

# Gastransportleitung AUGUSTA der *bayernets* GmbH

Antragsunterlagen für das Planfeststellungsverfahren  
gemäß § 43 Energiewirtschaftsgesetz (EnWG)  
im Regierungsbezirk Schwaben

19.1 Sicherheitsstudie  
zum Kapitel Sicherheit



Industrie Service

**Mehr Wert.  
Mehr Vertrauen.**

**Sicherheitsstudie  
für die  
Gastransportleitung Wertingen - Kötz  
„AUGUSTA“**

Datum: 10.08.2022

Unsere Zeichen:  
IS-AN11-MUC/fr-3165-1

Das Dokument besteht aus  
39 Seiten.  
Seite 1 von 39

Die auszugsweise Wiedergabe  
des Dokumentes und die  
Verwendung zu Werbezwecken  
bedürfen der schriftlichen  
Genehmigung der  
TÜV SÜD Industrie Service  
GmbH.

Die Prüfergebnisse beziehen sich  
ausschließlich auf die  
untersuchten Prüfgegenstände.

**Auftraggeber:** bayernets GmbH  
Poccistraße 7  
80336 München

**Auftragsnummer:** 3491905 - Pos. 20

**Bearbeiter:** Dipl.-Ing.  
Ronny Friedrich

**Datum:** 10. August 2022



## Inhaltsverzeichnis

1. Vorgang.....	3
2. Gegenstand der Studie.....	5
3. Gesetzliche Grundlagen und technische Vorschriften.....	6
3.1 Stand der Technik .....	6
3.2 Sicherheitsphilosophie.....	7
3.3 Energiewirtschaftsgesetz.....	8
3.4 Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung.....	8
3.5 Verordnung über Gashochdruckleitungen .....	9
3.6 Technisches Regelwerk .....	9
3.7 Technische Regeln anderer Fachorganisationen.....	10
3.8 Unfallverhütungsvorschriften .....	11
3.9 Prüfung durch Sachverständige .....	12
4. Schadensstatistik .....	14
4.1 EGIG Report .....	14
4.2 BAM Forschungsbericht 285 .....	17
5. Abläufe im Schadensfall .....	18
5.1 Stoffdaten von Erdgas .....	18
5.2 Freisetzung von Erdgas.....	19
5.3 Gegenseitige Beeinflussung.....	22
6. Beurteilung der technischen Sicherheit .....	23
6.1 Basissicherheit .....	25
6.2 Sicherheit gegen äußere Einwirkungen .....	27
6.3 Parallelführung und Kreuzungen .....	29
6.4 Annäherung an Wohngebäude.....	29
6.5 Sicherheit gegen Auswirkungen von Naturereignissen .....	32
6.6 Betrieb, Instandhaltung und Notfallvorsorge .....	35
7. Zusammenfassung.....	36
Referenzen.....	38

## 1. Vorgang

Die bayernets GmbH (bayernets) ist Eigentümerin eines ca. 1.658,8 km langen Gasversorgungsnetzes (Fernleitungsnetz) im südbayerischen Raum, das der Versorgung des südbayerischen Raumes, der Anbindung der in Südbayern und Salzburger Land befindlichen Untertagespeicher für Gas und der Durchleitung in andere Gasversorgungsnetze sowie der Versorgung Tirols (Österreich) dient.

Zur Erweiterung ihres überregionalen Gastransportsystems plant die bayernets GmbH die Errichtung einer Gastransportleitung von Wertingen nach Kötz mit der Bezeichnung „Gastransportleitung AUGUSTA“ mit einer Nennweite von DN 700, einem Nenndruck von MOP 100 und einer Länge von ca. 40,5 km. Die Verlegung der Gastransportleitung AUGUSTA erfolgt prinzipiell unterirdisch. Die Mindestüberdeckung beträgt mindestens 1,0 m. Mit der Rohrleitung sollen Betriebs- und Kommunikationskabel auf 10:00 Uhr Position verlegt werden. Die Lage der Rohrleitung und der Betriebs- und Kommunikationskabel wird durch Trassenwarnband kenntlich gemacht, welches sich mittig ca. 20 cm über dem Rohrscheitel befindet.

Am Anfangspunkt der Gastransportleitung in Wertingen ist eine Gasmessanlage und am Endpunkt in Kötz eine Gasdruckregel- und Messanlage vorgesehen. Die Gastransportleitung AUGUSTA soll für die innere Inspektion als molchbare Leitung mit jeweils einer Molchschleuse am Anfangs- und Endpunkt ausgeführt werden.

Die geplante Gastransportleitung soll vom Knotenpunkt Wertingen im Landkreis Dillingen a. d. Donau bis zum Knotenpunkt Kötz im Landkreis Günzburg führen. Am Knotenpunkt Wertingen kreuzen sich die Gastransportleitungen Amerdingen - Anwalting DN 800, MOP 80 (AA30) und Senden - Vohburg DN 450, MOP 60 (SV50). Dort befindet sich auch die im Herbst 2019 in Betrieb genommene Verdichterstation Wertingen. Am Knotenpunkt Kötz werden die über die geplante Gastransportleitung Wertingen - Kötz antransportierten Gasmengen in den südlichen Abschnitt der Gastransportleitung SV50 überspeist, um diese bis zum geplanten Kraftwerk in Leipheim sowie zum Netzkopplungspunkt Hittistetten/Senden zur terranets bw GmbH zu transportieren. Weiterhin erfolgt am Knotenpunkt Kötz die Überspeisung in den westlichen Abschnitt der Gastransportleitung Ulm - Augsburg DN 400, MOP 67,5 (UA06), um die Gasübergabe am Netzkopplungspunkt Steinhäule 2 zur terranets bw zu erhöhen. Erforderlich dafür ist ebenfalls eine Netztrennung der Gastransportleitung UA06 in Kötz.

Die Gastransportleitung Wertingen - Kötz „AUGUSTA“ dient folgenden Zwecken:

- Sicherstellung des aktuellen und zukünftigen Bedarfs im Netzgebiet der terranets bw durch Erhöhung der Gasüberspeisekapazität zwischen den Gastransportnetzen in Bayern und Baden-Württemberg,
- Versorgung neuer geplanter Kraftwerke als Ersatz der außer Betrieb gehenden Kernkraftwerke in Süddeutschland und somit Erhalt der Versorgungssicherheit mit Strom,

- Bedarfsgerechte Anbindung von Baden-Württemberg an die großen Gasspeicher im südbayerischen und Salzburger Raum,
- Erhöhung der Netzstabilität und Netzflexibilität und damit Erhöhung der Versorgungssicherheit im süddeutschen Raum.

Die Länge der Vorzugstrasse beläuft sich auf ca. 40,5 km. Dem Grundsatz der Eingriffsminimierung folgend, soll die Gastransportleitung AUGUSTA über weite Strecken parallel zur Gastransportleitung SV50 sowie zu den Hochspannungsfreileitungen „380-kV Dellmensingen - Meitingen“ der Firma Amprion zwischen Laugna und Holzheim (ca. 15 km) sowie zu der 110 kV Freileitung der Firma LVN zwischen Burgau und Großkötz (ca. 10 km) verlaufen.

Die ursprünglich als Ölpipeline gebaute und seit 2006 als Gastransportleitung genutzte Leitung SV50 verläuft von Lindau über Senden (Landkreis Neu-Ulm) nach Vohburg (Landkreis Pfaffenhofen a. d. Ilm). Die Gastransportleitung wird in einem 10 m breiten Schutzstreifen verlegt. Der Abstand zwischen der SV50 und der geplanten Gastransportleitung Wertingen - Kötz beträgt neun Meter. Dadurch wird die Überlappung der Schutzstreifen vermieden.

Seit dem Bau der SV50 haben sich Veränderungen in der Landschaft ergeben, so dass eine unmittelbare Parallelführung mit der SV50 nicht auf der gesamten Länge möglich ist. So müssen zum einen entsprechend den heutigen technischen Anforderungen, z. B. die erforderlichen Sicherheitsabstände zu anderen Einrichtungen, berücksichtigt werden. Zum anderen sind insbesondere die Siedlungen gewachsen, aber auch höherwertige Lebensräume wie Gehölze, Wälder oder sonstige naturnahe Bestände haben sich verändert. Diese geänderten Rahmenbedingungen wird Rechnung getragen durch Abweichungen von der Parallelführung zur SV50. Aufgrund von örtlichen Bedingungen sind im Gesamtverlauf der Gastransportleitung Wertingen - Kötz zudem mehrere Seitenwechsel in Bezug auf die bestehende Gastransportleitung SV50 erforderlich.

Durch den geplanten Trassenverlauf werden zahlreiche Gräben und Bäche (Gewässer 3. Ordnung), die Flüsse Zusam, Glött, Mindel, Kammel, Günz (Gewässer 1. und 2. Ordnung), zahlreiche Straßen (u. a. die Bundesautobahn BAB 8 und die Bundesstraße B 16) sowie die Bahnstrecken Ulm - Augsburg und Günzburg - Mindelheim) gekreuzt.

Die Verlegung der Rohrleitung soll weitestgehend in offener Bauweise (Verlegung im Rohrgraben) erfolgen. In Anhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten und den Anforderungen der Baulastträger und Bahnbetreiber sowie des Gewässer- und Naturschutzes werden Kreuzungen auch in geschlossener Bauweise (Rohrvortrieb) ausgeführt.

