

Die Scharniere sind so angebracht, dass der Kompensator nur Bewegungen in einer Ebene in den gelenkigen Metallkompensatoren aufnehmen kann. Durch die Scharniere ist der Kompensator nicht in der Lage, axiale Bewegungen aufzunehmen. Das Scharnier ist ebenfalls so konstruiert, dass es den Balg vor Verdrehung schützt. Diese Bewegungsbegrenzer reduzieren die Belastungen durch die Druckschubkraft und die Temperatur der Rohrleitung.

Die von den Medien ausgehende Druckschubkraft wird auf diese Weise in der Rohrleitung aufgenommen. Die Scharniere sind so ausgelegt, dass sie einen größeren Teil des Drucks aufnehmen, als der Kompensator aufnehmen kann. Auf diese Weise wird der Kompensator entlastet und gleichzeitig darauf beschränkt, nur die Bewegung aufzunehmen, für die er ausgelegt ist. Darüber hinaus sind die Scharniere so konstruiert, dass sie die Belastungen durch Rohre und angeschlossene Geräte, Windlasten und andere von außen einwirkende Belastungen, die die Rohrleitung zusätzlich belasten, aufnehmen können.



### **Einseitig angelenkte Metallkompensatoren**

Die Hauptaufgabe des Scharnier-Metallkompensators (einfacher Metallkompensator für 1-Achse für Winkelbewegungen SSA und SFA) ist die Aufnahme von Winkeldehnungsbewegungen mit Drehung um eine einzige Achse, sowohl thermischen als auch mechanischen Ursprungs.

Dieser Scharnierkompensator oder einfache Metallkompensator für die 1-Achse besteht aus einem einzigen Balg mit mehreren Wellen in Form eines "U".

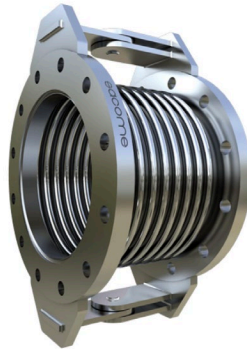
Diese Wellen bestehen aus einem oder mehreren Blechen, die in Längsrichtung geschweißt und hydraulisch oder mechanisch geformt sind.

Aufgrund ihrer Konfiguration muss der Konstrukteur beachten, dass diese Modelle KEINE Druckspannungen auf die Festpunkte und Führungen des Rohrleitungssystems übertragen.

### **Metallkompensator für einachsige Winkelbewegungen mit Schweißenden**



## Metallkompensator für eine einachsige Winkelbewegung mit festen Flanschen

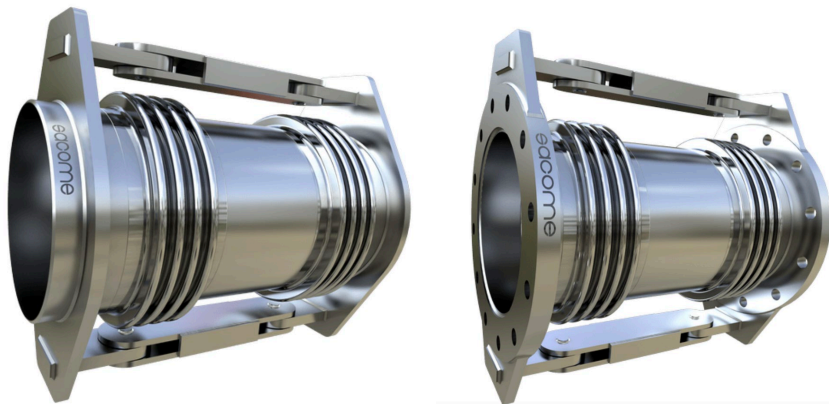


## Doppelt gelenkiger Metallkompensator

Die Hauptaufgabe des Doppelgelenk-Metallkompensators ist die Aufnahme von Winkel- und Seitendehnbewegungen mit Drehung um eine Achse, sowohl thermischen als auch mechanischen Ursprungs.

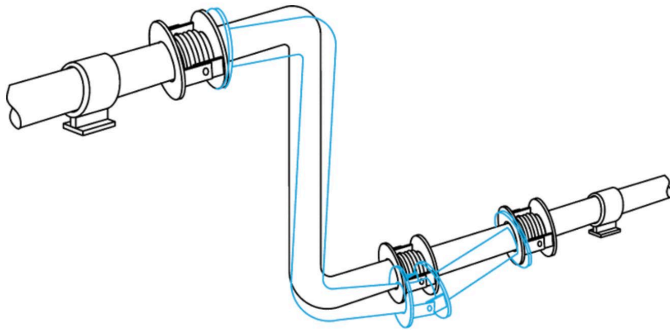
Der Doppelscharnier-Metallkompensator (Universal-Metallkompensator für eine Ebene) besteht aus zwei Bälgen mit mehreren U-förmigen Wellen. Diese Wellen bestehen aus einem oder mehreren Blechen, die in Längsrichtung verschweißt und hydraulisch oder mechanisch geformt sind.

Aufgrund ihrer Konfiguration muss der Konstrukteur beachten, dass diese Modelle KEINE Druckspannungen auf die Festpunkte und Führungen des Rohrleitungssystems übertragen.

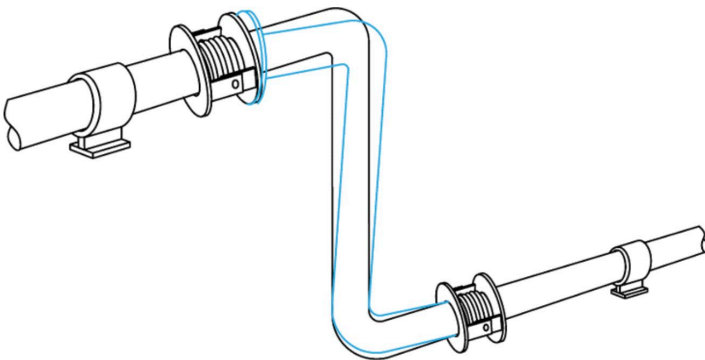




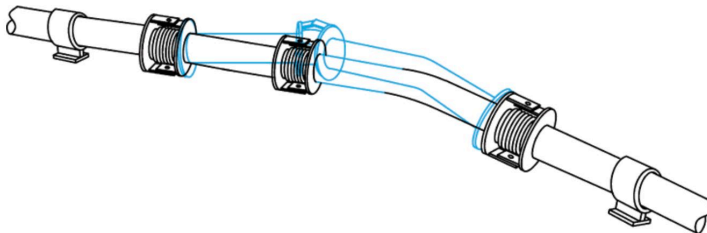
## Beispiele für Anwendungen:



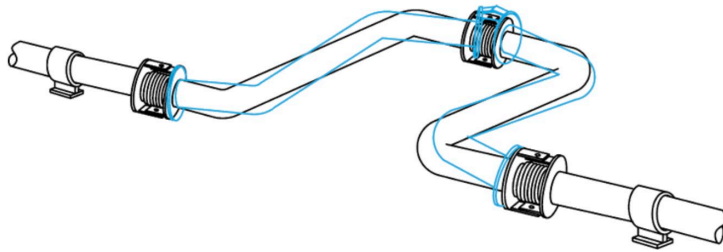
FOR STRAIGHT PIPE RUNS USING MAXIMUM CENTER-TO-CENTER DISTANCE BETWEEN PIPES. A THIRD UNIT CATERS FOR EXPANSION OF OFFSET AND MAINTAINS THE TWO PARALLEL RUNS IN ALIGNMENT. USE THREE SINGLE HINGED BELLOWS.



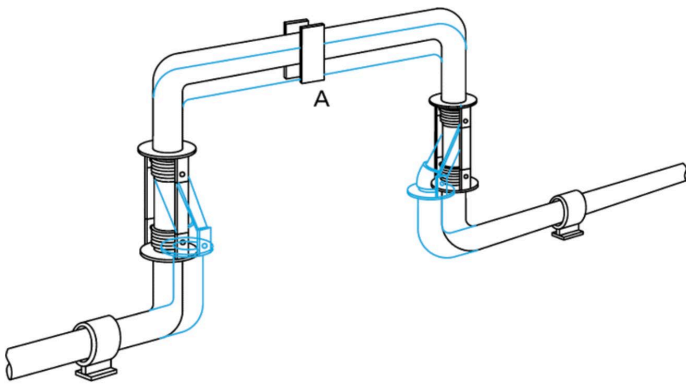
FOR STRAIGHT RUNS, USING MAXIMUM CENTER-TO-CENTER DISTANCE BETWEEN PIPE CENTERS USE TWO SINGLE HINGE BELLOWS.



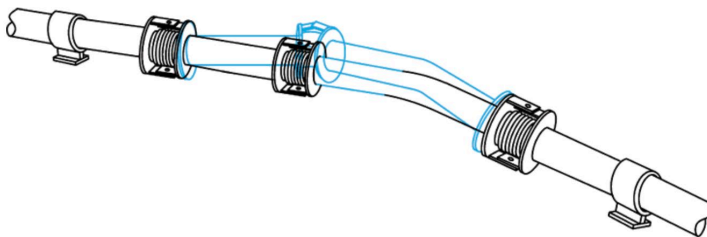
FOR TAKING EXPANSION IN TWO DIRECTIONS FROM TWO PIPES AT AN ANGLE GREATER THAN 90, USE THREE SINGLE HINGED BELLOWS.



FOR TAKING UP EXPANSION IN VERY LONG STRAIGHT PIPE RUNS. USE THREE SINGLE HINGED BELLOWS.

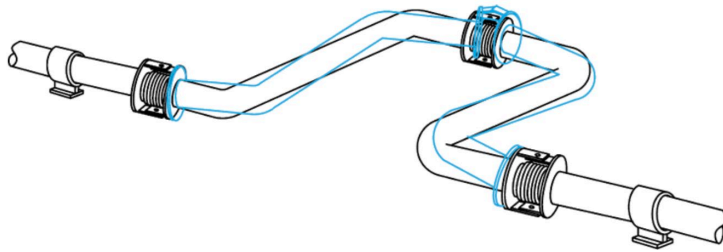


FOR TAKING UP EXPANSION IN LONG STRAIGHT PIPE RUNS. USE TWO DOUBLE HINGED BELLOWS WITH DIRECTIONAL ANCHOR AT 'A'.

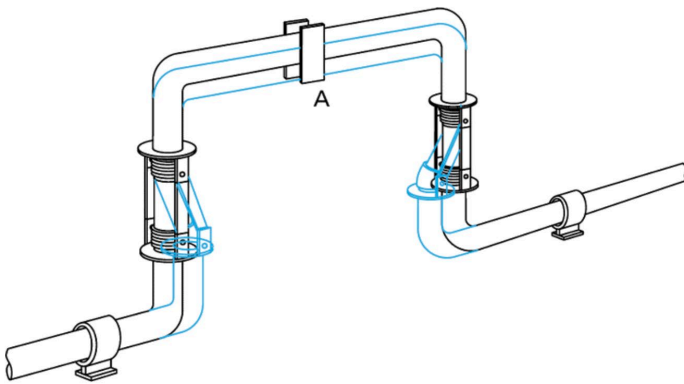


FOR TAKING EXPANSION IN TWO DIRECTIONS FROM TWO PIPES AT AN ANGLE GREATER THAN 90, USE THREE SINGLE HINGED BELLOWS.

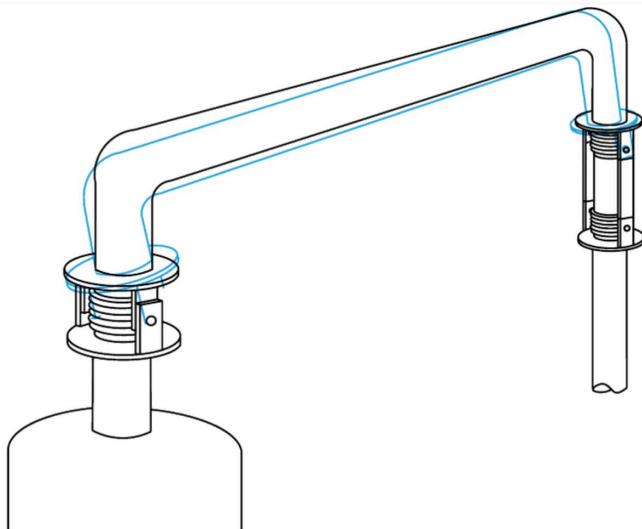




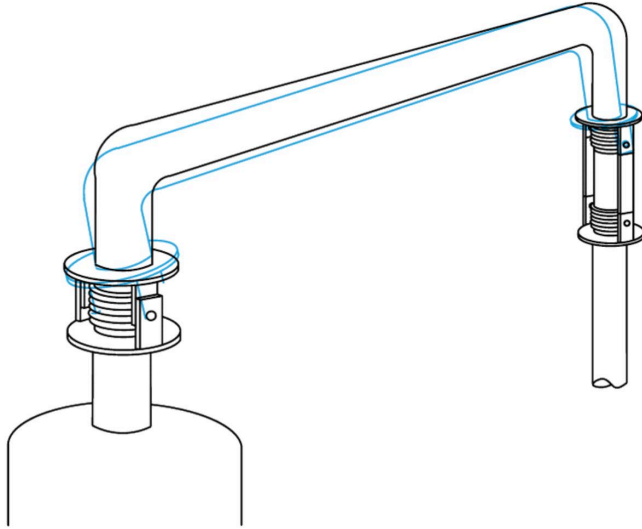
FOR TAKING UP EXPANSION IN VERY LONG STRAIGHT PIPE RUNS. USE THREE SINGLE HINGED BELLOWS.



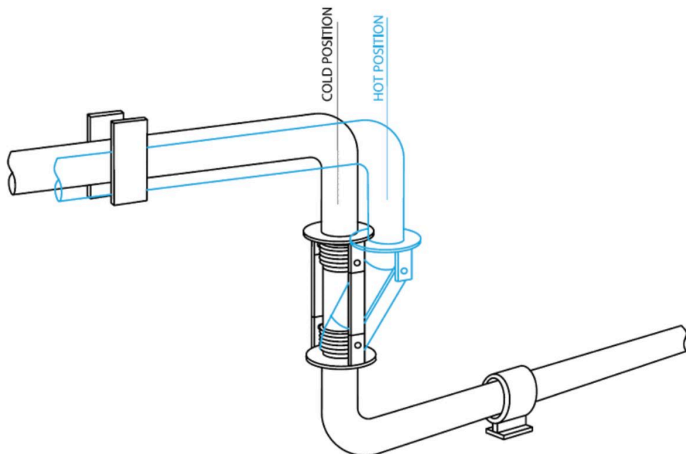
FOR TAKING UP EXPANSION IN LONG STRAIGHT PIPE RUNS. USE TWO DOUBLE HINGED BELLOWS WITH DIRECTIONAL ANCHOR AT 'A'.



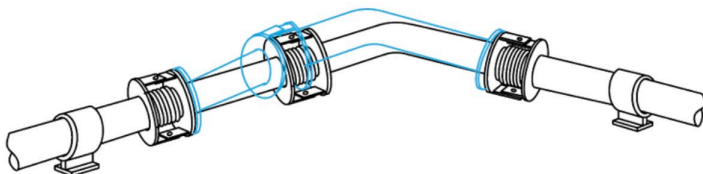
FOR PIPE BETWEEN TWO VESSELS OR OTHER MACHINERY USE DOUBLE HINGED BELLOWS AND SINGLE HINGED BELLOW.



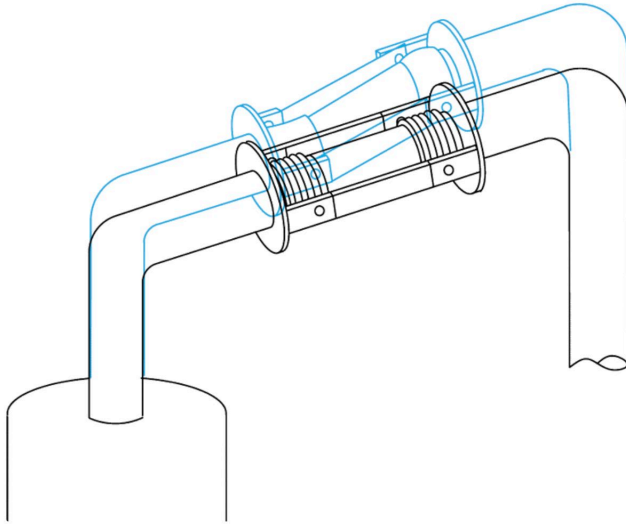
FOR PIPE BETWEEN TWO VESSELS OR OTHER MACHINERY USE DOUBLE HINGED BELLOWS  
AND SINGLE HINGED BELLOW.



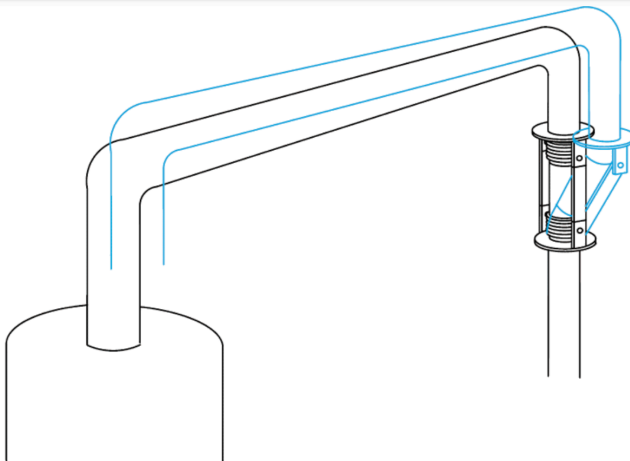
WHERE THERE IS AVAILABLE OFFSET IN LONG STRAIGHT PIPE RUN, USE DOUBLE HINGED  
BELLOWS.



FOR TAKING EXPANSION IN TWO DIRECTIONS FROM TWO PIPE RUNS AT 90, USE THREE  
SINGLE HINGED BELLOWS.



FOR PIPE UP THE SIDE OF A VESSEL, A CROSS OVER BETWEEN TWO VESSELS, OR OTHER MACHINERY, USE DOUBLE HINGED BELLOWS WHERE VERTICAL PIPE IS VERY SHORT.



FOR PIPE BETWEEN TWO VESSELS OR OTHER MACHINERY WHERE LEGS ARE UNEQUAL;  
THE DIFFERENTIAL VERTICAL EXPANSION BEING COMPENSATED FOR BY MAKING THE  
BELLOWS UNIT LENGTH EQUAL TO THE DIFFERENCE IN THE VERTICAL LEG LENGTHS. USE  
DOUBLE HINGED BELLOWS.

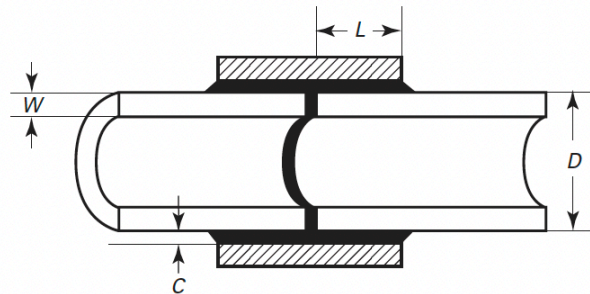
## Hartgelötete Verbindungen

- ✓ **Hartgelötete Verbindungen** sind in Rohrleitungssystemen mit Auslegungsbedingungen größer als Klasse 300 verboten. Für andere Klassen bei industriellen Rohrleitungen sind sie jedoch akzeptabel, wenn sie für den beabsichtigten kritischen Betrieb von Wasserstoffanwendungen geeignet sind.

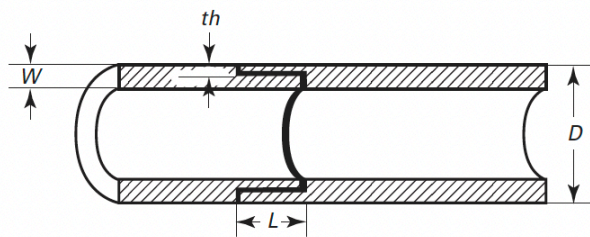


(a) Die Überlappungsverbindung für rohrförmige Teile erfordert die Auswahl von vorgeformten Formstücken, wie Kupplungen, Reduzierstücke, Winkelstücke und Flansche,

b) Die stumpfe Überlappungsverbindung für rohrförmige Teile erfordert eine Bearbeitungsvorbereitung, um eine muffenartige Verbindung herzustellen.



(a) Lap Joint



(b) Buttlap Joint

$C$  = joint clearance  
 $D$  = diameter of lap area  
 $F$  = shear strength of brazed filler metal  
 $J$  = joint integrity factor of 0.8  
 $L$  = length of lap area  
 $= [W(D-W)T] / JFD$   
 $T$  = tensile strength of weakest member  
 $th$  = thickness of thinner joint member  
 $W$  = wall thickness of weakest member

## Überlegungen zur Lötverbindung

- Kupplungen mit internen Anschlägen Alle Kupplungen (Fittings) für neu zu bauende und zu reparierende Lötungen müssen mit internen Anschlägen hergestellt werden. Die Anschläge müssen den inneren Spalt zwischen den Enden der Rohrkomponenten kontrollieren.
- Lötverbindungen, die sich als schadhaft erwiesen haben, können, soweit möglich, nach gründlicher Reinigung mit demselben Lötverfahren wie die ursprüngliche Lötung nachgelötet werden.
- Verunreinigungen, die die Qualität der Lötung beeinträchtigen, sind durch chemische Oberflächenreinigung zu entfernen. Die betroffenen Oberflächen müssen frei von Farbe, Öl, Rost, Zunder, Fett, Schlacke, Oxiden und anderen schädlichen Stoffen sein, die sich nachteilig auf das Grundmetall auswirken würden.
- Mechanische Oberflächenvorbereitung

(1) Die mechanische Oberflächenvorbereitung muss durch Drahtbürsten, Schleifen, Polieren und, falls erforderlich, durch Polieren erfolgen, um schädliche Defekte wie Risse, Gruben, Furchen, Falten, Überlappungen oder Oxide zu entfernen.

(2) Solche Verfahren werden auch zur Beseitigung unerwünschter Oberflächenbeschaffenheiten, zum Aufrauen von Fayencen und zur Vorbereitung eingesetzt.

(a) Vorbereitung der Enden von Rohrkomponenten. Mechanische Schneide- und Bearbeitungsmethoden müssen auf das spezifizierte Grundmaterial der Rohrkomponenten anwendbar sein. Die Verfahren müssen spezifisch für den jeweiligen Werkstofftyp sein, wie z. B. Kupfer, Kupferlegierungen und austenitische nichtrostende Stähle.

(b) Vorbereitung der Fugen

(1) Die mit Lot zu lötenden Enden sind durch Bearbeitung oder Plandrehen so vorzubereiten, dass ein rechtwinkliges Ende oder ein Verbindungsdetail entsteht, das den Anforderungen der folgenden Abbildung von Folie 28 entspricht

(2) Die Lötstellen müssen ordnungsgemäß gereinigt werden, ebenso wie die Bereiche der Innen- und Außenflächen in einem Mindestabstand von 25 mm (1 Zoll).

