

# energie | wasser-praxis

## Versorgung | Wasser

Zur Umweltverträglichkeit  
einer Grundwasserentnahme

## Wärme | Wende

Optimierung von KWK-Anlagen  
schafft Mehrerlöse

## Wasser | Speicher

Hochbehälter  
in Dresden saniert

71. Jahrgang | April 2020 | ISSN 1436-6134



**SICHERHEIT**  
in der Gasversorgung

# Wasserstoffspezifische Abnahmen von Gas-Druckregelanlagen durch Sachverständige

– die Umsetzung des DVGW-Arbeitsblattes G 491, Anhang O

**Zur Umsetzung der Klimaschutzziele muss Deutschland seine CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahr 2050 in der Energieversorgung wie auch in der Versorgung der Industrie mit Grundstoffen praktisch auf null reduzieren. Soll die Gasinfrastruktur hierbei zukünftig noch eine Rolle spielen, kann dies nur über den CO<sub>2</sub>-freien Energieträger Wasserstoff erfolgen. Netze und Anlagen müssen in diesem Zeitraum auf den neuen Betriebsstoff umgestellt werden. Leitungen und Anlagen, die heute errichtet werden, sollten bereits so ausgeführt werden, dass sie für einen zukünftigen Einsatz von Wasserstoff geeignet sind und ggf. mit wenig Aufwand umgestellt werden können. Die in Bezug auf die technische Sicherheit im DVGW-Regelwerk festgelegten Schutzziele gelten hierbei unverändert fort. Die ebenfalls beschriebenen Maßnahmen zur Umsetzung dieser Schutzziele müssen jedoch für den Energieträger Wasserstoff in einigen Punkten in ihrer Wirksamkeit überprüft und ggf. angepasst werden; hierbei kommt den Sachverständigen eine besondere Aufgabe zu. Der Beitrag legt in diesem Zusammenhang die in der Ausgabe 2020 des DVGW-Arbeitsblattes G 491 für Gas-Druckregelanlagen im Grundsatz aufgestellten Prüfpunkte und die Aufgabe der Sachverständigen dar.**

von: Dr. Klaus Steiner (Erdgas & Verwandtes), Andreas Schrader (DVGW e. V.) & Andreas Bode (HGC Hamburg Gas Consult GmbH)

Einrichtungen des Gases „unterliegen (...) der Prüfung und Aufsicht durch das Gaswerk oder ein besonderes Prüfungsamt. Der die Prüfung vornehmende Beamte muss mit der Erzeugung, Abgabe und Verwendung des Leuchtgases und seinen Eigenschaften, sowie mit dem Installationswesen genau vertraut sein.“ – Dieser Auszug aus der Beschreibung der Prüfung und Inbetriebnahme von Gasinstallationen aus dem Jahr 1917 zeigt, dass fachkundige Personen schon seit geraumer Zeit zur Gewährleistung der technischen Sicherheit der Gasinfrastruktur der Versorgung der Allgemeinheit mit Brenngas eine wesentliche Rolle gespielt haben [1]. Heute spielen bei Gas-Druckregelanlagen (GDRA) Beamte eher eine untergeordnete Rolle. Prüfungen, Gutachten und Anhörungen zur Errichtung, Inbetriebnahme und zum Betrieb von GDRA nach dem DVGW-Arbeitsblatt G 491 „Gas-Druckregelanlagen für Eingangsdrücke bis

einschließlich 100 bar“ [2] werden heute von Sachverständigen vorgenommen, die die im DVGW-Arbeitsblatt G 100 [3] festgelegten Qualifikationsanforderungen für das Fachgebiet III erfüllen. Der Nachweis der Qualifikation kann dabei mittels Zertifizierung durch eine akkreditierte Zertifizierungsstelle erfolgen, die die Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17024 erfüllt [4]. Eine solche Stelle ist die DVGW CERT GmbH, die von der Deutschen Akkreditierungsstelle (DAkKS) mit diesen hoheitsrechtlichen Aufgaben beliehen worden ist. Alternativ können auch Sachverständige beauftragt werden, die einer für die Prüfungen von Gasanlagen nach dem DVGW-Arbeitsblatt G 491 anerkannten Inspektionsstelle angehören. Im Geltungsbereich der Gas-HDrLtgV) ist die Akkreditierung der Inspektionsstelle oder das Zertifikat einer akkreditierten Zertifizierungsstelle

eine Voraussetzung für die erforderliche behördliche Anerkennung des Sachverständigen durch die zuständige Behörde, in der Regel die Energieaufsicht, die auf Grundlage der zuvor genannten Voraussetzungen erfolgt [5].

Die erforderlichen Sachverständigentätigkeiten nach dem DVGW-Arbeitsblatt G 491 haben sich in den letzten Jahrzehnten auf Anlagen für die Druck- bzw. Mengenregelung von Erdgasen konzentriert. Mittlerweile erlangen jedoch auch regenerativ erzeugte Gase, allen voran Wasserstoff, eine zunehmende Bedeutung. Legt man das Ziel einer weitgehenden Dekarbonisierung der Gasversorgung bis zum Jahr 2050 zugrunde, müssen Anlagen und Leitungen, die heute neu errichtet werden, auch für den zukünftigen Betrieb mit Wasserstoff geeignet sein. Der DVGW hat auf das Potenzial der erneuerbaren Energien mit der Erweiterung seines

technischen Regelwerkes auf Wasserstoff reagiert und unterstützt damit proaktiv die Forderung des Energiewirtschaftsgesetzes nach einer umweltverträglichen leitungsgebundenen Versorgung der Allgemeinheit mit erneuerbaren Gasen. Dies erfordert, dass die Wasserstoffspezifika bei den Sachverständigentätigkeiten nach dem DVGW-Arbeitsblatt G 491 zur Prüfung von Gas-Druckregelanlagen vor der Inbetriebnahme oder nach wesentlichen Änderungen berücksichtigt werden. Primär wird geprüft, ob beim Betrieb der GDRA mit Wasserstoff oder Wasserstoff-angereicherten Erdgasen die Schutzmaßnahmen und -funktionen der Sicherheitseinrichtungen zur Erreichung der Schutzziele des DVGW-Arbeitsblattes G 491 angemessen und ausreichend sind. Zusätzliche Aufgaben für Sachverständige werden nachfolgend diskutiert.