Die Trassenführung der Leitung ist so geplant, dass bebautes Gebiet weitestgehend umgangen wird. Eine Annäherung an bebauten Gebiete lässt sich jedoch nicht immer vermeiden. Auf den Gemarkungen der Gemeinden Wertingen, Zusamaltheim, Villenbach, Holzheim, Glott, Winterbach, Dürrlauingen, Burgau und Kötz, befinden sich Gebäude im Abstand von 15 bis zu 150 m zur Gastransportleitung AUGUSTA.

Die TÜV SÜD Industrie Service GmbH wurde von der bayernets GmbH mit der Erstellung einer Sicherheitsstudie beauftragt, um den prinzipiellen sicherheitstechnischen Aspekt von Gasfernleitungen zu bewerten.

## 2. Gegenstand der Studie

Gegenstand dieser Studie ist die Beurteilung der technischen Sicherheit der neu zu errichtenden Gashochdruckleitung mit der Bezeichnung „Gastransportleitung AUGUSTA“ DN 700, MOP 100 der Firma bayernets GmbH von der Gasmessanlage in Wertingen bis zu Gasdruckregel- und Messanlage in Kötz für den Transport des Mediums Erdgas. Die Gashochdruckleitung wird an die bestehenden Erdgasversorgungsnetze angebunden. Die Studie wurde anhand der vorliegenden Planungsunterlagen erstellt. Die Gasmess- und Regelanlagen sowie die Nutzung der Leitung für Wasserstoff sind nicht Gegenstand dieser Studie.

Diese Studie ersetzt nicht die gutachterliche Äußerung nach der Verordnung über Gashochdruckleitungen (GasHDrLtGv), in der durch einen nach GasHDrLtGv anerkannten Sachverständigen bestätigt wird, dass die angegebene Beschaffenheit der Gashochdruckleitung den Anforderungen der §§ 2 und 3 der GasHDrLtGv entspricht. Die gutachterliche Äußerung lag zum Zeitpunkt der Erstellung der Studie nicht vor.

### Daten der geplanten Gastransportleitung AUGUSTA

- Fördermedium	Erdgas der Gruppe H nach DVGW-Arbeitsblatt G 260
- Nennweite	DN 700
- Maximal zulässiger Betriebsdruck	MOP 100 bar
- Medium	Erdgas (gasförmig)
- Werkstoff	L 485 ME nach DIN EN ISO 3183, Anhang A
- Sicherheitsbeiwert	1,7
- Mindestwanddicke	13,0 mm
- Korrosionsschutz (passiv/aktiv)	Isolierung aus Polyethylen (PE) nach DIN 30670 und kathodischer Korrosionsschutz
- Rohrverbindung	Stumpfnahtschweißung
- Schweißnahtprüfung	Durchstrahlungs- und Ultraschallprüfung

- |                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| - Dichtheits- und Festigkeitsprüfung | Druck-/Volumenmessverfahren D2 nach VdTÜV-Merkblatt 1060 (Stresstest)   |
| - Schutzstreifenbreite               | je 5 m von der Rohrachse (10 m Breite)  |
| - Erdüberdeckung                     | ≥ 1,0 m (Regelüberdeckung)<br>≥ 1,4 m bei klassifizierten Straßen<br>≥ 1,2 m bei nicht klassifizierten Straßen<br>≥ 1,5 m bei Bahnlinien, Gleis<br>≥ 2,5 m bei Bahnlinien, feste Fahrbahn<br>≥ 1,5 m bei Gräben<br>> 1,5 m bei Gewässern<br>> 2,0 m bei klassifizierten Gewässern |

### 3. Gesetzliche Grundlagen und technische Vorschriften

In der Bundesrepublik Deutschland werden in Gesetzen, Verordnungen und Vorschriften allgemeine Beschaffenheitsanforderungen für die Errichtung und den Betrieb technischer Anlagen vorgeschrieben. Mit diesen universellen, in ihrer Rechtsverbindlichkeit unterschiedlichen Vorgaben wird das Ziel verfolgt, Risiken von technischen Verfahren und Abläufen zu minimieren, um Gefahren und Belästigungen für Dritte und die Umwelt zu vermeiden und Schäden an Personen, an Sachgegenständen und an der Umwelt abzuwenden.

Die Erstellung konkreter Konstruktions-, Bau- und Betriebsvorschriften für technische Anlagen legt der Gesetzgeber in die Hände von Fachausschüssen, die einen Maßstab für einwandfreies technisches Handeln definieren. In den technischen Regeln sind detaillierte konstruktions-, bau- und betriebstechnische Maßnahmen festgeschrieben, die als technische Mindestanforderungen ein Höchstmaß an Sicherheit gewährleisten, sofern sie noch nicht in einer gesetzlichen Verordnung oder Vorschrift festgelegt sind.

#### 3.1 Stand der Technik

Die Anforderungsgrundlage für überwachungsbedürftige Anlagen stellt das Regelwerk in Verbindung mit den gesetzlichen Vorschriften dar. Dabei wird zwischen den nachfolgenden Anforderungen unterschieden.

##### Allgemein anerkannte Regeln der Technik

Dies sind schriftlich fixierte oder mündlich überlieferte technische Festlegungen für Verfahren, Einrichtungen und Betriebsweisen, die nach herrschender Auffassung der beteiligten Kreise geeignet sind und sich in der Praxis allgemein bewährt haben.

## Stand der Technik

Dies ist der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, der nach herrschender Auffassung führender Fachleute die Erreichung des gesetzlich vorgegebenen Zieles gesichert erscheinen lässt. Das Verfahren oder ein vergleichbares Verfahren muss sich in der Praxis bewährt haben oder das Verfahren sollte möglichst im Betrieb mit Erfolg erprobt worden sein. Fehlt eine solche Bewährung, sollen vergleichbare betriebsbewährte Verfahren herangezogen werden. Die technischen Anforderungen werden den sich ändernden Anforderungen laufend angepasst.

In Deutschland müssen Fernleitungen generell den Anforderungen des Gesetzes über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz - EnWG) entsprechen. Leitungen, die der öffentlichen Gasversorgung dienen und mit einem Überdruck von mehr als 16 bar betrieben werden, müssen grundsätzlich auch die Beschaffenheitsanforderungen der Verordnung über Gashochdruckleitungen (Gashochdruckleitungsverordnung - GasHDrLtgV) erfüllen und nach dem Stand der Technik errichtet und betrieben werden.

### **3.2 Sicherheitsphilosophie**

Das auf der deterministischen Sicherheitsphilosophie basierende DVGW-Regelwerk markiert den „Stand der Technik“ und unterliegt per o. g. Definition einer permanenten Fortschreibung und Aktualisierung, so dass die gesetzlich vorgegebenen Schutzziele jederzeit mit fachlich aktuellen Bau- und Betriebsvorschriften verfolgt werden können.

Für die Errichtung und den Betrieb von Gashochdruckleitungen in Deutschland gelten technische Regeln, die auf der Grundlage eines deterministischen Sicherheitskonzepts aufbauen. Dabei findet der im langjährigen Umgang mit der Technik gewachsene Erfahrungsschatz Berücksichtigung. Die kausalen Zusammenhänge, die zu einem ungewollten Ereignis (z. B. einer Stofffreisetzung) führen können, werden analysiert und daraus wirksame Vorsorgemaßnahmen entwickelt. Diese finden als technische oder organisatorische Anforderungen Eingang in das Technische Regelwerk.

Werden Rohrleitungen entsprechend dem auf der deterministischen Philosophie basierenden Regelwerk errichtet und betrieben, kann davon ausgegangen werden, dass, unabhängig von äußeren, nicht immer beeinflussbaren Bedingungen, an jedem Punkt einer Rohrleitung die gleich hohe Sicherheit gegenüber möglichen Belastungen und Einwirkungen gegeben ist.

Im Gegensatz zur Probabilistik (Risikoanalyse) hat sich die deterministische Betrachtungsweise (Sicherheitsanalyse) in Deutschland, wie in den meisten europäischen Ländern, über einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten entwickelt und bewährt. Durch sie werden technische Standards ständig weiterentwickelt und in das technische Regelwerk, welches den „Stand der Technik“ widerspiegelt, übernommen.



### **3.3 Energiewirtschaftsgesetz**

Das Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz - EnWG) vom 07.07.2005 (zuletzt geändert am 10.08.2021) stellt die gesetzliche Grundlage für die Errichtung und den Betrieb von Energieanlagen dar. Zweck des Gesetzes ist u. a. eine möglichst sichere, preisgünstige und umweltverträgliche leitungsgebundene Versorgung der Allgemeinheit mit Elektrizität, Gas und Wasserstoff.

Demnach müssen Energieanlagen so errichtet und betrieben werden, dass die technische Sicherheit gewährleistet ist. Vorbehaltlich sonstiger Rechtsvorschriften sind dabei die allgemein anerkannten Regeln der Technik zu beachten.

Die Einhaltung des Standes der Technik wird gemäß § 49 (2) EnWG und § 2 (2) GasHDrLtgV vermutet, wenn das Regelwerk des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches e. V. (DVGW) eingehalten wird.

### **3.4 Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung**

Sofern bestimmte leitungsspezifische Parameter (Durchmesser, Länge) überschritten werden, unterliegen Gasleitungen im Sinne des Energiewirtschaftsgesetzes auch dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG).

Für die geplante Gastransportleitung AUGUSTA mit einem Durchmesser (DN) von 700 mm und einer Gesamtlänge von ca. 40,5 km ist nach Anlage 1, Nr. 19.2.2 des UVPG eine allgemeine Vorprüfung des Einzelfalls nach § 7 UVPG erforderlich.