(c) Ausrichten zum Löten

(1) Das Ausrichten mit mechanischen Ausrichtwerkzeugen kann verwendet werden, um die Ausrichtung der zu lötenden Verbindung beizubehalten.

(2) Das Fugenspiel muss innerhalb der im BPS/PQR angegebenen Grenzen gehalten werden, um die richtige Kapillarwirkung zu erreichen, damit sich das geschmolzene Lot während des Lötvorgangs zwischen den Oberflächen des Grundmetalls verteilen kann.

(3) Die angegebene Überlappung jedes Verbindungstyps muss vollständig eingefügt werden, um die Ausrichtung und maximale Festigkeit der Verbindung zu gewährleisten.

### **Kompressionsgelenke**

Klemmringverschraubungen sind eine der gebräuchlichsten und vielseitigsten Methoden zur Verbindung von Metall- oder Hartkunststoffrohren mit kleinem Durchmesser. Sie sind besonders nützlich, da sie extremen Temperaturen und Drücken standhalten und mit aggressiven Flüssigkeiten kompatibel sind.

Klemmringverschraubungen werden in verschiedenen Industriezweigen verwendet, z. B. in der Petrochemie, in Laboratorien, in der Luft- und Raumfahrt, im Schiffbau, in der Schwerindustrie usw., und sie dienen dazu, relativ einfach und schnell leckagefreie Rohrverbindungen herzustellen. Swagelok und Parker sind die beiden führenden Hersteller auf dem Markt für Klemmringverschraubungen.

Klemmringverschraubungen sind von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich aufgebaut, bestehen aber alle aus denselben drei Grundelementen: einer Überwurfmutter oder Schraube, einem oder mehreren Klemmrings (Aderendhülsen) und einem Klemmringgehäuse.

Die Klemmringverschraubung ist die wichtigste Dichtungskomponente einer Klemmverschraubung und wird in einer Vielzahl von Materialqualitäten hergestellt, von Edelstahl bis Graphit.

Die am häufigsten verwendeten Aderendhülsen sind jedoch aus Metall gefertigt. Aderendhülsen aus Metall sind für einen breiten Temperaturbereich geeignet und können hohen Druckbelastungen standhalten, ohne zu entspannen.

### **Einteilige vs. zweiteilige Aderendhülsen**

Die meisten einfachen Klemmringverschraubungen haben einen einzigen Klemmring. Durch die Verwendung von Einzelklemmrings wird die Gesamtzahl der Komponenten minimiert und sie funktionieren zuverlässig bei der Verarbeitung weicherer Materialien (z. B. Kunststoff oder Messing).

Bei härteren Materialien wie Stahl wird jedoch beim Anziehen der Überwurfmutter häufig ein Drehmoment von der Überwurfmutter auf die Klemmhülse übertragen. Die daraus resultierende Rotation kann dazu führen, dass die Klemmhülse asymmetrisch komprimiert wird oder sich im Laufe der Zeit aufgrund des Restdrehmoments verschiebt.

Bei rostfreiem Stahl kann die Rotation des Klemmrings ebenfalls zu Verschleiß und dauerhafter Leckage führen. Das Hinzufügen einer zusätzlichen, frei drehbaren hinteren Hülse kann die Mutter von der vorderen Hülse trennen und so eine Drehmomentübertragung verhindern.

### **Doppelte Klemmringverschraubung:**

Das Funktionsprinzip ist wie folgt: Das Rohr wird in das Ende der Verschraubung eingeführt und die Mutter wird angezogen, wodurch die Aderendhülsen in das Verschraubungsgehäuse gepresst werden.

Beim axialen Einschieben der Aderendhülsen in das Verschraubungsgehäuse wird das Ende der Aderendhülsen durch die Winkelform des Gehäuses radial auf den Außendurchmesser des Rohres gepresst, so dass eine leckfreie Verbindung gewährleistet ist.

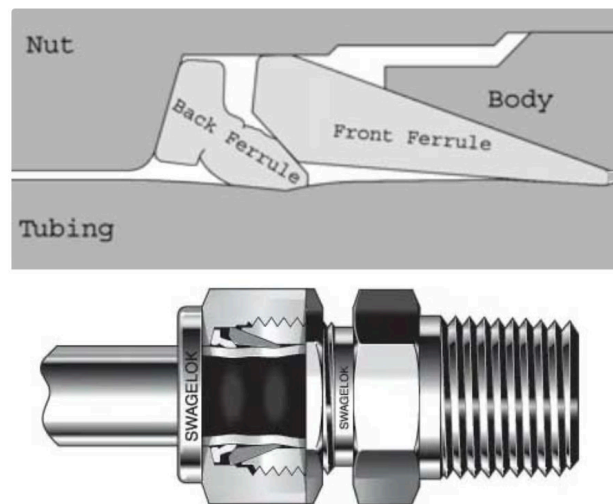


Image..swagelok.com



## Andere Gelenke

### Rohrverbindung

Es können aufgeweitete und nicht aufgeweitete Rohrverbindungen verwendet werden. Die Rohrverbindungen müssen für die zu verwendenden Rohre geeignet sein. Die Rohrkomponenten dürfen nicht über die vom Hersteller oder den geltenden Normen angegebenen Druck-Temperatur-Grenzwerte hinaus verwendet werden.

**Verstemmte Verbindungen** wie Glockenverbindungen dürfen nicht verwendet werden.

**Lötverbindungen** und **Kehlnähte** aus Lötmetall dürfen nicht verwendet werden.

*(a) Rohrverbindungen, die den aufgelisteten Normen entsprechen. Die in Tabelle IP-8.1.1-1 aufgeführten Rohrverbindungsnormen sind zur Verwendung geeignet. Die Konstruktionen sind auf ausreichende mechanische Festigkeit unter den in Abschnitt IP-2.1 aufgeführten Belastungen zu prüfen. IP-2.1. b) Rohrverbindungen, die nicht den aufgeführten Normen entsprechen. Die Konstruktion muss gemäß Absatz IP-3.8.2 qualifiziert werden. IP-3.8.2. Die Konstruktionen müssen auf ausreichende mechanische Festigkeit unter den in Absatz IP-2.1 aufgeführten Belastungen geprüft werden. IP-2.1. Die Konstrukteure müssen auch die Montage und Demontage, die Wasserstoffversprödung und andere für die jeweilige Anwendung geltende Faktoren berücksichtigen. Der Zusammenbau von Bauteilen verschiedener Hersteller ist nur zulässig, wenn dies in der technischen Auslegung angegeben ist.*

*Hartgelötete Verbindungen, die in Übereinstimmung mit den Bestimmungen in den Abschnitten. GR-3.2, GR-3.8, IP-9.6.1 und IP-9.11 sind geeignet. Sie sind abzusichern. Der Schmelzpunkt von Hartloten ist zu berücksichtigen, wenn eine mögliche Brandeinwirkung vorliegt.*



*Kehlnähte, die mit Hartlot hergestellt werden, sind nicht zulässig.*

## Referenzen

- Empirische Profilierung von kalten Wasserstoffbahnen, die bei der Entlüftung von LH2-Speicherbehältern entstehen. <https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/68771.pdf>
- G.R. Astbury, Venting of Low Pressure Hydrogen Gas: A Critique of the Literature, <https://doi.org/10.1205/psep06054>
- WASSERSTOFFTRANSPORT-PIPELINES, [https://h2tools.org/sites/default/files/Doc121\\_04%20H2TransportationPipelines.pdf](https://h2tools.org/sites/default/files/Doc121_04%20H2TransportationPipelines.pdf)
- [Wasserstoffauto-Sicherheitstest - Kraftstoffleck H2 vs. Benzin](#)". Vimeo. Abgerufen am 2020-05-07.
- Explosive Lektionen in Wasserstoffsicherheit | APPEL Knowledge Services". [appel.nasa.gov](http://appel.nasa.gov).
- <https://www.wermac.org/>
- Wasserstoff-Rohrleitungen und -Leitungen , ASME Code für Druckrohrleitungen, [B31](#), <https://poltar.jlab.org/filedir/Procedures/ASME%20B31.12.pdf>



# Verstehen von Ventilen und anderen für H<sub>2</sub>-Rohrleitungssysteme erforderlichen Komponenten

## Lernergebnisse

### Zielsetzungen:

- ✓ Was sind Ventile und warum werden sie benötigt?
- ✓ Verschiedene Arten von Ventilen und ihre Anwendungen
- ✓ Andere Komponenten und Ausrüstungen, die in der Pipeline H<sub>2</sub> verwendet werden

### Allgemeines Verständnis von Ventilen

- Ventile sind mechanische Vorrichtungen, die den Durchfluss und den Druck in einem System oder Prozess steuern. Sie sind wesentliche Bestandteile eines Rohrleitungssystems, das Flüssigkeiten, Gase, Dämpfe, Schlämme usw. transportiert.
- Es gibt verschiedene Arten von Ventilen: Schieber, Ventile, Stopfen, Kugeln, Klappen, Rückschlagventile, Membranventile, Quetschventile, Überdruckventile, Regelventile usw. Für jeden dieser Typen gibt es eine Reihe von Modellen mit unterschiedlichen Merkmalen und Funktionsmöglichkeiten. Einige Ventile sind selbsttätig, während andere manuell oder mit einem Stellantrieb oder pneumatisch oder hydraulisch betätigt werden.

### Ventile Funktionen

#### a) Absperrventile

Absperrventile mit Sperrfunktion werden verwendet, um Teile der Rohrleitung in Notfällen oder für routinemäßige Wartungs- und Inspektionsarbeiten abzusperren. Diese sollten an einer zugänglichen Stelle installiert werden, da sie im Notfall möglicherweise manuell geschlossen werden müssen.

Für einen sicheren Wartungszugang ist eine positive Isolierung mit einem unterstützenden Lockout- oder Tagout-Wartungsverfahren erforderlich. Typische akzeptierte Vorkehrungen sind doppelte Absperr- und Entlüftungsventile, Blindflansche, doppelte, auf Zapfen montierte Kugelhähne, die mit einer Gehäuseentlüftung ausgestattet sind, oder der Ausbau von Schiebern.

Dabei handelt es sich in der Regel um Kugel-, Kükten-, Schieber- oder Klappenventile.

#### b) Notabsperrentile

Notabsperrentile (EIV) werden zur Notabspernung des Durchflusses verwendet. Sie können manuell, automatisch oder beides sein. Obwohl die Anzahl, der Ort und die Art der EIVs von den Besonderheiten der Inspektions-, Wartungs- und Risikomanagementstrategien abhängen, müssen sie mindestens am Anfang der Pipeline und bei jedem Nutzer vorhanden sein.

EIVs müssen vollständig geschlossen werden können, um Gaslecks zu verhindern, und bei automatischen Ventilen müssen sie so konstruiert sein, dass sie bei Ausfall der Instrumentenluft, des Signals, der

Hydraulik und der Elektrik schließen. Eine typische Anordnung wären federrückstellende Stellantriebe, die bei Ausfall geschlossen werden. Ventile mit Ausfallfunktion sind nicht zulässig.

Bei automatisierten EIVs handelt es sich in der Regel um Kugel- oder Schieberventile in feuersicherer Ausführung. Bei manuellen Ventilen handelt es sich in der Regel um Schieberventile. Oft ist es ratsam, zusammen mit einem EIV ein Mittel zur positiven Isolierung zu installieren.

### **c) Steuer- und Druckminderungsventile und -regler**

Diese werden für Durchfluss- und Druckregelungsfunktionen verwendet. Die Verwendung von gehärteten Sitzen und Kegeln oder anderen speziellen Konstruktionsmerkmalen sollte in Betracht gezogen werden, wenn der Druckabfall durch das Ventil oder den Regler aufgrund der hohen Schallgeschwindigkeit von Wasserstoff mehr als 10 % des Drucks vor dem Ventil beträgt. Erosion, Abrieb und übermäßiger Lärm sollten bei der Konstruktion berücksichtigt werden.

Häufig handelt es sich um Durchgangsventile, aber auch gekerbte Kugelhähne werden verwendet.

Regler sollten Prozessgas nicht unkontrolliert an die Umgebung abgeben. Sie sollten entweder intern entlüften oder die Entlüftung sollte behandelt werden.

### **d) Sicherheitsventile**

Der Zweck von Sicherheitsventilen besteht darin, das System und seine Komponenten vor Schäden zu schützen, die durch Drücke oberhalb des höchstzulässigen Betriebsdrucks verursacht werden. Für den Betrieb mit reinem Wasserstoff ist im Allgemeinen keine strengere oder weniger strenge Analyse erforderlich als für die meisten anderen brennbaren Gase, außer dass besonders darauf geachtet werden muss, dass Wasserstoff durch das Ventil entweichen kann, wenn es geschlossen ist, und dass die Anforderungen für eine sichere Entlüftung eingehalten werden müssen. Die Anzahl, der Standort, der Typ, die Größenkriterien, die sichere Entlüftung und die Inspektionsintervalle für Druckentlastungsvorrichtungen werden von den örtlichen Aufsichtsbehörden geregelt, und diese Anforderungen müssen strikt eingehalten werden.

Typischerweise fallen Druckbehälter, z. B. große Filtergehäuse, unter die Druckbehälterverordnung und der Rest unter die Vorschriften für Rohrleitungen und/oder Rohrleitungssysteme.

Einige der üblichen Ge- und Verbote.

- Sicherheitsventile sollten so nah wie möglich an dem zu schützenden Gegenstand angebracht werden.
- Der durch das Entlüftungssystem verursachte Gegendruck auf den Auslass des Sicherheitsventils ist zu berücksichtigen.
- Die Reaktionskräfte beim Auslösen eines Sicherheitsventils sind zu berücksichtigen.
- API RP 520, 521\*\* sind häufig verwendete Referenzdokumente für Konstruktionsmethoden von Sicherheitsventilen und Entlüftungssystemen.
- Obwohl es vorzuziehen ist, dies nicht zu tun, ist es manchmal notwendig, Absperr- und/oder Bypass-Ventile zusammen mit Sicherheitsventilen zu installieren, um die örtlichen Inspektions-/Prüfvorschriften zu erfüllen oder wenn ein Anschluss an ein bestehendes Entlüftungs- oder Fackelsystem erfolgt. Dies birgt jedoch inhärente Sicherheitsrisiken, da das Sicherheitsventil blockiert werden könnte. Daher sollte eine

sorgfältige Analyse des gesamten Systems, seiner Komponenten und der unterstützenden Betriebs- und Wartungsverfahren (z. B. Verriegelung) durch einen erfahrenen Fachmann durchgeführt werden.

#### **e) Manuelle Entlüftungs- und Ablassventile**

In der Regel wird eine positive Abdichtung durch das Ventil durch Redundanz erreicht. Am häufigsten werden Doppelventile, Blindflansche, Stopfen oder Kappen verwendet (Stopfen und Kappen sollten ohne Dichtungsschweißung verschraubt werden, da sie entfernt werden müssen, damit das Entlüftungsventil seine Funktion erfüllen kann).

Dabei handelt es sich in der Regel um Kugel-, Kükken-, Schieber- oder Durchgangsventile.

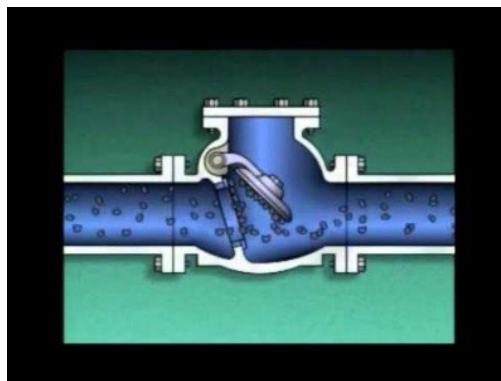
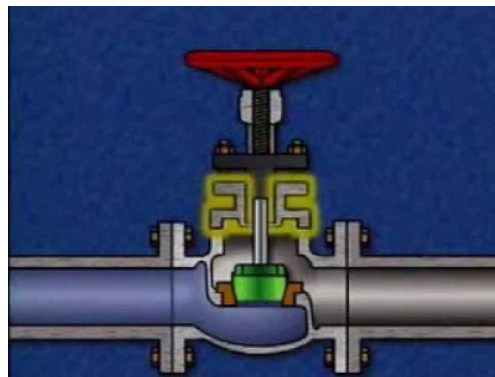
#### **f) Überströmventile (EFV)**

EFV-Ventile sind in der Regel ähnlich aufgebaut wie Notabsperrentile (EIV').

#### **g) Rückschlagventile (Rückschlagventile)**

Reiner Wasserstoff stellt für Rückschlagventile außer der Leckage keine besonderen Probleme dar. Die Bedenken sind ähnlich wie bei automatischen Ventilen, und ein weicher Sitz in einer Metallhalterung oder speziell geläppte Metall-Metall-Sitze werden bevorzugt, insbesondere wenn eine kleine Rückleckage ein erhebliches Risiko darstellen würde. Wie bei allen Rückschlagventilen kann der Einbau in der richtigen Ausrichtung entscheidend sein. Rückschlagventile gelten in der Regel nicht als völlig zuverlässige Durchflussbegrenzer. Daher dürfen Rückschlagventile nicht als Ersatz für ein Absperrventil verwendet werden.

### **Ventiltypen und Funktionsweise**





Co-funded by the  
Erasmus+ Programme  
of the European Union

## Ventilteile



### a) Ventilkörper

Das Ventilgehäuse, manchmal auch Schale genannt, ist die primäre Begrenzung eines Druckventils. Er dient als Hauptelement einer Ventilbaugruppe, da er das Gerüst ist, das alle Teile zusammenhält.

Das Gehäuse, die erste Druckbegrenzung eines Ventils, widersteht den Druckbelastungen durch die angeschlossenen Rohrleitungen. Es nimmt die Einlass- und Auslassrohre durch Gewinde-, Schraub- oder Schweißverbindungen auf.

Die Enden des Ventilgehäuses sind für den Anschluss des Ventils an die Rohrleitung oder den Ausrüstungsstutzen durch verschiedene Arten von Endanschlüssen wie Stumpf- oder Muffenschweißung, Gewinde oder Flansch vorgesehen.

Ventilkörper werden in einer Vielzahl von Formen gegossen oder geschmiedet, wobei jedes Bauteil eine bestimmte Funktion hat und aus einem für diese Funktion geeigneten Werkstoff hergestellt wird.



Valve Body

### b) Ventiloberteil

Die Abdeckung der Gehäuseöffnung ist das Ventiloberteil und stellt die zweitwichtigste Begrenzung eines Druckventils dar. Wie die Ventilgehäuse sind auch die Ventiloberteile in vielen Ausführungen und Modellen erhältlich.

Ein Ventiloberteil dient als Abdeckung des Ventilgehäuses und wird aus dem gleichen Material wie das Gehäuse gegossen oder geschmiedet. Es ist in der Regel mit dem Gehäuse durch eine Schraub-, Bolzen- oder Schweißverbindung verbunden. Bei der Herstellung des Ventils werden die inneren Komponenten wie Spindel, Teller usw. in das Gehäuse eingesetzt, und dann wird die Haube angebracht, um alle Teile im Inneren zusammenzuhalten.

In allen Fällen gilt die Befestigung der Motorhaube an der Karosserie als Druckbegrenzung. Das bedeutet, dass die Schweißnaht oder die Bolzen, die das Ventiloberteil mit dem Gehäuse verbinden, druckhaltende Teile sind. Ventiloberteile sind zwar für die meisten Ventile eine Notwendigkeit, geben aber Anlass zur Sorge. Ventiloberteile können die Herstellung von Ventilen erschweren, die Ventilgröße erhöhen, einen erheblichen Kostenanteil an den Ventilkosten ausmachen und eine Quelle für potenzielle Leckagen darstellen.

### **c) Ventilgarnitur**

Die abnehmbaren und austauschbaren Innenteile des Ventils, die mit dem Durchflussmedium in Berührung kommen, werden als Ventilgarnitur bezeichnet. Zu diesen Teilen gehören Ventilsitz(e), Teller, Stopfbuchsen, Abstandshalter, Führungen, Buchsen und interne Federn. Das Ventilgehäuse, die Haube, die Packung usw., die ebenfalls mit dem Durchflussmedium in Berührung kommen, gelten nicht als Ventilgarnitur.

Die Leistung einer Ventilgarnitur wird durch die Schnittstelle zwischen Teller und Sitz und das Verhältnis zwischen Tellerposition und Sitz bestimmt. Durch die Garnitur sind Grundbewegungen und Durchflussregelung möglich. Bei Drehbewegungen gleitet der Ventilteller dicht am Sitz vorbei, um eine Änderung der Durchflussöffnung zu bewirken. Bei linearen Bewegungsabläufen hebt sich die Scheibe senkrecht vom Sitz ab, so dass eine ringförmige Öffnung entsteht.

Ventilgarnituren können aus verschiedenen Werkstoffen hergestellt werden, da sie unterschiedliche Eigenschaften aufweisen müssen, um den verschiedenen Kräften und Bedingungen standzuhalten. Buchsen und Stopfbuchsen sind nicht den gleichen Kräften und Bedingungen ausgesetzt wie der Ventilteller und der/die Sitz(e).

Die Eigenschaften des Durchflussmediums, die chemische Zusammensetzung, der Druck, die Temperatur, die Durchflussmenge, die Geschwindigkeit und die Viskosität sind einige der wichtigen Überlegungen bei der Auswahl geeigneter Verkleidungsmaterialien. Das Material der Verkleidung kann, muss aber nicht dasselbe sein wie das des Ventilgehäuses oder des Ventiloberteils.

### **d) Ventilteller und Sitz(e)**

**Klappenscheibe** Die Klappenscheibe ist das Teil, das den Durchfluss je nach seiner Position zulässt, drosselt oder stoppt. Im Falle eines Kegels oder eines Kugelventils wird die Scheibe als Kegel oder Kugel bezeichnet. Die Scheibe ist die dritt wichtigste primäre Druckbegrenzung. Bei geschlossenem Ventil liegt der volle Systemdruck über dem Teller an, weshalb der Teller ein druckabhängiges Bauteil ist. Die Ventilteller sind

in der Regel geschmiedet und in einigen Ausführungen mit einer harten Oberfläche versehen, um gute Verschleißigenschaften zu erzielen. Die meisten Ventile sind nach der Bauart ihrer Teller benannt.