## Anlagenspezifikation

Die Auswahl der Baugruppen, Komponenten und Bauteile sowie ihr Einsatz, Betrieb und ihre Instandhaltung in GDRA für Wasserstoff und Wasserstoff-angereicherte Erdgase hat unter Beachtung der anerkannten Regeln der Technik bzw. im Geltungsbereich der GasHDrLtgV nach dem Stand der Technik, den Herstellerempfehlungen und Betriebsanleitungen, den geltenden Rechtsnormen und ggf. behördlichen Auflagen zu erfolgen. Ihr Einsatz in der Anlage ist technisch sicher, übersichtlich, zugänglich und bedienbar zu planen und auszuführen. Hierbei sind die Anforderungen des Betriebs und der Instandhaltung zu berücksichtigen.

Die mit der Planung, Fertigung und betriebsbereiten Errichtung von Wasserstoffanlagen und Anlagen für wasserstoffreiche Brenngase beauftragten Unternehmen müssen die dafür erforderliche Befähigung besitzen und nachgewiesen haben. Die Befähigung zur Herstellung von Wasserstoffanlagen gilt als nachgewiesen, wenn die planende bzw. anlagenbauende Firma die entsprechende Bescheinigung nach dem DVGW-Arbeitsblatt G 493-1 besitzt und Referenzen über den Bau von Wasserstoffanlagen vorweisen kann [6]. Andere Referenzen, wie z. B. Gasanlagenbau in der chemischen Industrie, gelten als gleichwertig und können zur Bewertung der Befähigung herangezogen werden.

Die gasdrucktragenden Bauteile, Komponenten und Module der Anlage, insbesondere die Regelstrecken, Sicherheitseinrichtungen und Funktionsleitungen, werden für Wasserstoff, wasser-

stoffreiche Brenngase bzw. Wasserstoff-angereicherte Erdgase ausgelegt und in einer Spezifikation dokumentiert. Dazu gehören auch wasserstoffspezifische Schutzmaßnahmen, wie z. B. Vermeidung von Wasserstoff-induzierten Materialalterungen, Permeationen etc., um das Schutzziel der Integrität und der dauerhaften Dichtheit der GDRA nach dem DVGW-Arbeitsblatt G 491 zu erfüllen. Die Hinweise des DVGW-Merkblattes G 265-3 sind hierbei zu berücksichtigen. Das bedeutet auch, dass z. B. die Standards der „European Industrial Gases Association“ (EIGA) als Erkenntnisquelle zu beachten sind. Erwähnt sei hier, dass das DVGW-Merkblatt G 265-3 zur Zeit des Verfassens dieses Artikels überarbeitet und zu einem DVGW-Arbeitsblatt weiterentwickelt wird. Darüber hinaus wird ein DVGW-Arbeitsblatt für Power-to-Gas-Anlagentechnik (G 220) erarbeitet und das DVGW-Arbeitsblatt G 260 „Gasbeschaffenheit“ bzw. die DIN 30690-1 „Bauteile in Anlagen der Gasversorgung“ überarbeitet. Es ist daher davon auszugehen, dass Anforderungen, die sich aus den Wasserstoffspezifika ergeben, bald detaillierter beschrieben sein werden [7–12]. Des Weiteren werden in der aktuellen Literatur Auslegungs- und Materialfragen diskutiert [13–22].

Zum wasserstoffspezifischen Prüfumfang „Anlagenspezifikation“ für Sachverständige gehört u. a. die Beantwortung folgender Fragen:

- Ist der Betreiber, sein Planer bzw. Anlagenbauer bezüglich Wasserstoff hinreichend erfahren oder welche Expertise wird bei der wasserstoffspezifischen Auslegung genutzt bzw. ist diese hinreichend zur Erfüllung der Aufgaben?
- Berücksichtigt die Auslegung der GDRA den Stand der Technik und die konkrete Wasserstoffanwendung, die in der Anlagenspezifikation festgelegt wird?
- Sind die grundlegenden technischen Regeln bei der Auslegung der Anlage und der Anlagenteile berücksichtigt worden?
- Sind die Anlagenzustände eindeutig definiert? Werden alle Anlagenzustände bei der Planung, Errichtung und beim Betrieb berücksichtigt?
- Gibt es wasserstoffspezifische Schutzziele und werden diese bei der Auslegung der GDRA hinreichend beachtet?
- Ist ausgeschlossen, dass durch die Auslegung für Wasserstoffanwendungen die Schutzziele des DVGW-Arbeitsblattes G 491 und die Funktion der Bauteile beeinträchtigt werden?

## Herstellernachweise

Der Einsatz von Bauteilen, Komponenten und Baugruppen setzt eine Konformitätsbewertung unter Berücksichtigung europäischer Richtlinien und des Produktsicherheitsgesetzes voraus. Komponenten, Bauteile und Module zum Einsatz in neuen Anlagen müssen vom Hersteller für Wasserstoff und/oder wasserstoffreiche Brenngase spezifiziert, zugelassen und in Verkehr gebracht worden sein.

Komponenten und Baugruppen in GDRA müssen bei der Bestellung für den jeweiligen Einsatz spezifiziert werden. Auf dieser Basis bescheinigt der Hersteller die Eignung und Funktionalität für die konkrete Anwendung (z. B. durch Datenblatt, Produkthandbuch, Konformitätserklärung, Stellungnahme, Prüfbericht oder Betriebsbewahrung). Herstellerangaben müssen zu der Spezifikation des Anlagenbetreibers passen. Bei Unklarheiten kann alternativ eine Zertifizierung durch eine benannte Stelle angefordert werden. Die Bescheinigungen entbinden den Betreiber nicht von seiner Verantwortung zur richtigen und technisch sicheren Auslegung und Betrieb der Anlage, des Weiteren ersetzt sie nicht die erforderlichen Prüfungen und Abnahmen zur Inbetriebnahme. Für die konkrete Anwendung werden bevorzugt betriebsbewährte Baugruppen, Konzepte und Lösungen eingesetzt [23]. Die Eignung der Rohrleitungen der GDRA ist ebenfalls durch den Hersteller zu bestätigen.

Im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung kann der Betreiber bei nicht verfügbarer Herstellererklärungen, z. B. bei der Umstellung oder Nachrüstung von bereits in Betrieb befindlichen Anlagen, die Eignung von Bauteilen, Baugruppen und Rohrleitungen feststellen.

Die DIN 30690-1 legt grundlegende sicherheitstechnische Anforderungen an Bauteile und Komponenten in Gasversorgungsanlagen fest. Darunter fallen auch Anforderungen an Werkstoffe, Wanddickenberechnung drucktra-

gender Bauteile und Bauteilauslegung, Verbindung und Verarbeitung von Formstücken sowie die Prüfungen und Prüfzeugnisse. Die Norm ist Teil des DVGW-Regelwerkes und bei der Auslegung der Anlage zu beachten. Das DVGW-Arbeitsblatt G 491 verweist auf diese Norm. Sie gilt in der aktuellen Ausgabe (Mai 2019) allerdings noch nicht für den Einsatz von Wasserstoff, sodass ggf. zusätzliche Nachweise erforderlich sind. Zur Gewährleistung der technischen Sicherheit können Bauteile und Komponenten auch nach den AD-2000-Merkblättern [24] ausgelegt werden. Sinngemäß sind vergleichbare Anforderungen, wie z. B. die DIN EN 13445 [25] oder das Dokument „ASME Boiler and pressure vessel code“ [26] anzuwenden.

