

## **Gefährdungen und Schutzmaßnahmen bei Arbeiten im Bereich von Wasserstoffanlagen und -leitungen**

Sachgebiet Energie und Wasser  
Stand: 29.06.2023

Diese Fachbereich AKTUELL soll grundlegende Gefährdungen (Explosion und Druck) und Schutzmaßnahmen, die bei Arbeiten an oder im Bereich von Wasserstoffanlagen und -leitungen mit einem Wasserstoffanteil größer 98 Vol.-% zu berücksichtigen sind (Anlagen und Leitungen zur Versorgung der Allgemeinheit mit Wasserstoff), kurz und kompakt aufzeigen. Sie ergänzt damit die DGUV Information 203-090 „Arbeiten an in Betrieb befindlichen Gasleitungen – Handlungshilfe zur Erstellung der Gefährdungsbeurteilung“ und die DGUV Information 203-092 „Arbeitssicherheit beim Betrieb von Gasanlagen – Handlungshilfe zur Erstellung der Gefährdungsbeurteilung“ bezüglich Gefährdungen und beispielhafter Schutzmaßnahmen für Wasserstoff. Sie richtet sich an Betreiber und Auftragnehmer, insbesondere deren Anlagen- und Arbeitsverantwortliche, sowie Fachkräfte für Arbeitssicherheit.

Für Tätigkeiten an Wasserstoffanlagen und -leitungen müssen die Mitarbeitenden über die erforderlichen Fachkenntnisse verfügen. Zu den Anforderungen zählen eine entsprechende Berufsausbildung, Berufserfahrung oder eine zeitnah ausgeübte entsprechende berufliche Tätigkeit. Die Fachkenntnisse sind durch Teilnahme an Schulungen auf aktuellem Stand zu halten.

### **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Rechtliche Grundlagen Wasserstoff</b> .....	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Gefährdungsbeurteilung</b> .....	<b>3</b>
3.1	Druckgefährdung .....	4
3.2	Explosionsgefährdung .....	4
3.3	Weitere Gefährdungen .....	5
<b>4</b>	<b>Hinweise zu Schutzmaßnahmen</b> .....	<b>6</b>
4.1	Allgemeines.....	6
4.2	Instandhaltungsarbeiten an Wasserstoffleitungen und -anlagen .....	8
<b>5</b>	<b>Explosionssicherheit</b> .....	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>Prüfungen</b> .....	<b>12</b>

# 1 Einleitung

Im Rahmen der Energiewende kommt Wasserstoff bei der Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen eine Schlüsselrolle zu. Er lässt sich klimafreundlich durch Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien mit Hilfe der Elektrolyse erzeugen. Wird hierfür ausschließlich grüner Strom genutzt und fällt bei der Produktion kein CO<sub>2</sub> an, wird der Wasserstoff als grün bezeichnet. Bei vielen Energieversorgungsunternehmen, in Bereichen der Stahlbranche sowie der Chemieindustrie werden bereits Anlagen zur Herstellung, Verarbeitung und zum Transport von Wasserstoff betrieben.

Zu den Wasserstoff-Anlagen in den vorgenannten Bereichen zählen z. B.:

- Erzeugungsanlagen (z. B. Elektrolyse-Anlagen)
- Gasaufbereitung
- Gas-Verdichter
- Speicherbehälter
- Gas-Druckregel- und Messanlagen
- Rohrleitungen (z. B. freiverlegt, erdverlegt, Schlauchleitungen, Armaturen, Abblase- und Entspannungsleitungen)
- Verbrauchsanlagen (z. B. Thermoprozessanlagen, Haubenglühereien, Direktreduktionsanlagen, Hydrierung, Öfen und Wannen in der Glas- und Keramikindustrie).



Abbildung 1 – Hinweisschild erdverlegte Wasserstoffleitung

## Eigenschaften und Sicherheitstechnische Kenngrößen (STK)

STK beschreiben die gefährlichen Eigenschaften von Stoffen und sind Basis für die Einstufung und Kennzeichnung von Stoffen sowie für Schutzmaßnahmen.

Eigenschaft / Sicherheitstechnische Kenngröße	Methan	Wasserstoff
Dichte (0 °C, 1013 mbar) in kg/m <sup>3</sup>	0,7175	0,0899
Dichteverhältnis zu trockener Luft (0°C, 1013 mbar)	0,55	0,0695
Untere Explosionsgrenze (UEG) in Vol.-%	4,4	4,0
Obere Explosionsgrenze (OEG) in Vol.-%	17,0	77,0
Sauerstoffgrenzkonzentration bei Inertisierung mit Stickstoff und 20 °C, 1 bar (SGK) in Vol.-%	9,9	4,3
Mindestzündtemperatur (TZ) in °C	595	560
Temperaturklasse	T1	T1

Eigenschaft / Sicherheitstechnische Kenngröße	Methan	Wasserstoff
Mindestzündenergie (MZT) in mJ	0,23	0,017
Grenzsplattweite (NSW) in mm	1,14	0,29
Explosionsgruppe	IIA	IIC
Maximaler Explosionsdruck ( $p_{max}$ ) in bar	8,1	8,3
K <sub>G</sub> -Wert in bar·m·s <sup>-1</sup>	52	800
Sichtbarkeit einer Flamme	gut sichtbar	kaum sichtbar

Tabelle 1: Sicherheitstechnische Kenngrößen und Eigenschaften Methan und Wasserstoff im Vergleich [1], [2].