Sitz(e) Der Sitz oder die Dichtungsringe bilden die Sitzfläche für die Scheibe. Ein Ventil kann einen oder mehrere Sitze haben. Bei einem Durchgangs- oder Rückschlagventil gibt es in der Regel einen Sitz, der eine Dichtung mit der Scheibe bildet, um den Durchfluss zu stoppen. Bei einem Schieber gibt es zwei Sitze, einen auf der stromaufwärts gelegenen Seite und einen auf der stromabwärts gelegenen Seite. Die Schieberplatte hat zwei Sitzflächen, die mit den Ventilsitzen in Kontakt kommen und eine Dichtung bilden, um den Durchfluss zu stoppen. Um die Verschleißfestigkeit der Dichtungsringe zu verbessern, wird die Oberfläche häufig durch Schweißen und anschließendes Bearbeiten der Kontaktfläche des Dichtungsringes hartbearbeitet. Für eine gute Abdichtung bei geschlossener Armatur ist eine feine Oberflächenbeschaffenheit des Sitzbereichs erforderlich. Dichtungsringe werden in der Regel nicht als druckbegrenzende Teile betrachtet, da das Gehäuse eine ausreichende Wandstärke hat, um dem Auslegungsdruck standzuhalten, ohne sich auf die Dicke der Dichtungsringe zu verlassen.

#### **e) Ventilschaft**

Die Ventilspindel sorgt für die notwendige Bewegung des Tellers, des Kegels oder der Kugel, um das Ventil zu öffnen oder zu schließen, und ist für die richtige Positionierung des Tellers verantwortlich. Sie ist an einem Ende mit dem Handrad, dem Stellantrieb oder dem Hebel und am anderen Ende mit dem Ventilteller verbunden. Bei Schieber- oder Durchgangsventilen ist eine lineare Bewegung des Ventiltellers erforderlich, um das Ventil zu öffnen oder zu schließen, während bei Kegel-, Kugel- und Klappenventilen der Ventilteller zum Öffnen oder Schließen des Ventils gedreht wird.

Die Spindeln sind in der Regel geschmiedet und mit der Scheibe durch ein Gewinde oder andere Techniken verbunden. Um Leckagen im Bereich der Dichtung zu vermeiden, ist eine feine Oberflächenbearbeitung der Spindel erforderlich.

Es gibt fünf Arten von Ventilschäften:

#### **Steigende Spindel mit außenliegender Schraube und Joch**

Die Außenseite der Spindel ist mit einem Gewinde versehen, während der Teil der Spindel im Ventil glatt ist. Die Spindelgewinde sind durch die Spindelpackung vom Durchflussmedium isoliert. Es gibt zwei verschiedene Ausführungen dieser Ventile: eine, bei der das Handrad an der Spindel befestigt ist, so dass beide zusammen aufsteigen können, und eine andere mit einer Gewindehülse, die bewirkt, dass die Spindel durch das Handrad aufsteigt. Dieser Ventiltyp wird mit "O. S. und Y." bezeichnet und ist eine übliche Ausführung für Ventile ab NPS 2.

#### **Steigende Spindel mit Innenschraube**

Der mit einem Gewinde versehene Teil der Spindel befindet sich innerhalb des Ventilgehäuses, die Spindelpackung entlang des glatten Abschnitts, der der Atmosphäre ausgesetzt ist, außerhalb. In diesem Fall sind die Spindelgewinde in Kontakt mit dem Durchflussmedium. Beim Drehen heben sich die Spindel und das Handrad gemeinsam, um das Ventil zu öffnen.

#### **Nichtsteigende Spindel mit Innenschraube**

Der mit Gewinde versehene Teil der Spindel befindet sich im Inneren des Ventils und hebt sich nicht. Der Ventilteller bewegt sich entlang der Spindel, wie eine Mutter, wenn die Spindel gedreht wird. Das Gewinde der Spindel ist dem Durchflussmedium ausgesetzt und unterliegt somit dem Aufprall. Aus diesem Grund wird dieses Modell verwendet, wenn der Platz für eine lineare Bewegung begrenzt ist und das Durchflussmedium keine Erosion, Korrosion oder Abnutzung des Spindelmaterials verursacht.

### **Schiebevorbau**

Dieser Ventilschaft lässt sich nicht drehen oder wenden. Er gleitet in das Ventil hinein und wieder heraus, um das Ventil zu öffnen oder zu schließen. Diese Konstruktion wird bei handbetätigten Schnellöffnungsventilen mit Hebel verwendet. Sie wird auch bei Steuerventilen verwendet, die von Hydraulik- oder Pneumatikzylindern betätigt werden.

### **Drehbare Spindel**

Dieses Modell wird häufig für Kugelhähne, Kegel und Klappen verwendet. Eine Vierteldrehung der Spindel öffnet oder schließt das Ventil.

#### **f) Ventiljoch und Jochmutter**

Joch

Ein Joch verbindet das Ventilgehäuse oder die Ventilhaube mit dem Betätigungsmechanismus. Der obere Teil des Jochs hält eine Jochmutter, eine Spindelmutter oder eine Jochbuchse, durch die die Ventilspindel geführt wird. Ein Joch hat in der Regel Öffnungen, die den Zugang zur Stopfbuchse, zu den Antriebsgliedern usw. ermöglichen. Die Struktur eines Jochs muss stark genug sein, um den Kräften, Momenten und Drehmomenten des Stellantriebs standzuhalten.

Jochmutter

Eine Jochmutter ist eine Mutter mit Innengewinde, die oben auf dem Joch sitzt, durch das die Spindel läuft. Bei einem Schieber z. B. wird die Jochmutter gedreht und die Spindel bewegt sich nach oben oder unten. Bei Durchgangsventilen ist die Mutter fest und die Spindel wird durch sie gedreht.

### **Ventilschaftabdichtung**

Für eine zuverlässige Abdichtung zwischen der Spindel und dem Oberteil wird eine Dichtung benötigt. Diese wird als Packung bezeichnet und ist z. B. mit folgenden Komponenten ausgestattet.

- Stopfbuchsbrille, eine Hülse, die die Packung durch eine Stopfbuchse in die sogenannte Stopfbuchse drückt.
- Stopfbuchse, eine Art Buchse, die die Packung in der Stopfbuchse zusammenpresst.
- Stopfbuchse, eine Kammer, in der die Verpackung komprimiert wird.
- Verpackung, erhältlich in verschiedenen Materialien, wie Teflon®, Elastomermaterial, Fasermaterial usw..
- Ein Rücksitz ist eine Sitzanordnung im Inneren des Ventiloberteils. Sie dichtet zwischen Spindel und Oberteil ab und verhindert, dass sich der Systemdruck gegen die Ventilpackung aufbaut,



wenn das Ventil vollständig geöffnet ist. Rücksitze werden häufig in Schieber- und Durchgangsventilen eingesetzt.

Ein wichtiger Aspekt der Lebensdauer einer Armatur ist die Dichtungsanordnung. Bei fast allen Armaturen, wie z. B. Standard-Kugel-, Durchgangs-, Schieber-, Kükens- und Absperrklappenventilen, basiert die Dichtungsanordnung auf Scherkraft, Reibung und Abriss.

Deshalb muss die Ventilpackung richtig sitzen, um Schäden an der Spindel und Flüssigkeits- oder Gasverluste zu vermeiden. Wenn die Packung zu locker ist, wird das Ventil undicht. Ist die Packung zu fest, beeinträchtigt sie die Bewegung und kann die Spindel beschädigen.

### **Ventil-Stellantriebe**

Handbetätigte Ventile sind in der Regel mit einem Handrad ausgestattet, das an der Spindel oder der Jochmutter des Ventils befestigt ist und zum Schließen oder Öffnen des Ventils im oder gegen den Uhrzeigersinn gedreht wird. Durchgangs- und Schieberventile werden auf diese Weise geöffnet und geschlossen.

Handbetätigte Ventile mit Vierteldrehung, wie z. B. Kugelhähne, Kegel oder Klappen, haben einen Hebel zur Betätigung des Ventils.

Es gibt Anwendungen, bei denen es nicht möglich oder erwünscht ist, das Ventil manuell mit einem Handrad oder Hebel zu betätigen. Zu diesen Anwendungen gehören:

- Große Ventile, die gegen hohen hydrostatischen Druck betrieben werden müssen
- Ventile, die von einem entfernten Standort aus bedient werden müssen
- Wenn die Zeit für das Öffnen, Schließen, Drosseln oder die manuelle Steuerung des Ventils länger ist, als nach den Kriterien der Systemauslegung erforderlich

Diese Ventile sind in der Regel mit einem Stellantrieb ausgestattet. Ein Stellantrieb ist im weitesten Sinne eine Vorrichtung, die eine lineare und rotierende Bewegung einer Kraftquelle unter der Einwirkung einer Steuerquelle erzeugt.

Einfache Stellantriebe werden verwendet, um eine Armatur vollständig zu öffnen oder zu schließen. Stellantriebe zum Steuern oder Regeln von Ventilen erhalten ein Stellsignal, um eine beliebige Zwischenstellung anzufahren. Es gibt viele verschiedene Arten von Stellantrieben, aber die folgenden sind einige der am häufigsten verwendeten Ventilstellantriebe.

- Getriebeaktuatoren
- Elektromotorische Stellantriebe
- Pneumatische Stellantriebe
- Hydraulische Stellantriebe
- Magnetische Aktuatoren

Handbetätigte Ventile sind in der Regel mit einem Handrad ausgestattet, das an der Spindel oder der Jochmutter des Ventils befestigt ist und zum Schließen oder Öffnen des Ventils im oder gegen den

Uhrzeigersinn gedreht wird. Durchgangs- und Schieberventile werden auf diese Weise geöffnet und geschlossen.

Handbetätigte Ventile mit Vierteldrehung, wie z. B. Kugelhähne, Kegel oder Klappen, haben einen Hebel zur Betätigung des Ventils.

Es gibt Anwendungen, bei denen es nicht möglich oder erwünscht ist, das Ventil manuell mit einem Handrad oder Hebel zu betätigen. Zu diesen Anwendungen gehören:

- Große Ventile, die gegen hohen hydrostatischen Druck betrieben werden müssen
- Ventile, die von einem entfernten Standort aus bedient werden müssen
- Wenn die Zeit für das Öffnen, Schließen, Drosseln oder die manuelle Steuerung des Ventils länger ist, als nach den Kriterien der Systemauslegung erforderlich

Diese Ventile sind in der Regel mit einem Stellantrieb ausgestattet. Ein Stellantrieb ist im weitesten Sinne eine Vorrichtung, die eine lineare und rotierende Bewegung einer Kraftquelle unter der Einwirkung einer Steuerquelle erzeugt.

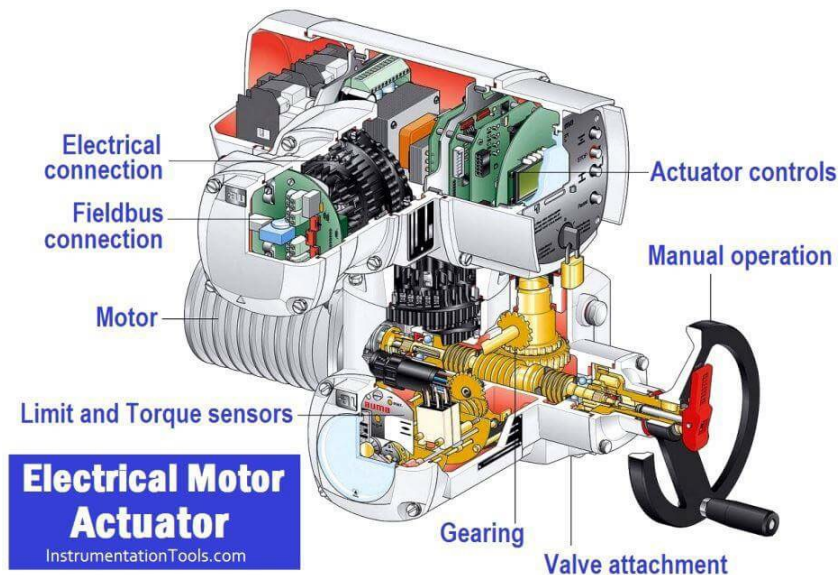
Einfache Stellantriebe werden verwendet, um eine Armatur vollständig zu öffnen oder zu schließen. Stellantriebe zum Steuern oder Regeln von Ventilen erhalten ein Stellsignal, um eine beliebige Zwischenstellung anzufahren. Es gibt viele verschiedene Arten von Stellantrieben, aber die folgenden sind einige der am häufigsten verwendeten Ventilstellantriebe.

- Zahnradantriebe sind die häufigste Art von Armaturen antrieben. Zu den manuellen Stellantrieben gehören Handräder, die direkt an der Armaturenspindel befestigt sind, und Handräder, die über Zahnräder befestigt sind, um einen mechanischen Vorteil zu erzielen.
- Elektromotorische Stellantriebe bestehen aus reversiblen Elektromotoren, die über ein Getriebe, das die Drehzahl reduziert und das Drehmoment erhöht, mit der Armaturenspindel verbunden sind.
- Pneumatische Antriebe nutzen den Luftdruck auf einer oder beiden Seiten einer Membran, um die Kraft zur Positionierung des Ventils zu erzeugen.
- Hydraulische Stellantriebe verwenden eine unter Druck stehende Flüssigkeit auf einer oder beiden Seiten eines Kolbens, um die zur Positionierung des Ventils erforderliche Kraft zu erzeugen.
- Magnetische Stellantriebe haben ein magnetisches Teil, das an der Ventilstange befestigt ist. Die Kraft zur Positionierung des Ventils entsteht durch die magnetische Anziehungskraft zwischen dem Stößel auf dem Ventilschaft und der Spule des Elektromagneten im Ventilantrieb.

### **Elektromotorischer Stellantrieb**

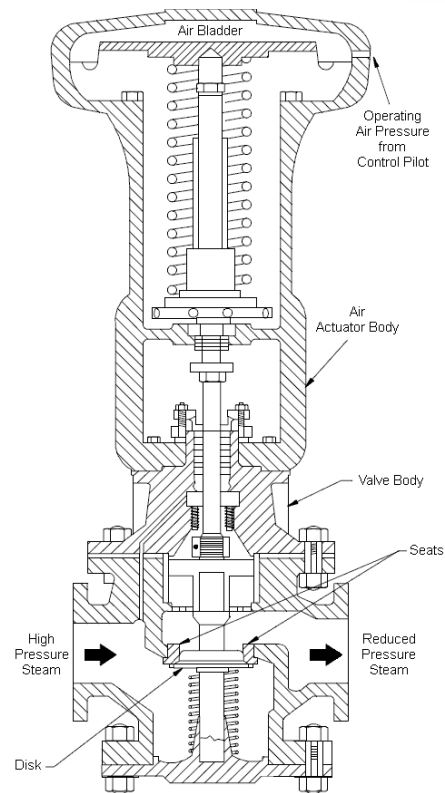
Elektromotoren ermöglichen den manuellen, halbautomatischen und automatischen Betrieb des Ventils. Motoren werden vor allem für die Funktionen Öffnen-Schließen verwendet, obwohl sie auch für die Positionierung des Ventils an einem beliebigen Öffnungspunkt geeignet sind, wie in der Abbildung unten dargestellt. Bei dem Motor handelt es sich in der Regel um einen reversiblen Hochgeschwindigkeitsmotor, der mit einem Getriebe verbunden ist, um die Motordrehzahl zu verringern und dadurch das Drehmoment

an der Spindel zu erhöhen. Die Drehrichtung des Motors bestimmt die Richtung der Scheibenbewegung. Die elektrische Betätigung kann halbautomatisch erfolgen, wenn der Motor durch ein Steuersystem gestartet wird. Ein Handrad, das in das Getriebe eingekuppelt werden kann, sorgt für die manuelle Betätigung der Armatur. Normalerweise sind Endschalter vorgesehen, um den Motor bei vollständig geöffneter und vollständig geschlossener Armaturenstellung automatisch anzuhalten. Die Endschalter werden entweder physisch durch die Stellung der Armatur oder torsionsmäßig durch das Drehmoment des Motors betätigt.



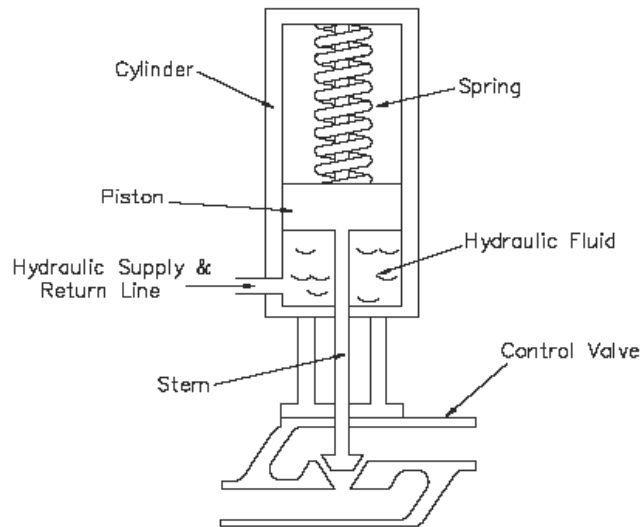
### **Pneumatische Stellantriebe**

Pneumatische Stellantriebe, wie in der Abbildung unten dargestellt, ermöglichen einen automatischen oder halbautomatischen Ventilbetrieb. Diese Antriebe setzen ein Luftsignal in eine Ventilspindelbewegung um, indem der Luftdruck auf eine mit der Spindel verbundene Membran oder einen Kolben wirkt. Pneumatische Stellantriebe werden in Drosselventilen für die Auf-Zu-Positionierung eingesetzt, wenn eine schnelle Reaktion erforderlich ist. Wenn der Luftdruck das Ventil schließt und die Federkraft das Ventil öffnet, wird der Antrieb als direkt wirkend bezeichnet. Wenn der Luftdruck das Ventil öffnet und die Federwirkung das Ventil schließt, wird der Antrieb als umgekehrt wirkend bezeichnet. Bei Duplex-Antrieben werden beide Seiten der Membran mit Luft versorgt. Der Differenzdruck über die Membran positioniert die Ventilspindel. Ein automatischer Betrieb ist gegeben, wenn die Luftsignale automatisch durch Schaltkreise gesteuert werden. Der halbautomatische Betrieb wird durch manuelle Schalter in den Schaltkreisen zu den Luftsteuerventilen gewährleistet.



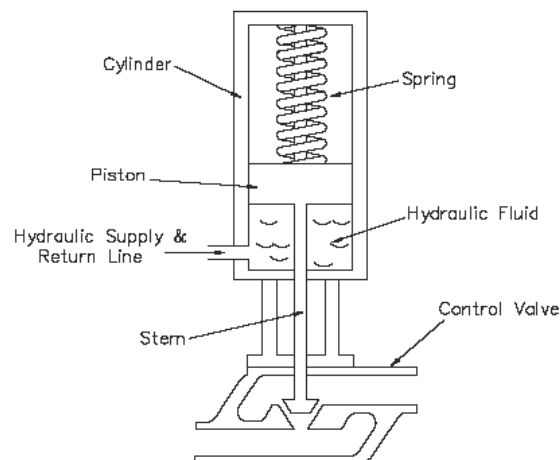
## Hydraulische Stellantriebe

Hydraulische Stellantriebe ermöglichen eine halbautomatische oder automatische Positionierung der Armatur, ähnlich wie bei pneumatischen Stellantrieben. Diese Antriebe verwenden einen Kolben, um einen Signaldruck in eine Ventilspindelbewegung umzuwandeln. Die Hydraulikflüssigkeit wird auf einer Seite des Kolbens zugeführt, während die andere Seite entleert oder entlüftet wird. Als Hydraulikflüssigkeit wird Wasser oder Öl verwendet. Magnetventile werden in der Regel zur automatischen Steuerung der Hydraulikflüssigkeit verwendet, um das Öffnen oder Schließen des Ventils zu steuern. Manuelle Ventile können auch zur Steuerung der Hydraulikflüssigkeit verwendet werden und ermöglichen so einen halbautomatischen Betrieb.



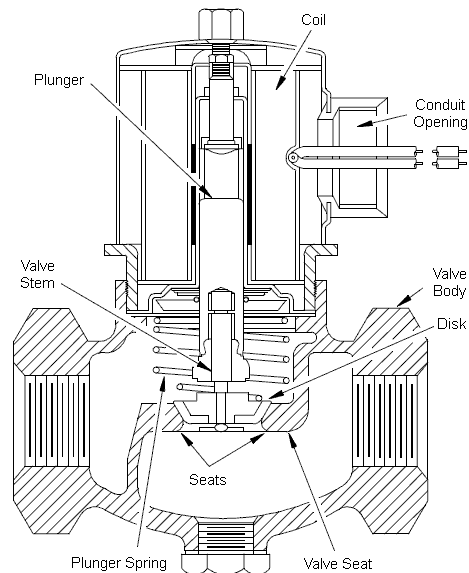
### Selbstbetätigte Ventile

Selbsttätige Ventile verwenden die Systemflüssigkeit zur Positionierung des Ventils. Überdruckventile, Sicherheitsventile, Rückschlagventile und Kondensatableiter sind Beispiele für selbsttätige Ventile. Alle diese Ventile nutzen eine Eigenschaft der Systemflüssigkeit zur Betätigung des Ventils. Für den Betrieb dieser Ventile ist keine Energiequelle außerhalb der Systemflüssigkeit erforderlich.

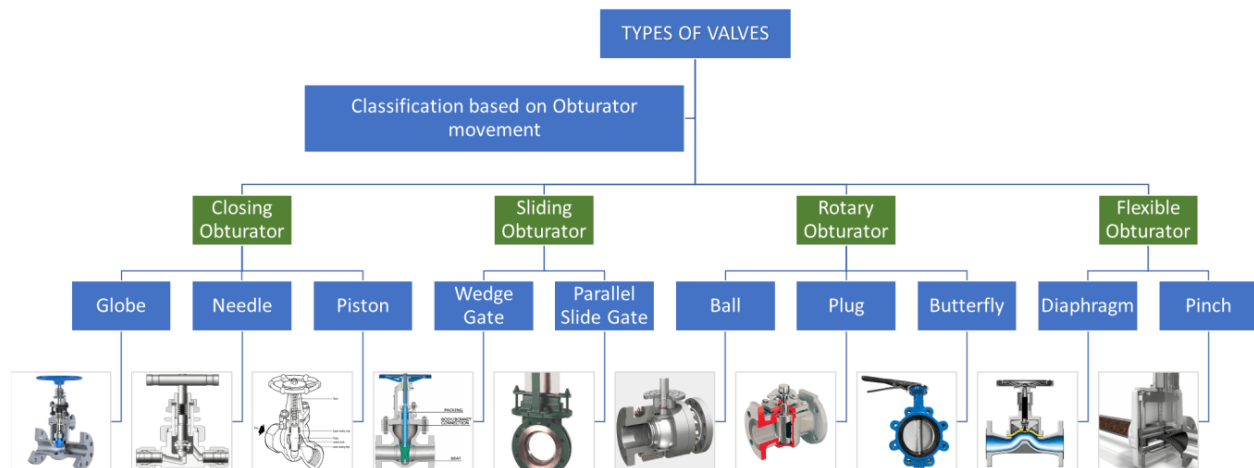


Magnetbetätigte Ventile ermöglichen eine automatische Positionierung des Ventils beim Öffnen und Schließen, wie in der Abbildung unten dargestellt. Die meisten elektromagnetisch betätigten Ventile verfügen auch über eine manuelle Übersteuerung, die eine manuelle Positionierung des Ventils ermöglicht, solange die Übersteuerung manuell positioniert ist. Magnete positionieren das Ventil, indem sie ein magnetisches Kügelchen anziehen, das an der Ventilstange befestigt ist. Bei monostabilen Ventilen wirkt der Federdruck gegen die Bewegung des Magneten, wenn die Magnetspule mit Strom versorgt wird. Diese Ventile können so angeordnet werden, dass die Stromzufuhr zum Magneten das Ventil entweder öffnet oder schließt. Wird die Stromzufuhr zum Magneten unterbrochen, bringt die Feder das Ventil

wieder in die entgegengesetzte Stellung. Es können zwei Magnete verwendet werden, um sowohl das Öffnen als auch das Schließen zu ermöglichen, indem der entsprechende Magnet mit Strom versorgt wird.