Für den Nachweis der Eignung der Werkstoffe ist grundsätzlich der Hersteller der Produkte und Bauteile verantwortlich. Dies entbindet den Betreiber jedoch nicht von der sorgfältigen Planung und Überprüfung der Angaben und Zertifikate. Die Überprüfung kann anhand von Herstellernachweisen (z. B. Hinweis in Normen, Datenblätter, Erprobung, Betriebsbewahrung, Konformitätserklärungen, Zulassungs- und Prüfzertifikate) erfolgen.

Wasserstoffspezifika werden durch die Anwendung der technischen Regeln und Normen der EIGA und der ISO-Normen berücksichtigt [7-11, 27]. Im Falle von unterschiedlichen Sicherheitsniveaus sind die Anforderungen umzusetzen, die zu einem höheren Sicherheitsniveau führen. Weitere Informationsquellen zu Werkstoffen, Komponenten und Rohrleitungen finden sich u. a. in den folgenden Dokumenten:

- ANSI/AIAA Guide G-095-2017: Guide to Safety of Hydrogen and Hydrogen Systems [28]
- ASME B31.12-2019: Hydrogen Piping and Pipelines [29]
- Canadian Hydrogen Installation Code CAN/BNQ 1784-000/2013 [30]
- ISO 26142: Wasserstoffdetektionsapparate – stationäre Geräte [31]

Zum wasserstoffspezifischen Prüfumfang „Herstellernachweise“ für Sachverständige gehört u. a. die Beantwortung folgender Fragen:

- Ist die Auslegung in den Planungsdokumenten hinreichend beschrieben und schriftlich dokumentiert, sodass ein Hersteller eine Basis für die Erklärung zur Eignung hat?
- Ist der Hersteller qualifiziert, für Wasserstoff, wasserstoffreiche Brenngase oder Wasserstoffangereicherte Erdgase geeignete Komponenten, Module und Bauteile herzustellen und in den Verkehr zu bringen?
- Passen Werkstoffe, Materialien, Werksprüfungen und Werksabnahmen zu den spezifizierten Wasserstoff-Anwendungen?
- Liegen für alle ausgewählten und eingebauten Komponenten, Bauteile und Module Herstellererklärungen für die Eignung in GDRA vor, die Wasserstoff oder wasserstoffreiche Brenngase druck- bzw. mengenregeln?
- Sind die Herstellererklärungen bezüglich der Anfragespezifikation des Betreibers hinreichend, sodass sie die definierte Funktion sicher erfüllen?
- Ist bei Bauteilen, Komponenten und Modulen, insbesondere bei Sicherheitseinrichtungen, deren sichere Funktionalität durch Normen, Erfahrungen aus anderen Branchen, langjährigen Einsatz, Erprobung, Betriebsbewahrung etc. hinreichend belegt?
- Werden bei eichpflichtiger Messtechnik die Anforderungen der technischen Regel der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) TR G 19 erfüllt [32]?
- Ist die Wasserstoffeignung aller Anlagenteile der GDRA in der Anlagen dokumentation ausreichend belegt worden?

## Regelung des H<sub>2</sub>-Flusses

Gas-Druckregelgeräte unterliegen u. a. der Druckgeräterichtlinie (PED). Zusammen mit der Druckabsicherung bildet das Gas-Druckregelgerät ein System zur Drucküberwachung. Anforderun-

gen an Gas-Druckregelgeräte werden im DVGW-Arbeitsblatt G 491, der DIN EN 12186 [33], der DIN EN 334 [34] bzw. der DIN 33822 [35] definiert. Beim Einsatz von Gas-Druckregelgeräten nach DIN EN 334 bzw. DIN 33822 sollte beachtet werden, dass für die Auslegung der Geräte die Durchflusskoeffizienten von Erdgas auf Wasserstoff umgerechnet werden müssen. Darüber hinaus sollte für den Betrieb mindestens eine Reserve von 10 Prozent eingeplant werden.

Zum wasserstoffspezifischen Prüfumfang „Regelung des H<sub>2</sub>-Flusses“ für Sachverständige gehören u. a. folgende Sachverhalte:

- Sind bei der Auslegung der Regelstrecke wasserstoffspezifische Durchflusskoeffizienten berücksichtigt worden?
- Sind die Einstellwerte der Sicherheitseinrichtungen unter Berücksichtigung der Wasserstoffspezifika bescheinigt bzw. dokumentiert?
- Liegt die Gasgeschwindigkeit in Flussrichtung hinter dem Gas-Druckregelgerät im für den sicheren Betrieb zulässigen Bereich?

### Auslegung der Rohr- und Verbindungsleitungen

Die Planung, Errichtung und der Betrieb von Rohr- und Verbindungsleitungen als Teil der GDRA erfolgt nach dem DVGW-Regelwerk. Die erforderliche Berücksichtigung von Wasserstoffspezifika kann durch Umsetzung von weiteren technischen Regeln mit H<sub>2</sub>-Fokus – wie die technischen Regeln der EIGA, ISO-Normen und den in diesem Beitrag aufgeführten Literaturangaben – erfolgen. Erdverlegte Rohrleitungen und Anlagenteile aus Stahl mit einem maximal zulässigen Betriebsdruck (MOP) über 5 bar sind mit einem kathodischen Korrosionsschutz unter Berücksichtigung der Anforderungen der DVGW-Arbeitsblätter GW 10 und GW 24 zu versehen [36, 37]. Zur galvanischen Trennung des aktiven Leitungskorrosionsschutzes von geerdeten Anlagenteilen werden in den auf- und absteigenden Verbindungen zu überflur gelegenen Leitungen und Baugruppen Isolierverbindungen so eingebaut, dass sie im Rahmen von Begehungen visuell inspizierbar sind. Kathodischer Überschutz ist zu vermeiden, die richtige Einstellung der wirksamen Gleichspannung zwischen erdverlegter Rohrleitung und Erde ist zur Inbetriebnahme zu überprüfen [38]. Des Weiteren gehören zum wasserstoffspezifischen Prüfumfang für Sachverständige folgende Punkte:

- Ist es ausreichend, die erdverlegten Verbindungsleitungen für ruhende Beanspruchung auszulegen?
- Werden längere Verbindungsleitungen molchbar ausgeführt?
- Ist bei den Verbindungsleitungen aufgrund einer Gefährdungsbeurteilung ein Leckerkennungssystem für Wasserstoff erforderlich?