Das Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung stellt sicher, dass bei öffentlichen und privaten Vorhaben zur wirksamen Umweltvorsorge nach einheitlichen Grundsätzen:

- Auswirkungen auf die Umwelt frühzeitig und umfassend ermittelt, beschrieben und bewertet werden,
- Ergebnisse von Umweltverträglichkeitsprüfungen so früh wie möglich bei allen behördlichen Entscheidungen über die Zulässigkeit berücksichtigt werden.

Die Umweltverträglichkeitsprüfung nach UVPG ist ein integraler Bestandteil von behördlichen Zulässigkeitsentscheidungen für Bauvorhaben. Sie soll die Berücksichtigung der Umweltbelange bei der behördlichen Prüfung qualifizieren. Das UVPG sieht dafür die Erstellung eines ausschließlich die Umweltbelange betreffenden Untersuchungs- und Prüfdokumentes vor, das die Umwelt als besonderen Belang bei der Abwägung zur Entscheidung über die Zulässigkeit eines Vorhabens sichert.

### **3.5 Verordnung über Gashochdruckleitungen**

Die Verordnung über Gashochdruckleitungen (GasHDrLtgV) vom 18.05.2011 (zuletzt geändert am 13.05.2019) gilt für die Errichtung und den Betrieb von Gashochdruckleitungen, die als Energieanlagen im Sinne des Energiewirtschaftsgesetzes der Versorgung mit Gas dienen und die für einen maximal zulässigen Betriebsdruck von mehr als 16 bar ausgelegt sind.

Die Verordnung über Gashochdruckleitungen beinhaltet allgemeine Beschaffenheitsanforderungen für Gashochdruckleitungen hinsichtlich deren technisch sicheren Errichtung und deren dauerhaft sicheren Betrieb. Wegen der Bezugnahme auf das DVGW-Regelwerk als Stand der Technik liegt der GasHDrLtgV die deterministische Sicherheitsphilosophie zugrunde.

Im § 2 Abs. 1 GasHDrLtgV werden die grundsätzlichen sicherheitstechnischen Anforderungen bei der Errichtung (§ 3) sowie beim Betrieb (§ 4) festgelegt, welche eine Gashochdruckleitung bzw. ihr Betreiber erfüllen muss, um eine nach Wertung des Gesetzgebers hinreichende Gefahrenverhütung zu erreichen.

§ 5 GasHDrLtgV regelt die Anzeige und Beanstandung von Leitungsbauvorhaben im Geltungsbereich der Verordnung. Demnach ist ein entsprechendes Leitungsbauvorhaben mindestens 8 Wochen vor Baubeginn der zuständigen Behörde schriftlich anzuzeigen. Der Anzeige sind alle zur Beurteilung der Sicherheit erforderlichen Unterlagen sowie die gutachterliche Äußerung eines Sachverständigen beizufügen. Aus der gutachterlichen Äußerung muss hervorgehen, dass die geplante Bauart und Betriebsweise der Gashochdruckleitung den einzuhaltenden sicherheitstechnischen Anforderungen gemäß § 2 und 3 GasHDrLtgV entsprechen. Ansonsten kann das Bayerische Wirtschaftsministerium als zuständige Behörde das Vorhaben innerhalb einer Frist von 8 Wochen beanstanden.

Eine Gashochdruckleitung darf entsprechend § 6 (1) GasHDrLtgV erst in Betrieb genommen werden, wenn ein Sachverständiger aufgrund einer Dichtheits- und Festigkeitsprüfung sowie des Vorhandenseins der notwendigen Sicherheitseinrichtungen festgestellt und bescheinigt hat, dass gegen die Inbetriebnahme der Leitung keine sicherheitstechnischen Bedenken bestehen (Vorabbescheinigung).

Binnen einer angemessenen Frist nach Erteilung der Vorabbescheinigung wird die Gashochdruckleitung abschließend durch einen Sachverständigen daraufhin geprüft, ob sie den Anforderungen der GasHDrLtgV entspricht. Über diese Prüfung erteilt der Sachverständige die Schlussbescheinigung.

### **3.6 Technisches Regelwerk**

Entsprechend § 2 (2) GasHDrLtgV wird die geforderte Einhaltung des Standes der Technik vermutet, wenn die technischen Regeln des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW) eingehalten werden.

Im DVGW-Regelwerk des Gasfaches sind einheitliche, aufeinander abgestimmte technische Grundlagen für eine sichere öffentliche Gasversorgung zusammengefasst. Es beschreibt diesbezüglich die technischen Mindestanforderungen, die an die Ausrüstung und Errichtung, die Inbetriebnahme und den Betrieb sowie die Überwachung und Instandhaltung von Gasleitungen und Gasanlagen gestellt werden müssen, um die gesetzlich vorgeschriebenen Sicherheitsbestimmungen zu erfüllen.

Für die Gastransportleitung AUGUSTA gelten u. a. folgende DVGW-Arbeitsblätter:

- DVGW-Arbeitsblatt G 463 „Gashochdruckleitungen aus Stahlrohren für einen Auslegungsdruck von mehr als 16 bar; Planung und Errichtung“
- DVGW-Arbeitsblatt G 466-1 „Gashochdruckleitungen aus Stahlrohren für einen Auslegungsdruck von mehr als 16 bar; Betrieb und Instandhaltung“
- DVGW-Arbeitsblatt G 469 „Druckprüfverfahren Gastransport / Gasverteilung“
- DVGW-Arbeitsblatt GW 350 „Schweißverbindungen an Rohrleitungen aus Stahl in der Gas- und Wasserversorgung – Herstellung, Prüfung und Bewertung“

### **3.7 Technische Regeln anderer Fachorganisationen**

Innerhalb des DVGW-Regelwerkes wird auch auf technische Regeln anderer Fachorganisationen verwiesen oder Bezug genommen, insbesondere auf folgende technische Regeln.

#### EN und ISO-Normen

Im Zuge der politischen und wirtschaftlichen Vereinigung Europas vollzieht sich ein europa- und auch weltweiter Prozess der Angleichung von technischen Normen und Standards, der in Europäischen (EN) und internationalen Normen (ISO) Ausdruck findet.

#### DIN-Normen

Die Normen des Deutschen Instituts für Normung beschreiben die konstruktions- und werkstoff-spezifischen Anforderungen sowie deren Prüftechniken und Gütenachweise für Rohre und Rohrleitungsteile.

#### VdTÜV-Merkblätter

Die Merkblätter der Vereinigung der Technischen Überwachungsvereine (VdTÜV) enthalten Richtlinien und Hinweise zu Prüfverfahren innerhalb des Rohrleitungsbaus.

#### AD-Regelwerk

Die von der Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter (AD) erarbeiteten Merkblätter enthalten Anforderungen, die an die Konstruktion und Prüfung von Druckbehältern zu stellen sind.

### AfK-Empfehlungen

Die Arbeitsgemeinschaft für Korrosionsfragen (AfK) erstellt Empfehlungen zur Errichtung und zum Betrieb von Korrosionsschutzanlagen für Stahlrohrleitungen.

### VDE-Vorschriften

Der Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) beschreibt in seinem Vorschriftenwerk die Anforderungen an elektrische sowie elektronische Betriebsmittel und Einrichtungen, insbesondere auch solcher in explosionsgefährdeten Bereichen sowie an fernwirktechnischen Anlagen.

## **3.8 Unfallverhütungsvorschriften**

Das in Deutschland vorherrschende duale Arbeitsschutzsystem ist in einen staatlichen und einen selbstverwaltenden Bereich untergliedert, innerhalb dessen die staatlichen Arbeitsschutzbehörden (z. B. Gewerbeaufsichtsämter) die Betriebe hinsichtlich des Arbeitsschutzes beraten und überwachen. Die von den Berufsgenossenschaften herausgegebenen Unfallverhütungsvorschriften regeln die Anforderungen an Beschaffenheit, Aufstellung und Anordnung gewerblicher Anlagen unter dem Gesichtspunkt des betrieblichen Unfallschutzes und der Arbeitssicherheit.

Die Unfallverhütungsvorschriften beschreiben die Anforderungen an Beschaffenheit und Betrieb, denen die Anlagen bei der vorgesehenen Betriebsweise sowie den dabei zu erwartenden mechanischen, chemischen und thermischen Beanspruchungen genügen müssen, um Arbeitnehmer nicht zu gefährden. Sie legen ferner die Anordnung und Aufstellung von Anlagen fest, um einen einfachen und sicheren Zugang zu den Anlagen sowie eine gefahrlose Bedienung und Instandhaltung dieser zu gewährleisten.

Für die Verlegung der Gastransportleitung AUGUSTA gelten u. a. folgende Unfallverhütungsvorschriften und Regeln der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV):

- DGUV Vorschrift 1 „Grundsätze der Prävention“
- DGUV Vorschrift 38 „Bauarbeiten“
- DGUV Regel 100-500, Kapitel 2.26 „Schweißen, Schneiden und verwandte Verfahren“
- DGUV Regel 100-500, Kapitel 2.31 „Arbeiten an Gasleitungen“
- DGUV Information 201-052 „Rohrleitungsbauarbeiten“
- DGUV Information 203-017 „Schutzmaßnahmen bei Erdarbeiten in der Nähe erdverlegter Kabel und Rohrleitungen“

### **3.9 Prüfung durch Sachverständige**

Eine Gashochdruckleitung darf erst in Betrieb genommen werden, wenn ein Sachverständiger aufgrund einer Prüfung hinsichtlich ihrer Dichtheit und Festigkeit, des Vorhandenseins der notwendigen Sicherheitseinrichtungen sowie der Wechselwirkung mit anderen und verbundenen Leitungen festgestellt und bescheinigt hat (Vorabbescheinigung), dass gegen die Inbetriebnahme der Gashochdruckleitung keine sicherheitstechnischen Bedenken bestehen.