### Klassifizierung von Ventilen anhand des Verschlusselements



**Schließende Absperrvorrichtung:** Bei diesem Ventiltyp bewegt sich das Verschlusselement, d.h. die Scheibe oder der Kegel, entlang der Sitzachse in Richtung des Ventilsitzes oder des Anschlusses oder davon weg. Durchgangsventile, Nadelventile und Kolbenventile fallen in diese Kategorie von Ventilen.

**Gleitende Absperrschieber:** Bei diesem Ventiltyp bewegt sich das Verschlusselement, d. h. der Keilschieber oder Parallelschieber, senkrecht zur Strömungsrichtung am Ventilanschluss. Schieber fallen in diese Kategorie von Ventilen. Kugelhähne, Küchenhähne und Absperrklappen fallen in diese Ventilkategorie.

**Drehbares Absperrorgan:** Bei diesem Ventiltyp hat das Verschlusselement eine Öffnung, die um 90 Grad gedreht wird, so dass die Öffnung mit der Durchflussrichtung fluchtet und den vollen Durchfluss durch das Ventil ermöglicht, oder die Öffnung steht im rechten Winkel zur Durchflussrichtung und sperrt den Durchfluss ab.

**Flexibles Absperrorgan:** Bei dieser Art von Ventil ist das Verschlusselement ein flexibler Durchgang, der abgeflacht oder gequetscht wird, um den Durchfluss zu drosseln und umgekehrt, um den Durchfluss durch das Ventil zu ermöglichen. Membranventile und Quetschventile fallen in diese Kategorie von Ventilen.

### **Ventil in H<sub>2</sub> Rohrleitungen**

Das Hauptaugenmerk bei der Verwendung von reinem Wasserstoff liegt auf der Verhinderung von Leckagen entweder in die Umgebung oder am Ventil.

Leckagen an die Umgebung werden am häufigsten durch undichte Packungen und Hauben und in geringerem Maße durch undichte Gussteile verursacht.

#### **Um die Gefahr von Lecks zu minimieren ...**

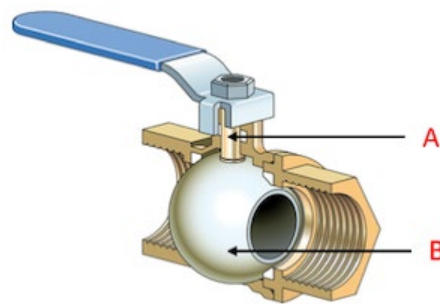
- Doppelte Dichtungen oder Packungen
- Jedes Gussteil muss hydraulisch auf Dichtheit geprüft werden
- Weicher Sitz in einer Metallhalterung für automatische Inline-Ventile und automatische Entlüftungen; blasendichtes Absperren angeben
- Metall-auf-Metall-Sitz oder weicher Sitz in einer Halterung für manuelle Inline-Ventile; diese sollten mit einem Mittel zur positiven Absperrung kombiniert werden, wenn sie verwendet werden, um den Durchfluss zu blockieren, bevor Wartungs- oder Inspektionsarbeiten in der Leitung durchgeführt werden.
- Metallischer Sitz mit blockiertem Ventilausgang. Typische Anordnungen sind Doppelventile, Blindflansch, Stopfen oder Kappe (Gewindeanschlüsse sind zulässig).
- Vorzugsweise keine Durchgangsverschraubungen, Gehäuseflansche oder Gewindeverbindungen bei der Montage des Ventilgehäuses.
- Absperrventile für die Hauptleitung sollten mit vollem Durchgang ausgeführt sein, wenn eine Molchung der Pipeline zur Inspektion vorgesehen ist.

#### **Gängige Armaturentypen für H<sub>2</sub> Rohrleitungen**

Kugel- und Kükenhähne sind von Natur aus schnell öffnend und gut abdichtend. Sie können manuell oder automatisch betätigt werden. Sie werden häufig als Absperr-, Notabsperr-, Überström-, Entlüftungs- und Entleerungsventile bevorzugt. Sie können unter bestimmten Umständen auch als Regelventile eingesetzt werden, obwohl ihre Regeleigenschaften im Allgemeinen weniger präzise sind als die von Durchgangs- oder Absperrventilen. Kugelhähne haben in der Regel einen vollen Durchgang und müssen einen vollen Durchgang haben, wenn ein Gerät zur internen Inspektion der Rohrleitung durch sie hindurchgeführt werden muss. Kugelhähne und Kükenhähne werden in der Regel in kleinen Größen verwendet.



a) Kegelventil



b) Kugelhahn

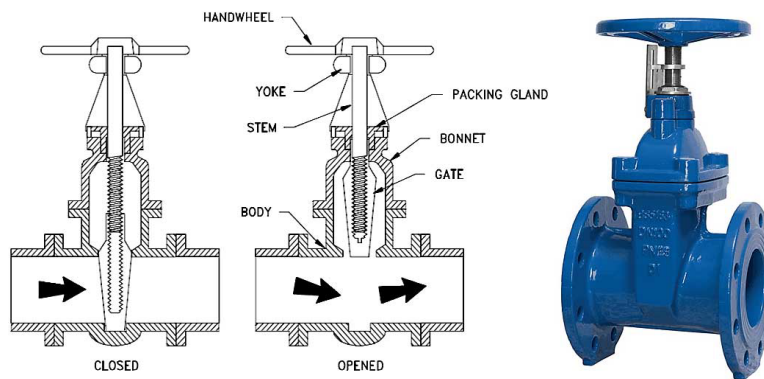
Es können exzentrische Zwischenflanschventile (Hochleistungsklappen) verwendet werden. Sie können manuell oder automatisch betätigt werden und können als Regelventil eingesetzt werden, wenn der Druckabfall über das Ventil nicht zu groß ist. Der Hauptnachteil ist, dass der Ventilsitz besonders anfällig für Beschädigungen durch Partikel ist. Wenn diese Ventile gewählt werden, müssen sie doppelt exzentrisch und blasendicht schließen. Absperrklappen sind nicht geeignet, um ein Rohrleitungsinnenprüfgerät hindurchzuführen, da die Scheibe und der Stift ständig im Strömungsweg sitzen.

In diesem Dokument wird keine Stellungnahme zur Verwendung dieser Ventile abgegeben, es wird lediglich eingeräumt, dass es unterschiedliche Meinungen zu ihrer Verwendung gibt, da einige Rohrleitungsbetreiber sie unter bestimmten Umständen zulassen und andere sie überhaupt nicht zulassen. Da es jedoch in bestimmten Situationen potenzielle Vorteile gibt, wurde es als angemessen erachtet, eine Beschreibung dieser Ventile aufzunehmen.

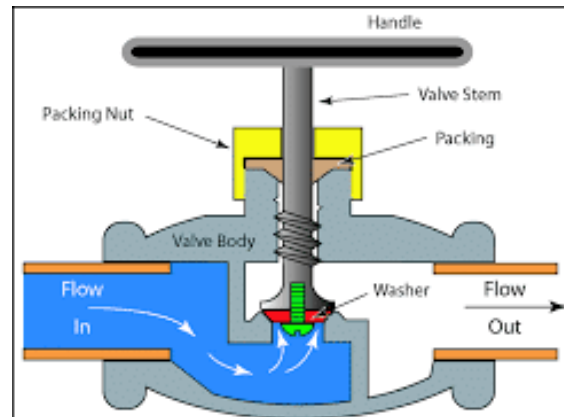




Schieber sind robuste, bewährte Ventile, die in der Regel zum Absperrn von Durchflüssen verwendet werden. Obwohl sie automatisiert werden können, werden sie in den meisten Fällen manuell betätigt. Der Hauptnachteil besteht darin, dass sie nicht so dicht sind wie Kugelhähne, Kükenhähne, Absperrklappen oder Absperrschieber, es sei denn, es handelt sich um Sonderausführungen mit weichen Dichtungstreifen auf der Scheibe. Um diesen Nachteil auszugleichen, sollten sie mit flexiblen Keilen (Schieber) ausgestattet werden. Absperrschieber eignen sich für die Durchführung eines Rohrleitungsinspektionsgeräts durch sie hindurch.



Durchgangsventile werden häufig in Regelanwendungen eingesetzt, bei denen ein dichtes Absperrn von größter Bedeutung ist. Sie können manuell oder automatisch betätigt werden. Aufgrund ihrer präzisen Regelcharakteristik werden sie häufig als Regelventile eingesetzt. Wegen ihres dichten Abschlusses werden sie auch als automatische Entlüftungs- und Absperrventile verwendet. Sie werden eher in kleineren Größen als in größeren Größen eingesetzt. Das Gas, das durch ein Durchgangsventil strömt, wird gezwungen, seine Richtung zu ändern. Dadurch entsteht ihre präzise Regelcharakteristik, die sie jedoch auch anfällig für Erosion und Abrieb macht. Aus diesem Grund sollte bei Anwendungen, die einen großen Druckabfall über das Ventil aufweisen, die Verwendung von gehärteten Kegel- und Sitzwerkstoffen in Betracht gezogen werden. Die hohe Schallgeschwindigkeit von Wasserstoff bedeutet, dass dieses Problem bei geringeren Druckabfällen als bei den meisten anderen Gasen auftritt.



Es handelt sich um Ventile, die speziell dafür ausgelegt sind, eine Überdruckbeaufschlagung eines Gegenstands oder Systems zu verhindern, indem sie den Anstieg des Innendrucks automatisch und zuverlässig stoppen, indem sie Gas ablassen, sobald ein voreingestellter Druck erreicht worden ist. Druckbegrenzungsventile sind insofern eigenständig, als sie keine Betätigung durch den Bediener oder das Steuersystem benötigen, um ihre Funktion zu erfüllen. Es gibt verschiedene Arten und Ausführungen von Sicherheitsventilen, z. B. direkt wirkende, vorgesteuerte, mit variablem Gegendruck arbeitende usw. Direkt wirkende federbetätigte Sicherheitsventile sind zulässig. Die Innenteile sollten aus wasserstoffverträglichen, korrosionsbeständigen Materialien bestehen. Als Sitze werden in der Regel sowohl Metall auf Metall als auch weiche Materialien in einer Metallhalterung verwendet. Der Hauptunterschied zwischen beiden besteht darin, dass Sitze aus Metall weniger leicht beschädigt werden, wenn sich das Sicherheitsventil hebt, aber sie neigen auch dazu, leichter undicht zu werden, wenn das Sicherheitsventil geschlossen ist.

Druckbegrenzungsventile müssen in der Regel internationalen, nationalen und lokalen Vorschriften entsprechen, die in der Regel die Konstruktion, die Konstruktionsmaterialien, die Prüfung, die Qualitätssicherung, die Inspektion im Betrieb und oft auch die offizielle Versiegelung nach der Einstellung des Überdruckes zum Schutz vor Manipulationen umfassen.

Obwohl viele Materialien für das Ventilgehäuse verwendet werden können, ist es vorzuziehen, entweder Kohlenstoffstahl oder Edelstahl zu verwenden, da diese Materialien wirtschaftlich sind und einige der potenziellen Korrosionsprobleme vermeiden, die entstehen könnten, wenn Verunreinigungen in die Rohrleitung gelangen.

Beispiel für die auf dem Markt erhältlichen H<sub>2</sub> Druckbegrenzungsventile:



Cryogenic Hydrogen Pressure  
Relief Valve – Series 2400



Hydrogen Pressure Relief Valve –  
Series 451

Es handelt sich um Ventile, die speziell dafür ausgelegt sind, den Durchfluss in eine Richtung zuzulassen und ihn in der umgekehrten Richtung zu stoppen. Es gibt zahlreiche Typen, darunter Schwenk-, Klappen-, Kugel- und Tellerventile, federbelastete, schwerkraftbetriebene und hydraulisch unterstützte Ventile usw. Schwenk- und Klappenventile werden meist in größeren Größen verwendet, Kugelventile oder Tellerventile in sehr kleinen Größen (<2"). Um die Leckage bei geschlossenem Ventil zu minimieren, werden ein weicher Sitz in einer Metallhalterung oder speziell geläppte Metall-Metall-Sitze bevorzugt, vor allem, wenn ein kleiner Rückfluss ein erhebliches Risiko darstellen würde. Wie bei allen Rückschlagventilen kann der Einbau in der richtigen Ausrichtung entscheidend sein. Rückschlagventile gelten in der Regel nicht als so zuverlässige Durchflussbegrenzer wie Absperrventile und dürfen daher nicht als Ersatz für Absperrventile verwendet werden.



Cryogenic Lift Check Valves for  
Hydrogen Application



## Probleme mit Ventilen in H<sub>2</sub> Pipelines

### Verpacken

Eine gute Abdichtung der Stopfbuchsen ist bei Wasserstoffanwendungen wichtig. Die Packungsmaterialien sollten wasserstoffverträglich und für hohe Temperaturen geeignet sein, um ihre Unversehrtheit im Falle eines Brandes zu gewährleisten. Üblicherweise werden Verbindungen auf Graphitbasis verwendet. Es sollte eine doppelte Packung verwendet werden, um die Gefahr von Leckagen in die Atmosphäre zu verringern, die ein Entflammungsrisiko darstellen können.

### Schäden durch Feinstaub

Zum Schutz der Weichsitze vor möglichen Schäden durch mit dem Gas mitgeführte Partikel kann vor Ventilen oder Ventilgruppen mit Weichsitzen, die während des Betriebs normalerweise durchströmt

werden, ein Schmutzfänger mit einer Maschenweite von 300 Mikron (50 mesh) oder feiner eingebaut werden. Dies gilt in der Regel nicht für Entlüftungen, Entleerungen und Druckbegrenzungsventile (Druckbegrenzungsventile sollten auf keinen Fall mit einem Schmutzfänger ausgestattet sein, da ein teilweise verstopfter Schmutzfänger die Druckbegrenzungskapazität verringern würde).

### **Herstellung von Ventilen für Wasserstoffanwendungen**

Neben der sorgfältigen Auswahl geeigneter Werkstoffe muss sichergestellt werden, dass die Weiterverarbeitung dieser Werkstoffe ihre Integrität nicht beeinträchtigt. So können beispielsweise beim Schweißen Kerben und Eigenspannungen durch lokale Plastifizierung entstehen, die dann die Wasserstoffversprödung fördern können. In diesen Fällen wird eine Nachbehandlung gemäß NACE empfohlen.

### **Andere Geräte, die in H<sub>2</sub> Rohrleitungen verwendet werden**

Der Einbau von Schmutzfängern und Filtern wird empfohlen, um Verunreinigungen zu vermeiden, insbesondere vor Druckregel- und Dosiervorrichtungen, da die Schallgeschwindigkeit von Wasserstoff im Vergleich zu den meisten Gasen sehr hoch ist. Das Gehäusematerial sollte mindestens der Rohrleitung entsprechen und die Innenteile sollten aus einem korrosionsbeständigen Metall bestehen.

### ***Unterschied zwischen Schmutzfängern und Filtern***

Der Zweck eines Schmutzfängers besteht darin, größere, unerwünschte Schwebeteilchen aus einer Flüssigkeit zu entfernen, vor allem um nachgeschaltete Geräte wie Pumpen vor Schäden zu schützen. Es gibt sie in verschiedenen Formen und Größen, je nach Anwendung, aber ein Merkmal ist wesentlich - Schmutzfänger sind so konstruiert, dass sie leicht zu entfernen und zu reinigen sind. Eine schnelle Reinigung erfordert weniger Ausfallzeiten für die Ausrüstung, um eine optimale Funktionalität zu gewährleisten.

Während Siebe zum Entfernen größerer Partikel verwendet werden, dienen Filter dazu, kleinere unerwünschte Partikel aus Flüssigkeiten und Gasen zu entfernen. Filter werden in der Regel eingesetzt, wenn die Flüssigkeit oder das Gas, das das System durchläuft, frei von den meisten Verunreinigungen sein muss, selbst von solchen, die so klein wie ein Sandkorn sind. Viele Filter sind wiederverwendbar, während andere in regelmäßigen Abständen ausgetauscht werden müssen.



| BASIS OF DIFFERENCE | STRAINER  | FILTER  |
|---------------------|---|---|
| FUNCTIONALITY       | It traps debris and allows the valuable liquid to flow through the system.    | It traps the valuable substance and lets the waste flow through the system.           |
| NUMBER OF SCREENS   | It incorporates various screens.  | It incorporates a single screen.  |
| RE-USAGE            | The screens can be cleaned and used again.                                    | The screen can be used until it is clogged, which must then be changed.               |
| TYPE OF OPERATION   | It is considered a coarse operation.  | It is referred to as a more delicate removal process.                                 |
| BASIC USAGE         | It is employed to catch large chunks in the <a href="#">valve industry</a> .  | It is used to remove small particles down to the size of microbes.                    |
| PRESSURE DROP       | Liquid or gas passing through a strainer does not experience a pressure drop. | Liquid or gas passing through a filter experience a <a href="#">pressure drop</a> .   |
| SIZE OF PARTICLES   | A strainer is used to remove particles larger than 40 microns.                | A filter is used to remove particles smaller than 40 microns.                         |
| QUICK CLEANING      | Quick cleaning of a strainer requires less downtime.                          | Quickly cleaning a filter is impossible as it consumes a considerable amount of time. |

### *Durchflussmessgeräte*

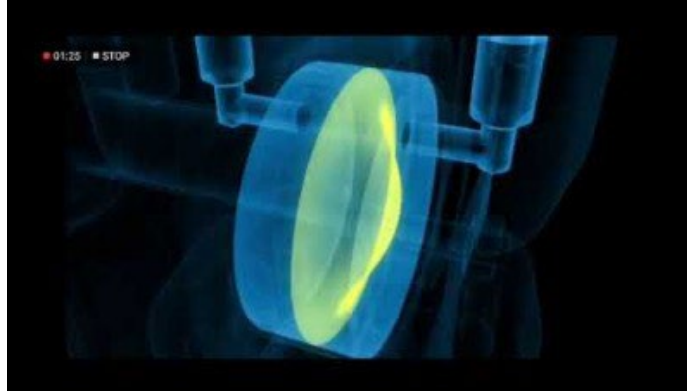
Häufig werden Blenden-, Venturi- und Turbinenmessgeräte verwendet.

Die Auswahl des Durchflussmessertyps richtet sich in der Regel nach den Genauigkeitsanforderungen für den erforderlichen Bereich des Gasdurchflusses, um die Kundenanforderungen zu erfüllen. Für die Umwandlung des Ausgangs des volumetrischen Primärgeräts in einen Massendurchfluss kann ein integriertes elektronisches System verwendet werden, das Folgendes umfassen kann:

- Druckmessumformer
- Temperatur-Transmitter
- Differenzdrucktransmitter
- Massenflussrechner

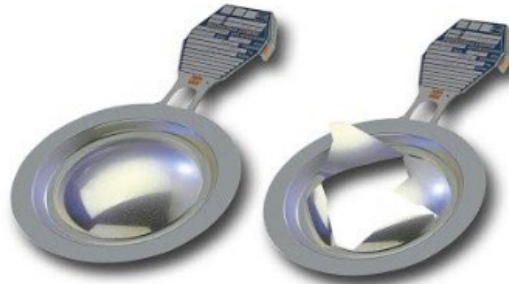
### *Funktionsprinzip der Blende*

Es arbeitet nach dem Prinzip der Differenzdruckmessung. Die Flüssigkeit oder das Gas, dessen Durchflussmenge bestimmt werden soll, wird durch die Messblende geleitet. Dadurch entsteht ein Druckabfall über der Blende, der mit der Durchflussmenge variiert, was zu einem Differenzdruck zwischen dem Ausgangs- und dem Eingangssegment führt.



### *Berstscheiben*

Sicherheitsventile sind Berstscheiben vorzuziehen, da Berstscheiben anfälliger für ein vorzeitiges Versagen sind und nach ihrer Betätigung nicht selbstschließend sind. Insgesamt bedeutet dies, dass eine unbeabsichtigte Freisetzung von Wasserstoff wahrscheinlicher ist und dass die Freisetzung groß ist und so lange andauert, bis die Wasserstoffquelle blockiert ist. Daher sollten Berstscheiben nur dann verwendet werden, wenn ein Sicherheitsventil unpraktisch ist. Ist eine Berstscheibe unvermeidbar, gelten im Allgemeinen die gleichen Anforderungen wie für Sicherheitsventile. Berstscheiben müssen wasserstoffverträglich und witterungsbeständig sein.



### *Isolierfugen*

Isolierverbindungen sind im Wesentlichen zwei Rohrstücke, die durch ein Material mit einer hohen Dielektrizitätskonstante (Isolator) getrennt sind, um zwei Systeme oder Gegenstände elektrisch zu isolieren. Dies geschieht in der Regel, um getrennte Zonen mit möglicher Korrosion zu schaffen, z. B. zwischen unterirdischen und oberirdischen Abschnitten der Rohrleitung. Obwohl die Konstruktion dieser Vorrichtungen gut bekannt ist, besteht immer noch die Möglichkeit, dass zwischen den elektrisch isolierten Abschnitten ein Funke entsteht, der einen Brand entfachen könnte.

Eine ordnungsgemäße Spezifikation und Installation von Isolierverbindungen ist notwendig, um dieses Risiko zu mindern. Daher sollte eine sachkundige und erfahrene Person die Spezifikation und den Einbau dieses Elements überprüfen.