STK sind abhängig vom Druck und der Temperatur. Mit höherer Temperatur wird z. B. der Explosionsbereich weiter und die Zündenergie nimmt ab. Bei erhöhtem Druck nimmt die Zündenergie weiter ab. Wasserstoff ist ein geruchloses und in reiner Form ein untoxisches Gas.

## 2 Rechtliche Grundlagen Wasserstoff

Es gibt eine Vielzahl von nationalen Gesetzen und Verordnungen sowie technischen Regelwerken, die bei der Errichtung, Inbetriebnahme und dem Betrieb von Wasserstoffanlagen sowie für den Arbeitsschutz zu berücksichtigen sind.

In staatlichen Gesetzen, Verordnungen, technischen Regelwerken und DGUV Regelwerken sind die Anforderungen zum Arbeitsschutz beschrieben [3].

Für Wasserstoffanlagen im Sinne des EnWG (Energieanlagen) gilt bezüglich Errichtung und Betrieb das DVGW Regelwerk.

Im Anhang sind ausgewählte Gesetze, Verordnungen, DGUV Regelwerke und technische Regelwerke zusammengestellt.

## 3 Gefährdungsbeurteilung

Im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung gemäß § 6 GefStoffV hat der Arbeitgeber festzustellen, ob die Beschäftigten Tätigkeiten mit Gefahrstoffen ausüben oder ob bei Tätigkeiten Gefahrstoffe entstehen oder freigesetzt werden können. Die speziellen Eigenschaften von Wasserstoff sind hierbei zu berücksichtigen.

Liegen Explosionsgefährdungen für eine Wasserstoffanlage vor, sind für die Anlage technische und organisatorische Maßnahmen zu ergreifen (Explosionsschutzkonzept der Anlage). Vorgaben für Schutzmaßnahmen finden sich u. a. im einschlägigen technischen Regelwerk zur Gefahrstoffverordnung (TRGS 720 ff). Sowohl die Beurteilung der Explosionsgefährdung als auch die Festlegung von geeigneten Schutzmaßnahmen ist von einer fachkundigen Person (§ 6 Abs. 11 GefStoffV) vorzunehmen. Die Gefährdungsbeurteilung und die Schutzmaßnahmen zum Explosionsschutz sind in einem Explosionsschutzdokument zu dokumentieren.

Beim Umgang mit Wasserstoff müssen Gefährdungen durch Druck gemäß § 3 BetrSichV beurteilt werden. Hierzu sind die Hinweise in der TRBS 2141 „Gefährdungen durch Dampf und Druck“ zu berücksichtigen.

Die TRBS 1201 Teil 1 „Prüfung von Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen“ beschreibt konkrete Hilfestellungen zur Ermittlung und Festlegung von erforderlichen Prüfungen und Kontrollen. Der Arbeitgeber erhält Informationen zur Ermittlung der Prüffrist für wiederkehrende Prüfungen, zur Bewertung und Dokumentation von Prüfungen und zur Auswirkung von Änderungen.

Vor der Verwendung von Arbeitsmitteln sind die Anforderungen nach BetrSichV zu beachten (z. B. Gebrauchstauglichkeit, Prüffristen). Zu den Arbeitsmitteln zählen z. B.:

- Gasanlagen
- Tragbare Gaswarn- und Messgeräte
- Leitern und Tritte
- Handwerkzeuge
- Elektrische Betriebsmittel

Insbesondere sind für die Ermittlung und Bewertung von Gefährdungen für Beschäftigte bei der Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen die Vorgaben der BetrSichV zu beachten (vgl. TRBS 1112 „Instandhaltung“ sowie TRBS 1112 Teil 1 „Explosionsgefährdungen bei und durch Instandhaltungsarbeiten - Beurteilungen und Schutzmaßnahmen“). Bei der Instandhaltung von Gasanlagen dürfen nur geeignete Bauteile (für Druck, Volumenstrom, Temperatur, Werkstoffbeständigkeit) verwendet werden, mindestens technische Dichtheit ist zu gewährleisten.

Beispiele für Gefährdungsfaktoren für Wasserstoffleitungen und –anlagen sind nachfolgend aufgeführt:

### 3.1 Druckgefährdung

Unter Druck stehende Rohrleitungen und Anlagenteile (Expansion ohne Entzündung)

### 3.2 Explosionsgefährdung

#### Bildung von explosionsfähigen Wasserstoff/Luft-Gemischen

Aufgrund der geringen Dichte von Wasserstoff gegenüber Luft strömt freigesetzter Wasserstoff sofort nach oben und kann sich insbesondere unter der Raumdecke ansammeln (z. B. in Dachvorsprüngen). In nicht oder schlecht durchlüfteten Aufstellungsräumen von Wasserstoffanlagen können sich gefährliche Gasansammlungen bilden. Die Explosionsgrenzen des Wasserstoffs (UEG 4 Vol.-%, OEG 77 Vol.-%) sind hierbei zu berücksichtigen. Liegen homogene Gas/Luft-Gemische mit Wasserstoff vor, ist das „sofortige nach oben Strömen“ nicht mehr unbedingt (wie bei freigesetztem reinem Wasserstoff) gegeben.