Sachverständige, für der öffentlichen Versorgung dienenden Gashochdruckleitungen, sind die nach § 11 GasHDrLtgV anerkannten Sachverständigen. Sie führen nachfolgende Prüfungen durch.

#### Gutachterliche Äußerung

Im Rahmen einer gutachterlichen Äußerung gemäß § 5 GasHDrLtgV des Sachverständigen werden die Konstruktions- und Planunterlagen daraufhin geprüft, ob die angegebene Beschaffenheit der Gashochdruckleitung den Anforderungen der §§ 2 und 3 der GasHDrLtgV entspricht sowie welche Primär- und Sekundärmaßnahmen diesbezüglich vorgesehen sind.

Die zur Prüfung vorgelegten Unterlagen werden mit dem Prüfvermerk des Sachverständigen versehen. Sollten die vorgesehenen Primär- und Sekundärmaßnahmen nicht ausreichend sein, werden in der gutachterlichen Äußerung weitergehende Anforderungen festgelegt.

Die gutachterliche Äußerung ist der Anzeige nach § 5 GasHDrLtgV beizufügen. Nach Überprüfung durch die zuständige Behörde wird durch diese ggf. der Nichtbeanstandungsbescheid erteilt.

#### Vorprüfung

Die Vorprüfung ist eine Prüfung der Planunterlagen vor Baubeginn. Sie beinhaltet die Prüfung und Beurteilung der vorgesehenen Bauart und Betriebsweise der Gashochdruckleitung auf Einhaltung der in den technischen Regeln aufgestellten Anforderungen unter Berücksichtigung der spezifischen Belange des Einzelfalles. Insbesondere sind dies:

- die Beurteilung der vorgesehenen Werkstoffe,
- die Prüfung der ausreichenden Dimensionierung von Rohren und sonstigen Bauteilen,
- die konstruktive Gestaltung von Einzelteilen,
- die sicherheitstechnische Beurteilung der Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen.

### Bauprüfung

Die Durchführung der Bauprüfung erfolgt auf Grundlage des VdTÜV-Merkblattes 1001 „Richtlinie über die Bauprüfungen an Gashochdruckleitungen durch den Sachverständigen der Inspektionsstelle nach § 13 GasHDrLtgV“.

Anhand der Anzeigeunterlagen gemäß § 5 GasHDrLtgV einschließlich der gutachterlichen Äußerung sowie ggf. des Nichtbeanstandungsbescheides prüft der Sachverständige stichprobenweise die ordnungsgemäße Durchführung der Bau-, Schweiß- und Verlegearbeiten sowie die Übereinstimmung der Bauausführung mit den geprüften Unterlagen.

### Druckprüfung

Im Anschluss an die Verlegearbeiten und an die Bauprüfung erfolgt eine Druckprüfung zur Feststellung der Festigkeit und Dichtheit einer Leitung. Die Durchführung der Druckprüfung erfolgt in Anwesenheit und unter Abnahme des Sachverständigen.

Für die Durchführung der Druckprüfung haben die technischen Überwachungsvereine entsprechende Prüfverfahren entwickelt und in ihren Richtlinien festgeschrieben. Von besonderer Bedeutung ist hierbei das VdTÜV-Merkblatt 1051 „Wasserdruckprüfung von erdverlegten Rohrleitungen nach dem Druck-Temperatur-Messverfahren (D-T-Verfahren)“ sowie das VdTÜV-Merkblatt 1060 „Rohrleitungen; Richtlinien für die Durchführung des Stresstests“. Diese Druckprüfungsarten wurden in das geltende Regelwerk des DVGW voll integriert, wobei entsprechend dem Regelwerk Gasleitungen in bebauten Gebieten prinzipiell einer Stresstestprüfung unterzogen werden müssen.

### Abnahmeprüfung und Bescheinigung

Bei der Abnahmeprüfung prüft der Sachverständige, ob die erforderlichen Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen vorhanden und sachgemäß eingebaut sind und unter den vorgegebenen Betriebsbedingungen bestimmungsgemäß funktionieren.

Auf der Grundlage der durchgeführten Prüfungen erstellt der Sachverständige die Vorabbescheinigung nach § 6 (1) GasHDrLtgV in der er bescheinigt, dass hinsichtlich Dichtheit, Festigkeit, der vorhandenen notwendigen Sicherheitseinrichtungen sowie der Prüfung der Wechselwirkung mit anderen Leitungen, keine sicherheitstechnischen Bedenken bestehen.

Die Gashochdruckleitung wird innerhalb einer angemessenen Frist nach Erteilung der Vorabbescheinigung abschließend durch den Sachverständigen daraufhin geprüft, ob sie den Anforderungen der Verordnung über Gashochdruckleitungen entspricht. Über diese Prüfung erteilt der Sachverständige die Schlussbescheinigung nach § 6 (2) GasHDrLtgV. Sie enthält Angaben über Art, Umfang und Ergebnis der im Einzelnen durchgeführten Prüfungen sowie eine gutachterliche Äußerung darüber, ob die Gashochdruckleitung den Anforderungen nach den §§ 2 und 3 der GasHDrLtgV entspricht.

#### 4. Schadensstatistik

Schäden an Gashochdruckleitungen mit der Dimension der Gastransportleitung AUGUSTA, welche einen Gasaustritt hervorrufen, treten gemäß der europäischen Schadensstatistik des EGIG Reports und im internationalen Vergleich extrem selten auf.

##### 4.1 EGIG Report

In einer gemeinsamen Datenbank der 17 größten europäischen Gasgesellschaften werden statistische Daten über Schadenshäufigkeiten sowie Schadensursachen an Gashochdruckleitungen aller Nennweiten der Jahre 1970 bis heute festgehalten, ausgewertet und in regelmäßigen Abständen im Bericht der EGIG (European Gas Pipeline Incident Data Group) veröffentlicht.

Die aktuelle Statistik wurde im Dezember 2020 veröffentlicht und weist in den Jahren von 1970 bis 2019 insgesamt 1.411 Schäden an mehr als 142.000 km Erdgasleitungen in Europa aus. Darauf entfallen 90 Schäden auf die letzten 5 Jahre (2015 - 2019). Als Schaden im Sinn dieser Statistik wird ein Schaden mit Austritt von Gas gewertet.

Tabelle 1:  
Durchschnittliche Schadenshäufigkeit pro Jahr. /35/

Zeitraum	Anzahl Schäden	Häufigkeit pro 1.000 km und Jahr
1970 - 2019	1.411	0,292
2015 - 2019	90	0,126

Insgesamt wird damit deutlich, dass die Schadenshäufigkeit pro 1.000 km Leitungslänge und Jahr von 0,292 (im Zeitraum von 1970 bis 2019) auf 0,126 (im Schnitt der letzten 5 Jahre) deutlich abgenommen hat (s. Tabelle 1). Somit zählen Gashochdruckleitungen zu den sichersten Transportmitteln für Energie. Aus nachstehendem Diagramm (s. Abbildung 1) ist deutlich der Rückgang der durchschnittlichen Schadenshäufigkeit zu erkennen.

Die Verteilung der Schadensursachen im Betrachtungszeitraum von 2010 bis 2019 ist in Abbildung 2 dargestellt. Äußere Beschädigungen und Korrosion stellen demnach die häufigste Ursache für Schäden mit Gasfreisetzungen dar.

Die Statistiken zeigen auch, dass bei Gasleitungen mit vergleichbarer Dimensionierung wie die Gastransportleitung AUGUSTA (Durchmesser 700 mm bzw. 28 inches, einer Mindestwanddicke von 13,0 mm und einer Überdeckungshöhe von mindestens 1,0 m), die Schadenshäufigkeit im Betrachtungszeitraum mit Zunahme des Leitungsdurchmessers, der Wanddicke und der Überdeckungshöhe deutlich abnimmt. Die Schadenshäufigkeit pro 1.000 km Leitungslänge und Jahr

in Abhängigkeit des Leitungsdurchmessers, der Wandstärke und der Überdeckungshöhe ist in den Abbildungen 3 bis 5 dargestellt.

Die seit nunmehr 50 Jahren geführte europäische Schadensstatistik spiegelt den hohen Sicherheitsstand von Gashochdruckleitungen wider. Nach wie vor weisen Rohrleitungen als Transportsysteme das mit Abstand niedrigste Gefährdungspotenzial auf.