### *Flexible Verbindungen*

Wenn sich Rohrleitungen und Geräte erwärmen, dehnen sie sich aus und belasten das System, da es seine Form ändert, um sich dem nun längeren Material anzupassen. Eine flexible Verbindung ist eine

Vorrichtung, die dieses Wachstum durch ihre inhärente Flexibilität ermöglicht; sie dehnt sich aus, damit die Rohrleitung dies nicht tun muss. Leider sind flexible Verbindungen im Betrieb deutlich weniger robust als Rohre, was das Risiko eines Versagens erheblich erhöht, was bei jedem brennbaren Gas und erst recht bei Wasserstoff gefährlich wäre. Die bevorzugte Lösung besteht darin, die Flexibilität des Rohrleitungssystems durch Ausdehnungsschleifen (außerhalb der Ebene verlaufende Rohre) zu gewährleisten, und diese Konstruktion ist zu verwenden, sofern es keine praktische Alternative gibt.

Ist eine flexible Verbindung unvermeidlich, so muss sie aus korrosionsbeständigem Metall bestehen, eine Auskleidung haben und während des Betriebs häufig überprüft werden, um erste Anzeichen eines beginnenden Versagens zu erkennen. Dehnungsfugen können in Übereinstimmung mit bestehenden Normen, z. B. der Expansion Joint Manufacturer's Association (EJMA), ausgeführt werden.

Eine ordnungsgemäße Spezifikation und Installation von flexiblen Verbindungen ist notwendig, da sie sonst vorzeitig oder sogar sofort versagen können. Daher sollte eine sachkundige und erfahrene Person die Spezifikation und den Einbau dieses Artikels überprüfen.

### **Zusammenfassung der Anforderungen und Normen für Armaturen**

(a) Ventile müssen den in diesem Code genannten Normen und Spezifikationen entsprechen und dürfen nur in Übereinstimmung mit den Betriebsempfehlungen des Herstellers verwendet werden.

(1) Es können Ventile verwendet werden, die gemäß den folgenden Normen hergestellt wurden:

(a) ASME B16.34

(b) ASME B16.38

(c) API 6D

(d) API 609

(e) API 600

(f) API 602

(2) Armaturen mit Gehäuseteilen (Gehäuse, Haube, Deckel und/oder Endflansch) aus Gusseisen oder duktilem Eisen dürfen nicht für den Einsatz in Wasserstoff verwendet werden.

(3) Rohrleitungsarmaturen, die nach den Anforderungen von API 6D erworben wurden, müssen die in API 6D Anhang C, Abs. C4 beschriebenen Druckprüfungen mit Helium bestehen. C4, unter Verwendung von Helium als Prüfmedium. Andere Ventile müssen die in API 598 beschriebenen Druckprüfungen unter Verwendung von Helium als Prüfmedium bestehen können.

(b) Gewindearmaturen müssen ein Gewinde nach ASME B1.20.1 oder API 5B haben.

(c) Druckminderer müssen den Anforderungen dieses Codes für Ventile unter vergleichbaren Betriebsbedingungen entsprechen.

### **Berücksichtigung von H<sub>2</sub> Ventilen**



- Austenitische Edelstähle der Serie 300, die die Temperaturgrenzen der ASME B31.12 erfüllen, werden für Rohrleitungen, Schläuche, Ventile und Fittings für flüssigen und gasförmigen Wasserstoff verwendet.
- Wenn die in Absatz. PL-3.6.1 geforderte Untersuchung zeigt, dass sich die Standortklasse geändert hat, sind die Standorte der Abschnittsventile zu überprüfen, um festzustellen, ob der Zugang zu den Ventilen beeinträchtigt wurde. Die Zugangswege zu den Ventilen sind zu bewerten. Die Auswirkungen einer Evakuierung der Pipeline in der Nähe der Ventile sind zu bestimmen. Je nach Bedarf sind neue Routen sowie Evakuierungs- und Ventilstandorte zu planen.

### **Hauptanforderungen an die Auslegung von Druckentlastungs- und Druckbegrenzungsanlagen**

a) Druckentlastungs- oder Druckbegrenzungseinrichtungen mit Ausnahme von Berstscheiben müssen:

(1) aus solchen Werkstoffen hergestellt sein, dass die Funktion der Einrichtung normalerweise nicht durch Korrosion der äußeren Teile durch die Atmosphäre oder der inneren Teile durch Gas beeinträchtigt wird

(2) über Ventile und Ventilsitze verfügen, die so konstruiert sind, dass sie nicht in einer Position festsitzen, die das Gerät funktionsunfähig macht und dazu führt, dass das Gerät nicht mehr wie vorgesehen funktioniert

(3) so konstruiert und eingebaut sein, dass sie leicht betätigt werden können, um festzustellen, ob das Ventil frei ist, dass sie geprüft werden können, um den Druck zu bestimmen, bei dem sie arbeiten, und dass sie in der geschlossenen Stellung auf Dichtheit geprüft werden können

(b) Berstscheiben müssen den Konstruktionsanforderungen des ASME BPV Code, Section VIII, Division 1 entsprechen.

(c) Die Abgaskamine, Entlüftungsöffnungen oder Auslassöffnungen aller Druckentlastungsvorrichtungen müssen so angeordnet sein, dass das Gas ohne unzumutbare Gefahr in die Atmosphäre abgeleitet werden kann.

Da es wahrscheinlich ist, dass sich Wasserstoff spontan entzündet, wenn er freigesetzt wird, sollten bei der Entscheidung über den Standort einer Entlüftung in die Atmosphäre alle Expositionen in der unmittelbaren Umgebung berücksichtigt werden. Die API 521 sollte verwendet werden, um einen sicheren Abstand zu Wasserstoffentlüftungen zu bestimmen. Die Möglichkeit einer Entzündung kann durch Einleiten eines Inertgases in den Entlüftungskamin verringert werden. Wenn es zum Schutz von Geräten erforderlich ist, müssen die Abgaskamine oder -öffnungen

(d) Die Größe der Öffnungen, Rohrleitungen und Armaturen zwischen dem zu schützenden System und der Druckentlastungsvorrichtung sowie der Entlüftungsleitung muss so bemessen sein, dass ein Hämmern des Ventils und eine Beeinträchtigung der Entlastungsleistung verhindert wird.

(e) Es sind Vorkehrungen zu treffen, um die unbefugte Betätigung von Absperrventilen zu verhindern, die ein Überdruckventil unwirksam machen. Diese Bestimmung gilt nicht für Ventile, die das zu schützende System von seiner Druckquelle trennen. Annehmbare Methoden zur Einhaltung dieser Vorschrift sind die folgenden:



(1) Verriegeln Sie das Absperrventil in der offenen Stellung. Weisen Sie autorisiertes Personal darauf hin, wie wichtig es ist, das Absperrventil nicht versehentlich geschlossen zu lassen und während des gesamten Zeitraums, in dem das Absperrventil geschlossen ist, anwesend zu sein, damit es das Ventil in der offenen Position verriegeln kann, bevor es den Ort verlässt.

(2) Es sind zwei Überdruckventile einzubauen, von denen jedes für sich eine ausreichende Leistung zum Schutz des Systems aufweist, und die Absperrventile oder Dreiwegeventile sind so anzuordnen, dass es mechanisch möglich ist, jeweils nur eine Sicherheitseinrichtung außer Betrieb zu setzen.

### **Erforderliche Abstände der Ventile**

(a) Trennventile müssen in neue Fernleitungen zum Zeitpunkt des Baus eingebaut werden. Bei der Festlegung der Abstände zwischen den Trennventilen ist in erster Linie auf Standorte zu achten, die eine ständige Zugänglichkeit zu den Ventilen gewährleisten. Weitere Faktoren sind die Einsparung von Gas, die Zeit bis zum Abblasen des abgesperrten Abschnitts, die Kontinuität der Gasversorgung, die erforderliche Betriebsflexibilität, die erwartete künftige Entwicklung innerhalb des Ventilabschnitts und signifikante natürliche Bedingungen, die den Betrieb und die Sicherheit der Leitung beeinträchtigen können.

(b) Ungeachtet der Erwägungen unter Buchstabe a) darf der Abstand zwischen den Ventilen einer neuen Übertragungsleitung folgende Werte nicht überschreiten:

(1) 20 Meilen in Gebieten mit überwiegendem Standort der Klasse 1

(2) 15 mi in Gebieten mit überwiegendem Standort der Klasse 2

(3) 10 mi in Gebieten mit überwiegendem Standort der Klasse 3

(4) 5 mi in Gebieten mit überwiegendem Standort der Klasse 4

(c) Die unter b) festgelegten Abstände können geringfügig angepasst werden, um den Einbau eines Ventils an einer besser zugänglichen Stelle zu ermöglichen, wobei die ständige Zugänglichkeit im Vordergrund stehen muss.

(d) Ventile dürfen nur dann in einem geschlossenen Raum oder in einem Gewölbe installiert werden, wenn eine ausreichende Belüftung gewährleistet ist.

### **Referenzen**

- Empirische Profilierung von kalten Wasserstoffbahnen, die bei der Entlüftung von LH<sub>2</sub>-Speicherbehältern entstehen. <https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/68771.pdf>
- <https://www.api.org/~media/files/publications/whats%20new/521%20e6%20pa.pdf>
- G.R. Astbury, Venting of Low Pressure Hydrogen Gas: A Critique of the Literature, <https://doi.org/10.1205/psep06054>
- WASSERSTOFFTRANSPORT-PIPELINES, [https://h2tools.org/sites/default/files/Doc121\\_04%20H2TransportationPipelines.pdf](https://h2tools.org/sites/default/files/Doc121_04%20H2TransportationPipelines.pdf)
- [Wasserstoffauto-Sicherheitstest - Kraftstoffleck H2 vs. Benzin](#)". Vimeo. Abgerufen am 2020-05-07.

- Explosive Lektionen in Wasserstoffsicherheit | APPEL Knowledge Services". [appel.nasa.gov](http://appel.nasa.gov).
- <https://www.wermac.org/>
- Wasserstoff-Rohrleitungen und -Leitungen , ASME-Code für Druckrohrleitungen, [B31](#),  
<https://poltar.jlab.org/filedir/Procedures/ASME%20B31.12.pdf>

# Verstehen von Wasserstoffinstallationstechniken, Materialwahl und Rohrleitungscodes

## Lernergebnis 3

### Allgemeine Überlegungen zum sicheren Betrieb von H<sub>2</sub>-Hochdruckleitungen

- ✓ LH<sub>2</sub>-Behälter, stationäre und mobile, und die dazugehörigen Rohrleitungen müssen elektrisch verbunden und geerdet sein
- ✓ Alle Entladeeinrichtungen müssen leicht zugängliche Erdungsanschlüsse aufweisen und sich außerhalb des unmittelbaren Umladebereichs befinden. Die Erdungsanschlüsse der Anlage sollten einen Widerstand von weniger als 10 Ω aufweisen. Die Komponenten des Teilsystems für die Übergabe sollten geerdet werden, bevor die Teilsysteme verbunden werden.
- ✓ Die Fahrbahnen und Flächen unter den LH<sub>2</sub>-Rohrleitungen, aus denen flüssige Luft tropfen kann, müssen aus nicht brennbarem Material wie Beton bestehen. Asphalt darf nicht verwendet werden.
- ✓ Die Rohrleitungen, die den Wasserstoff von den Dewars, Anhängern und Speicherbehältern zur Verwendungsstelle transportieren, müssen oberirdisch verlegt werden. Leitungen, die Straßen kreuzen, sollten in Betonkanälen verlegt werden, die mit einem offenen Gitterrost abgedeckt sind. Wasserstofftransportleitungen dürfen nicht unter Stromleitungen verlegt werden.
- ✓ LH<sub>2</sub>-Behälter sollten mit Wärmeschutzsystemen ausgestattet sein, um die Verdampfungsverluste zu minimieren. Die folgenden Arten von Isolationssystemen werden verwendet:
  - (a) Ein Vakuum, das dem unter Betriebsbedingungen erforderlichen entspricht
  - (b) Hochvakuum und Pulver wie Perlit, Silica-Aerogel, Kieselgur, geschmolzene Tonerde und Phenolkugeln
  - (c) Mehrere Schichten hochreflektierender Strahlungsabschirmungen, die durch Abstandshalter oder Isolatoren getrennt sind, sowie ein Hochvakuum
  - (d) Materialien mit geringer Wärmeleitfähigkeit (Hastelloy<sup>®</sup>, Titan), die zur Unterstützung der Isolierung verwendet werden
- ✓ Der Innenbehälter sollte so konstruiert sein, dass der Außenmantel oder die Abdeckung dampfdicht ist, um Luftkondensation und Sauerstoffanreicherung in der Isolierung zu verhindern. Kondensierte Luft in den Isoliersystemen kann sich explosionsartig ausdehnen, wenn sie beim Entleeren des LH<sub>2</sub> aus den Tanks oder Leitungen wieder zu Gas wird.
- ✓ Baumaterialien für Oberflächen, die einem Kryogen ausgesetzt sind, sollten die erforderlichen mechanischen Eigenschaften beibehalten und nicht zur Tieftemperaturversprödung neigen.
- ✓ Für den Innenbehälter und den Vakuummantel ist eine Druckentlastung erforderlich.

Bei der Auslegung eines Rohrleitungssystems für die Verwendung von Wasserstoff sind der Druck, die Temperatur und die verschiedenen Kräfte zu berücksichtigen, die bei der Auslegung eines Wasserstoff-Rohrleitungssystems auftreten. Die besonderen Eigenschaften von Wasserstoff, wie z. B. die Wasserstoffversprödung, sind besonders zu berücksichtigen. Rohrleitungssysteme für die Verwendung von Wasserstoff müssen auf der Grundlage der schwersten Bedingung des Zusammentreffens von Druck, Temperatur und Belastung ausgelegt werden. Die schwerste Bedingung ist diejenige, die die größte erforderliche Rohrdicke und den höchsten Flanschwert zur Folge hat. Rohrleitungen im Sinne dieses Leitfadens umfassen Rohre, Schläuche, Flansche, Verschraubungen, Dichtungen, Ventile, Entlastungsvorrichtungen, Fittings und die druckführenden Teile anderer Rohrleitungskomponenten. Dazu gehören auch Aufhängungen und Halterungen sowie andere Ausrüstungsgegenstände, die erforderlich sind, um eine Überbeanspruchung der druckführenden Komponenten zu verhindern.

- Die meisten LH<sub>2</sub> oder SLH<sub>2</sub> (unterkühlter Flüssigwasserstoff, Druck ca. 1,3 MPa) -Leitungen sind vakuumummantelt oder isoliert, um die Wärmezufuhr zu verringern und die Kondensation von atmosphärischer Luft zu verhindern. Die Vakuummantelsysteme der Rohrleitungen sollten von den Vakuumsystemen der wichtigsten Wasserstoffspeicher- und -handhabungssysteme getrennt sein. Bei der Konstruktion der Ummantelung sollte die thermische Flexibilität der inneren Leitung berücksichtigt werden, damit die Ummantelung ihrer natürlichen thermischen Ausdehnung folgen kann. Der Vakuummantel muss über ein eigenes, separates Druckentlastungssystem verfügen.
- Ein LH<sub>2</sub>- oder SLH<sub>2</sub>-System aus rostfreiem Stahl hat eine thermische Kontraktion von etwa 0,3 Prozent von der Umgebungstemperatur bis 20 K (-423 °F). Lange Rohrleitungsstrecken erfordern eine Abstützung in Abständen, um axiale Bewegungen zu ermöglichen, während seitliche und vertikale Bewegungen eingeschränkt werden.
- Die Isolierung der LH<sub>2</sub>- oder SLH<sub>2</sub>-Leitungen muss eine selbstverlöschende Feuerwiderstandsfähigkeit aufweisen. Andere Flüssigkeitsleitungen sollten ebenfalls vor dem Einfrieren geschützt werden, da sie sich in der Nähe der LH<sub>2</sub>- oder SLH<sub>2</sub>-Leitungen befinden; zum Schutz sollte eine thermostatisch gesteuerte Heizung in Betracht gezogen werden. Kryogenische Rohrleitungssysteme sollten nicht weiß gestrichen werden. Frost ist der beste Indikator für ein Versagen der Isolierung.
- Alle nicht isolierten Rohrleitungen und Geräte, die bei LH<sub>2</sub>- oder SLH<sub>2</sub>-Temperaturen betrieben werden, müssen entfernt von (und nicht über) Asphalt oder anderen brennbaren Oberflächen installiert werden, und es muss ein Schutz für inkompatible Metalle vorgesehen werden, die der Kaltversprödung unterliegen.

### **Allgemeine Kriterien für den sicheren Betrieb von H<sub>2</sub>-Pipelines**

Für einen sicheren Betrieb des Rohrleitungssystems H<sub>2</sub> sollten die folgenden Überlegungen während der Planungs- und Installationsphasen berücksichtigt werden:

- Örtliche Gegebenheiten, z. B. seismische Zone, Bodenbeschaffenheit.
- Anwendbare Rohrleitungsvorschriften für die mechanische Konstruktion (einschließlich Druckstufe und Wandstärke) und Installation



- Betriebsbedingungen in Bezug auf Flüssigkeitszusammensetzung, Gasgeschwindigkeit, Druck, Temperatur und Taupunkt.
- Auswahl der metallischen Werkstoffe.
- Auswahl der nichtmetallischen Werkstoffe.
- Nationale Gesetze und Vorschriften, die für Gasfernleitungen im Allgemeinen und Wasserstoffsysteme im Besonderen gelten
- Sauberkeitsstandards für den Service
- Verhaltenskodizes der Industrie für Wasserstoffsysteme
- Gefahrenerwägungen wie Entflammbarkeit von Wasserstoffsystemen

## **Allgemeine Überlegungen zu metallischen Werkstoffen für H<sub>2</sub> Rohrleitungen...**

### **Überlegungen zur Härte**

Viele metallische Werkstoffe können in einer Wasserstoffgasumgebung verspröden. Dazu gehören Stähle (insbesondere hochfeste Stähle), rostfreier Stahl und Nickellegierungen.

Stähle, die in Wasserstoffleitungen eingesetzt werden, sollten eine maximale Härte von etwa 22 HRC (Härte Rockwell C) oder 250 HB (Härte Brinell) aufweisen. Diese Härtegrenze entspricht ungefähr einer Zugfestigkeit von etwa 116 ksi (800 MPa). Schweißnähte sollten ebenfalls eine maximale Härte von 22 HRC oder 250 HB aufweisen. Es ist zu beachten, dass die geschweißte Zone oft härter und damit anfälliger für Versprödung ist als der Grundwerkstoff.

Um eine akzeptable Schweißzonenhärte zu erreichen, kann es notwendig sein, Stähle mit einer geringeren Festigkeit als oben angegeben (500 MPa) zu verwenden. Spezielle Schweißverfahren und Wärmebehandlungen vor oder nach dem Schweißen können ein weiterer Ansatz sein.

In Rohrleitungssystemen kann ein Bedarf an Puffern bestehen, bei denen es sich in der Regel um nahtlose Druckbehälter handelt. Die für nahtlose Behälter verwendeten Stähle können eine UTS (Ultimate Tensile Strength) von bis zu 950 MPa aufweisen (ISO 9809 und ISO 11120).

Die an kritischen Stellen verwendeten technischen Legierungen sollten im gefertigten Zustand eine hohe Zähigkeit aufweisen und relativ unempfindlich gegenüber Schweißproblemen sein, z. B. harte/spröde Bereiche, Mikrorisse, Risse usw.

### **Metallurgische Erwägungen für die in H<sub>2</sub> Rohrleitungen verwendeten Materialien**

- ✓ Verwendung von Legierungen mit homogenem, feinkörnigem Gefüge wird bevorzugt
- ✓ Vermeidung von übermäßig harten oder hochfesten Legierungen, siehe oben.
- ✓ Verwendung von Stählen mit erhöhtem Reinheitsgrad, so dass nichtmetallische Einschlüsse, die die Zähigkeit und die Beständigkeit gegen Wasserstoffversprödung verringern, minimiert werden.
- ✓ Komponenten frei von signifikanten Oberflächen- und inneren Mängeln

### **Metallisches Material, das in der Rohrleitung H<sub>2</sub> verwendet wird**

- ✓ Kohlenstoffstähle
- ✓ Mikrolegierte Stähle
- ✓ Kohlenstoff-Molybdän- (C-Mo) und Kohlenstoff-Molybdän-Chrom- (C-Mo-Cr) niedrig legierte Stähle
- ✓ Rostfreie Stähle
- ✓ Nickel-Legierungen
- ✓ Kupfer- und Kobaltlegierungen

**Kohlenstoffstahl** ist die Legierungsfamilie, die am häufigsten für Wasserstoffgasleitungen verwendet wird.

- ❖ Im Allgemeinen wurden die üblichen Kohlenstoffstahlsorten wie API 5L X52 (und niedrigere Festigkeitssorten) und ASTM A 106 Grade B in großem Umfang für Wasserstoffgasanwendungen eingesetzt, wobei nur wenige Probleme gemeldet wurden.
- ✓ Diese gute Leistung wird auf die relativ geringe Festigkeit dieser Legierungen zurückgeführt, die eine Beständigkeit gegen Wasserstoffversprödung und andere Sprödbruchmechanismen verleiht.
- ✓ API 5L-Rohre sind in zwei Produktspezifikationsstufen (PSL 1 und 2) erhältlich. Der Werkstoff PSL 2 ist für Wasserstoffleitungen vorteilhaft.
- ✓ Eine Wärmebehandlung ist erforderlich, da sie das Vorhandensein eines feinkörnigen, homogenen Gefüges sicherstellt.
- ✓ Es wird eine maximale Zugfestigkeit von 800 MPa (116 ksi) empfohlen.
- ✓ Es wird empfohlen, die Anforderungen an die Zähigkeit bei bestimmten Stahlwerksformen zu berücksichtigen, die in Wasserstoffpipelines eingesetzt werden sollen.

### **Mikrolegierte Stähle**

Groß angelegte Erdgaspipelines markierten den ersten bedeutenden Einsatz von mikrolegierten Leitungsrohren in Gastransportanwendungen. Seit Anfang der 1990er Jahre wird eine beträchtliche Menge an mikrolegierten Leitungsrohren der Güte API 5L X52 für den Transport von Wasserstoffgas mit einem Druck von über 7 MPa (1000 psi) verwendet.

Inhaltliche Anforderungen:

- Der Schwefelgehalt darf 0,01% nicht überschreiten (API 5L PSL 2 Grenzwert ist 0,015%)
- Der Phosphorgehalt darf 0,015% nicht überschreiten (API 5L PSL 2 Grenzwert ist 0,025%)
- Die Verwendung von sulfidischen Formsteuermitteln wie Kalzium ist zulässig. Alle zu diesem Zweck vorgenommenen Zusätze müssen jedoch gemeldet werden.
- Das maximale Kohlenstoffäquivalent (CE) beträgt 0,35 (der Grenzwert für API 5L PSL 2 liegt bei 0,43%).