#### Beispiele für das Auftreten von Gas/Luft-Gemischen:

- Undichte gasführende Systeme
- Freisetzung von Wasserstoff an Abblase- und Entspannungsleitungen oder Atmungsleitungen
- Wasserstofffreisetzung beim Öffnen gasführender Anlagenteile und Rohrleitungen im Rahmen der Instandhaltung
- Bildung von gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre (g. e. A.) im Inneren von Leitungen und Anlagen bei In- und Außerbetriebnahme und Instandhaltung

## Zündquellen

Zündquellen gemäß TRGS 723 „Gefährliche explosionsfähige Gemische - Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Gemische“:

- heiße Oberflächen
- Flammen und heiße Gase
- Zündquellen durch mechanische Reib-, Schlag- und Abtrennvorgänge
- elektrische Anlagen
- elektrische Ausgleichsströme, kathodischer Korrosionsschutz
- statische Elektrizität
- Blitzschlag
- elektromagnetische Felder
- elektromagnetische Strahlung
- ionisierende Strahlung
- Ultraschall
- adiabatische Kompression, Stoßwellen, strömende Gase
- chemische Reaktionen

Aufgrund der niedrigen Mindestzündenergie können Wasserstoff/Luft-Gemische bereits durch Zündquellen mit sehr geringer Energie gezündet werden. Beispiele dafür sind:

- Rostteilchen oder Staubpartikel, die von einem schnell strömenden Wasserstoffstrahl mitgerissen werden, können infolge elektrostatischer Aufladung oder beim Aufprall auf ein Hindernis zündfähige Funken erzeugen.
- Mechanische Reib-, Schlag- und Abriebvorgänge beim Einsatz von Werkzeugen können zündfähige Funken verursachen.
- elektrostatische Aufladung von nicht geerdeten Personen, Arbeitsmitteln und Bauteilen (z. B. metallische Ausblasevorrichtungen, Leitern).
- Stoßwellen beim schnellen Entspannen von unter Druck stehenden Anlagenteilen.

## Brände und Explosionen

Infolge der Entzündung eines explosionsfähigen Gemisches an Abblase- und Entspannungsleitungen ist mit folgenden Auswirkungen zu rechnen:

- Gasbrand bzw. Flammenstrahl
- Druckanstieg infolge verzögerter Zündung einer Gaswolke (ggf. Splitterflug infolge Sekundärereignis)
- Gefahr des Anlaufs von Detonationen v. a. bei Entzündung von explosionsfähigen Wasserstoff/Luft-Gemischen in Rohrleitungen.

Ab ca. 10 Vol.-% Wasserstoff im Gemisch mit Luft sind die Auswirkungen von Explosionen in einem weiten Konzentrationsbereich sehr heftig (zeitlicher maximaler Druckanstieg).

## 3.3 Weitere Gefährdungen

Erstickungsgefahr kann auftreten infolge Sauerstoffverdrängung durch Wasserstoff oder Inertgase (z. B. Stickstoff), die bei Spülvorgängen verwendet werden.

## 4 Hinweise zu Schutzmaßnahmen

### 4.1 Allgemeines

#### Rangfolge der Schutzmaßnahmen

Im Rahmen der im Kapitel 3 beschriebenen Gefährdungsbeurteilung sind geeignete Schutzmaßnahmen unter Berücksichtigung der wasserstoffspezifischen Eigenschaften (STK) zu ermitteln. Hierbei ist die Rangfolge der Schutzmaßnahmen nach dem STOPP-Prinzip zu berücksichtigen (siehe dazu auch DGUV Information 203-090 „Arbeiten an in Betrieb befindlichen Gasleitungen – Handlungshilfe zur Erstellung der Gefährdungsbeurteilung“ bzw. 203-092 „Arbeitssicherheit beim Betrieb von Gasanlagen – Handlungshilfe zur Erstellung der Gefährdungsbeurteilung“).

Im Folgenden wird eine Übersicht zum STOPP-Prinzip mit Auflistung beispielhafter Maßnahmen gegeben, die in den anschließenden Kapiteln ausführlich dargelegt werden.

- **Substitution**

Zum Beispiel Ersatz von Wasserstoff durch Inertgas vor Beginn von Arbeiten an Anlagen und Leitungen.

- **Technische Maßnahmen**

Zum Beispiel Einhaltung spezieller Anforderungen an Arbeitsmittel und Schutzeinrichtungen zum Explosionsschutz.

- **Organisatorische Maßnahmen**

Zum Beispiel Anwendung eines Erlaubnisscheinverfahrens zur Durchführung von Arbeiten.

- **Personen bezogene Maßnahmen**

Zum Beispiel Benutzung geeigneter PSA.