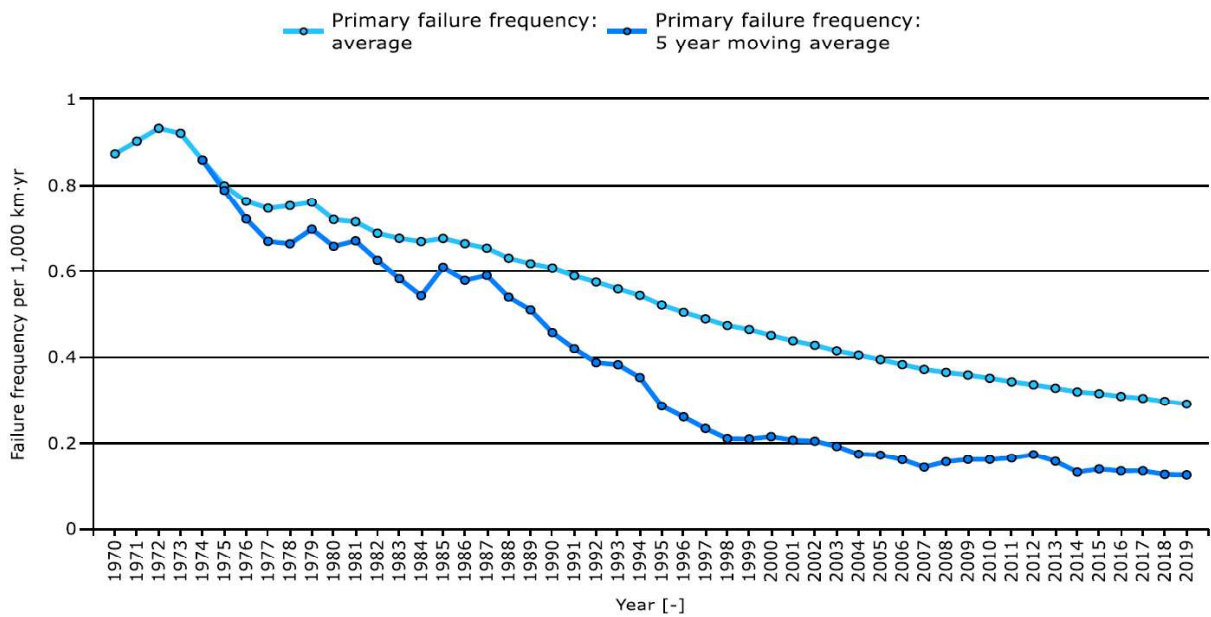


Abbildung 1:  
 Schadensentwicklung an Gasleitungen in Europa (durchschnittliche Schäden pro Jahr). /35/

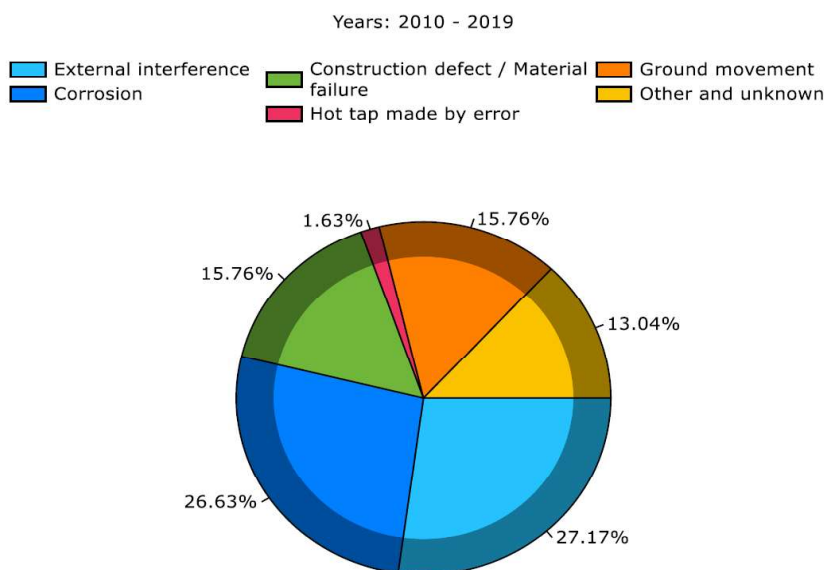


Abbildung 2:  
 Verteilung der Schäden nach Schadensursache im Zeitraum von 2010 bis 2019. /35/



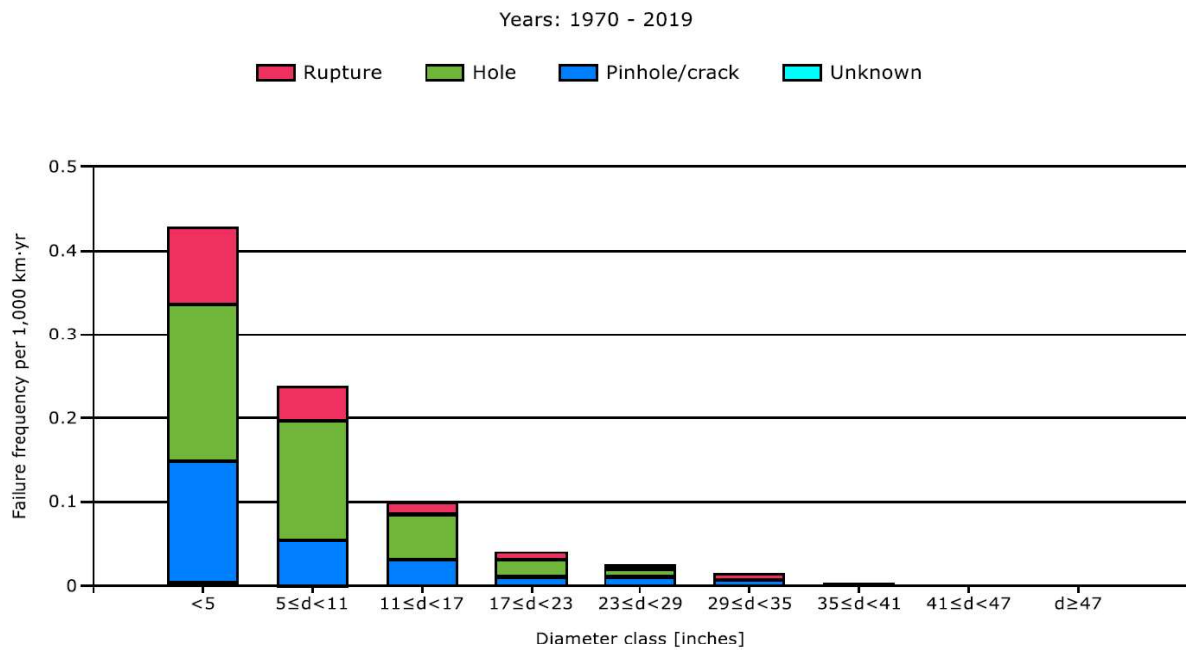


Abbildung 3:  
 Schadenshäufigkeit an Gasleitungen durch äußere Beschädigungen im Zeitraum von 1970 bis 2019  
 in Abhängigkeit des Außendurchmessers. /35/

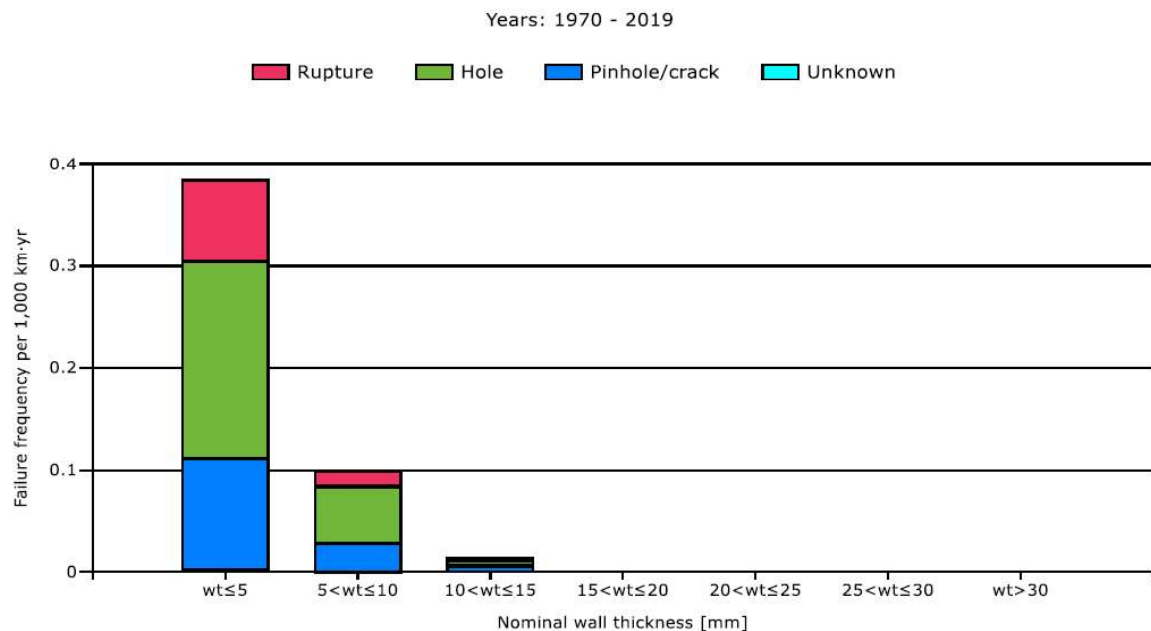


Abbildung 4:  
 Schadenshäufigkeit an Gasleitungen durch äußere Beschädigungen im Zeitraum von 1970 bis 2019  
 in Abhängigkeit der Wandstärke. /35/