### Wasserstoffversprödung

Die Einlagerung von Wasserstoff in das Metallgitter von Stählen verändert die Sprödigkeit des Materials, wodurch der Werkstoff rascher ermüdet. In der Folge kann es zur Rissbildung kommen, das Material versagt aufgrund des Verlustes an Verformungsvermögen. Eine entsprechende Rissbildung durch Wasserstoffschädigung tritt bevorzugt an niedriglegierten Stählen mit großer Härte auf. Voraussetzung für eine Wasserstoffversprödung metallischer Werkstoffe ist das gleichzeitige Vorliegen der folgenden Bedingungen:

- metallische Oberflächen, die eine Anreicherung des Wasserstoffs an der Oberfläche erlauben (Adsorption); metallische Oberflächen können durch Beschädigung und Abrieb entstehen,
- anschließende Absorption, den Eintritt des atomaren Wasserstoffs in das Metallgitter des Werkstoffs und
- die dynamisch-plastischen Verformungen des Materials insbesondere bei höheren Drücken mit Druckwechselbeanspruchungen.

Schweißnähte sind nicht unbedingt stärker als Volumenmaterial betroffen, sofern sie ausreichend wärmebehandelt worden sind. Werkstoffempfehlungen zur Begrenzung der Wasserstoffversprödung für Wasserstoffleitungen und Anlagen werden in den EIGA- und ISO-Standards bzw. Fachbüchern und Fachaufsätzen gegeben [8–10, 13–19, 21–22, 24–30, 39, 40].

Der Betreiber der GDRA berücksichtigt die Gefährdung durch Wasserstoffversprödung in seiner Gefährdungsbeurteilung. Wenn Unsicherheiten hinsichtlich des Risikos der Wasserstoffversprödung bestehen, muss der Betreiber für eine eindeutige Klärung des Sachverhaltes sorgen. Hierzu kann u. a. ein zertifizierter, öffentlich bestellter oder amtlich anerkannter Sachverständiger für metallische Werkstoffe, eine Prüforganisation bzw. eine Behörde wie die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) ge-



hört werden. Zum wasserstoffspezifischen Prüfumfang „Wasserstoffversprödung“ für Sachverständige gehören dabei u. a. folgende Fragen:

- Werden Werkstoffe verwendet, die in Standards für Wasserstoffanwendungen empfohlen werden?
- Liegt ggf. eine Unbedenklichkeitsbescheinigung eines Sachverständigen für Werkstoffe vor?
- Sind die Hersteller- bzw. Lieferantenzertifikate ausreichend, um die Anforderungen der Spezifikation zu erfüllen?
- Werden Werkstoffen mit hoher Zugfestigkeit vermieden?
- Sind Rohrleitungen, Formteile und Komponenten bezüglich einer Wasserstoffversprödung nachvollziehbar ausgelegt, hergestellt und bescheinigt worden?

### Permeation

Permeation bezeichnet die Fähigkeit eines Stoffes (Permeat), einen Feststoff zu durchdringen. Treibende Kraft hinter der Permeation sind Konzentrationsunterschiede des wandernden Stoffes. Die Permeation ist abhängig von den molekularen Eigenschaften des Permeats und des Feststoffes, der durchdrungen wird, sowie von Temperatur und Druckunterschieden. Die Neigung von Wasserstoff zur Permeation ist aufgrund der geringen Molekülgröße deutlich höher als bei Methan bzw. Erdgas. Druckwasserstoff in drucktragenden Teilen wandert umso schneller durch Wandmaterialien, desto höher der Druck in den drucktragenden Komponenten ist. Im Wasserstoff-Sicherheits-Kompendium des Deutschen Wasserstoff- und Brennstoffzellenverbandes (DWV) wird beschrieben, dass Permeation in Stahltanks und Druckgasflaschen praktisch ausgeschlossen werden kann [41]. Übertragen auf die Komponenten und Rohrleitungen aus Stahl bedeutet dies ebenfalls, dass durch Permeation Wasserstoff praktisch nicht verloren geht.

Der Betreiber der GDRA weist anhand von Herstellererklärungen, experimentell oder rechnerisch mit Literatur-

daten nach, dass keine sicherheitstechnischen Gefährdungen auftreten können [41, 42]. Die Angaben werden vom Sachverständigen geprüft.

### Wechselwirkungen mit anderen verbundenen Leitungen – Anforderungen der Gashochdruckleitungsverordnung

Die Gashochdruckleitungsverordnung fordert zur Inbetriebnahme der GDRA die Prüfung eines Sachverständigen zur Wechselwirkung mit anderen verbundenen Leitungen. Darüber ist eine Bescheinigung des Sachverständigen erforderlich, dass keine sicherheitstechnischen Bedenken bestehen. Bei Wasserstoffanwendungen bedarf es hier zusätzlich einer Unbedenklichkeitsbescheinigung, dass das vor- bzw. nachgeschaltete Netz einschließlich der angeschlossenen Verbraucher für Wasserstoff bzw. die spezifizierte Erdgas-Wasserstoff-Mischung geeignet ist. Es ist davon auszugehen, dass keine sicherheitstechnischen Bedenken bestehen, wenn das vor- bzw. nachgeschaltete Netz die Anforderungen an die Gasbeschaffenheit der DVGW-Arbeitsblätter G 260 und G 262 inklusive der anlagentechnischen Einschränkungen (Verdichter, Speicher, CNG-Tankstelle etc.) erfüllt. Für den Sachverständigen bleibt aber folgender wasserstoffspezifischer Prüfumfang „Anforderungen der GasHDrLtgV“ bestehen:

- Liegen – falls erforderlich – Betreibererklärungen oder Gutachten von Sachverständigen vor, die die Unbedenklichkeit des vor- bzw. nachgeschalteten Netzes bezüglich Wasserstoffkonzentrationen von > 10 Prozent Volumenanteile bescheinigen?
- Können durch die Auslegung der GDRA unzulässige Wasserstoffkonzentrationen in den verbundenen Leitungen bzw. Netzen entstehen?
- Enthält die GDRA technische Einrichtungen, die unzulässige Wasserstoffkonzentrationen in den verbundenen Leitungen bzw. Netzen wirksam verhindern (z. B. Vermeidung von Wasserstoffanreicherungen in Pendelzo-

nen, bei verringerten Abnahmen in Teilnetzen, Mehrseiteneinspeisung mit Wasserstoff in Netzabschnitte)?

