



Foto: Open Grid Europe GmbH

# Gewährleistung der technischen Sicherheit von Gasinfrastrukturen in Deutschland

Über die weitverzweigten Gasinfrastrukturen erfolgt in Deutschland höchst zuverlässig die Versorgung der Zivilbevölkerung mit Wärme und Strom, der Industrie mit Prozess-/Heizwärme und mit Erdgas als Rohstoff für die organische Chemie, der Kraftwerke mit hocheffizienter Primärenergie sowie des Verkehrssektors mit alternativen umweltschonenden Kraftstoffen (CNG/LNG). Dabei zeichnet sich das deutsche Gasversorgungssystem durch ein sehr hohes technisches Sicherheitsniveau aus, das nicht zuletzt auf die stetige Weiterentwicklung technischer Standards im Rahmen der DVGW-Regelwerksarbeit zurückzuführen ist. Im Mittelpunkt des folgenden Beitrags stehen statistische Bewertungen von Schaden- und Unfallereignissen, das ganzheitliche Sicherheitskonzept des DVGW, die Weiterentwicklung der technischen Regelsetzung unter Beachtung aktueller Rechtsprechung und wissenschaftlicher Untersuchungen sowie die Anpassung der DVGW-Kodifizierungsprozesse. Ergänzend werden Aspekte behandelt, die sich durch die Energiewende für die Gasinfrastrukturen ergeben.

Das deutsche Gasnetz umfasst derzeit eine Leitungslänge von rund 550.000 Kilometern und weist dabei einen hohen Grad an Vermaschung auf – national sind praktisch flächendeckend Gasleitungen vorhanden (Abb. 1). Die dargestellte Struktur wurde in den letzten zwei bis drei Dekaden unter Verwendung modernster Technologien und Materialien auf- und ausgebaut.

Aufgrund der geografischen Lage fungiert Deutschland als eine Art Drehscheibe für Gasim- und -exporte und nimmt somit eine zentrale Rolle im Verbund der europäischen Gasinfrastrukturen ein (Abb. 2). Hierbei erfüllt das deutsche Gasnetz die Aufgabe, sowohl Import- und Exportpunkte als auch Produktions- und Verbrauchsschwerpunkte miteinander zu verbinden. Damit stellt es eine der komplexesten technischen Strukturen in Europa dar.

Der Gasverbrauch unterliegt starken Schwankungen und ist u. a. abhängig von Saison, Tageszeit und ökonomischen Zyklen. Kurzzeitige Ungleichgewichte zwischen Angebot und Nachfrage können direkt im Transportnetz abgefangen werden. Dank seiner geologischen Ausprägung verfügt Deutschland über eine auskömmliche Untertagespeicherkapazität, sodass auch größere Verbrauchsschwankungen problemlos ausgeglichen werden können [5].

## Energiedarbietung für den Industriestandort Deutschland

In Deutschland besteht derzeit ein jährlicher Primärenergiebedarf von etwa 3.644 TWh (Abb. 3), der durch verschiedene Energieträger gedeckt wird. 21 Prozent der Primärenergie

werden über Erdgas bereitgestellt. 13 Prozent der benötigten Energie stammen heute bereits aus erneuerbaren Quellen. Die verbleibenden 87 Prozent fossiler Energien sollen langfristig ersetzt werden. Bereits jetzt ist energiepolitisch geplant, den Primärenergiebedarf bis 2040 über mögliche Energieeinsparungen bzw. Effizienzsteigerungen in allen Sektoren erheblich zu reduzieren. Durch die direkte Erzeugung von Strom über Sonne und Wind entfällt beispielsweise die Abwärme in Kraftwerken, welche in Kohlekraftwerken größer ist als die Menge an erzeugtem Strom. Unterstellt