- Die Konzentration aller absichtlich hinzugefügten Elemente wie seltene Erden, Ti, Nb, B, Al usw. muss angegeben werden. Ebenfalls anzugeben sind alle Elemente, die die Bestimmung des Kohlenstoffäquivalents beeinflussen.
- Die endgültige Korngröße des Ferrits muss ASTM 8 oder feiner sein.
- Die Härte darf 95HRB nicht überschreiten.
- Die tatsächlichen Streck- und Zugfestigkeiten müssen unter den folgenden Höchstwerten liegen, die über den für die verschiedenen API 5L-Sorten angegebenen Mindestwerten liegen:

X-52 24.000 psi (165 MPa)

X-42 172 MPa (25.000 psi)

Die Aufprallprüfung sollte durchgeführt werden und den Anforderungen entsprechen (siehe Seite 10 der [HYDROGEN-TRANSPORTROHRLEITUNGEN](#))

### **Kohlenstoff-Molybdän- (C-Mo) und Kohlenstoff-Molybdän-Chrom- (C-Mo-Cr) niedrig legierte Stähle**

- ✓ Normalerweise werden diese hochwarmfesten Stähle nicht in Hochdruck-Wasserstoff-Gastransportleitungen verwendet. Dennoch können diese Legierungen an eine Gasleitung geschweißt werden.

### **Nickel-Legierungen**

- ✓ Viele Nickellegierungen sind anfällig für Wasserstoffversprödung. Nickellegierungen sollten vermieden werden, es sei denn, der Anwender prüft, ob die Legierung für den Einsatz in Wasserstoffgas geeignet ist.

### **Rostfreie Stähle**

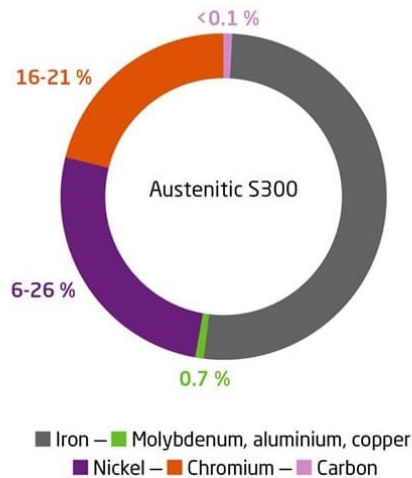
#### **Austenitische rostfreie Stähle**

Einige der austenitischen nichtrostenden Stähle können für die Übertragung von Wasserstoffgas verwendet werden, insbesondere bei Drücken am oberen Ende des in der Spezifikation genannten Wasserstoffdruckbereichs. Die ausgezeichnete Zähigkeit und die leichte Schweißbarkeit, insbesondere im Einsatz, sind wichtige Eigenschaften

Diese Werkstoffe können auch für die Wasserstoffübertragung bei erhöhten Drücken außerhalb des in diesem Dokument genannten Anwendungsbereichs verwendet werden. In der Regel kann das Vorhandensein selbst leicht korrosiver Umgebungen erfordern, dass beim Schweißen die kohlenstoffarmen (304L, 316L) oder stabilisierten Sorten (316Ti, 321 und 347) verwendet werden.

Für Wasserstoffanwendungen werden nichtrostende Stähle mit hoher Austenitstabilität bevorzugt (d.h. hohe Austenitstabilität oder hohe Nickeläquivalente).

Typ 316L wird für den Einsatz in Wasserstoffgas gegenüber 304L bevorzugt, da 316L eine höhere Austenitstabilität aufweist und weniger anfällig für Wasserstoffversprödung ist.



## Kunststoffe

Dennoch zeigen Kunststoffe ein unterschiedliches Verhalten in Gegenwart von Wasserstoff. Die Temperaturen, bei denen die Beständigkeit einiger Kunststoffe in Anwesenheit von Wasserstoff gesichert scheint, sind:

| Material                               | Temperature<br>(°C) |
|--|---------------------|
| Plasticized cellulose                  | 20                  |
| Cellulose diacetate                    | 20                  |
| Formo-aniline                          | 20                  |
| Formo-urea                             | 20                  |
| Phenol-formaldehyde                    | 20                  |
| Furaphenol                             | 20                  |
| Polyamides                             | 20                  |
| Polyfuran                              | 110                 |
| Polychloroprene                        | 100                 |
| Polyepoxydiphenylopropane              | 90                  |
| Polyethylene glycol terephthalate      | 20                  |
| Polyurethane                           | 20                  |
| Polyurethylmethacrylate                | 20                  |
| Polyvinyl acetate                      | 20                  |
| Polyvinyl chloride                     | 60                  |
| Polytrifluorochlorethylene             | 180                 |
| Polytetrafluoroethylene                | 250                 |
| Polyethylene                           | 60                  |
| Polyisobutylene                        | 100                 |
| Polystyrene                            | 20                  |
| Polyacrylonitrile                      | 20                  |
| Polyvinyl-vinylidene chloride (20-80%) | 60                  |

## Elastomere

- ✓ Die meisten Elastomere sind mit Wasserstoff kompatibel.





| Material        | Compatibility |
|-----------------|---------------|
| Natural rubber  | B             |
| Butyl rubber    | A             |
| Silicone rubber | B             |
| Neoprene ®      | A             |
| Buna S ®        | A             |
| Hypalon ®       | A             |
| Viton ®         | A             |
| Buna N ®        | A             |

A: good

B: fair.

Permeation von Wasserstoff durch Elastomere bei 25 °C a.u.

| Material                             | Permeation |
|--------------------------------------|------------|
| Natural rubber                       | 492        |
| Butyl rubber                         | 74         |
| Buna S ®                             | 399        |
| Perbunan ® G                         | 158        |
| Neoprene ® G                         | 133        |
| Hycar or 15 ®                        | 74         |
| Polybutadiene                        | 424        |
| Polymethylpentadiene                 | 428        |
| Perbunan 18 ®                        | 251        |
| Isoprene-methacryl-nitrile copolymer | 138        |
| Hycar or 25 ®                        | 118        |
| Polydimethylbutadiene                | 172        |
| Vulcoprene A ®                       | 64         |
| Isoprene-acrylonitrile copolymer     | 74         |
| Thiokol S                            | 16         |

## Referenzen

- Empirische Profilierung von kalten Wasserstoffanlagen, die bei der Entlüftung von LH2-Speicherbehältern entstehen. <https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/68771.pdf>
- <https://www.api.org/~media/files/publications/whats%20new/521%20e6%20pa.pdf>
- G.R. Astbury, Venting of Low Pressure Hydrogen Gas: A Critique of the Literature, <https://doi.org/10.1205/psep06054>
- WASSERSTOFFTRANSPORT-PIPELINES, [https://h2tools.org/sites/default/files/Doc121\\_04%20H2TransportationPipelines.pdf](https://h2tools.org/sites/default/files/Doc121_04%20H2TransportationPipelines.pdf)



- [Wasserstoffauto-Sicherheitstest - Kraftstoffleck H2 vs. Benzin](#)". Vimeo. Abgerufen am 2020-05-07.
- Explosive Lessons in Hydrogen Safety | APPEL Knowledge Services" .appel.nasa.gov.
- <https://www.wermac.org/>
- Wasserstoff-Rohrleitungen und -Leitungen , ASME-Code für Druckrohrleitungen, [B31](#), <https://poltar.jlab.org/filedir/Procedures/ASME%20B31.12.pdf>
- SICHERHEITSNORM FÜR WASSERSTOFF UND WASSERSTOFFSYSTEME  
<https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f11/871916.pdf>

# Beschreibung der Wartungs- und Reparaturverfahren für Hochdruck-Wasserstoffanlagen in Bezug auf Inspektion, Erdungssysteme, Wartung und Aufzeichnungen

## Lernergebnis 4

### Hochdruck H<sub>2</sub> Wartung

Im Allgemeinen ist Ausrüstung ein allumfassender Begriff, der Rohrleitungen, Instrumente und Steuerungen sowie die Komponenten des Wasserstoffsystems umfasst, die gemeinhin als Ausrüstung bezeichnet werden. Bei der Inspektion und Wartung von Ausrüstungen geht es entweder um die Reparatur vorhandener Ausrüstungen oder um den Austausch von Ausrüstungsgegenständen. Alle Änderungen, die während der Wartungsarbeiten an der ursprünglichen Anlage vorgenommen werden, sollten im Rahmen eines formellen Änderungsmanagementprozesses (MOC) behandelt werden.

Eine ordnungsgemäße und rechtzeitige Inspektion und Wartung ist der Schlüssel zur Gewährleistung eines sicheren Systembetriebs. Eine reaktive Wartung ist bei wasserstoffbetriebenen Anlagen im Allgemeinen nicht sinnvoll. Die Ausrüstung einer Anlage sollte systematisch bewertet werden, um ein kosteneffizientes Konzept zur Aufrechterhaltung eines sicheren und zuverlässigen Betriebs zu entwickeln. Ein Wartungsplan sollte dokumentiert und verwaltet werden. Ein gut geplanter Wartungsplan (als "vorbeugende", "routinemäßige" oder "planmäßige" Wartung bezeichnet) sollte durchgeführt werden, um gefährliche Zustände zu verhindern, bevor sie auftreten. Es kann akzeptabel sein, unkritische Anlagen bis zum Ausfall zu betreiben, wenn es in der Anlage Redundanzen gibt und der Ausfall einer Komponente kein Sicherheitsproblem darstellt.

### Die sichere Wartung von Wasserstoffspeichern und -transporten beinhaltet:

- Befolgung guter Sicherheitsgrundsätze und Erstellung eines guten Wartungsplans.
- Entwicklung von guten Verfahren und Praktiken.
- Durchführung der richtigen Inspektionen zum richtigen Zeitpunkt.
- Erbringung der Tätigkeiten, die erforderlich sind, um die ordnungsgemäße Funktion von Wasserstoffgeräten zu gewährleisten.

### Allgemeine Regeln und Überlegungen

Ein sicheres Wasserstoffsystem sollte Folgendes beinhalten:

- Ordnungsgemäße Konstruktion, Prüfung und Inbetriebnahme
- Verwendung von Fail-Safe-Funktionen
- Plan zur vorbeugenden Instandhaltung

- Schriftliche Verfahren
- Schulungen für Wartungs-, Kalibrierungs-, Prüf- und Inspektionspersonal
- Kalibrierung, Prüfung und Inspektion - Art und Häufigkeit sollten mit den einschlägigen Herstellerempfehlungen übereinstimmen und entsprechend der Betriebserfahrung angepasst werden
- Behebung von Mängeln, die außerhalb der zulässigen Grenzen liegen
- Dokumentation - Jede Kalibrierung, Inspektion und Prüfung sollte aufgezeichnet werden
- Während der Entwurfsphase sollten die Projektteilnehmer sicherstellen, dass die entsprechenden Schutzmaßnahmen und sicherheitsrelevanten Wartungsanforderungen in den Entwurf aufgenommen werden.
- Chronische Wartungsprobleme können das Ergebnis von Konstruktionsfehlern sein, die korrigiert werden sollten.
- Alle Änderungen, die nicht durch Sachleistungen ersetzt werden, sollten im Rahmen eines formellen Änderungsmanagementprozesses vorgenommen werden.
- Die Arbeitnehmer müssen über die richtigen Werkzeuge und die richtige Ausbildung sowie über ausreichend Zeit und Budget verfügen, um die erforderlichen Wartungsarbeiten durchzuführen.

### **Planung für die Wartung**

Vor der Inbetriebnahme der Anlage sollte ein vollständiger Satz von Wartungsplänen ausgearbeitet werden. Die Entwürfe sollten je nach Betriebserfahrung verbessert werden. Zu den Elementen des Plans gehören:

- Eine Liste der Ausrüstung (siehe Anmerkung unten) in der Einrichtung.
- Einteilung der Ausrüstung in Prioritätsgruppen (hoch, mittel und niedrig) auf der Grundlage von Bedeutung für den Prozess, Sicherheit, Betriebsfähigkeit und anderen Schlüsselkriterien. Auch wenn es schwierig ist, sollten Anlagenmanager das Risiko eines Geräteausfalls gegen die Kosten der Wartung abwägen. Wenn die Folgen des Ausfalls einer Komponente minimal sind, müssen Inspektion und Wartung nicht so häufig durchgeführt werden wie bei Anlagen, deren Ausfall zu Verletzungen oder Stillstand führen könnte.
- Die erforderlichen Wartungstätigkeiten, der Personalbedarf und der Zeitplan für jede Komponente sollten auf den Empfehlungen des Herstellers, der Historie und einem guten technischen Urteil beruhen.
- Ein Hauptwartungsplan, der mit den Tätigkeiten beginnt, die an den Komponenten mit hoher Priorität durchzuführen sind. Der Plan sollte sicherstellen, dass die Komponenten mit hoher Priorität die größte Aufmerksamkeit erhalten, bevor etwas schief geht (vorbeugende Wartung). Es kann möglich sein, die Komponenten mit niedriger Priorität in einem reaktiven Ansatz zu behandeln.

- Der Plan sollte dokumentiert und den Arbeitnehmern, die die Wartungsarbeiten durchführen, mitgeteilt werden.

Jeder Vorfall im Zusammenhang mit der Instandhaltung sollte gemäß den für die Einrichtung geltenden Verfahren untersucht werden.

### **Integritätsmanagement von Rohrleitungssystemen:**

Das Integritätsmanagement für industrielle Rohrleitungen muss auf der Grundlage von ASME B31.8S erfolgen. Die Verträglichkeit aller mit Wasserstoff verwendeten Werkstoffe ist im Integritätsmanagementprozess zu berücksichtigen. Dabei sind die folgenden Punkte zu prüfen:

- (a) äußere Korrosion
- (b) innere Korrosion
- (c) wasserstoffinduzierte Rissbildung (HIC) und damit verbundene Verringerung der physikalischen Eigenschaften
- (d) Ermüdung
- (e) Fabrikationsfehler :
  - (1) defekte Rohrnaht
  - (2) defekte Leitung
- (f) Schweißen/Fertigung/Montage:
  - (1) defekte Rohrrundnaht
  - (2) defekte Befestigungsschweißung
  - (3) defekte Rohrgewinde/Flanschbeschichtung
  - (4) unsachgemäß aufgehängtes/gestütztes Rohr
- (g) Ausrüstung
  - (1) Dichtung, O-Ring, Packung defekt
  - (2) Ventilausfall
  - (3) Druckreglerausfall
  - (4) Kompressor, Pumpenausfall
- (h) Mechanische Schäden
  - (1) Schäden, die von der ersten, zweiten oder dritten Partei verursacht wurden und sofort ausfallen
  - (2) Schäden mit verzögertem Ausfall
  - (3) Vandalismus

- (i) Betrieb
  - (1) falsches oder unzureichendes Betriebsverfahren

(j) Witterungsbedingte oder äußere Gewalt

- (1) kaltes/warmes Wetter
- (2) Starkregen/Hochwasser
- (3) Blitzschlag
- (4) Windsturm
- (5) Erdbewegungen

### Verfahren zur Wartung

Zu den allgemeinen Schritten für die Reparatur oder den Austausch von Geräten, die mit Wasserstoff betrieben werden, gehören:

- Vorbereitung des Systems, einschließlich der Isolierung der Energiequellen mittels Lockout/Tagout (LOTO) und der Entfernung des Wasserstoffs aus dem Gerät
- Inspektion
- Die Arbeit machen
- Dichtheitsprüfung
- Entlüftung des Geräts

### Spülung

- Um zu vermeiden, dass in einem Teil eines Wasserstoffsystems ein explosives Gemisch aus Luft und Wasserstoff entsteht, müssen Luft, Sauerstoff und andere Oxidationsmittel aus dem System entfernt werden, bevor der Wasserstoff eingeleitet wird. Ebenso muss bei der Vorbereitung eines Systems für Wartungsarbeiten der Wasserstoff aus dem System entfernt werden, bevor die Rohrleitungen oder Geräte geöffnet werden, um zu vermeiden, dass Wasserstoff in die Luft freigesetzt wird, wo er ein entflammbares Gemisch bilden könnte. Für diese Spülung werden in der Regel Inertgas-Subsysteme eingesetzt. Sie werden auch verwendet, um das System unter Druck zu setzen und auf Dichtheit zu prüfen.
- Die Inertgase sind in der Regel Stickstoff und Kohlendioxid für Wasserstoffgassysteme und Helium für Flüssigwasserstoffsysteme. Helium wird verwendet, weil Stickstoff bei Temperaturen von flüssigem Wasserstoff zu einem Feststoff wird.

### Entschlackungsansätze

- **Bei der Strömungsgasspülung** strömt ein Inertgas in einen Teil des Systems und aus einem anderen Teil des Systems heraus. Der Erfolg dieser Technik hängt von der Systemgeometrie ab, z.



B. ist es schwieriger, sie bei einem mehrfach verzweigten System anzuwenden. Die Entlüftungsgase werden an einen sicheren Ort, z. B. einen Entlüftungskamin, geleitet, um ein Erstickungspotenzial auszuschließen.

- **Bei der Zyklusreinigung mit Druckbeaufschlagung und Entlüftung** wechseln sich Druckbeaufschlagung mit Inertgas und Entlüftung auf atmosphärischen Druck ab. Bei diesem Verfahren wird der Inhalt eines Volumens schrittweise verdünnt, bis die gewünschte Mischungskonzentration erreicht ist. Diese Methode kann in Systemen mit langen Sackgassen eingesetzt werden, erfordert aber eine Unterbrechung der Spülung unter Druck, damit sich die Gase vermischen können. Die Zyklusspülung mit Druckbeaufschlagung und Entlüftung wird in der Regel zur Spülung von Zylindern des Typs IV und anderen Komponenten verwendet, die keine Vakuumpülung vertragen.
- **Die Vakuumpülung** umfasst :

1) Entlüften des Systems auf atmosphärischen Druck, dann 2) Abpumpen auf einen relativ niedrigen Druck mit einer Vakuumpumpe, dann 3) erneutes Unterdrucksetzen mit Inertgas auf einen Überdruck und 4) Entlüften auf atmosphärischen Druck. Je nach Ziel der Spülung und der Leistungsfähigkeit der Vakuumpumpe kann mehr als ein Zyklus erforderlich sein. Die Vakuumpumpe muss für die zu evakuierenden Gase geeignet sein, in der Regel Wasserstoff, Luft und das Inertgas.

#### **Es sollten Standardverfahren für folgende Punkte entwickelt werden:**

- Lockout/Tagout (LOTO) - Dies beschreibt die Isolierung stromführender elektrischer und druckbeaufschlagter Systeme, damit an den Geräten sicher gearbeitet werden kann. Siehe OSHA-Norm 1910.147 *The Control of Hazardous Energy (Lockout/Tagout)*.
- Betreten von engen Räumen - Hier wird beschrieben, dass überprüft werden muss, ob in einem Raum genügend Atemluft für ein sicheres Betreten vorhanden ist und auch weiterhin vorhanden sein wird. Siehe OSHA-Norm 1910.146 Genehmigungspflichtige beengte Räume.
- Überprüfung der "Wartungsfähigkeit" der Ausrüstung - Dieses Verfahren sollte die Inspektion der Ausrüstung vor Beginn der Arbeiten, die Druckentlastung des Systems, das Ablassen von Wasserstoff aus dem System und die Prüfung auf Restwasserstoff beschreiben, bevor die Ausrüstung für wartungsfähig erklärt wird.
- Arbeitsgenehmigung - Arbeitsgenehmigungen werden verwendet, um Gefahren am Arbeitsplatz während der Wartung zu kontrollieren. Das Verfahren sollte beschreiben, wie eine Genehmigung verfasst, den Arbeitnehmern in dem Bereich mitgeteilt und schichtübergreifend verwaltet wird.

#### **WARTUNG DER VENTILE**

- Rohrleitungen und Transport Rohrleitungsarmaturen
- Verteilersystem-Ventile
- Ventile der Versorgungsleitungen

#### **WARTUNG VON FERNLEITUNGEN**

- Kontinuierliche Überwachung von Pipelines

- Pipeline-Patrouillen
- Aufrechterhaltung der Deckung in geländegängigem Gelände
- Instandhaltung der Abdeckung von Straßenkreuzungen und Entwässerungsgräben.

### **Druckprüfung**

Druckhaltezeit:

Der Prüfdruck muss mindestens 1/2 Stunden lang gehalten werden .

Zeitintervall zwischen den Tests:

Das Zeitintervall zwischen den Druckprüfungen muss auf einer technischen kritischen Bewertung beruhen, um zu verhindern, dass Mängel eine kritische Größe annehmen. Diese technische kritische Bewertung muss die folgenden Überlegungen beinhalten

- (a) Risiko für die Öffentlichkeit.
- (b) Stresslevel des vorherigen Tests.
- (c) Korrosionsrate.
- (d) Wartung.
- (e) Andere Untersuchungsmethoden.

### **Leckage-Erhebungen**

Jedes Unternehmen, das ein Wasserstoffverteilungssystem betreibt, muss in seinem Betriebs- und Wartungsplan vorsehen, dass in regelmäßigen Abständen Untersuchungen auf Dichtheit des Systems durchgeführt werden.

Die gewählten Erhebungsmethoden müssen geeignet sein, um festzustellen, ob eine potenziell gefährliche Leckage vorliegt. Im Folgenden sind einige Verfahren aufgeführt, die eingesetzt werden können:

- (a) Untersuchungen zum Nachweis von Wasserstoff an der Oberfläche
- (b) Erhebungen mit Wasserstoffdetektoren unter der Oberfläche (einschließlich Barhole Surveys)
- (c) Vegetationsaufnahmen
- (d) Druckabfalltest
- (e) Blasenlecktest
- (f) Ultraschall-Dichtheitsprüfung

### **Instandhaltung bestimmter Einrichtungen**

Wartung der Kompressorstation:



- (a) Kompressoren und Antriebsaggregate.
- (b) Untersuchung und Prüfung von Überdruckventilen.
- (c) Reparaturen an Stationsleitungen.
- (d) Isolierung von Geräten für Wartungs- oder Änderungsarbeiten.
- (e) Lagerung von brennbaren Materialien.

### **Hochdruck H<sub>2</sub> Inspektion**

Ventilfehlfunktionen und undichte Ventile sind mit 20 % die Hauptursachen für Wasserstoffzwischenfälle bei der NASA. An zweiter Stelle stehen undichte Anschlüsse, die 16 % der Vorfälle ausmachen.