- **Persönliches Verhalten**

Zum Beispiel Unterweisung von Beschäftigten über Gefährdungen und Schutzmaßnahmen.

#### Hinweise zu wasserstoffspezifischen Schutzmaßnahmen

Im Rahmen der Unterweisung sind neben den allgemeinen Schutzmaßnahmen (Tätigkeit, Arbeitsbereich) die wasserstoffspezifischen Gefährdungen und Schutzmaßnahmen zu berücksichtigen.

Die im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung ermittelten wasserstoffspezifischen Schutzmaßnahmen sind in der Betriebsanweisung bzw. Arbeitsfreigabe zu berücksichtigen.

Spezielle PSA betrifft z. B. ableitfähiges Schuhwerk, ableitfähige Schutzkleidung, ableitfähige Handschuhe. Diese ist zu tragen, wenn im Arbeitsbereich mit dem Auftreten von g. e. A. zu rechnen ist (vgl. TRGS 727 „Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen“).

## Tragbare Gaswarngeräte

Bei Instandhaltungsarbeiten mit Überwachung der Konzentration im Arbeitsbereich wird das Auftreten von g. e. A. mit Hilfe von tragbaren Gaswarngeräten erfasst. Wird beim Auftreten von g. e. A. ein Alarm ausgelöst, ist der Gefahrenbereich umgehend zu verlassen. Mitarbeiter, die diese Messungen durchführen, müssen nach TRBS 1112 Teil 1 „Explosionsgefährdung bei und durch Instandhaltungsarbeiten - Beurteilungen und Schutzmaßnahmen“ über die erforderliche Fachkunde verfügen, bezogen auf:

- verwendete Messgeräte bzw. Messverfahren
- Eigenschaften der zu messenden Stoffe (Medium Wasserstoff)
- angewendete Arbeitsverfahren und betriebliche Verhältnisse.

Die Gaswarngeräte müssen für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen für Wasserstoff auf der Grundlage der Europäischen RL 2014/34/EU hinsichtlich ihrer Sicherheit als elektrische Betriebsmittel zulässig und entsprechend gekennzeichnet sein. Zusätzlich muss die messtechnische Funktionsfähigkeit für die vorgesehene Anwendung entsprechend den Anforderungen der RL 2014/34/EU nachgewiesen sein. Die DGUV Information 213-057 „Gaswarneinrichtungen und -geräte für den Explosionsschutz, Einsatz und Betrieb“ liefert hierfür weitere Hinweise. In der EX-RL Anlage 3 „Liste funktionsgeprüfter Gaswarngeräte“ sind für Wasserstoff geeignete Gaswarngeräte aufgelistet.

## Spezielle Anforderungen an Arbeitsmittel und Geräte im Rahmen der Instandhaltung

Muss mit dem Auftreten von g. e. A. im Arbeitsbereich gerechnet werden, sind wirksame Zündquellen zu vermeiden. Bei der Auswahl elektrischer und nicht-elektrischer Geräte und Arbeitsmittel im Sinne der Richtlinie 2014/34/EU sind diese entsprechend der Gerätegruppe II, Kategorie 2 G auszuwählen, soweit sich aus der Gefährdungsbeurteilung keine anderen Anforderungen ergeben, wie es in der TRBS 1112 Teil 1 ausgeführt wird. Die Explosionsgruppe IIC für Wasserstoff ist zu berücksichtigen.

## Handwerkzeuge

Für Wasserstoff ist auch bei einem durch einfache handgeführte Werkzeuge, z. B. Schraubenschlüssel, Zange, Schraubendreher und einfache relativ leichte Geräte, z. B. Leiter, erzeugten Funken, die Möglichkeit einer Entzündung zu unterstellen. Zur Gefährdungsvermeidung findet sich in der TRGS 723 der Hinweis auf die Verwendung von funkenarmen Werkzeugen aus nicht gehärtetem NE-Metall, z. B. Beryllium-Kupfer-Legierung zur Zündfunkenvermeidung, das zu verwenden ist, wenn g. e. A. im Arbeitsbereich nicht sicher vermieden werden kann.

Hinweis: Werkzeuge aus CuBe (Kupfer-Beryllium) sollten ausschließlich nass geschliffen werden. Dies unterbindet die beim Schleifen entstehenden gesundheitsschädlichen Stäube und Dämpfe.

## Sauerstoffmangel

Beim Öffnen einer mit Stickstoff inertisierten Leitung kann im Arbeitsbereich Sauerstoffmangel auftreten. Beispiele für Schutzmaßnahmen:

- technische Belüftung des Arbeitsbereiches
- mit Gaswarngerät Arbeitsbereich auf Sauerstoffmangel überwachen
- Benutzung von Umluft unabhängigen Atemschutzgeräten.

## Brandbekämpfung

Die Unterbrechung des nachströmenden Wasserstoffs ist im Brandfall die bevorzugte Methode der Brandbekämpfung.