- Wurden über die verbundenen Leitungen früher wasserstoffreiche Brenngase transportiert bzw. verteilt, sodass von einer höheren Wasserstoffverträglichkeit ausgegangen werden kann (Beispiel: ehemalige Stadt- und Kokereigasnetze)?
- Liegt eine betriebliche Erprobung und Feststellung der Betriebsbewährung für die verbundenen Leitungen vor, die eine höhere Wasserstoffkonzentration erlaubt?
- Erfüllen die verbundenen Leitungen bzw. Netze Anforderungen einer technischen Regel, die die Umwidmung reiner Erdgas- zu Wasserstoffleitungen bzw. Leitungen für wasserstoffreiche Brenngase oder Wasserstoff-angereicherte Erdgase erlauben (z. B. zukünftiges DVGW-Arbeitsblatt G 409)?
- Wurden Stähle in Hochdruckleitungen eingesetzt, die auch bei niedrigen Wasserstoffkonzentrationen von < 10 Prozent eine Erhöhung der wasserstoffinduzierten Rissfortschrittsgeschwindigkeit wahrscheinlich erscheinen lassen [17]?

### Sicherheitsdatenblätter

Sicherheitsdatenblätter nach § 6 der Gefahrstoffverordnung bzw. der europäischen REACH-Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 [43] sind für alle vorkommenden Gase und Stoffe mit Informationen zu möglichen Gefährdungen bereitzustellen. Hierbei sind auch mögliche Gase und Stoffe in Anfahr-, Abfahr- und Umschaltprozessen zu berücksichtigen. Im Internet können Leitlinien zur Erstellung REACH-konformer Sicherheitsdatenblätter bei der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) abgerufen werden; nationale Anforderungen werden in der TRGS 220 festgelegt [44, 45]. Musterdokumente sind beim DVGW verfügbar.

Das Explosionsschutzdokument und die Sicherheitsdatenblätter müssen zur Inbetriebnahme der GDRA vorliegen. Wechselwirkungen mit benachbarten

Anlagen und der Erdgasinfrastruktur sind zu berücksichtigen.

Prüfungsumfang des Sachverständigen für Sicherheitsdatenblätter:

- Prüfung der Sicherheitsdatenblätter auf Konformität zu den Anforderungen der Gefahrstoffverordnung

### Gasdichtheit

Die Gasdichtheit der Anlage ist gemäß den Anforderungen und Maßnahmen des DVGW-Arbeitsblattes G 491 in der Regel mit Inertgas nachzuweisen, zu prüfen und zu dokumentieren. Die Gasspezifika müssen bei der Prüfung berücksichtigt werden. Zusätzlich ist eine Prüfung der Gasdichtheit unter maximalem Betriebsdruck mit Betriebsgas durchzuführen.

Die Freisetzung von Gasen ist konstruktiv und operativ für alle Betriebszustände zu vermeiden. Kontrollierte Gasfreisetzungen sind für folgende Funktionen und Betriebszustände zulässig:

- Störungen und „Gefahr im Verzuge“
- Freisetzung von Gasen bei funktionell bedingt durchströmten Geräten (wie z. B. bei Instrumenten der Gasanalytik) und beim Ansprechen von Sicherheits-Abblaseventilen
- Druckentspannung der Anlage bei Instandhaltungsarbeiten

Prüfungsumfang „Gasdichtheit“ des Sachverständigen:

- Prüfung der GDRA auf Dichtheit vor der Inbetriebnahme
- Bescheinigung der Dichtheit der Anlage zur Inbetriebnahme

### Explosionsschutz

Bei der Errichtung und dem Betrieb einer GDRA für Wasserstoff oder Wasserstoff-angereichertem Erdgas sind die Anforderungen an den Explosionsschutz zu beachten, wobei die Gefährdungen durch die gasförmigen Brennstoffe berücksichtigt werden müssen. Wasserstoffspezifika sind dabei zu beachten. Die Festlegung der explosionsgefährdeten Bereiche muss mit anerkannten Verfahren unter Berücksichtigung der TRBS 2152 erfolgen. Als Erkenntnisquellen können – soweit anwendbar – die Beispiele der DGUV-Regel 113-001 „Explosionsschutzregeln (EX-RL) und das DVGW-Arbeitsblatt G 491 herangezogen werden. Zu beachten ist dabei insbesondere das Kapitel 1.2.7 „Anlagen zur Herstellung und Verwendung von Wasserstoff“ der Beispielsammlung der Explosionsschutzregeln [46, 47].

Vor der ersten Inbetriebnahme und nach prüfpflichtigen Änderungen ist die Explosionssicherheit der Anlagen durch eine zur Prüfung befähigte Person oder eine zugelassene Überwachungsstelle gemäß § 15 und Anhang 2 Abschnitt 3 BetrSichV zu prüfen [48]. Zum Prüfungsumfang gehören unter der Berücksichtigung der Prüfergebnisse nach Kap. 8 und 9:

- Prüfung auf Explosionssicherheit unter Berücksichtigung der Wasserstoffspezifika vor der Inbetriebnahme,
- Bescheinigung der Explosionssicherheit.

## Wasserstoff ist Ihr Metier? Unseres auch!

Platzieren Sie Ihre Anzeige in der DVGW energie | wasser-praxis 2020 und profitieren Sie von wiederkehrenden redaktionellen Schwerpunkten zum Trendthema Wasserstoff.



energie | wasser-praxis

### Kontakt

Nadine Heckinger  
0228 9191-452, heckinger@wvgw.de  
Dina Schmidt  
0228 9191-453, schmidt@wvgw.de

## Odorierung

Odorieranlagen zur Odorierung des Wasserstoffs und der Wasserstoff-angereicherten Erdgase sind, sofern erforderlich, nach dem DVGW-Arbeitsblatt G 280 [49] zu errichten und zu betreiben. Dabei sind das DVGW-Arbeitsblatt G 491 [2] sowie die TA-Luft [50], das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) [51], die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) [52] und die Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) [48] zu beachten. Prüfungen zur Inbetriebnahme und im Betrieb sowie zur Prüfung befähigte Personen bzw. Sachverständige sind im DVGW-Arbeitsblatt G 280 festgelegt.