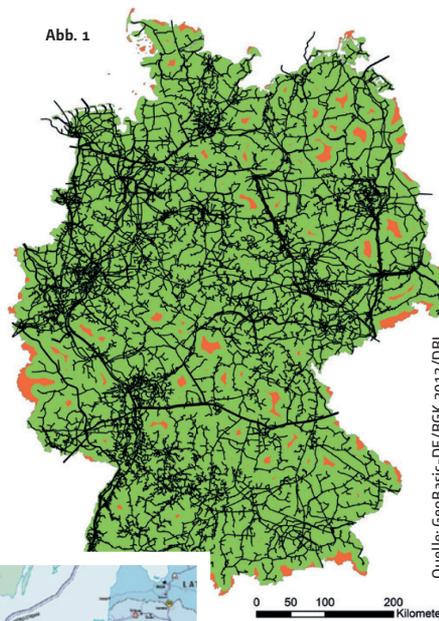


Abb. 1

Quelle: GeoBasic-DE/BGK 2012/DBI

und Verkehr (726 TWh) jeweils deutlich weniger Energie benötigt wird. Bei der Prozesswärme sind die möglichen Energieeinsparungen relativ gering. Zudem ist der Einsatz von Elektrowärmepumpen aufgrund der hier benötigten hohen Temperaturen nur begrenzt möglich. Große Mengen an Energie können hingegen beim Heizwärmebedarf eingespart werden [4].

Mithilfe der erhöhten Anforderungen aus der Wärmeschutzverordnung ist der Heizwärmebedarf bereits beständig kleiner geworden (Abb. 4). Zur weiteren Senkung des Primärenergiebedarfs des Bestands sind noch gewisse Einsparpotenziale über effiziente Gerätetechnik oder Dämmung vorhanden. Einen massiven Beitrag zur Senkung der Emissionen können jedoch insbesondere hocheffiziente Gastechnologien leisten.

Allein durch die Umstellung veralteter Heizungssysteme auf Gasbrennwertkessel könnten etwa 20 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart werden. Damit verbunden wären finanzielle Gewinne, die über die eingesparte Energie erwirtschaftet werden könnten. Zusätzliche Emissionseinsparungen sind über WK-Technologien und Gas-Plus-Technologien wie die Gaswärmepumpe möglich [7].



Abb. 2

Quelle: ENTSOG

man Einsparungen von jährlich etwa drei Prozent, verbleiben weiterhin gut 50 Prozent des aktuellen Primärenergieeinsatzes. Selbst wenn man annimmt, dass gegenüber dem derzeitigen Trend eine dreiprozentige Energieminderung jedes Jahr bis 2040 umgesetzt werden könnte, verbleibt dennoch etwa die Hälfte des heutigen Energieverbrauchs (also etwa 2.000 TWh), welcher nachhaltig gedeckt werden muss [4].

Die aktuell dominierenden Quellen für erneuerbaren Strom sind Windkraft- und Fotovoltaikanlagen, was sich aufgrund der Limitierungen von Biomasse, Wasserkraft und Geothermie auch als zukünftiger Trend abzeichnet. „Strom“ soll energiepolitisch mehr und mehr den Eingang in Anwendungsbereiche wie Haushalte und Industrie finden – es entsteht der Eindruck, dass die (Energie-)Welt auf eine vollständig integrierte Elektrizitätswelt (All-Electric-World) zu-steuert: Energie wird dabei als Strom erzeugt, transportiert und verbraucht. Alternative Gastechnologien finden allerdings zunehmend Einzug in die energiepolitische Diskussion.

Durch Umwandlungs- und Transportverluste kommen beim Verbraucher von den 3.644 TWh Primärenergie etwa 2.454 TWh als Endenergie an. Davon benötigt der Wärmesektor (Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme) mit 1.214 TWh etwa die Hälfte, während für Strom (515 TWh)

### Wie sicher sind die Gasinfrastrukturen Deutschlands?

Die Gewährleistung eines hohen technischen Sicherheitsstandards in den Gasversorgungssystemen ist auch im Zuge der fortschreitenden nationalen und europaweiten Regulierung der Gasmärkte, dem aktuellen Strukturwandel in der Unternehmenslandschaft sowie dem grundlegenden Umbau der Energieversorgungssysteme in Deutschland und in Europa das höchste Ziel volks- und betriebswirtschaftlichen Handelns.