## 4.2 Instandhaltungsarbeiten an Wasserstoffleitungen und -anlagen

### 4.2.1 Arbeitsverfahren

#### Gasfreier Zustand

Müssen gasführende Rohrleitungen und Anlagen geöffnet werden, sind Arbeitsverfahren auszuwählen, bei denen das Auftreten gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre im Arbeitsbereich vermieden wird. Dazu zählt das Arbeiten im gasfreien Zustand. Folgende Sachverhalte sind hierbei zu berücksichtigen:

Beiderseits der Arbeitsstelle ist eine gasdichte Absperrung (z. B. mittels Sperrstrecke oder Steckscheiben) zu realisieren und nach dem Entspannen ist der Leitungsabschnitt mit Inertgas zu spülen.

Das Spülen ist vorzunehmen:

- um die Gasfreiheit (bezogen auf Wasserstoff) herzustellen. Dabei wird Wasserstoff mit Inertgas (z. B. Stickstoff) verdrängt.
- um die Gasreinheit herzustellen. Dabei wird das Inertgas (z. B. Stickstoff) mit Wasserstoff verdrängt.

Das Verdrängen von Wasserstoff mit Luft bzw. Verdrängen von Luft mit Wasserstoff ist zu vermeiden, da hierbei das Auftreten von g. e. A. zu erwarten ist. Beim Absaugen von Wasserstoff mit einer Venturidüse kann beim Einsatz von Druckluft g. e. A. entstehen. Die Entstehung von g. e. A. ist zu vermeiden.

Zur Auslegung des Spülvorganges können auch abschätzende Berechnungsmethoden z. B. nach DIN-Fachbericht CEN/TR 15281 oder VDI Richtlinie 2263 Blatt 2 herangezogen werden. Hierbei empfiehlt es sich, zur erstmaligen Inbetriebnahme, die rechnerische Auslegung durch begleitende Messungen zu überprüfen. Ziel dabei ist es, nachzuweisen, dass bei dem angesetzten Spülvolumenstrom und der Spüldauer eine ausreichende Gasfreiheit vorliegt.

Der Arbeitsbereich ist mit einem Gaskonzentrationsmessgerät zu überwachen.

#### Vermeidung von Zündquellen

Kann nicht ausgeschlossen werden, dass Wasserstoff im System verblieben ist, sind Maßnahmen zur Zündquellenvermeidung im Arbeitsbereich zu wählen (z. B. beim Setzen und Ziehen von Steckscheiben).

Bei der Auswahl explosionsgeschützter Arbeitsmittel und Geräte ist u. a. die Explosionsgruppe IIC für Wasserstoff zu berücksichtigen.

Vermeidung elektrostatischer Zündquellen durch Erdung: Bei Verwendung ortsbeweglicher metallischer Arbeitsmittel, z. B. Sperrgerät, Stehleiter, Kannen, Karren, die nicht über die Gesamtanlage geerdet sind, müssen diese geerdet werden und innerhalb des Arbeitsbereiches ein gleiches Potential aufweisen.

#### **4.2.2 Prüfungen und Kontrollen**

Nach Abschluss der Arbeiten ist die Dichtheit der Leitung bzw. Anlage zu prüfen (z. B. mittels geeigneter Gasspürgeräte oder schaubildender Mittel) und zu dokumentieren.

Für die Kontrolle einer ordnungsgemäßen Begasung (unter Betriebsgas setzen) der Leitung bzw. der Anlage ist darauf zu achten, dass der Messbereich des verwendeten Messgerätes dies zulässt (100 Vol.-% Wasserstoff).

#### **4.2.3 Spezielle Hinweise zu Instandhaltungsarbeiten an Wasserstoffleitungen**

##### **Gasfreier Zustand**

Die Herstellung des gasfreien Zustandes in einem Leitungsabschnitt erfolgt z. B. durch Spülen mit Stickstoff. Beim Spülen von Rohrleitungen ist darauf zu achten, dass eine Schichtenbildung in der Leitung vermieden wird, damit kein Wasserstoff in der Leitung verbleibt. Dazu ist eine ausreichend hohe Strömungsgeschwindigkeit in der Leitung erforderlich.

Bei In- und Außerbetriebnahmen, sowie Reparaturarbeiten von Leitungsabschnitten bzw. Netzteilen ist die Spülung so durchzuführen, dass in jedem Leitungsabschnitt die Gasreinheit bzw. Gasfreiheit nachgewiesen wird. Für jeden Endpunkt ist ein Nachweis zu erbringen.

Beim Spülen von Gasleitungen sind die Dichteunterschiede der Gase zu beachten. Gas geringerer Dichte wird durch Gas höherer Dichte (z. B. Stickstoff) vom Leitungstiefpunkt zum -hochpunkt gespült.

Der Spülvorgang muss kontrolliert werden. Die Strömungsgeschwindigkeit in dem zu spülenden Leitungsabschnitt sollte zwischen 3 und 7 m/s liegen. Die Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit kann z. B. am Abblaserohr mit Hilfe einer Differenzdruckmessung erfolgen.

Die bei der vorgenannten Strömungsgeschwindigkeit zur einwandfreien Spülung erforderliche Gasspülmenge muss mindestens das 1,5 fache des Rauminhaltes der Sperrstrecke betragen (siehe dazu auch DVGW G 466-1 (A)).