Zur Gewährleistung der Interoperabilität der durch die GDRA verbundenen Leitungen, Netze und/oder Folgeanwendung sind folgende Anforderungen vom Anlagenbetreiber zu erfüllen und vom Sachverständigen vor der Inbetriebnahme zu überprüfen:

- Bei der Wahl des Odoriermittels und den erforderlichen Mindestkonzentrationen sind die Vorgaben des nachgelagerten Netzbetreibers vorrangig anzuwenden.
- Die technischen Mindestbedingungen des nachgelagerten Netzbetreibers werden beachtet.
- Das gewählte Odoriermittel im Wasserstoff bzw. wasserstoffreichen Brenngasen/Wasserstoff-angereicherten Erdgasen muss chemisch stabil bleiben.
- Die Wirksamkeit des Odoriermittels im Wasserstoff, wasserstoffreichen Brenngasen bzw. Wasserstoff-angereicherten Erdgasen muss nach dem DVGW-Arbeitsblatt G 280 nachgewiesen und wiederholt kontrolliert werden.
- Querempfindlichkeiten im Mischgas nach der Regelanlage, die zur Beeinträchtigung der Wirksamkeit der Odoriermittel führen, sind nachweislich zu vermeiden. Die Anforderungen des DVGW-Arbeitsblattes G 280 zur Mischung von Gasen mit unterschiedlichen Odoriermitteln werden beachtet. In Abstimmung mit dem nachgelagerten Netzbetrei-

ber weist der Anlagenbetreiber der GDRA dies mit den Prüfverfahren des DVGW-Arbeitsblattes G 280 zur Inbetriebnahme und mit regelmäßigen Wiederholungsprüfungen nach. Eine jährliche Wiederholungsprüfung ist einzuhalten.

Aufgrund von Feldversuchen wird bei volumetrischen Wasserstoffanteilen bis zu 10 Volumenprozent (Vol.-%) davon ausgegangen, dass die für Erdgas üblichen Odoriermittel eingesetzt werden können. Auf die Odorierung kann verzichtet werden, wenn die Sicherheit durch andere Maßnahmen erreicht werden kann.

## Wesentliche und prüfpflichtige Änderungen

Wesentliche Änderungen im Sinne des DVGW-Arbeitsblattes G 491 sind alle Änderungen, die das Sicherheitskonzept der Anlage berühren. Zu den Wasserstoff-induzierten wesentlichen Änderungen gehören u. a.:

- wasserstoffspezifische Ergänzungen und Änderungen der Sicherheitstechnik und Schutzfunktionen;
- Anpassung der Auslegungsparameter oder Einstellungen der Sicherheitseinrichtungen, die durch eine wasserstoffinduzierte Veränderung der Gasbeschaffenheiten verursacht werden;
- Materialänderungen, die die Eignung von Teilen der GDRA für Wasserstoff beeinträchtigen.

Bei einer Umstellung der Gasart, wie z. B. von Erdgas zu Wasserstoff, wasserstoffreichen Brenngasen oder Wasserstoff-angereicherten Erdgasen, hat der Betreiber im Rahmen einer Gefährdungsbeurteilung zu bewerten, ob eine wesentliche Änderung vorliegt. Wenn Unsicherheiten über das Vorliegen einer wesentlichen Änderung bestehen, muss der Betreiber für eine eindeutige Klärung des Sachverhaltes sorgen. Hierzu kann u. a. ein Sachverständiger gehört werden.

Änderungen an Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen sind prüfpflichtig, soweit sie Einfluss auf die Sicherheit

der Ex-Anlage haben. Dies ist gegeben, wenn aufgrund der Änderungen eine Anpassung des Explosionsschutzkonzeptes oder die Ableitung sicherheitstechnischer Maßnahmen erforderlich sind [53].

Die Ergänzung einer Wasserstoffeinspeisung in einer bestehenden GDRA ist im Sinne des DVGW-Arbeitsblattes G 491 eine wesentliche und im Sinne § 15 BetrSichV eine prüfpflichtige Änderung. Das Explosionsschutzkonzept der Anlage ist entsprechend anzupassen. Bei Änderungen des Explosionsschutzkonzeptes sind die Anforderungen des DVGW-Arbeitsblattes G 491 zu berücksichtigen bzw. sinngemäß anzuwenden.

Prüfumfang und -grenzen sind im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung unter Berücksichtigung der Anforderungen des DVGW-Arbeitsblattes G 491, der GefStoffV und der BetrSichV festzulegen.

## Prüfungen zur Inbetriebnahme

Die Prüfungen der GDRA vor der Inbetriebnahme sowie der verbundenen Leitungen erfolgt nach den Vorgaben des DVGW-Arbeitsblattes G 491 unter Berücksichtigung des oben diskutierten zusätzlichen Prüfumfanga. Inwiefern zusätzliche Wasserstoffspezifika zu beachten sind, folgt aus der Gefährdungsbeurteilung des Betreibers. Insbesondere muss sich der Prüfer vergewissern, dass Herstellerbescheinigungen, Gerätenummern und Auslegungskriterien zu den eingebauten Geräten und dass die eingebauten Geräte zu den wasserstoffspezifischen Anforderungen passen. Weiterer Prüfumfang für Sachverständige und zur Prüfung befähigte Personen zur Inbetriebnahme sind u. a. folgende Punkte:

- Ist die Anlage für Wasserstoff technisch dicht?
- Sind für die wasserstoffspezifischen Schutzfunktionen geeignete technische Einrichtungen vorhanden und gemäß Planung umgesetzt worden?
- Liegt ein wasserstoffspezifisches Ursachen-Wirkungs-Diagramm oder eine Gefährdungsbeurteilung mit



Folgemaßnahmen bzw. erforderlichen Sicherheitseinrichtungen vor?

- Ist die Funktion der wasserstoffspezifischen Sicherheitseinrichtungen gegeben und aller Wahrscheinlichkeit nach bis zur nächsten Funktionskontrolle gewährleistet?
- Werden die Einstellwerte und Prüfwerte der Sicherheitseinrichtungen dokumentiert?
- Liegt das wasserstoffspezifische Explosionsschutzdokument vor?
- Sind die Wasserstoffspezifika der GDRA in der Anlagendokumentation ausreichend dokumentiert?

## Betrieb

Der Betrieb der GDRA für Wasserstoff, wasserstoffreiche Brenngase und Wasserstoff-angereicherte Erdgase kann in Anlehnung an das DVGW-Arbeitsblatt G 495 erfolgen [54]. Wasserstoffrelevante betriebliche Verfahrensanweisung sowie Sicherheits- und Betriebskonzepte müssen zur Inbetriebnahme vorliegen, zudem muss die Betriebsorganisation auf Wasserstoff vorbereitet sein. Dies ist mit einem wasserstoffspezifischen Schulungsplan mit Wiederholungsschulungen und Übungen umzusetzen. Die Berücksichtigung der Hinweise aus der Fachliteratur wird empfohlen [55].