Der DVGW hat das Anfang der 1990er-Jahre ins Leben gerufene ganzheitliche Sicherheitskonzept weiterentwickelt und damit einen Meilenstein für die Bewertung und Vermeidung von Schäden und Unfällen in der Gasversorgung gesetzt. Grundlage für die Erarbeitung des ursachenorientierten Maßnahmenkatalogs ist die statistische/stochastische Analyse

von Ereigniserhebungen aus der Schaden- und Unfallstatistik des DVGW. Mit deren Hilfe konnten für jede ursachenrelevante Zielgruppe konkrete Technik- und Verfahrensverbesserungen sowie weitere Schulungs- und informatorische Maßnahmen entwickelt und eingeführt werden, die für ein nachhaltig hohes Sicherheitsniveau in der deutschen Gasversorgung Sorge tragen. Abbildung 5 dokumentiert die daraus resul-

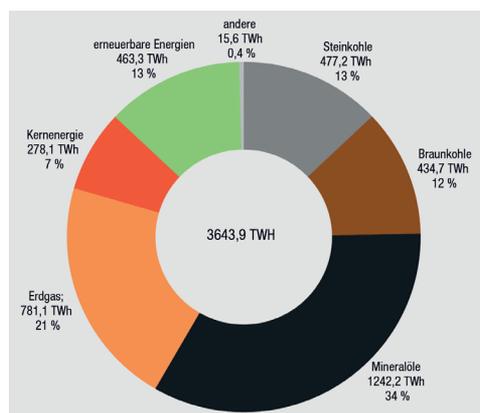


Abb. 3

Quelle: AGEB 2016

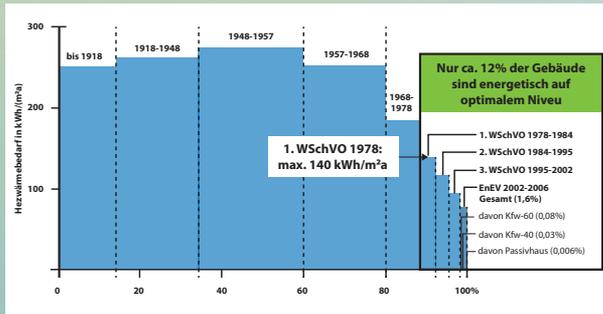


Abb. 4

Quelle: GWI

tierende, deutliche Reduktion der spezifischen Unfallrate im deutschen Gasnetz [3].

Die aus den Ereignisanalysen entwickelten Maßnahmen sind Zug um Zug in den über das DVGW-Regelwerk kodifizierten Stand der Technik eingeflossen und gewährleisten einen vergleichsweise hohen Sicherheitsstandard (Abb. 6), hier fokussiert auf Gasfernleitungen. Den Hauptanteil der Ereignisursachen stellen mechanische Fremdeinwirkungen sowie an zweiter Stelle Korrosionsschäden dar (Abb. 6). Materialfehler und unsachgemäßes Arbeiten (z. B. Anbohr-, Montage-, und Baufehler) folgen an dritter Stelle.

### Ganzheitliches DVGW-Sicherheitskonzept

Im Fokus des ganzheitlichen Sicherheitskonzepts des DVGW liegen geeignete Maßnahmen, die in allen korrespondierenden Technikbereichen implementiert werden (Abb. 7). Es erfolgt also keine Beschränkung auf die Regelwerksarbeit. So spielen u. a. die Qualifizierungen und Zertifizierungen von Produkten, Personen, Dienstleistern und Managementsystemen sowie von Unternehmen eine bedeutende Rolle.

Entsprechend den hohen Standards des Regelwerks werden u. a. die nachfolgenden Qualitätsanforderungen formuliert:

- Die Technik der Gasversorgung und Gasanwendung unterliegt strengen gesetzlichen Regelungen wie z. B. dem Energiewirtschaftsgesetz (EnWG), der Gashochdruckleitungsverordnung (GasHDrLtgV), der Niederdruckanschlussverordnung (NDAV) und der Musterbauordnung (MBO), in denen die Beachtung und Einhaltung des DVGW-Regelwerks als allgemein anerkannte Regel der Technik bzw. als Stand der Technik verankert sind.
- Die in der Gastechnik eingesetzten Produkte, die als Dienstleister tätig werdenden Unternehmen und die für die prüftechnische Abnahme von Gasanlagen eingesetzt