Der beim Spülen von Gasleitungen austretende Wasserstoff ist gefahrlos abzuführen. Gefahrenbereiche sind zu beachten und eine mögliche Entzündung ist zu berücksichtigen.

Eine ordnungsgemäße Begasung bzw. Inertisierung der Leitung oder Anlage kann mit Hilfe geeigneter Gasmessgeräte kontrolliert werden und ist zu dokumentieren (z. B. Arbeitsfreigabeschein).

Die Durchführung der Inertisierung ist schriftlich im Vorfeld festzulegen (z. B. Arbeitsablaufplan).

Für eine erfolgreiche Inertisierung sind z. B. folgende Kriterien zu beachten:

- Dichteunterschiede der Gase
- Durchmesserunterschiede der Leitungsabschnitte
- Abzweigungen
- Strömungsgeschwindigkeit
- Toträume.

Bei Arbeiten an Gasleitungen in Gebäuden (z. B. Gasinstallation) ist dafür zu sorgen, dass sich keine gefährlichen Gas/Luft-Gemische in den Räumen bilden können.

### **Absperrverfahren**

Absperrsysteme und -verfahren (z. B. Blasensetzgerät, Stoppel-Gerät) müssen für den Einsatz an Wasserstoffleitungen vom Hersteller freigegeben sein.

Das Abquetschen von PE-Leitungen sollte nur zur Störungsbehebung zur Anwendung kommen. Für geplante Arbeiten sollte es wegen der höheren Schleichgasmenge bei Wasserstoff nicht eingesetzt werden.

### **4.2.4 Spezielle Hinweise zu Instandhaltungsarbeiten an Wasserstoffanlagen**

#### **Gasfreier Zustand**

Die Herstellung des gasfreien Zustandes in einem Anlagenabschnitt kann nach dem Druckwechselverfahren - in Anlehnung an TRGS 722 Anhang 2 - erfolgen. Für Sonderfälle (z. B. Totstrecke, Umgangsleitung, Bypass) sind unter Umständen zusätzliche Spülanschlüsse vorzusehen.

Der gasfreie Zustand im Anlagenteil oder der Komponente ist nachzuweisen (z. B. Nachweis mittels Gaskonzentrationsmessgerät) und zu dokumentieren (z. B. Arbeitsfreigabebeschein).

Nach Abschluss der Arbeiten ist der betroffene Anlagenabschnitt wieder unter Betriebsgas zu setzen. Vor dem Einlassen von Betriebsgas ist der Bereich zu inertisieren. Das Verdrängen von Luft mit Wasserstoff ist nicht zulässig, da hierbei das Auftreten von g. e. A. zu erwarten ist. Die Gasreinheit ist nachzuweisen.

## 5 Explosionssicherheit

Eine Unterstützung bei der Erstellung eines Explosionsschutzdokumentes bieten die DGUV Information 213-106 „Explosionsschutzdokument“ sowie DVGW G 440 (M).

### Zoneneinteilung

Die Anlage 4 „Beispielsammlung“ der DGUV Regel 113–001

„Explosionsschutz-Regeln (EX-RL)“ beinhaltet unter Pkt. 1.2.7 „Anlagen zur Herstellung und Verwendung von Wasserstoff“ Beispiele für Zoneneinteilungen für Power-to-Gas Energieanlagen.

Unter Pkt. 4.2.5 „Anlagen für die Einspeisung von Wasserstoff in Gasversorgungsnetze“ ist eine Tabelle zur Zoneneinteilung für Wasserstoff-Einspeiseanlagen eingestellt.

Folgende Punkte sind hierbei besonders zu beachten, z. B.:

- Beim Be- und Entgasen wird das Auftreten von gefährlichen explosionsfähigen Gemischen im System durch Inertisierung vermieden.
- Entlüftungsöffnungen in Räumen sind an höchster Stelle anzuordnen, um Gasansammlungen im Deckenbereich zu vermeiden.
- Die Größen der Be- und Entlüftungsöffnungen betragen jeweils 0,5 % der Grundfläche des Raumes, sofern keine technische Lüftung (mindestens 3-facher Raumlüftungswechsel pro Stunde) vorgesehen ist.
- Eine Gasfreisetzung über Atmungsöffnungen in den Aufstellungsraum für Wasserstoff ist zu vermeiden. Freigesetztes Gas soll über Atmungsleitungen ins Freie geführt werden.
- An den Mündungen von Abblase- und Entspannungsleitungen zur Atmosphäre sind die explosionsgefährdeten Bereiche festzulegen. Die Berechnung des Freistrahls oder der Gaswolke liefert eine Abschätzung zur Ausdehnung des explosionsfähigen Bereiches.

### Zündquellenvermeidung

In den Zonenbereichen muss dafür gesorgt werden, dass wirksame Zündquellen vermieden werden. Bei der Auswahl explosionsgeschützter Arbeitsmittel und Geräte für Wasserstoffanlagen ist dabei auch die Explosionsgruppe für Wasserstoff zu berücksichtigen (IIC).