#### **Zu den Inspektionstätigkeiten für Wasserstoffsysteme gehören:**

- Dichtheitsprüfung
- Prüfung auf kontinuierlichen Durchfluss aus Entlüftungssystemen
- Funktionsprüfungen für Ventile, insbesondere Überdruck- und Rückschlagventile
- Funktionskontrolle und Kalibrierung der Instrumente
- Die Dichtheitsprüfung mit einer Seifenblasenlösung oder einem tragbaren Wasserstoffdetektor sollte regelmäßig und jedes Mal, wenn die Verbindungen wieder zusammengebaut werden, durchgeführt werden. Die Verbindungen sollten regelmäßig auf Anzeichen von Korrosion, Erosion, Rissbildung, Ausbeulung, Blasenbildung oder andere Verschlechterungen untersucht werden.
- Die Wartung und Neukalibrierung von Leck- und Flammendektoren sollte in regelmäßigen Abständen erfolgen, in der Regel alle 3-6 Monate oder wie vom Hersteller empfohlen.
- Alle Lager- und Rohrleitungsanlagen einschließlich ihrer Komponenten sind vor der Inbetriebnahme auf die Einhaltung der Material-, Herstellungs-, Verarbeitungs-, Montage- und Prüfanforderungen zu prüfen. Der Abschluss aller erforderlichen Untersuchungen und Prüfungen ist zu überprüfen.
- Die Überprüfung umfasst unter anderem Bescheinigungen und Aufzeichnungen über Werkstoffe, Bauteile, Wärmebehandlung, Prüfungen und Tests sowie die Qualifikation von Schweißern und Verfahren.
- Für alle in den Anlagen GH<sub>2</sub>, LH<sub>2</sub> und SLH<sub>2</sub> verwendeten Systeme ist eine umfassende Kontrolle erforderlich. Es ist ein Qualitätskontrollprogramm einzurichten, das den Anforderungen der NASA und der technischen Planung für alle Behälter, Rohrleitungen, Komponenten, Materialien und Prüfgeräte entspricht.
- Die Materialkennzeichnung ist für alle Rohrleitungen und Komponenten erforderlich, die in Konstruktionen und Baugruppen verwendet werden, die den Temperaturen von LH<sub>2</sub> ausgesetzt sind.



## Methoden der zerstörungsfreien Prüfung

Die Sichtprüfung (VT) muss in Übereinstimmung mit den Anforderungen von Teil GR, den spezifischen Anforderungen von Teil IP (Industrierohrleitungen) oder PL (Rohrleitungen) und [ASME BPV Code Section V, Article 9](#) durchgeführt werden. Es sind Aufzeichnungen über die einzelnen Sichtprüfungen erforderlich, die die prozessbegleitende und die abschließende Sichtprüfung umfassen.

Das Personal muss sich jährlich einem Sehtest unterziehen, um sicherzustellen, dass die natürliche oder korrigierte Sehschärfe in der Nähe so gut ist, dass sie in der Lage sind, Standard-J-1-Buchstaben auf Standard-Jaeger-Testtafeln für die Nähe zu lesen. Gleichwertige Sehtests für die Nähe sind zulässig.

Die Sichtprüfung (VT) muss in Übereinstimmung mit den Anforderungen von Teil GR, den spezifischen Anforderungen von Teil IP (Industrierohrleitungen) oder PL (Rohrleitungen) und [ASME BPV Code Section V, Article 9](#) durchgeführt werden. Es sind Aufzeichnungen über die einzelnen Sichtprüfungen erforderlich, die die prozessbegleitende und die abschließende Sichtprüfung umfassen.

Bei Sichtprüfungen sollten die Abmessungen, die Vorbereitung der Verbindungen (Ausrichten, Schweißen oder Fügen) sowie die Montage und der Aufbau der Stützen überprüft werden.

Die Rohrleitungen und Komponenten sollten vor und während der Installation auf die Unversehrtheit von Dichtungen und anderen Schutzvorrichtungen untersucht werden, die zur Aufrechterhaltung der besonderen Sauberkeits- oder Trockenheitsanforderungen für LH<sub>2</sub>-Systeme vorgesehen sind. Die Schutzabdeckungen sollten auf Beschädigungen oder Auslassungen untersucht werden, die eine Benetzung oder Verschmutzung der Komponenten oder Rohrleitungen über die in der technischen Auslegung festgelegten Grenzen hinaus ermöglichen würden. Komponenten, die unter positivem Gasdruck gehalten werden sollen, sollten untersucht werden, um sicherzustellen, dass sie den Anforderungen entsprechen.

Visuelle Untersuchungsmethoden

### DIREKTE SICHTPRÜFUNG

Eine direkte Sichtprüfung kann in der Regel durchgeführt werden, wenn das Auge in einem Abstand von 600 mm (24 Zoll) von der zu untersuchenden Oberfläche und in einem Winkel von mindestens 30° zur Oberfläche platziert werden kann. Zur Verbesserung des Blickwinkels können Spiegel verwendet werden, und Hilfsmittel wie z. B. eine Vergrößerungslinse können zur Unterstützung der Untersuchung eingesetzt werden. Die Beleuchtung (natürliches oder zusätzliches weißes Licht) der zu untersuchenden Oberfläche ist für das zu untersuchende Teil, die Komponente, den Behälter oder den Abschnitt davon erforderlich. Die Mindestlichtstärke muss 100 fc (1 076 lx) betragen. Die Lichtintensität, ob natürliches oder zusätzliches weißes Licht, muss vor der Prüfung mit einem Weißlichtmessgerät gemessen werden, oder es muss eine geprüfte Lichtquelle verwendet werden. Der Nachweis der Lichtquellen muss nur einmal erbracht, dokumentiert und zu den Akten genommen werden.

### FERN-SICHTPRÜFUNG

In manchen Fällen muss die direkte Untersuchung durch eine visuelle Fernuntersuchung ersetzt werden. Bei der visuellen Fernprüfung können visuelle Hilfsmittel wie Spiegel, Teleskope, Endoskope, Glasfaserkabel, Kameras oder andere geeignete Instrumente verwendet werden. Solche Systeme müssen

ein Auflösungsvermögen und eine Lichtintensität aufweisen, die derjenigen bei direkter visueller Beobachtung mindestens gleichwertig sind.

### **DURCHSICHTIGE SICHTPRÜFUNG**

Die lichtdurchlässige Sichtprüfung ist eine Ergänzung der direkten Sichtprüfung. Bei der visuellen Durchlichtprüfung wird künstliches Licht verwendet, das in einer Beleuchtungseinrichtung enthalten sein kann, die gerichtetes Licht erzeugt. Die Beleuchtungseinrichtung muss Licht mit einer Intensität liefern, die den zu untersuchenden Bereich oder die zu untersuchende Region gleichmäßig ausleuchtet und beleuchtet. Die Umgebungsbeleuchtung muss so beschaffen sein, dass keine Blendung oder Reflexion von der zu untersuchenden Oberfläche auftritt, und sie muss geringer sein als das Licht, das durch die zu untersuchende Fläche oder Region fällt. Die künstliche Lichtquelle muss eine ausreichende Intensität haben, um das "Durchleuchten" von durchscheinenden Schichtstoffdickenschwankungen zu ermöglichen.

#### Röntgenuntersuchung

RT von Gussteilen wird in Absatz IP-2.2.8. Die Durchstrahlungsprüfung von Schweißnähten und anderen Bauteilen als Gussstücken muss in Übereinstimmung mit den Anforderungen von Teil GR, den spezifischen Anforderungen von Teil IP oder PL und [ASME BPV Code Section V, Article 2](#) durchgeführt werden.

#### Technik der Röntgenuntersuchung

Wann immer möglich, ist für die Radiographie eine einwandige Belichtungstechnik zu verwenden. Ist eine einwandige Technik nicht praktikabel, so ist eine doppelwandige Technik zu verwenden. Es ist eine ausreichende Anzahl von Aufnahmen zu machen, um nachzuweisen, dass die erforderliche Abdeckung erreicht wurde.

- ✓ Bei der einwandigen Technik durchdringt die Strahlung nur eine Wand der Schweißnaht (des Materials), die auf dem Röntgenbild zur Beurteilung herangezogen wird.
- ✓ Doppelwandige Betrachtung. Für Werkstoffe und für Schweißnähte in Bauteilen mit einem Nennaußendurchmesser von 89 mm oder weniger darf eine Technik verwendet werden, bei der die Strahlung durch zwei Wände hindurchgeht und die Schweißnaht (der Werkstoff) in beiden Wänden auf demselben Röntgenbild zur Abnahme betrachtet wird. Bei der Betrachtung von zwei Wänden darf nur ein quellenseitiger Bildqualitätsindikator verwendet werden.

#### Röntgenuntersuchung Doppelwandige Betrachtungstechnik

- ✓ Bei Schweißnähten kann das Strahlenbündel von der Ebene der Schweißnaht in einem Winkel versetzt werden, der ausreicht, um die Bilder der quellenseitigen und der filmseitigen Teile der Schweißnaht zu trennen, so dass es keine Überlappung der auszuwertenden Bereiche gibt. Wenn eine vollständige Erfassung erforderlich ist, müssen für jede Verbindung mindestens zwei Aufnahmen im Winkel von 90 Grad zueinander gemacht werden.
- ✓ Alternativ kann die Schweißnaht mit einem Strahlenbündel durchleuchtet werden, das so ausgerichtet ist, dass sich die Bilder beider Wände überlagern. Wenn eine vollständige Erfassung erforderlich ist, sind für jede Verbindung mindestens drei Aufnahmen im Winkel von 60° oder 120° zueinander zu machen.

### Ultraschalluntersuchung

Die UT von Gussstücken wird in Absatz. IP-2.2.8. Die UT von Schweißnähten muss in Übereinstimmung mit den Anforderungen von Teil GR, den spezifischen Anforderungen von Teil IP oder PL und [ASME BPV Code Section V, Artikel 5](#) durchgeführt werden.

### Technik der Ultraschalluntersuchung

Es ist ein Impuls-Echo-Ultraschallgerät zu verwenden. Das Gerät muss für den Betrieb bei Frequenzen im Bereich von mindestens 1 bis 5 MHz geeignet und mit einer stufenweisen Verstärkungsregelung in Einheiten von höchstens 2,0 dB ausgestattet sein. Verfügt das Gerät über einen Dämpfungsregler, so kann dieser verwendet werden, wenn er die Empfindlichkeit der Prüfung nicht verringert. Der Rückweisungsregler muss sich bei allen Prüfungen in der Stellung "aus" befinden, es sei denn, es kann nachgewiesen werden, dass er die Linearität der Prüfung nicht beeinträchtigt.

\*\*Die Nennfrequenz liegt zwischen 1 MHz und 5 MHz, es sei denn, Variablen wie die Kornstruktur des Produktionsmaterials erfordern die Verwendung anderer Frequenzen, um eine angemessene Durchdringung oder eine bessere Auflösung zu gewährleisten.

Kupplungen, die für austenitischen Edelstahl oder Titan verwendet werden, dürfen nicht mehr als 250 ppm an Halogeniden (Chloride plus Fluoride) enthalten.

### Prüfung mit flüssigem Eindringmittel

PT von Gussstücken wird in Absatz. IP-2.2.8 BEHANDELT. Die Spannungsprüfung von Schweißnähten und anderen Bauteilen als Gussstücken muss in Übereinstimmung mit den Anforderungen von Teil GR, den spezifischen Anforderungen von Teil IP oder PL und ASME [BPV Code Section V, Artikel 6](#) durchgeführt werden.

### Techniken zur Prüfung von Flüssigkeitseindringmitteln

Es ist entweder ein Farbkontrast- (sichtbares) Eindringmittel oder ein fluoreszierendes Eindringmittel mit einem der folgenden drei Eindringverfahren zu verwenden:

- (a) Wasser abwaschbar
- (b) Nachemulgieren
- (c) lösemittelhaltig

Die sichtbaren und fluoreszierenden Eindringmittel, die in Kombination mit diesen drei Eindringverfahren verwendet werden, ergeben sechs flüssige Eindringtechniken.

### Flüssigkeitseindringprüfungstechniken für Standardtemperaturen

Standardmäßig darf die Temperatur des Eindringmittels und der Oberfläche des zu prüfenden Teils während der gesamten Prüfdauer nicht unter 5°C (40°F) und nicht über 52°C (125°F) liegen. Eine lokale



Erwärmung oder Abkühlung ist zulässig, sofern die Temperatur des Teils während der Prüfung im Bereich von 5°C bis 52°C (40°F bis 125°F) bleibt.

Bei anderen Temperaturen sind die Anweisungen im [obligatorischen Anhang III zu Artikel 6](#) zu befolgen.

#### Einschränkung der Technik der Flüssigkeitseindringprüfung

Die Prüfung mit fluoreszierendem Eindringmittel darf nicht auf eine Prüfung mit Farbkontrastmittel folgen. Die Vermischung von Eindringmitteln verschiedener Familien oder verschiedener Hersteller ist nicht zulässig. Eine erneute Prüfung mit wasserverdünnbaren Eindringmitteln kann zu einem Verlust von Grenzwertanzeigen aufgrund von Verunreinigungen führen.

Die maximale Verweilzeit darf 2 Stunden nicht überschreiten bzw. muss für bestimmte Anwendungen nachgewiesen werden. Unabhängig von der Länge der Verweilzeit darf das Eindringmittel nicht eintrocknen. Sollte das Eindringmittel aus irgendeinem Grund eintrocknen, ist das Prüfverfahren zu wiederholen, beginnend mit einer Reinigung der Prüffläche.

#### Prüfung mit Flüssigkeitseindringmitteln

##### Arten von Eindringmitteln

- Mit Wasser abwaschbare Penetrationsmittel.
- Durch Lösungsmittel entfernbare Penetrationsmittel
- Penetriermittel nach der Emulgierung.
  - Lipophile Emulgierung
  - Hydrophile Emulgierung.

#### Magnetische Partikeluntersuchung

MT von Gussteilen wird in Absatz. IP-2.2.8. Die Wärmebehandlung von Schweißnähten und anderen Bauteilen als Gussteilen muss in Übereinstimmung mit den Anforderungen von Teil GR, den spezifischen Anforderungen von Teil IP oder PL und [ASME BPV Code Section V, Artikel 7](#) durchgeführt werden.

#### Magnetpartikel-Untersuchungstechnik

Die für die Untersuchung verwendeten fein verteilten ferromagnetischen Partikel müssen die folgenden Anforderungen erfüllen.

- (a) **Partikeltypen.** Die Partikel müssen so behandelt werden, dass sie eine Farbe erhalten (fluoreszierende Pigmente, nicht fluoreszierende Pigmente oder beides), damit sie sich deutlich vom Hintergrund der zu untersuchenden Oberfläche abheben (kontrastieren).
- (b) **Partikel.** Trockene und nasse Partikel und Suspensionsfahrzeuge müssen den in [SE-709, Abs. 2.2](#), aufgeführten Spezifikationen entsprechen.
- (c) **Temperaturbegrenzungen.** Die Partikel sind innerhalb des vom Hersteller der Partikel angegebenen Temperaturbereichs zu verwenden.

### Magnetpartikel-Untersuchungstechnik

Die Magnetpulver-Untersuchungsmethode wird zum Aufspüren von Rissen und anderen Unstetigkeiten auf den Oberflächen ferromagnetischer Materialien eingesetzt. Die Empfindlichkeit ist bei Oberflächenunterbrechungen am größten und nimmt mit zunehmender Tiefe der Unterbrechungen unter der Oberfläche schnell ab. Typische Arten von Unterbrechungen, die mit dieser Methode erkannt werden können, sind Risse, Überlappungen, Nähte, Kaltverschlüsse und Laminierungen.

Im Prinzip wird bei dieser Methode eine zu untersuchende Fläche magnetisiert und ferromagnetische Partikel (das Untersuchungsmedium) auf die Oberfläche aufgebracht. Auf der Oberfläche bilden sich Partikelmuster, bei denen das Magnetfeld aus dem Teil heraus und über Diskontinuitäten gedrückt wird, so dass ein Streufeld entsteht, das die Partikel anzieht. Die Partikelmuster sind in der Regel charakteristisch für die Art der festgestellten Unstetigkeit. Unabhängig davon, welche Technik zur Erzeugung des magnetischen Flusses im Teil verwendet wird, ist die maximale Empfindlichkeit bei linearen Diskontinuitäten gegeben, die senkrecht zu den Flusslinien ausgerichtet sind. Um alle Arten von Diskontinuitäten optimal aufzuspüren, muss jeder Bereich mindestens zweimal untersucht werden, wobei die Flusslinien bei der einen Untersuchung annähernd senkrecht zu den Flusslinien bei der anderen Untersuchung verlaufen.

### Techniken zur Untersuchung von Magnetpartikeln

Es sind eine oder mehrere der folgenden fünf Magnetisierungsmethoden zu verwenden:

- (a) Prod-Technik
- (b) Technik der Längsmagnetisierung
- (c) Rundmagnetisierungsverfahren
- (d) Jochtechnik
- (e) Technik der multidirektionalen Magnetisierung

#### **Prod-Technik**

Bei der Prüfspitzentechnik wird die Magnetisierung durch tragbare elektrische Kontakte des Typs Prüfspitze erreicht, die gegen die Oberfläche des zu untersuchenden Bereichs gedrückt werden. Um Lichtbögen zu vermeiden, muss ein Fernbedienungsschalter, der in die Sondengriffe eingebaut sein kann, vorhanden sein, damit der Strom eingeschaltet werden kann, nachdem die Sonden richtig positioniert wurden.

#### **Jochtechnik**

Für diese Technik werden elektromagnetische Wechselstrom- oder Gleichstromjoches oder Permanentmagnetjoches verwendet.

e. Bei dieser Technik wird die Magnetisierung durch Hochstromaggregate erreicht, die bis zu drei Stromkreise betreiben, die nacheinander in schneller Folge eingeschaltet werden. Diese schnell

wechselnden Magnetisierungsströme bewirken eine Gesamtmagnetisierung des Werkstücks in mehrere Richtungen

### **Technik der Magnetisierung in Längsrichtung**

Bei dieser Technik wird die Magnetisierung erreicht, indem Strom durch eine feststehende Spule (oder Kabel) mit mehreren Windungen geleitet wird, die um das zu untersuchende Teil oder den Abschnitt des Teils gewickelt wird. Dadurch wird ein Längs-Magnetfeld parallel zur Achse der Spule erzeugt. Wird eine feste, vorgespulte Spule verwendet, muss das Teil während der Prüfung in der Nähe der Spule platziert werden. Dies ist besonders wichtig, wenn die Spulenöffnung mehr als das 10-fache der Querschnittsfläche des Werkstücks beträgt.

### **Technik der zirkulären Magnetisierung**

Magnetisierungsverfahren. Bei dieser Technik erfolgt die Magnetisierung, indem Strom durch das zu untersuchende Teil geleitet wird. Dadurch wird ein kreisförmiges Magnetfeld erzeugt, das annähernd senkrecht zur Richtung des Stromflusses im Teil steht.

### **Technik der multidirektionalen Magnetisierung**

Bei dieser Technik wird die Magnetisierung durch Hochstromaggregate erreicht, die bis zu drei Stromkreise betreiben, die nacheinander in schneller Folge erregt werden. Die Wirkung dieser schnell wechselnden Magnetisierungsströme besteht darin, eine Gesamtmagnetisierung des Teils in mehreren Richtungen zu erzeugen.

### **Wirbelstrom-Prüfung**

Die Methode zur Wirbelstromprüfung von Rohren und Schläuchen muss den allgemeinen Richtlinien des [ASME BPV Code Section V, Article 8](#) entsprechen.

Dieser Anhang enthält die Anforderungen für die Mehrfrequenz-Multiparameter-Wirbelstromprüfung für installierte nichtferromagnetische Wärmetauscherrohre, wenn dieser Anhang durch den entsprechenden Abschnitt des Codes festgelegt ist.

## **SCHRITTWEISE PROBENAHEME FÜR DIE PRÜFUNG**

Wenn die vorgeschriebene stichprobenartige Prüfung einen Mangel ergibt, dann:

- (a) zwei weitere Muster der gleichen Art (wenn es sich um Schweiß- oder Lötverbindungen handelt, die von demselben Schweißer, Lötter oder Bediener hergestellt wurden) sind der gleichen Art von Prüfung zu unterziehen.
- (b) Sind die gemäß Buchstabe a) geprüften Gegenstände annehmbar, so wird der mangelhafte Gegenstand repariert oder ersetzt und erneut geprüft, und alle durch diese beiden zusätzlichen Muster repräsentierten Gegenstände werden angenommen.



- (c) Wird bei einem der gemäß Buchstabe a) untersuchten Gegenstände ein Mangel festgestellt, so sind für jeden bei dieser Probenahme festgestellten Mangel zwei weitere Proben der gleichen Art zu untersuchen.
- (d) Sind alle gemäß Buchstabe c) geprüften Teile annehmbar, so wird/werden das/die mangelhafte(n) Teil(e) repariert oder ersetzt und wie angegeben erneut geprüft, und alle durch die zusätzliche Probenahme repräsentierten Teile werden angenommen.
- (e) Wird bei einem der gemäß Buchstabe c) geprüften Gegenstände ein Mangel festgestellt, so sind alle Gegenstände, die Gegenstand der fortlaufenden Probenahme sind, zu überprüfen:
  - (1) repariert oder ersetzt und bei Bedarf erneut untersucht werden, oder
  - (2) vollständig geprüft und erforderlichenfalls repariert oder ersetzt und erneut geprüft werden, um die Anforderungen dieses Codes zu erfüllen.
- (f) Wenn einer der mangelhaften Gegenstände repariert oder ersetzt und erneut untersucht wird und an dem reparierten oder ersetzten Gegenstand erneut ein Mangel festgestellt wird, ist eine fortgesetzte schrittweise Probenahme gemäß den Buchstaben a), c) und e) aufgrund der bei der Reparatur festgestellten Mängel nicht erforderlich. Der/die fehlerhafte(n) Gegenstand(e) ist/sind zu reparieren oder zu ersetzen und bis zur Abnahme wie angegeben erneut zu prüfen. Die verbleibenden, nicht untersuchten Verbindungen werden dann stichprobenartig geprüft (je nachdem, was zutrifft).

Die Dichtheitsprüfung mit einer Seifenblasenlösung oder einem tragbaren Wasserstoffdetektor sollte regelmäßig und jedes Mal, wenn die Verbindungen wieder zusammengebaut werden, durchgeführt werden. Die Verbindungen sollten regelmäßig auf Anzeichen von Korrosion, Erosion, Rissbildung, Ausbeulung, Blasenbildung oder andere Verschlechterungen untersucht werden.

Die Wartung und Neukalibrierung von Leck- und Flammendektoren sollte in regelmäßigen Abständen erfolgen, in der Regel alle 3-6 Monate oder wie vom Hersteller empfohlen.

## **Dichtheitsprüfung**

### **BLASENTEST - DIREKTE DRUCKTECHNIK**

Siehe [obligatorischen Anhang I zu Artikel 10](#)

#### **BLASENLÖSUNG**

(a) Die blasenbildende Lösung muss einen Film erzeugen, der nicht von der zu prüfenden Fläche abreißt, und die gebildeten Blasen dürfen nicht aufgrund von Lufttrocknung oder geringer Oberflächenspannung schnell zerfallen. Haushaltsseife oder Reinigungsmittel sind als Ersatz für Blasenprüfungslösungen nicht zulässig. (b) Die blasenbildende Lösung muss mit der Temperatur der Prüfbedingungen kompatibel sein.