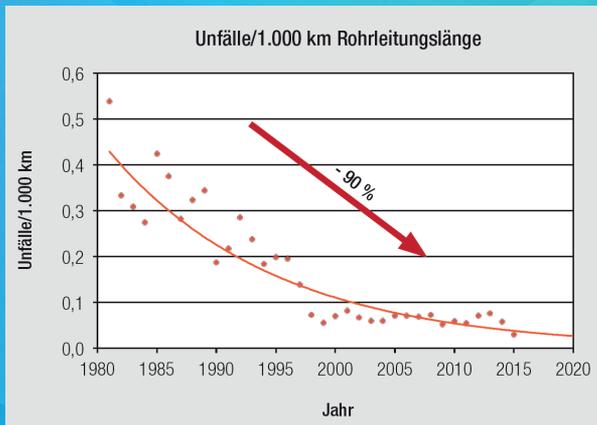
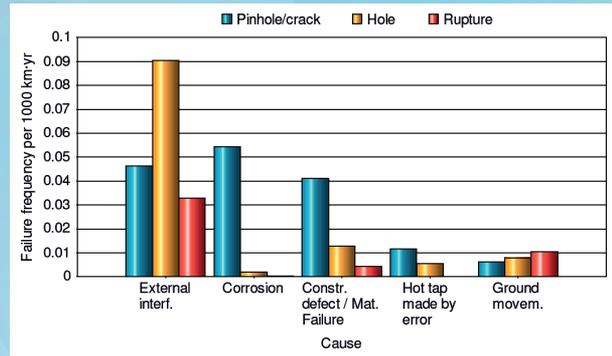


Abb. 5

Quelle: DVGW

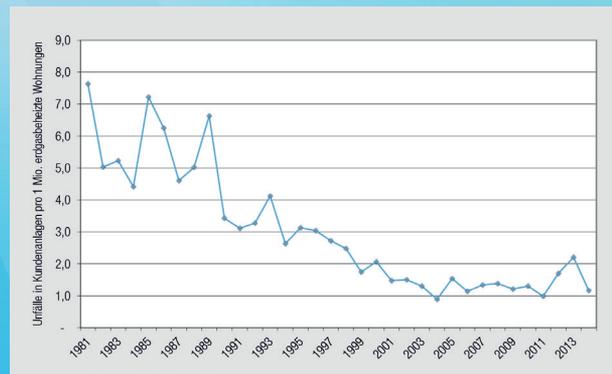
ten Sachkundigen/Sachverständigen werden auf Basis des DVGW-Regelwerks geprüft und zertifiziert.

- Die Arbeiten bei der Erstellung, Änderung und Instandhaltung von Gasleitungen und Gasanlagen dürfen nur durch Unternehmen/Personen durchgeführt werden, die ihre fachliche Qualifikation nachgewiesen haben.
- Ergänzend und zur Überprüfung der Einhaltung der sicherheitstechnischen Anforderungen aus Gesetzen und Technischen Regeln stellt der DVGW der Branche ein praxisorientiertes Technisches Sicherheitsmanagement zur Verfügung (DVGW TSM).



Quelle: EGI

Abb. 6



Quelle: BDEW, DVGW

Abb. 7

### Beachtung von Rechtsprechung und wissenschaftlichen Untersuchungen

Bedingt durch den stetigen technologischen Fortschritt befindet sich das Regelwerk des DVGW in einem kontinuierlichen Entwicklungsprozess, immer mit dem Ziel, den Stand der Technik abzubilden. Auch Entwicklungen in der Rechtsprechung werden in diesen Bewertungen berücksichtigt. Der Eilbeschluss des Niedersächsischen Oberverwaltungsgerichts in Lüneburg (OVG) vom 29. Juni 2011 bewirkte beispielsweise einen sofortigen Baustopp an einigen Abschnitten der Nordeuropäischen Erdgasleitung (NEL). Gleichzeitig bewertete das OVG die Sicherheit von Gasfernleitungen losgelöst von der üblichen Vorgehensweise bei Risiken von technischen Anlagen und verengte die Maßnahmen zur Absicherung dieser Leitungen in einer sicherheitstechnisch bisher nicht bekannten Weise auf Abstände zu Wohngebäuden.

Hierzu hat der DVGW in der „DVGW energie | wasser-praxis“ 1/2012 mit folgenden Kernaussagen Stellung bezogen:

- Versorgungsleitungen müssen an Lebens- und Wirtschaftsräume herangeführt werden.
- Der Schutz der Leitung ist der effektivste Schutz für die Allgemeinheit.

- Im Schutzstreifen verlegte Leitungen benötigen grundsätzlich keine sonstigen Sicherheitsabstände.
- Nicht nur Abstände, sondern alle technischen Maßnahmen müssen berücksichtigt werden.
- Die Untersuchung der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) [1] betrachtet nur Teilaspekte und bezieht sich auf weltweite Unfälle an Pipelines, die nach anderen und teilweise veralteten Standards errichtet und betrieben wurden.