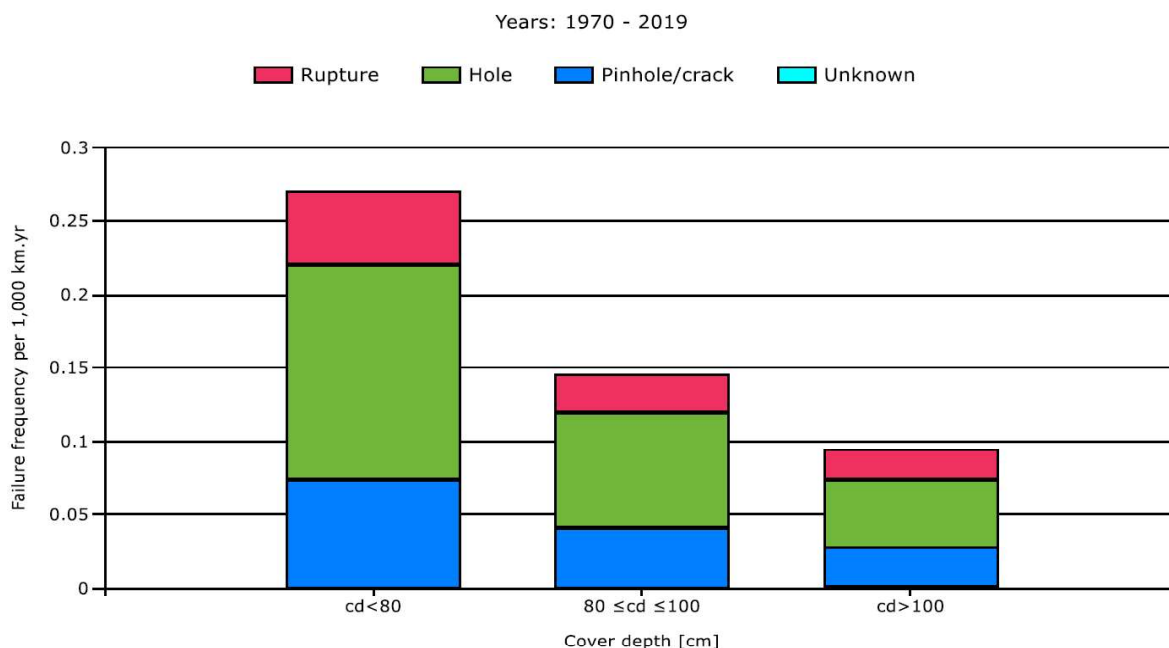


Abbildung 5:  
Schadenshäufigkeit an Gasleitungen durch äußere Beschädigungen im Zeitraum von 1970 bis 2019  
in Abhängigkeit der Überdeckungshöhe. /35/

## 4.2 BAM Forschungsbericht 285

Im Forschungsbericht 285 der BAM (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung) aus dem Jahre 2009, wurden ausschließlich Schadensauswirkungsbetrachtungen durchgeführt. Der Forschungsbericht wertet hauptsächlich weltweite Unfälle von Pipelines aus (150 Schadensfälle ab 1965).

Betrachtet man die einzelnen Unfälle wird deutlich, dass jedoch nur 7 relevante Gasleitungsschäden in Europa im Betrachtungszeitraum aufgetreten sind. Bei genauerer Untersuchung der Schadensvorgänge wird wie auch im 11th EGIG Report deutlich, dass äußere Einflüsse die häufigsten Schadensursachen darstellen. Vergleicht man die aufgetretenen Schadensfälle in Europa mit den im BAM Forschungsbericht dargestellten, wird deutlich, dass durch das in Deutschland vorherrschende deterministische Sicherheitskonzept, die Schadenswahrscheinlichkeit im internationalen Vergleich erheblich reduziert ist. Dies liegt, wie bereits im Vorfeld beschrieben, zum einen an den hohen Wanddicken und zum anderen an dem für Rohre und Rohrleitungsteile vorhandenen Sicherheitsfaktor von mindestens 1,6 - während in Europa nur ein Sicherheitsfaktor von 1,39 gefordert ist. Die aufgeführten Hauptschäden im BAM Forschungsbericht liegen außerhalb Europas und bestätigen die in Deutschland vorherrschende Sicherheitsphilosophie.

Im Bericht werden ferner die Auswirkungen auf Mensch und Umwelt durch mögliche Schadensszenarien bewertet, woraus Gefährdungsradien in Abhängigkeit von Pipelinedurchmesser und Betriebsdruck ermittelt werden. Der sich aus diesen Untersuchungen ableitende Sicherheits-

abstand zu möglichen Bebauungen entspricht nicht den Vorgaben des Regelwerks des DVGW, da durch technische Lösungen mindestens die gleiche Sicherheit wie durch entsprechende Abstände erzielt werden kann. Im deutschen (DVGW) Regelwerk werden im Detail diejenigen Maßnahmen bestimmt, durch die der Eintritt eines Schadens verhindert werden kann. Die Ermittlung von theoretischen Schadensausmaßen, wie z. B. den im Forschungsbericht genannten Gefährdungsradien, oder die Berechnung von Risiken durch den Betrieb von Gasleitungen, ist in den einschlägigen Vorschriften nicht vorgesehen, da in Deutschland das deterministische Sicherheitskonzept angewandt wird. Die im Forschungsbericht zur Ermittlung der Gefährdungsradien angegebenen Korrelationen entsprechen demnach nicht dem technischen Regelwerk für Gasleitungen nach GasHDrLtGv.

Zusätzlich sorgen die gesetzlichen Vorschriften in Deutschland dafür, dass das Schadensrisiko durch begleitende Prüfungen durch anerkannte Sachverständige von der Planung bis zur Inbetriebnahme der Gashochdruckleitung weiter minimiert wird. Durch laufende Überwachung im Betrieb wird sichergestellt, dass äußere Einflüsse im Bereich der Pipelinetrasse rechtzeitig erkannt und Gegenmaßnahmen getroffen werden können.

## 5. Abläufe im Schadensfall

Trotz der sehr geringen Eintrittswahrscheinlichkeit sollen in diesem Kapitel mögliche Abläufe im Falle von Gasfreisetzungen dargestellt werden, um auch Erkenntnisse für eine Gefahrenabwehrplanung liefern zu können.

### 5.1 Stoffdaten von Erdgas

Erdgas besteht zum überwiegenden Teil aus Methan (über 80 Vol.%). Daneben kann Erdgas je nach Vorkommen Ethan, Propan, i-Alkane und n-Alkane sowie Stickstoff und Kohlendioxid enthalten. Innerhalb Deutschlands werden Erdgase transportiert, deren Eigenschaften im DVGW-Arbeitsblatt G 260 beschrieben sind. Die Daten zu relevanten sicherheitstechnischen Kennzahlen für Erdgas sind nachfolgend zusammengefasst.

Dichte (bei 0°C)	[kg/m <sup>3</sup> ]	0,717
relative Dichte (Luft = 1)	[-]	0,55 bis 0,75
Untere Explosionsgrenze	[Vol. %]	4 bis 7
Obere Explosionsgrenze	[Vol. %]	13 bis 17
Zündtemperatur	[°C]	ca. 560

## 5.2 Freisetzung von Erdgas

Die bei einer angenommenen Beschädigung der Rohrleitung ausströmende Gasmenge hängt maßgeblich von der Größe der Austrittsfläche und von dem treibenden Druckgefälle ab. Tritt Erdgas aus einer Öffnung an einer Hochdruckleitung aus, so geschieht dies mit einer erheblichen Geräuschentwicklung (je nach Querschnittsfläche bis zu 120 dB am Emissionspunkt). Dieses Geräusch wird als sehr hoher niederfrequenter Schallpegel, vergleichbar mit dem Start eines Düsenflugzeuges, beschrieben. Somit ergibt sich bei einer Leckage eine deutliche akustische Warnung, die immer auch eine Abschreckung bewirkt, sich der Leckstelle zu nähern.

Aufgrund des Joule-Thomson-Effektes kühlt sich Erdgas durch die Entspannung beim Ausströmen an der Austrittsstelle ab. Mit kleiner werdender Temperatur des Gases nimmt seine Dichte zwar leicht zu, bei den hier zu untersuchenden Druckverhältnissen bewirkt die zu erwartende Temperatursenkung jedoch keine maßgebliche Veränderung des Ausbreitungsverhaltens von Erdgas (kein Schwergaseneffekt). Der Auftriebseffekt bleibt erhalten.

Die oberhalb der Austrittsöffnung aufgrund der impulsbehafteten Freisetzung sich ausbildende Gaswolke hat eine keulenförmige Kontur, wobei die Gaskonzentration innerhalb der Wolke von innen nach außen abnimmt. Dabei gelten Bereiche mit Gaskonzentrationen von 4 % bis 17 % als zündfähig.

Im Rahmen sicherheitstechnischer Betrachtungen sowie für die Gefahrenabwehrplanung ist die Bestimmung jener Bereiche von hoher Bedeutung, innerhalb derer die Gaskonzentration bis auf 50 % der unteren Explosionsgrenze (50 % UEG) abgesunken ist.

Für die nachfolgend erläuterte Ermittlung der Auswirkung einer Erdgasfreisetzung wird fiktiv ein Leck im Scheitelbereich der Gashochdruckleitung unterstellt, das eine Leckfläche von 20 cm<sup>2</sup> besitzt. Dies entspricht theoretisch einem Baggerzahn der Standardabmessungen 5 x 4 cm.