Aufgrund der geringen Mindestzündenergie von Wasserstoff sind zur Vermeidung elektrostatischer Zündgefahren z. B. folgende Maßnahmen nach TRGS 727 zu berücksichtigen:

- In Aufstellungsräumen der Zone 2 sind ableitfähige Fußböden vorzusehen.
- In allen EX-Bereichen ist ableitfähige Schutzkleidung zu tragen.
- Die Dicke isolierender Beschichtungen für von Wasserstoff berührten Oberflächen (z. B. Korrosionsschutz) im EX-Bereich soll 0,2 mm nicht überschreiten (durch diese Maßnahme werden Büschelentladungen in der Regel verhindert).
- Begrenzung isolierender Oberflächen.

Bei Vorhandensein unterschiedlicher Brenngase sind bezüglich der Geräteauswahl die jeweiligen sicherheitstechnischen Kenngrößen mit den höheren Anforderungen zu berücksichtigen (z. B. Einspeisestelle für Wasserstoff im Aufstellungsraum einer Gas-Druckregel- und Messanlage, Odorieranlage im Aufstellungsraum der Gasanlage).

### Begrenzung von Auswirkungen

An den Mündungen von Abblase- und Entspannungsleitungen zur Atmosphäre sind mögliche Gefährdungen infolge der Entzündung von Wasserstoff zu bewerten (manuelle und automatische Entspannung) und erforderliche Schutzmaßnahmen festzulegen. Mit folgenden Auswirkungen ist bei einer Zündung zu rechnen: Freistrahlf Flamme (Wärmeeinwirkung auf die Umgebung) und Explosionsüberdruck (Druckauswirkung auf die Umgebung) bei verzögerter Zündung.



Abbildung 2 – Gas-Druckregel- und Messanlage

Kommerzielle Programme (z. B. ProNuSs [4] oder PHAST [5]) bieten Möglichkeiten, Gefahrenbereiche zu ermitteln:

- Die Berechnung der Freistrahlf Flamme liefert die Bestrahlungsstärke in Abhängigkeit von der Entfernung. Damit können die erforderlichen Schutzabstände für Personen und bauliche Anlagen festgelegt werden.
- Der bei einer Zündung resultierende Explosionsüberdruck in Abhängigkeit vom Abstand zum Explosionsmittelpunkt ergibt die Schutzabstände für unzulässige Druckeinwirkung auf die Umgebung (Personen, bauliche Anlagen).

Grenzwerte für zulässige Wärmeeinwirkung und Druckauswirkung auf die Umgebung sind z. B. DVGW G 265-3 (A) oder dem Statuspapier DECHEMA [6] zu entnehmen.

## 6 Prüfungen

Prüfungen zum Explosionsschutz sind entsprechend den Anforderungen der BetrSichV durchzuführen (siehe dazu auch TRBS 1201 Teil 1).

Weitere Prüfungen für Energieanlagen werden im einschlägigen DVGW Regelwerk beschrieben.

Hinweise zur Prüfung druckbeaufschlagter Arbeitsmittel einschließlich überwachungsbedürftiger Druckanlagen sind in der TRBS 2141 „Gefährdungen durch Dampf und Druck“ und TRBS 1201 Teil 2 „Prüfungen und Kontrollen bei Gefährdungen durch Dampf und Druck“ aufgeführt.

## Anhang

### Gesetze und Verordnungen

Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)  
Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV)  
Gefahrstoffverordnung (GefStoffV)

### Staatliche Regelwerke

TRBS 1111 Gefährdungsbeurteilung  
TRBS 1112 Instandhaltung  
TRBS 1112 Teil 1 Explosionsgefährdungen bei und durch Instandhaltungsarbeiten – Beurteilung und Schutzmaßnahmen  
TRBS 1201 Prüfungen und Kontrollen von Arbeitsmitteln und überwachungsbedürftigen Anlagen  
TRBS 1201 Teil 1 Prüfung von Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen  
TRBS 1201 Teil 2 Prüfungen und Kontrollen bei Gefährdungen durch Dampf und Druck  
TRBS 2141 Gefährdungen durch Dampf und Druck  
TRGS 720 Gefährliche explosionsfähige Gemische. - Allgemeines  
TRGS 721 Gefährliche explosionsfähige Gemische - Beurteilung der Explosionsgefährdung  
TRGS 722 Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Gemische  
TRGS 723 Gefährliche explosionsfähige Gemische – Vermeidung der Entzündung gefährlicher explosionsfähiger Gemische  
TRGS 724 Gefährliche explosionsfähige Gemische - Maßnahmen des konstruktiven Explosionsschutzes, welche die Auswirkung einer Explosion auf ein unbedenkliches Maß beschränken  
TRGS 725 Gefährliche explosionsfähige Gemische – Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen im Rahmen von Explosionsschutzmaßnahmen  
TRGS 727 Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen  
TRGS 407 Tätigkeiten mit Gasen – Gefährdungsbeurteilung