Dementsprechend wird im DVGW-Regelwerk zur Gewährleistung der Sicherheit seit Jahrzehnten v. a. auf zwei Mechanismen gesetzt: den Schutz der Leitungen vor Einwirkungen Dritter und die hohe technische Sicherheitsausstattung der Leitungen. Die Bevorzugung von Sicherheitsabständen gegenüber technischen Sicherheitslösungen entspricht auch deshalb nicht den historischen Erfahrungen des DVGW-Regelwerks, da durch technische Lösungen oft genausoviel oder sogar mehr technische Sicherheit als durch Abstände gewonnen werden kann. In diesem Kontext haben sich besonders folgende primäre Sicherheitsmaßnahmen bewährt:

- Rohrauslegung mit hohem Sicherheitsfaktor (1,6),
- Einbau von Absperrarmaturen,
- 100-prozentige Prüfung von Baustellenschweißnähten,
- hydrostatische Dichtheits- und Festigkeitsprüfung der Rohrabschnitte,
- Kennzeichnung des Trassenverlaufs durch Schilderpfähle,
- passiver und aktiver Korrosionsschutz,
- Überprüfung des Umhüllungsschutzes durch sogenannte Intensivmessung,
- kurzer Begehungs- und Befliegungsrhythmus,
- Inspektion mittels moderner Molchtechnologien,
- Dichtheitskontrolle zur Ermittlung von Kleinstleckagen.

Zusätzlich werden beispielsweise folgende Sicherheitsmaßnahmen eingesetzt:

- höhere Überdeckung,
- Verlegung von Trassenwarnbändern,
- hydrostatischer Stresstest.

Auch in vergleichbaren Regelwerken, wie z. B. der TRFL (Technische Regel für Rohrfernleitungen), werden keine Angaben für Mindestabstände zu bebauten Gebieten genannt, wie durch eine Rückfrage des Landtages von Baden-Württemberg an das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) deutlich wird:

(Landtag von Baden-Württemberg, Drs. 14/6687, S. 28): *„In Kenntnis des Forschungsberichtes der BAM wird auch die neue TRFL keine generellen Vorgaben für einzuhaltende Mindestabstände zu Gebieten mit Wohnbebauung enthalten. Das BMU teilte mit, dass die Neufassung der TRFL bewusst auf die Festsetzung von solchen Sicherheitsabständen verzichte. Man müsse im Einzelfall entscheiden, welche konkreten Maßnahmen man ergreife. Einzelfall in diesem Sinne seien Sonder-situationen, wie sie in der Nr. 5.2.5 TRFL angesprochen und behandelt werden. Nachdem die in dieser Ziffer genannten Einzelmaßnahmen nicht abschließend („z. B.“) aufgeführt seien, könne man die Erhöhung des Abstandes zu diesen Maßnah-*

*men rechnen. Das bedeute, dass im konkreten Einzelfall zu prüfen sei, ob durch eine/mehrere der genannten Maßnahmen das konkrete erhöhte Gefährdungspotential ausgeglichen werden könne/müsse, wobei allein durch die Nähe zur Wohnbebauung noch nicht eine derartige Sondersituation gegeben sei.“*

Insgesamt ist damit auch der Stand der Technik im Sinne der TRFL ein anderer, als das OVG in seinen Eilbeschlüssen annimmt.

Weiterhin ist zu beachten, dass im BAMForschungsbericht 285 teilweise weit in der Vergangenheit liegende Pipelineunfälle bewertet werden. Höchst bedeutsam ist es daher, dass die meisten der dort ausgewerteten Unfälle mit Leitungen verbunden sind, die nach einem heute überholten Stand der Technik errichtet worden sind. Ein anderer großer Teil der Unfälle wiederum ist im außereuropäischen Ausland unter Zugrundelegung anderer Regelwerke vorgekommen. Zudem werden ausschließlich Schadensauswirkungen betrachtet, Unfallursachen oder Schadenseintrittswahrscheinlichkeiten bleiben ausgeblendet. Die Ermittlung von Schadensausmaßen, wie die im Forschungsbericht genannten Gefährdungsradien, oder die Berechnung von Risiken durch den Betrieb von Gasleitungen sind insoweit von sehr begrenzter Aussagekraft [6].