Das freiwerdende Erdgas wird aufgrund des Austrittsimpulses als Freistrahle nach oben strömen. Abhängig vom Winkel der Beschädigung zur Lotrechten und von den Windverhältnissen wird dabei der Freistrahle seitlich abgelenkt. Zur Abschätzung der räumlichen Abmessungen der Grenzschichten, innerhalb derer das im Freistrahle freigesetzte Erdgas bestimmte Konzentrationen erreicht, wurden Berechnungen mit dem numerischen Modell nach Schatzmann durchgeführt. Für die maximale Höhe und die maximale horizontale Ausdehnung der 50 % UEG Isokonzentrationslinien legt das Modell Windgeschwindigkeiten von 1 m/s bzw. 5 m/s zugrunde. Entsprechend dem bayerischen Windatlas sind im Trassengebiet Windgeschwindigkeiten bis zu 3,5 m/s in einer Höhe von 10 m anzutreffen. Für die angenommene Leckfläche von 20 cm<sup>2</sup> und einem Innendruck der Leitung von 100 bar wurde ein Leckmassenstrom in der Größenordnung von 21,8 kg/s abgeschätzt.

Die maximale Höhe und die horizontale Ausdehnung der Gaswolke sind abhängig von den im Schadensfall vorherrschenden Windverhältnissen. In jedem Fall erfolgt eine Ablenkung der

Gaswolke in Windrichtung. Bei 90° Austrittswinkel und Windgeschwindigkeiten bis 1 m/s beträgt die Maximalhöhe der Gaswolke ca. 44 m und ihre horizontale Ablenkung etwa 10 % der vertikalen Ausdehnung. Der Durchmesser, der dabei erreicht werden kann, hängt von den meteorologischen Bedingungen (wie Windprofil und Temperaturschichtungen etc.) ab, liegt aber in der Regel im Bereich weniger Meter.

Der Verlauf der berechneten 50 % UEG Isokonzentrationslinie, die sich bei einer Freisetzung von Erdgas im Freistrahл bei einer Windgeschwindigkeit von 1 m/s einstellt, ist aus der nachfolgenden Abbildung 6 ersichtlich.

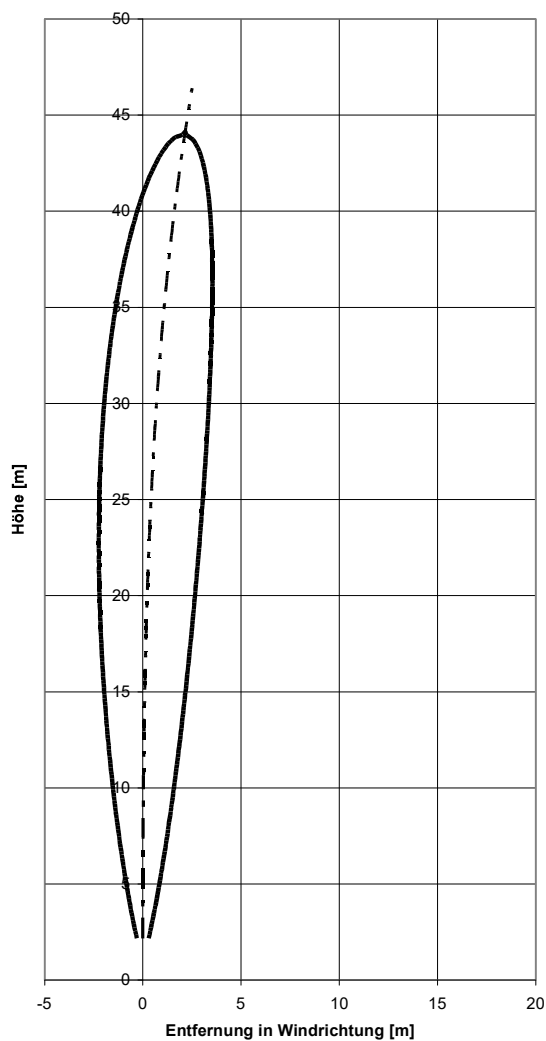


Abbildung 6:

Beispiel einer Isokonzentrationslinie für 50 % UEG bei impulsbehafteter Freisetzung von Erdgas (maximale Höhe nach Schatzmann für Massenstrom 21,8 kg/s, Windgeschwindigkeit 1 m/s, Austrittswinkel 90°).

Die seitliche Ablenkung der Gasfahne wird außer von der Windstärke auch erheblich durch den Austrittswinkel des Freistrahles beeinflusst. Daher wird im Folgenden untersucht, welche Zündbereiche bei einer Gasfreisetzung unter einem Austrittswinkel von  $45^\circ$  auftreten können.

Mit zunehmendem Austrittswinkel (gemessen gegen die Lotrechte) steigt der Anteil des Austrittsimpulses in horizontaler Richtung. Wie die Berechnungen mit dem Schatzmann-Modell zeigen, wird bei einem Austrittswinkel von  $45^\circ$  die Ausbreitung des Erdgases stärker durch die Horizontalkomponente des Austrittsimpulses als durch den Wind beeinflusst. Der oben bereits behandelte Fall einer Beschädigung mit einem Leck von  $20 \text{ cm}^2$  ist in Abbildung 7 für den Fall dargestellt, dass der Freistrahл mit einem Neigungswinkel von  $45^\circ$  gegenüber der Lotrechten austritt.

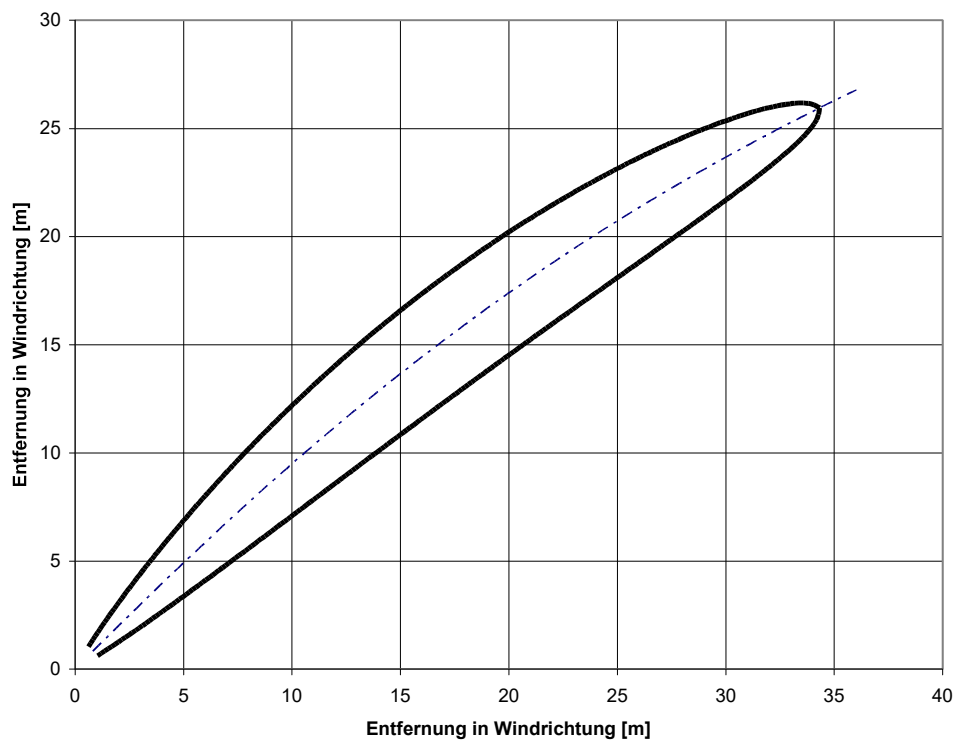


Abbildung 7:

Beispiel einer Isokonzentrationslinie für 50 % UEG bei impulsbehafteter Freisetzung von Erdgas (berechnet nach Schatzmann für Massenstrom  $21,8 \text{ kg/s}$ , Windgeschwindigkeit  $5 \text{ m/s}$ , Austrittswinkel  $45^\circ$ ).

Bei  $45^\circ$  Austrittswinkel und Windgeschwindigkeiten bis  $5 \text{ m/s}$  ergibt die Berechnung eine von der Austrittsstelle schräg nach oben verlaufende Isokonzentrationslinie für 50 % UEG, ihre maximale Höhe beträgt nur noch etwa  $26 \text{ m}$ , ihre horizontale Auslenkung ist bei  $34 \text{ m}$  zu erwarten.

Beim Abstellen einer beschädigten Gashochdruckleitung wird der geringer werdende Leitungsdruck zu einer Abnahme des Leckmassenstromes führen. Als Folge wird die Gasfahne kürzer und die Höhe des Endpunktes nimmt ab. Erfolgt das Abstellen der Leitung als Reaktion auf einen

Schadensfall, ist davon auszugehen, dass sich Einsatzkräfte (Reparaturtrupp, Feuerwehr etc.) vor Ort befinden und Sicherungsmaßnahmen, wie beispielsweise Messen der Gaskonzentration und Absperrungen gefährdeter Bereiche, einleiten.

Als Voraussetzung, dass freiwerdende Gase entzündet werden können, muss die Konzentration von Erdgas in Luft innerhalb der Zündgrenzen liegen und es müssen wirksame Zündquellen vorhanden sein.

Da der Konzentrationsbereich für eine Zündung des Erdgas-Luft-Gemisches relativ klein ist und die räumliche Ausdehnung, in der diese Konzentrationen vorliegen, beim Ausströmen aus einer Gashochdruckleitung auf einen engen Bereich begrenzt bleibt, kann die Zündung von freigesetztem Erdgas als unwahrscheinlich eingestuft werden.

Dies wird auch durch die europäische Schadensstatistik gestützt, die belegt, dass in 94,8 % der Fälle von Gasaustritten keine Zündung erfolgt.