#### **IMMERSION BAD**

- (a) Für das Bad ist Wasser oder eine andere verträgliche Lösung zu verwenden.
- (b) Die Immersionslösung muss mit der Temperatur der Prüfbedingungen kompatibel sein.



- (c) Der zu untersuchende Bereich muss sich an einer leicht zu beobachtenden Stelle unterhalb der Oberfläche des Bades befinden.
- (d) Das Vorhandensein einer kontinuierlichen Blasenbildung auf der Oberfläche des Materials deutet auf eine Leckage durch eine oder mehrere Öffnungen in dem untersuchten Bereich hin.

### **BLASENTEST - VAKUUMBOXTECHNIK**

Siehe [obligatorischen Anhang II zu Artikel 10](#)

#### **VAKUUMKASTEN**

Der verwendete Vakuumkasten muss eine geeignete Größe haben [z. B. 150 mm breit und 750 mm lang] und auf der dem offenen Boden gegenüberliegenden Seite ein Fenster aufweisen. Der offene Bodenrand muss mit einer geeigneten Dichtung versehen sein, die eine Abdichtung gegen die Prüfoberfläche bildet. Geeignete Anschlüsse, Ventile, Beleuchtungen und Messgeräte müssen vorhanden sein. Das Manometer muss einen Messbereich von 0 kPa (0 psi) bis 100 kPa (15 psi) haben.

### **HALOGEN-DIODEN-DETEKTOR-SONDENTEST**

Siehe [obligatorischen Anhang III zu Artikel 10](#)

- ✓ Die fortschrittlicheren elektronischen Halogen-Lecksuchgeräte haben eine sehr hohe Empfindlichkeit. Diese Geräte ermöglichen den Nachweis eines Halogengasflusses von der Niederdruckseite einer sehr kleinen Öffnung in einer Hülle oder Barriere, die zwei Bereiche mit unterschiedlichem Druck trennt.
- ✓ Das Prüfverfahren mit der Halogen-Detektor-Sonde ist ein halbquantitatives Verfahren zum Aufspüren und Lokalisieren von Leckagen und gilt nicht als quantitativ.

### **HELIUM-MASSENSPEKTROMETERTEST - DETEKTORSONDENTECHNIK**

Siehe [obligatorischen Anhang IV zu Artikel 10](#)

- ✓ Diese Technik beschreibt den Einsatz des Helium-Massenspektrometers zum Nachweis kleinster Spuren von Heliumgas in unter Druck stehenden Komponenten. Die hohe Empfindlichkeit dieses Lecksuchgeräts ermöglicht den Nachweis eines Heliumgasflusses von der Seite des niedrigeren Drucks einer sehr kleinen Öffnung in einer Umhüllung oder Barriere, die zwei Bereiche mit unterschiedlichem Druck voneinander trennt, oder die Bestimmung des Vorhandenseins von Helium in einem beliebigen gasförmigen Gemisch. Die Detektorsonde ist eine semiquantitative Technik, die zum Aufspüren und Lokalisieren von Lecks verwendet wird und nicht als quantitativ zu betrachten ist.

### **HELIUM-MASSENSPEKTROMETERTEST - TRACER-SONDEN-TECHNIK**

Siehe [obligatorischen Anhang V zu Artikel 10](#)

- ✓ Diese Technik beschreibt den Einsatz des Helium-Massenspektrometers zum Nachweis kleinster Spuren von Heliumgas in evakuierten Bauteilen. Die hohe Empfindlichkeit dieses Lecksuchgeräts



ermöglicht bei der Prüfung mit einer Tracer-Sonde den Nachweis und die Lokalisierung eines Heliumgasflusses von der Seite des höheren Drucks durch sehr kleine Öffnungen in der evakuierten Hülle oder Barriere, die die beiden Bereiche mit unterschiedlichem Druck voneinander trennt. Es handelt sich hierbei um ein semiquantitatives Verfahren, das nicht als quantitativ angesehen werden darf.

## **PRÜFUNG DER SONDE DES WÄRMELEITFÄHIGKEITSDETEKTORS**

Siehe [obligatorischen Anhang VIII zu Artikel 10](#)

- ✓ Einführung. Diese Instrumente ermöglichen den Nachweis eines Tracergasstroms von der Seite des niedrigeren Drucks einer sehr kleinen Öffnung in einer Umhüllung oder Barriere, die zwei Regionen mit unterschiedlichen Drücken trennt.
- ✓ Das Prüfverfahren mit dem Wärmeleitfähigkeitsdetektor ist ein halbquantitatives Verfahren zum Aufspüren und Lokalisieren von Leckagen und ist nicht als quantitativ anzusehen.
- ✓ Das Wärmeleitfähigkeitsdetektor-Sondengerät nutzt das Prinzip, dass sich die Wärmeleitfähigkeit eines Gases oder Gasgemischs mit jeder Änderung der Konzentration(en) des Gases oder Gasgemischs ändert (d. h. mit der Einführung eines Prüfgases in den Bereich eines Lecks).

## **HELIUM-MASSENSPEKTROMETERTEST - HAUBENTECHNIK**

Siehe [obligatorischen Anhang IX zu Artikel 10](#)

- ✓ Die in dieser Anlage beschriebene Technik verwendet den Helium-Massenspektrometer-Lecksucher (HMSLD) zur Erkennung und Messung von Heliumgasleckagen über eine zu prüfende Grenze in einen evakuierten Raum. Mit dieser Technik können normalerweise Heliumleckraten von  $1 \times 10^{-4}$  atm cm<sup>3</sup> /sec bis  $1 \times 10^{-11}$  atm cm<sup>3</sup> /sec ( $1 \times 10^{-3}$  Pa m<sup>3</sup> /sec bis  $1 \times 10^{-10}$  Pa m<sup>3</sup> /sec) gemessen werden. Die hohe Empfindlichkeit dieses Heliumhauben-Leckraten-Tests ermöglicht es, den gesamten Helium-Massenstrom über eine Grenze oder Barriere zu erkennen und zu messen, die einen evakuierbaren Raum von einem Bereich mit Heliumgas trennt. Mit dieser quantitativen Leckratenmesstechnik kann die Nettoleckrate bestimmt werden, indem die Heliumleckage von einem bereits vorhandenen Hintergrundsignal unterschieden wird.

## **ULTRASCHALL-LECKSUCHERTEST**

Siehe [obligatorischen Anhang X zu Artikel 10](#)

- ✓ Diese Technik beschreibt die Verwendung eines Ultraschall-Lecksuchgeräts zur Erkennung der Ultraschallenergie, die durch den Fluss eines Gases von der Seite des niedrigeren Drucks einer sehr kleinen Öffnung in einer Umhüllung oder Barriere erzeugt wird, die zwei Regionen mit unterschiedlichem Druck trennt.
- ✓ Aufgrund der geringen Empfindlichkeit [maximale Empfindlichkeit von  $10^{-2}$  std cm<sup>3</sup> /s ( $10^{-3}$  Pa m<sup>3</sup> /s)] dieser Technik sollte sie nicht für die Abnahmeprüfung von Behältern verwendet werden, die tödliche oder gefährliche Substanzen enthalten.
- ✓ Dies ist eine semiquantitative Methode zur Erkennung und Lokalisierung von Lecks und gilt nicht als quantitativ.



## HELIUM-MASSENSPEKTROMETER - PRÜFUNG DER LECKAGERATE VON MIT HELIUM GEFÜLLTEN BEHÄLTERN

Siehe [obligatorischen Anhang XI zu Artikel 10](#)

- ✓ Diese Technik beschreibt die Verwendung eines Helium-Massenspektrometer-Lecksuchgeräts (HMSLD) zum Aufspüren und Messen kleinster Spuren von Heliumgas aus einem mit Helium gefüllten Behälter in ein evakuiertes Volumen. Bei dem evakuierten Volumen kann es sich um eine Prüfvorrichtung, ein Prüfgerät oder ein festes Element der zu prüfenden Struktur handeln.
- ✓ Mit dieser Technik wird ein Heliumgasstrom von der stromaufwärts gelegenen (unter höherem Druck stehenden) Seite einer Grenze oder Barriere erfasst und gemessen, die ein heliumhaltiges Volumen von einem Bereich oder Volumen trennt, das absichtlich kein Helium enthält.
- ✓ Dies ist eine quantitative Messtechnik. Diese Technik führt zu einer geringfügigen Überbewertung der Leckagerate, wodurch eine zuverlässige Messung der Gesamtleckagerate für die zu prüfende Grenze nach oben hin möglich ist.
- ✓ Diese Technik ist besonders vorteilhaft für die Dichtheitsprüfung von versiegelten Gegenständen, die Helium als Betriebsbedingung enthalten oder in denen Helium vor der Dichtheitsprüfung eingeschlossen wurde.
- ✓ Dieser Test der Leckagerate eines mit Helium gefüllten Behälters ist besonders vorteilhaft für die Erkennung und Messung der Leckagerate eines Lecks auf dem Torturweg.
- ✓ Diese Technik ist in der Regel auf die Prüfung von Grenzflächen beschränkt, die keine Elastomere oder andere Materialien mit einer hohen Heliumpermeabilität enthalten.

### IP- und PL-Prüfung

Nach dem Bau des Rohrleitungssystems und nach Abschluss der entsprechenden Prüfungen und Reparaturen, jedoch vor der ersten Inbetriebnahme, ist jedes Rohrleitungssystem auf Dichtheit zu prüfen. Das Prüfverfahren und der Umfang der Prüfung müssen den Anforderungen des geltenden Teils IP oder PL entsprechen.

- (a) Die Prüfungen müssen in Übereinstimmung mit dem Qualitätssicherungsprogramm und den dokumentierten Verfahren des Bauunternehmens durchgeführt werden.
- (b) Der Prüfer für Qualitätskontrolle des Bauunternehmens muss alle Prüfungen überprüfen und aufzeichnen.
- (c) Der Inspektor des Eigentümers muss sich vergewissern, dass die Prüfungen in Übereinstimmung mit den Anforderungen dieses Codes und der technischen Planung durchgeführt wurden.

### Hochdruck H<sub>2</sub> Aufzeichnungen

#### Aufzeichnungen von Tests

- a) Verantwortung. Es liegt in der Verantwortung des Bauunternehmens (Hersteller der Rohrleitungskonstruktion, Hersteller und Errichter), die von den QSP und dokumentierten Verfahren des Bauunternehmens geforderten Aufzeichnungen zusammen mit den anwendbaren

Teilen dieses Codes, der technischen Konstruktion und den anwendbaren Anforderungen der ASME- oder ASTM-Normen für die spezifischen Prüfverfahren zu erstellen.

- b) Aufbewahrung von Aufzeichnungen. Wenn nicht anders durch den technischen Entwurf, den Eigentümer oder die Gerichtsbarkeit festgelegt, müssen die angegebenen Aufzeichnungen mindestens 5 Jahre lang aufbewahrt werden, nachdem die Aufzeichnungen für das Projekt erstellt wurden.

## Hochdruck

H<sub>2</sub>

### Fallstudie über Zwischenfälle

-WASSERSTOFFEXPLOSION AUFGRUND UNZUREICHENDER WARTUNG

|                             |                    |                        |
|-----------------------------|--------------------|------------------------|
| <b>Severity</b><br>Incident | <b>Leak</b><br>Yes | <b>Ignition</b><br>Yes |
|-----------------------------|--------------------|------------------------|

In einer Anlage kam es zu einer Wasserstoffexplosion, bei der eine Wand neben der Wasserstoffspeichereinheit beschädigt wurde. Die Untersuchung ergab, dass die Explosion die Folge von Mängeln an Bauteilen war, die zur Wasserstoffspeichereinheit gehörten, und dass diese Einheit zu einem Lieferanten gehörte, der vertraglich verpflichtet war, die Anlage mit Wasserstoff zu versorgen. Die Analyse ergab, dass der Vorfall hätte verhindert werden können, wenn der Lieferant die Ausrüstung ordnungsgemäß installiert und gewartet hätte. Indem sich das Unternehmen laufend vergewisserte, dass der Zulieferer diese Ausrüstung ordnungsgemäß wartete, hätte es die Wahrscheinlichkeit eines solchen Vorfalles ebenfalls verringern können.

<https://h2tools.org/lessons/hydrogen-explosion-due-inadequate-maintenance>

-TANKSTELLE: LECK IM HOCHDRUCKSPEICHER

|                             |                    |                        |
|-----------------------------|--------------------|------------------------|
| <b>Severity</b><br>Incident | <b>Leak</b><br>Yes | <b>Ignition</b><br>Yes |
|-----------------------------|--------------------|------------------------|

Ein Wasserstoffleck in einem Tank eines Hochdruckspeichers für eine Wasserstofftankstelle führte zu einem Brand und einer Explosion. Die Rettungskräfte waren innerhalb von 7 Minuten vor Ort und hatten das Feuer innerhalb von 3 Stunden unter Kontrolle. An der separaten H<sub>2</sub>-Zapfsäule auf dem Vorplatz oder an anderen wichtigen Komponenten der Tankstelle im Hinterhof wurden keine Schäden gemeldet. Durch den Brand und die Explosion wurden keine Personen verletzt, lediglich der Airbag eines nahegelegenen Fahrzeugs wurde durch den Explosionsdruck ausgelöst, wobei die Fahrzeuginsassen leicht verletzt wurden. Bis zur Klärung der Ursache wurden alle potenziell betroffenen H<sub>2</sub>-Stationen sofort außer Betrieb genommen.

Die Ursache des Vorfalles wurde später als Fehler bei der Montage eines bestimmten Stopfens in einem Wasserstofftank in der Hochdruckspeichereinheit identifiziert. Die inneren Schrauben des Stopfens waren nicht ausreichend fest angezogen worden. Dies führte zu einem Wasserstoffleck, wodurch ein Gemisch aus Wasserstoff und Luft entstand, das sich entzündete. Die Zündquelle wurde nicht eindeutig identifiziert. Ein Inspektions- und Integritätsprüfungsprogramm für die Hochdruckspeichereinheiten mit ähnlichen Stopfen wurde eingeführt, einschließlich der Überprüfung und des Nachziehens der



Tankstopfen. Zu den weiteren Maßnahmen gehören überarbeitete Montage-, Prüf- und Dokumentationsverfahren sowie eine erhöhte Häufigkeit der automatischen Lecksuche. Je nach Standort werden zusätzliche Zündschutzmaßnahmen in Erwägung gezogen, einschließlich der Entfernung von losem Kies/glatte Oberfläche um die Hochdrucklagereinheit, zusätzlicher Hinterhofbelüftung und der verstärkten Verwendung von explosionsgeschützten Komponenten.

<https://h2tools.org/lessons/fueling-station-high-pressure-storage-leak>

#### -DRUCKSENSOR-MEMBRANBRUCH BEI H<sub>2</sub> KOMPRESSOR

| Severity<br>Incident | Leak<br>Yes | Ignition<br>No |
|----------------------|-------------|----------------|
|----------------------|-------------|----------------|

Die Messmembran eines Druckmessumformers (PT), mit dem ein Wasserstoffkompressor für den Außenbereich ausgestattet ist, riss unerwartet und gab etwa 0,1 Kilogramm Wasserstoff aus der Druckleitung des Kompressors in die Atmosphäre ab. Zum Zeitpunkt des Vorfalls wurde das Personal in der Nähe durch einen lauten "Knall" und Staubaufwirbelung alarmiert. Gleichzeitig stellte das Überwachungssystem der Anlage den Verlust des PT-Signals fest und leitete die Abschaltung der Anlage ein. Das Anlagenpersonal schloss daraufhin die Handabsperrentile, um das Leck zu stoppen, sperrte die Anlage ab und sperrte den Bereich ab. Die ausgefallene Komponente, ein Zigarren-PT mit einem Nenndruck von 20.000 psi, der ursprünglich vom Hersteller als Teil des Kompressors geliefert und installiert worden war, wurde ausgebaut und inspiziert. Die Inspektion ergab durchtrennte Drähte, ein abgetrenntes Drahtgehäuse, fehlende Elektronik und beschädigte elektrische Vergussmasse. Der PT befand sich an einer Leitung, die durch ein auf 15.400 psi eingestelltes Drucksicherheitsventil geschützt war.

Die Ermittler der Anlage entdeckten später, dass der ausgefallene Entlade-PT mit einer Membran aus 17-4PH-Edelstahl hergestellt worden war. Diese Art von rostfreiem Stahl ist zwar ein Industriestandard für die Hochdruckbeständigkeit mit anderen Materialien, doch ist in der Industrie bekannt, dass er mit Wasserstoff nicht kompatibel ist. In den Unterlagen des Kompressorherstellers wurde im Allgemeinen die Verwendung von Werkstoffen angegeben, die unter den zu erwartenden Betriebsbedingungen gegen die Auswirkungen der H<sub>2</sub>-Versprödung resistent sind, jedoch wurden die spezifischen Werkstoffe der internen Komponenten wie z. B. der PT-Membranen nicht genannt. Die InbetriebnahmeprozEDUREN des Anlagenbetreibers beinhalteten Funktionstests für jeden PT, aber keine Überprüfung der Spezifikationen einzelner Kompressorkomponenten. Nachfolgende Gespräche zwischen den Ermittlern der Anlage und den Vertretern des Kompressors ergaben, dass der Kompressorhersteller nicht beabsichtigte, seine Kompressorkomponenten mit dem Material 17-4PH zu versehen; das Membranmaterial wurde vom Kompressorhersteller bei der Beschaffung des Druckmittlers übersehen. Der Kompressor wurde daraufhin mit einem Ersatz-PT aus Nitronic 50-Material repariert und ein kompatibler Druckschalter, der mit dem "STOP"-Signal der Anlage fest verdrahtet ist, wurde hinzugefügt.

<https://h2tools.org/lessons/pressure-sensor-diaphragm-rupture-h2-compressor>

#### -WASSERSTOFFBRAND DURCH VENTILPACKUNG WÄHREND EINES WARTUNGSSTILLSTANDS IN EINER CHEMISCHEN PRODUKTIONSANLAGE



| <b>Severity</b><br><b>Incident</b> | <b>Leak</b><br><b>Yes</b> | <b>Ignition</b><br><b>Yes</b> |
|------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
|------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|

In einem Chemiewerk kam es während einer geplanten Abschaltung für Wartungsarbeiten zu einem Ventilversagen, wodurch Wasserstoff aus einem Ventil austrat und Feuer fing. Vier hintereinander geschaltete chemische Reaktorkammern wurden im Rahmen eines Wartungsvorgangs mit Wasserstoffgas entleert. Zwei Heizungsventile wurden geöffnet, so dass Wasserstoff mit einem Druck von 3000 psi in umgekehrter Richtung strömen konnte, um das Reaktorsystem etwa 25 Minuten lang zu spülen. Nach Beendigung des Spülvorgangs war ein "leichter" Schlag zu hören, als die Reaktorentleerungsventile geschlossen wurden. Aus einem der Entleerungsventile des Reaktors traten rauchige Dämpfe aus, und der Bediener stoppte das Schließen des Ventils. Der Bediener rief einen zweiten Bediener zu Hilfe, woraufhin ein zweiter "lauter" Knall zu hören war und eine viel größere hell- und dunkelgraue Dampf Wolke aus dem undichten Ventil aufstieg. Beide Bediener evakuierten den Bereich und begannen, die Brennstoffzufuhr abzuschalten und den Wasserstoffdruck im Reaktorsystem zu senken.

Etwa zwei Minuten nach Beginn des Vorfalls wurde die Dampf Wolke aus dem Ventil durch eine große gelbe und grüne Flamme ersetzt, die zunächst einen nahegelegenen Abscheider und Tank erfasste. Das Werkspersonal leitete Notfallmaßnahmen zur Brandbekämpfung ein. Dazu gehörten das Schließen von Ventilen, um die Wasserstoff- und Erdgaszufuhr abzusperren, das Einschalten des örtlichen Feuerlöschsystems, das Heranbringen eines zusätzlichen großen Löschschlauchs und das Absetzen eines Notrufs an die Feuerwehr außerhalb des Werksgeländes. Das Werkspersonal löschte den Brand noch vor dem Eintreffen der Feuerwehr. Bis der Bereich für sicher erklärt werden konnte, wurde ein umfassendes Notfallmanagement und eine Einsatzleitung eingerichtet. Bei diesem Vorfall wurden schätzungsweise 40 Pfund Wasserstoffgas freigesetzt. Bei diesem Vorfall wurde kein Personal verletzt, es entstand jedoch ein geringer Schaden an nahe gelegenen Anlagen.

Nach dem Vorfall wurde das undichte Ventil ausgebaut und ersetzt. Das undichte Ventil wurde für die forensische Analyse zerlegt. Als Ursache für das Ventilversagen wurde ein Leck in der Packung des Reaktorentleerungsventils festgestellt. Die verbleibende Ventilpackung wurde zur Fehleranalyse an den Lieferanten geschickt. Die Metallurgie der undichten Ventilkomponenten wurde als korrekt überprüft. Es wurden Ventilinstallationsnormen, -spezifikationen und -aufzeichnungen eingeholt, aber es gab keine Herstellerspezifikation oder -norm für die Ventilpackung.

<https://h2tools.org/lessons/hydrogen-fire-valve-packing-during-maintenance-shutdown-chemical-manufacturing-plant>

## Referenzen

- Austin M. Glover (SNL), Jeffrey T. Mohr (NREL), Austin R. Baird (SNL), Codes and Standards Assessment for Hydrogen Blends into the Natural Gas Infrastructure, Oktober 2021 <https://www.osti.gov/servlets/purl/1871191>
- Empirische Profilierung von kalten Wasserstoffanlagen, die bei der Entlüftung von LH2-Lagerbehältern entstehen. <https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/68771.pdf>
- <https://www.api.org/~media/files/publications/whats%20new/521%20e6%20pa.pdf>



- ASME BPV Code Ein internationaler Code, [2019](#), <https://nexnor.com/wp-content/uploads/2020/01/ASME-V-2019.pdf>
- G.R. Astbury, Venting of Low Pressure Hydrogen Gas: A Critique of the Literature, <https://doi.org/10.1205/psep06054>
- WASSERSTOFFTRANSPORT-PIPELINES, [https://h2tools.org/sites/default/files/Doc121\\_04%20H2TransportationPipelines.pdf](https://h2tools.org/sites/default/files/Doc121_04%20H2TransportationPipelines.pdf)
- [Wasserstoffauto-Sicherheitstest - Kraftstoffleck H2 vs. Benzin](#)". Vimeo. Abgerufen am 2020-05-07.
- Explosive Lektionen in Wasserstoffsicherheit | APPEL Knowledge Services". [appel.nasa.gov](http://appel.nasa.gov).
- <https://www.wermac.org/>
- Wasserstoff-Rohrleitungen und -Leitungen , ASME-Code für Druckrohrleitungen, [B31](#), <https://poltar.jlab.org/filedir/Procedures/ASME%20B31.12.pdf>
- <https://h2tools.org/>