Der Verwaltungsgerichtshof (VGH) Mannheim hat am 14. November 2011 [2] einen Beschluss zu dem BAM-Forschungsbericht erlassen, in dem er sich von der Behauptung, der Forschungsbericht würde konkrete Mindestabstände fordern, distanziert. Außerdem wird in dem Beschluss dargelegt, dass der Stand der Technik auch ohne die Formulierung eindeutiger Mindestabstände sichergestellt werden kann. Ferner hat der VGH Mannheim die grundsätzliche Empfehlung ausgesprochen, nur dann von den Festlegungen des in den Regelwerken niedergelegten Standards abzurücken, wenn gesicherte Erkenntnisfortschritte in Wissenschaft und Technik vorliegen.

Obwohl bereits in der im Jahre 2011 veröffentlichten Stellungnahme des DVGW zum Eilbeschluss des OVG Lüneburg deutlich wird, dass unter Anwendung des DVGW-Regelwerks die Einhaltung des Standes der Technik gewährleistet wird, hat sich der DVGW ergänzend auf wissenschaftlicher Ebene mit der sichertechnischen Bewertung der Integrität von Gasfernleitungen befasst [6].

### Technische Regelsetzung auf Basis wissenschaftlicher Untersuchungen

Der DVGW-Projektkreis „Sicherheit von Gasfernleitungen“ hat die wissenschaftlichen Untersuchungen begleitet und die gewonnenen Ergebnisse für die konkrete Regelsetzungsarbeit der DVGW-Fachgremien verdichtet. Die nachstehend aufgeführten Leitplanken werden zwischenzeitlich im Kontext der technischen Regelsetzung entsprechend beachtet:

- Das deterministische Sicherheitskonzept der Regelsetzung wird beibehalten, wobei probabilistische Ergänzungen möglich sind.
- Der Schutz von Mensch und Umwelt ist durch das Regelwerk zu sichern; heute in der Praxis angewandte Schutzmaßnahmen aus der Anwendungspraxis sind in das Regelwerk aufzunehmen.
- Die Regelwerksdokumente müssen den Stand der Technik

- wiedergeben und alle Erkenntnisquellen einbeziehen.
- Bei der Regelsetzung sind insbesondere die Ereignisse und Ergebnisse aus Schadensstatistiken (DVGW-Schadens- und -Unfallstatistik (G 410), European Gas pipeline Incident data Group (EGIG) etc.) zu berücksichtigen.
- Das Schadensszenario Worst Case (z. B. Vollabriss) ist zu berücksichtigen.
- Sicherheitstechnische Maßnahmen müssen verbindlich vorgegeben, in ihrer Wirksamkeit, Verfügbarkeit und Genauigkeit bewertet und regelmäßig mit neuen Erkenntnisquellen abgeglichen werden.
- Das potenzielle Risiko muss bei Art, Anzahl und Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen berücksichtigt werden.

Damit die Umsetzung der genannten Leitplanken nachvollziehbar dargestellt werden kann, wurde zugleich eine methodische Vorgehensweise entwickelt, bei der die Zielsetzung für jeden Projektkreis, der mit der Bearbeitung eines Regelwerksdokumentes beauftragt wird, verbindlich vorgegeben und durch die Mitglieder bestätigt wird.

Die Leitplanken wurden zusätzlich in die aktuelle Version der Geschäftsordnung GW 100 vom Februar 2016 eingebunden und stellen somit einen verbindlichen Leitfaden für die Gremienarbeit des DVGW dar, in dem insbesondere die Berücksichtigung neuer Erkenntnisquellen fokussiert wird.