## Schlussfolgerungen

Das Einschalten eines Sachverständigen bei der Planung, Errichtung und Inbetriebnahme führt zu einer qualitativ hochwertigen und sicher zu betrei-

benden Gas-Druckregelanlage, insbesondere, wenn Schutzmaßnahmen und deren Umsetzung im Einzelfall besonders zu bewerten sind. Zudem trägt es zur Rechtssicherheit des Betriebes bei. Tätigkeiten der Sachverständigen haben sich bewährt. Die Aufgaben der Sachverständigen beschränken sich aber nicht nur auf Prüfungen und Begutachtungen zur Inbetriebnahme der GDRA – sie können auch die in Normen und DVGW-Regeln festgelegten (Wiederholungs-)Prüfungen vornehmen bzw. unterstützen, gutachterliche Äußerungen erstellen, vor Aufnahme von Arbeiten zur Beurteilung dieser angehört werden, wesentliche Änderungen beurteilen, Schäden bewerten, Dokumentationen erstellen oder beraten.

Die Öffnung der Erdgasinfrastruktur und des DVGW-Regelwerkes für Wasserstoff und die Umstellung von Gasanlagen von Erdgas auf Wasserstoff bedeuten neue wasserstoffspezifische Aufgaben für Sachverständige. Solche Zusatzaufgaben sind relativ neu und der Umgang mit ihnen muss von den Experten der Branche eingehend beraten und definiert werden. Darüber hinaus wird die Qualifikation der Sachverständigen auch in den Unternehmen benötigt, um die technische Bewertung der Infrastruktur und die Umstellungsprozesse fachlich zu begleiten. Die Erfahrungen aus den Prüfungen und Abnahmen müssen in das DVGW-Regelwerk zurückfließen, wenn die technische Regelsetzung im Rahmen der technischen Selbstverwaltung Bestand haben

soll. Hierzu leistet dieser Aufsatz einen Beitrag, indem wasserstoffspezifische Zusatzaufgaben für Sachverständige infolge der Überarbeitung und Ausweitung des Anwendungsbereichs des DVGW-Arbeitsblattes G 491 für GDRA diskutiert werden. ■



Das vollständige Literaturverzeichnis zum Beitrag finden Sie unter [www.energie-wasser-praxis.de](http://www.energie-wasser-praxis.de) oder über den Direktlink im E-Paper.

## Die Autoren

**Dr. Klaus Steiner** ist Gründer des Ingenieurbüros Erdgas & Verwandtes und freiberuflich als Berater in der Erdgasbranche tätig.

**Andreas Schrader** ist Leiter Gasinfrastruktur in der Einheit Gastechnologien und Energiesysteme der DVGW-Hauptgeschäftsstelle in Bonn.

**Andreas Bode** ist bei der HGC Hamburg Gas Consult GmbH tätig.

Kontakt:

Dr. Klaus Steiner  
Erdgas & Verwandtes  
Neulingsiepen 40  
44795 Bochum  
Tel.: 0151 4070 3190  
E-Mail: klaus-christoph.steiner@t-online.de



Die **SHT, Sanitär- und Heizungstechnik Ausgabe 3-2020**, enthält Beiträge zu den Themen Sanitär-, Heizungs- sowie Lüftungstechnik und stellt Referenzobjekte sowie neue Produkte und Normen aus diesen Bereichen vor. Lesen Sie darüber hinaus u. a. mehr zu den Themen:

- **Installation**  
Rohrsysteme: Sicherheit durch Systemtechnik
- **Pflegeeinrichtungen**  
Trinkwasserhygiene: Wie Verbrühungen vermeiden?
- **Abwasserwärmenutzung**  
Abwasserkanäle: Abwasser zum Heizen nutzen

Weitere Nachrichten, Termine und Informationen unter [www.sht-online.de](http://www.sht-online.de).  
Kostenloses Probeheft unter [vertrieb@krammerag.de](mailto:vertrieb@krammerag.de).

# **Wasserstoffspezifische Abnahmen von Gas-Druckregelanlagen durch Sachverständige – die Umsetzung des DVGW-Arbeitsblattes G 491, Anhang O**

von: Dr. Klaus Steiner (Erdgas & Verwandtes), Andreas Schrader (DVGW e. V.) & Andreas Bode (HGC Hamburg Gas Consult GmbH)

## Literatur

- [1] Schilling, E., Bunte, H.: Handbuch der Gastechnik, Band VI; Verteilung, Messung und Einrichtung des Gases, R. Oldenbourg Verlag, München und Berlin, 1917.
- [2] DVGW-Arbeitsblatt G 491: Gas-Druckregelanlagen für Eingangsdrücke bis einschließlich 100 bar.
- [3] DVGW-Arbeitsblatt G 100: Qualifikationsanforderungen an Sachverständige für Energieanlagen der Gasversorgung.
- [4] DIN EN ISO/IEC 17024: Konformitätsbewertung – Allgemeine Anforderungen an Stellen, die Personen zertifizieren.
- [5] Verordnung über Gashochdruckleitungen (GasHDrLtgV).
- [6] DVGW-Arbeitsblatt G 493-1: Qualifikationskriterien für Planer und Hersteller von Gas-Druckregel- und Messanlagen sowie Biogas-Einspeiseanlagen.
- [7] DVGW-Merkblatt G 265-3: Anlagen für die Einspeisung von Wasserstoff in Gasversorgungsnetze – Planung, Fertigung, Errichtung, Prüfung, Inbetriebnahme und Betrieb.
- [8] EIGA IGC Doc 121/14 Hydrogen Pipeline Systems.
- [9] EIGA IGC Doc 15/06/E Gaseous Hydrogen Stations.
- [10] EIGA Doc 211/17 Hydrogen Vent System for Customer Applications.
- [11] DVGW-Arbeitsblatt G 220: Anlagentechnik Power-to-Gas-Energieanlagen: Planung, Fertigung, Errichtung, Prüfung, Inbetriebnahme und Betrieb (in Vorbereitung).
- [12] DIN 30690-1: Bauteile in Anlagen der Gasversorgung – Teil 1: Anforderungen an Bauteile in Gasversorgungsanlagen.
- [13] Steiner, K., Schrader, A.: Technische Regeln für Einspeisesysteme, in: gwf Gas + Energie, 10 (2019), S. 38–46.