### DGUV Regelwerke

DGUV Regel 113–001 Explosionsschutz-Regeln (EX-RL) Beispielsammlung  
DGUV Information 213–106 Explosionsschutzdokument  
DGUV Information 203–092 Arbeitssicherheit beim Betrieb von Gasanlagen – Handlungshilfe zur Erstellung der Gefährdungsbeurteilung  
DGUV Information 203–090 Arbeiten an in Betrieb befindlichen Gasleitungen – Handlungshilfe zur Durchführung der Gefährdungsbeurteilung  
DGUV Information 213–057 Gaswarneinrichtungen für den Explosionsschutz - Einsatz und Betrieb

### DVGW Regelwerke

DVGW G 220 (A), 08/2021; Power-to-Gas Energieanlagen: Planung, Fertigung, Errichtung, Prüfung, Inbetriebnahme und Betrieb  
DVGW G 221 (M); 11/2021; Leitfaden zur Anwendung des DVGW-Regelwerks auf die leitungsgebundene Versorgung der Allgemeinheit mit wasserstoffhaltigen Gasen und Wasserstoff  
DVGW G 260 (A), 09/2021, Gasbeschaffenheit  
DVGW G 265-3 (A), 10/2021, Anlagen für die Einspeisung von Wasserstoff in Gasversorgungsnetze; Planung, Fertigung, Errichtung, Prüfung, Inbetriebnahme und Betrieb

DVGW G 440 (M), 12/2021, Explosionsschutzdokument für Anlagen zur leitungsgebundenen Versorgung der Allgemeinheit mit Gas und Wasserstoff

DVGW G 466-1 (A), 02/2021, Gasleitungen aus Stahlrohren für einen Auslegungsdruck von mehr als 16 bar; Betrieb und Instandhaltung

DVGW G 655 (M):04/2021, Leitfaden H2-Readiness Gasanwendung

### Weitere spezielle Regelwerke zur Thematik Wasserstoff

DIN EN ISO 13577-2:2021-11 – Entwurf, Industrielle Thermoprozessanlagen und dazugehörige Prozesskomponenten – Sicherheitsanforderungen – Teil 2: Feuerungen und Brennstoffführungssysteme

### Publikationen der European Industrial Gases Association (EIGA)

EIGA IGC Doc 15/06/E, Gaseous Hydrogen Stations

EIGA IGC Doc 121/14, Hydrogen Pipeline Systems

EIGA IGC Doc 211/17, Hydrogen Vent Systems for Customer Applications

### Literaturverzeichnis

[1] GESTIS-Stoffdatenbank <https://gestis.dguv.de>, Gefahrstoffinformationssystem der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung

[2] Sicherheitstechnische Eigenschaften von Gemischen aus Wasserstoff und Erdgas, 14. Kolloquium zur chemischen und physikalischen Sicherheitstechnik, Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), Berlin, 2016

[3] Seemann, A.: Gefährdungen und Schutzmaßnahmen bei Wasserstoffanlagen und –leitungen, GWF Gas+Energie, Nr. 04, S. 42-49, 2022.

[4] ProNuSs Engineering GmbH, ProNuSs® 9 Programm zur Numerischen Störfallsimulation – Bedienungsanleitung, Stand: 10.02.2022.

[5] Phast Process safety software, DNV AS, Høvik, Norwegen

[6] Auswirkungsbetrachtungen bei störungsbedingten Stoff- und Energiefreisetzen in der Prozessindustrie, ProcessNet-Fachgemeinschaft „Anlagen- und Prozesssicherheit“, DECHEMA – Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V., Frankfurt am Main, Dritte Auflage, Januar 2017.

---

### Bildnachweis

Die gezeigten Bilder wurden freundlicherweise zur Verfügung gestellt von:

- Abbildung 1 und 2: MITNETZ GAS/ Christian Kortüm

## Herausgeber

Deutsche Gesetzliche  
Unfallversicherung e.V. (DGUV)

Glinkastraße 40  
10117 Berlin  
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)  
Fax: 030 13001-9876  
E-Mail: [info@dguv.de](mailto:info@dguv.de)  
Internet: [www.dguv.de](http://www.dguv.de)

Sachgebiet Energie und Wasser  
im Fachbereich Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse  
der DGUV [www.dguv.de](http://www.dguv.de) > Webcode: d1094862

Die Fachbereiche der DGUV werden von den Unfallkassen, den branchenbezogenen Berufsgenossenschaften sowie dem Spitzenverband DGUV selbst getragen. Für den Fachbereich Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse ist die Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse der federführende Unfallversicherungsträger und damit auf Bundesebene erster Ansprechpartner in Sachen Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit für Fragen zu diesem Gebiet.

An der Erarbeitung dieser Fachbereich AKTUELL haben mitgewirkt:

- Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse
- Berufsgenossenschaft Holz und Metall
- Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie
- Covestro Deutschland AG
- E.DIS Netz GmbH
- EnBW Energie Baden Württemberg AG
- EWE NETZ GmbH
- DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V
- Gasunie Deutschland Transport Services GmbH
- Mitteldeutsche Netzgesellschaft Gas mbH
- Open Grid Europe GmbH
- Salzgitter Flachstahl GmbH
- SPIE SAG GmbH
- Thyssengas GmbH
- Verwaltungs-Berufsgenossenschaft