### Konkretisierung wissenschaftlicher Erkenntnisse im Stand der Technik

Die DVGW-Regelwerksarbeit speist sich aus dem praktischen Erfahrungsschatz der Unternehmen, den Analysen von Ereignisstatistiken und weiteren einschlägigen Erkenntnisquellen. Gezielte wissenschaftliche Untersuchungen runden das Bewertungsmaterial zur Kodifizierung des Standes der Technik ab. Vor dem Hintergrund verschiedener wissenschaftlicher Untersuchungen, der Fortentwicklung der Technik und daraus gewonnener Erkenntnisse wurde zwischenzeitlich eine Vielzahl von DVGW-Regelwerken angepasst. Beispielhaft werden im Folgenden die grundlegenden Änderungen der DVGW-Arbeitsblätter G 463 und G 495 dargelegt:

Maßgebliche sicherheitstechnische Änderungen im DVGW-Arbeitsblatt G 463 „Gashochdruckleitungen aus Stahlrohren für einen Auslegungsdruck von mehr als 16 bar; Errichtung“, Juli 2016:

- Klarstellung im Anwendungsbereich, dass Nennweite und Auslegungsdruck nicht nach oben hin beschränkt sind,

- Erhöhung der Rohrdeckung auf mindestens 1,0 Meter,
- Gastransportleitungen sind grundsätzlich in den kathodischen Korrosionsschutz einzubinden,
- Gastransportleitungen sind molchbar zu bauen,
- einheitlicher Nutzungsgrad von 0,625,
- erhöhte Anforderungen an die Kennzeichnung von Gastransportleitungen in bebauten Gebieten.

Maßgebliche sicherheitstechnische Änderungen im DVGW-Arbeitsblatt G 495 „Gasanlagen – Betrieb und Instandhaltung“ November 2016:

- Berücksichtigung der aktuellen Arbeitsschutzvorschriften in Hinblick auf den Betrieb und die Prüfung von Gasanlagen,
- Aufnahme von Anforderungen zur Überwachung von Wärmeträgerkreisläufen in Hinblick auf Korrosion,
- Weiterentwicklung der Anforderungen an die zustandsorientierten Instandhaltung (ZOI) von Gasanlagen und Ausweitung der ZOI auf Hausdruckregelgeräte auf Grundlage der Ergebnisse der entsprechenden Forschungsvorhaben,
- stärkere Berücksichtigung konstruktiver Gegebenheiten, wie z. B. doppelte Auslegung von Geräten und Schienen zur Erhöhung der Eigensicherheit und Reduzierung der Ausfallwahrscheinlichkeit,
- Aufnahme der Anforderungen an den Betrieb von mobilen Gas-Druckregel- und Messanlagen.

Aus den Jahren 2015 und 2016 stammen darüber hinaus zahlreiche Neuerscheinungen, die bereits unter Anwendung der erwähnten und erweiterten sicherheitstechnischen Leitplanken entwickelt wurden (siehe Infokasten). Die dargestellten Regelwerksüberarbeitungen resultieren u. a. aus wissenschaftlichen Erkenntnissen mehrerer Untersuchungen und sind somit wesentliche Elemente für die Fortführung der geplanten Veröffentlichungsreihe zur Gewährleistung der technischen Sicherheit der Gasversorgung Deutschlands. Dementsprechend werden in kommenden Ausgaben der „DVGW energie | wasser-praxis“ kontinuierlich Fachveröffentlichungen zum Thema technische Sicherheit und zu den entsprechenden Regelwerken in beliebiger Reihenfolge erscheinen.

Alfred Klees & Anika Groos  
Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.  
[www.dvgw.de](http://www.dvgw.de)

#### Literaturverzeichnis:

- [1] Konersmann, R.; Kühl, C.; Ludwig, J.: Forschungsbericht 285 „Zu den Risiken des Transports flüssiger und gasförmiger Energieträger in Pipelines“; Hrsg.: BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung Berlin 2009.
- [2] Landtag von Baden-Württemberg, Drs. 14/6687, S. 28.
- [3] Dietzsch, F., Klees, A. (2011): Weiterentwicklung des Kennzahlensystems und des sicherheitsrelevanten Berichtswesens für die Gasversorgung. In: DVGW energie | wasser-praxis, Oktober 2011.

- [4] Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB): Auswertungstabelle zur Energiebilanz Deutschland von 1990–2015, Stand: Juli 2016.
- [5] Handbuch der Gasversorgungstechnik, K. Homann, T. Hüwener, B. Klocke, U. Wernekinck, DIV Deutscher Industrieverlag GmbH, 2017, München.
- [6] Klees, A., Schwigon, A.: Sicherheit von Gasfernleitungen – das Technische Regelwerk im Licht der aktuellen Rechtsprechung, in: DVGW energie | wasser-praxis, Heft 1/2012.
- [7] ASUE e. V.: Technikinfo CO<sub>2</sub>-Vermeidung, Stand: Januar 2016.