- [14] Steiner, K., Schrader, A.: Komponenten von Wasserstoff-Einspeisesystemen, in: *gwf Gas + Energie*, 11 (2019), S. 92–105.
- [15] Marewski, U., Engel, C., Steiner, M.: Umstellung von bestehenden Erdgasleitungen zum Transport von Wasserstoff, in: *3R*, 1–2 (2020), S. 55–64.
- [16] Großmann, A.: Künftige Zustandsbewertung von H<sub>2</sub>-führenden Hochdruckleitungen, in: *3R*, 1–2 (2020), S. 66–69.
- [17] Brauer, H., Simm, M., Wanzenberg, E., Henel, M., Huising, O. J. C.: Energiewende mit Wasserstoffrohren: Mannesmann „H<sub>2</sub>Ready“ und Umstellung existierender Erdgasnetze der Gasunie, in: *Tagungsband zum 34. Oldenburger Rohrleitungsforum, IRO Band 47*, Vulkan Verlag, Essen, (2020), S. 251–275.
- [18] Wanzenberg, E., Henel, M., Brauer, H., Tamaske, E., Neumann, H., Großmann, A., Wackermann, K.: Übergang zur Wasserstoffwirtschaft durch die Nutzbarmachung der bestehenden Infrastruktur, in: *DVGW energie / wasser-praxis*, 10 (2019), S. 42–51.
- [19] Bick, D., Schmücker, A.: H<sub>2</sub>-Tauglichkeit des Ferngasnetzes der Open Grid Europe – Status, erforderliche Anpassungen und Fahrplan zur Umsetzung, in: *Tagungsband zum 34. Oldenburger Rohrleitungsforum, IRO Band 47*, Vulkan Verlag, Essen, (2020), S. 689–693.
- [20] Päßler, S.: Notfallmanagement von EVU, insbesondere bei zukünftig erhöhten Wasserstoffkonzentrationen, in: *Tagungsband zum 34. Oldenburger Rohrleitungsforum, IRO Band 47*, Vulkan Verlag, Essen, (2020), S. 719–726.
- [21] Schnotz, G.: Wasserstoff-Prozentrechnung – Formale Sicherheit, Regelwerk und Abnahme, in: *Tagungsband zum 34. Oldenburger Rohrleitungsforum, IRO Band 47*, Vulkan Verlag, Essen, (2020), S. 728–730.
- [22] Neumann, H.: Werkstoffverhalten mit Wasserstoff, Eignung, GDRMA für Wasserstoff oder Erdgas-Wasserstoff-Gemische, in: *Tagungsband zum 34. Oldenburger Rohrleitungsforum, IRO Band 47*, Vulkan Verlag, Essen, (2020), S. 731–735.
- [23] Steiner, K.: Betriebsbewährt, in der Praxis bewährt – eine technische Sicht der betrieblichen Erprobung und Funktionsnachweis im Gasfach, in: *DVGW energie wasser praxis*, 1 (2020), S. 40–45.
- [24] Verband der TÜV e. V.: *AD 2000 Regelwerk*; Beuth Verlag, Berlin, 2020.
- [25] *DIN EN 13445 Serie: Unbefeuerte Druckbehälter*.
- [26] *ASME Boiler and Pressure Vessel Code*; Beuth Verlag, Berlin, 2019.
- [27] *ISO/TR 15916: Grundsätzliche Betrachtungen zur Sicherheit von Wasserstoffsystemen*.
- [28] *ANSI/AIAA Guide G-095-2017: Guide to Safety of Hydrogen and Hydrogen Systems*.

- [29] ASME B31.12-2019: Hydrogen Piping and Pipelines.
- [30] Canadian Hydrogen Installation Code CAN/BNQ 1784-000/2013.
- [31] ISO 26142: Wasserstoffdetektionsapparate – stationäre Geräte.
- [32] Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB): Technische Richtlinie TR G 19 Messgeräte für Gas.
- [33] DIN EN 12186: Gasinfrastruktur – Gas-Druckregelanlagen für Transport und Verteilung – Funktionale Anforderungen.
- [34] DIN EN 334: Gas-Druckregelgeräte für Eingangsdrücke bis 10 MPa (100 bar).
- [35] DIN 33822: Gas-Druckregelgeräte und Sicherheitseinrichtungen der Gasinstallation für Eingangsdrücke bis 5 bar.
- [36] DVGW-Arbeitsblatt GW 10: Kathodischer Korrosionsschutz (KKS) erdüberdeckter Rohrleitungen, Rohrleitungen in komplexen Anlagen und Lagerbehälter aus Stahl – Planung, Einrichtung, Inbetriebnahme, Betrieb und Instandhaltung.
- [37] DVGW-Arbeitsblatt GW 24: Kathodischer Korrosionsschutz in Verbindung mit explosionsgefährdeten Bereichen; textgleich mit der AfK-Empfehlung Nr. 5.
- [38] Schöneich, H.-G.: Hinweise zur Gefährdung von Rohrleitungsstahl durch Wasserstoffversprödung bei kathodischem Überschutz, in: 3R, 9 (2014), S. 43–51.
- [39] Mohitpour, M., Golshan, H., Murray, A.: Pipeline Design & Construction, ASME Press, New York, 2007.
- [40] Wossog, G.: Handbuch Rohrleitungsbau, Band I: Planung – Herstellung – Errichtung, 4. Aufl., Vulkan Verlag, Essen, 2016.
- [41] Wurster, R., Schmidtchen, U.: DWV Wasserstoff-Sicherheitskompendium, Hrsg. Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellenverband e. V., November 2011.
- [42] Schütz, S., König, J., Glandien, J., Weßing, W., Gollanek, S.: Permeationsuntersuchungen an Kunststoffrohren, in: gwf Gas + Energie, 9 (2017), S. 58–65.
- [43] Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), 18. Dezember 2006, Stand: 10. Oktober 2019.
- [44] Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) 220: Nationale Aspekte beim Erstellen von Sicherheitsdatenblättern.
- [45] Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Bekanntmachung von Technischen Regeln, TRGS 220 „Nationale Aspekte beim Erstellen von Sicherheitsdatenblättern“, GMBI-Bek.-TRGS 220, 2. Mai 2018.

[46] TRBS 2152: Technische Regeln für Betriebssicherheit; Technische Regeln für Gefahrstoffe TRGS 720: Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre.

[47] DGUV-Regel 113-001: Explosionsschutz-Regeln (EX-RL), Carl Heymanns-Verlag, Köln, (2019).

[48] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln (Betriebssicherheitsverordnung – BetrSichV).

[49] DVGW-Arbeitsblatt G 280: Gasodorierung.

[50] Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft.

[51] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes (Wasserhaushaltsgesetz – EHG).

[52] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV).

[53] TRBS 1123, Prüfpflichtige Änderungen von Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen – Ermittlung der Prüfnötigkeit gemäß § 15 Absatz 1 BetrSichV.

[54] DVGW-Arbeitsblatt G 495: Gasanlagen – Betrieb und Instandhaltung.

[55] Rigas, F., Amyotte, P.: Hydrogen Safety, CRC Press, Boca Raton, 2013.