### **5.3 Gegenseitige Beeinflussung**

Die Gastransportleitung AUGUSTA verläuft weitestgehend in einer Trasse im Abstand von 9 m parallel zur Gashochdruckleitung SV50, DN 450, MOP 60. Aufgrund dieses Umstandes sind Schäden durch Gasfreisetzung auf die jeweils andere Leitung zu betrachten.

Unterstellt man trotz des hohen Sicherheits- und Qualitätsstandards das Eintreten einer Leckage, wird für die Ermittlung von möglichen Schadensauswirkungen üblicherweise eine Leckgröße von 20 cm<sup>2</sup> angesetzt. Bei einer angenommenen ungewollten Gasfreisetzung ohne Zündung wird aufgrund des hohen Innendruckes das ausströmende Erdgas als Freistrahle austreten. Ferner ist davon auszugehen, dass eine Leitungspenetration im oberen Bereich der Rohrleitung verursacht wird. Dadurch erfolgt der Freistrahle senkrecht bzw. schräg nach oben.

Im Falle einer nicht zentrischen Leckstelle mit schräg gerichtetem Gasaustrittsstrahl wird eine austretende Gasmenge stets nach oben in Richtung des „geringeren Widerstandes“ umgelenkt. Aufgrund des vorgesehenen Mindestabstandes zwischen den Leitungen von 9 m ist damit selbst bei einem in 45° gegen die Lotrechte austretenden Gasstrahl ein bis an die parallel geführte Leitung heranreichender Freispültrichter nicht zu erwarten. Eine direkte Beaufschlagung der parallel verlaufenden Leitungen durch den Austrittsstrahl braucht daher nicht unterstellt zu werden.

Wie im vorangehenden Abschnitt erläutert, ist eine Entzündung des ausströmenden Erdgases als unwahrscheinlich einzustufen. Für den dennoch unterstellten Fall einer Entzündung ist eine gefährliche Beeinflussung der benachbarten Leitungen aus den nachfolgend genannten Gründen nicht zu erwarten:

- (1) Die Möglichkeit einer direkten Befeuerung einer benachbarten Leitung ist wegen des nach oben gerichteten Freistrahls nicht relevant.
- (2) Das Flammenzentrum der sich bildenden Gasfackel liegt in einiger Höhe über der Austrittsstelle (etwa in halber Flammenhöhe). Aufgrund dieser Höhe und des seitlichen Abstandes zu parallel verlaufenden Rohrleitungen ergibt sich ein nur geringer Anteil der auf die Rohrleitung einfallenden Wärmestromdichte.
- (3) Die benachbarten Leitungen sind mit ausreichender Erddeckung verlegt, die als eine zusätzliche Wärmeschutzisolierung dient.
- (4) Aufgrund des Mediumflusses im Rohr der parallel geführten Leitungen sowie der guten Wärmeleitfähigkeit von Stahl, wird die auftretende Wärmeenergie schnell abtransportiert, so dass eine örtliche Erwärmung nicht zum Absinken der Festigkeitseigenschaften bis zum Versagen der Rohrwandung führen wird.
- (5) Durch organisatorisches Zusammenwirken der jeweils zuständigen Betriebszentralen kann der Medienfluss in der benachbarten Leitung aufrechterhalten und so die Leitung permanent gekühlt werden, wodurch ein Versagen aufgrund von Wärmeeinwirkung von außen verhindert wird.

Für den Bereich innerhalb des Schutzstreifens der Rohrleitungen ist mit der Entzündung von Objekten zu rechnen. Bei Objekten außerhalb des Schutzstreifens hängt dies sehr stark von den örtlichen Gegebenheiten, Windverhältnissen und den Stoffeigenschaften der entsprechenden Objekte ab.

Beim Brand von Erdgas entstehen Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Wasserdampf und Kohlenstoff in Form von Ruß. Bei der Verbrennung von Erdgas werden große Wärmemengen frei, die zu einem nennenswerten thermischen Lift der Rauchgase führen. Gegenüber Bränden mit geringer Wärmeemission ergeben sich dadurch niedrigere Konzentrationen der Verbrennungsprodukte im näheren Umfeld der Brandstelle.

## **6. Beurteilung der technischen Sicherheit**

Die unter Punkt 3.6 aufgeführten technischen Regeln stellen einen unumstrittenen und bewährten Sicherheitsstandard für Gashochdruckleitungen dar. Bei Umsetzung der darin enthaltenen technischen Anforderungen, u. a. für die

- Auswahl geeigneter Werkstoffe,
- Ausreichende Dimensionierung sämtlicher Bauteile,
- Durchführung der erforderlichen Überwachung und Prüfungen im Zuge der Errichtung,
- Durchführung einer Festigkeitsprüfung nach dem Stresstestverfahren mit anschließendem Dichtheitsnachweis,
- Einhaltung der Schutzstreifenbreite,



- Korrosionsschutz,
- Abstände zu unterirdischen Anlagen, Hochspannungsanlagen und Windenergieanlagen,
- Wahrnehmung der Betreiberpflichten,

wird von einem sicheren Betrieb der Gashochdruckleitung ausgegangen. Die Betriebserfahrung und die Schadensstatistik über das gesamte bundesdeutsche Erdgasnetz bestätigen dies.

Das den technischen Regeln für Gashochdruckleitungen zugrunde liegende Ziel, Menschen, Sachwerte und die Umwelt vor potentiellen Gefahren zu schützen, wirft die Frage nach den Faktoren auf, die auf die Integrität und damit die technische Sicherheit einer Rohrleitungsanlage Einfluss nehmen könnten.

Sicherheitstechnisch relevante Einflussfaktoren ergeben sich einerseits aus der Rohrleitungsanlage an sich, z. B. aus ihren Konstruktions- und Betriebsparametern. Andererseits wirken auf eine Rohrleitungsanlage zusätzlich auch umgebungsbedingte Einflussfaktoren.

Zu den umgebungsbedingten Einflüssen zählen äußerlich einwirkende Faktoren, wie z. B. die Baugrundbeschaffenheit und -bewegungen, Grundwasserstände und Wasserchemie (Auftrieb, Korrosion), auftretende Erd- und Verkehrslasten (statisch, dynamisch), Fremdleitungskreuzungen und -näherungen sowie Eingriffe Dritter (Bauarbeiten).

Anlagenbedingte Einflüsse sind im Wesentlichen durch die Eigenschaften des Fördermediums, seines Betriebsdruckes und seiner Temperatur sowie der Betriebsweise der Anlage (Lastwechsel) gekennzeichnet.

Aus der Summe von umgebungs- und anlagenbedingten Einflussfaktoren resultieren zunächst alle Maßnahmen, die primär darauf ausgerichtet sind, eine technisch sichere Rohrleitungsanlage zu gewährleisten. Diese so genannten Primärmaßnahmen dienen dazu, die Rohrleitung so zu errichten, zu betreiben und zu überwachen, dass sie allen umgebungs- und anlagenbedingten Belastungen sicher standhält und Stoffaustritte vermieden werden.

Ergänzend zu den Primärmaßnahmen werden Sekundärmaßnahmen installiert, die einen eventuellen Stoffaustritt erkennbar und begrenzbarmachen. Dazu werden Gasanlagen mit Druck- und Temperaturmessgeräten ausgerüstet und Gasleitungen mittels Streckenarmaturen und Ausblasevorrichtungen in einzelne absperr- und entspannbare Leitungsabschnitte unterteilt. Die Länge dieser Abschnitte sollte entsprechend DVGW-Arbeitsblatt G 463 zwischen 10 bis maximal 18 km betragen.

Ferner werden Gasanlagen mit Sicherheitseinrichtungen zur Druckabsicherung, wie Sicherheitsabsperr- und Sicherheitsabblaseventilen (SAV, SBV) ausgerüstet.

Die erforderlichen Primär- und Sekundärmaßnahmen sind in der GasHDrLtgV sowie in ausführlicher Form im DVGW-Regelwerk fixiert. Es handelt sich dabei um technische Maßnahmen, wie beispielsweise die Auswahl des Rohrleitungsmaterials und der Wanddicken, die Verlegetiefe, Korrosionsschutzmaßnahmen sowie die Ausrüstung mit Sicherheitseinrichtungen, aber auch um organisatorische Maßnahmen, wie die Überwachung betriebsrelevanter Leitungsdaten in einer zentralen Leitwarte sowie die Vorhaltung eines ständig erreichbaren Entstör- und Bereitschaftsdienstes.

## 6.1 Basissicherheit

Als Rohre und Rohrleitungsteile dürfen nur solche Bauteile verwendet werden, die den Anforderungen des DVGW-Arbeitsblattes G 463 in Verbindung mit DIN EN 1594 entsprechen. Dies bedeutet, dass nur zugelassene und für das Medium Erdgas geeignete Werkstoffe verwendet werden dürfen und sämtliche Bauteile für den zulässigen Betriebsüberdruck ausreichend dimensioniert sein müssen. Der Nachweis der ausreichenden Dimensionierung erfolgt mittels einer rechnerischen Vorprüfung durch einen Sachverständigen. Zusätzlich müssen sämtliche drucktragenden Bauteile durch Sachverständige einer Abnahmeprüfung unterzogen und mit einem gültigen Abnahmeprüfzeugnis belegt werden. An Bauteilen mit funktionellen Anforderungen (z. B. Armaturen, Isolierverbindungen) werden darüber hinaus zusätzliche Anforderungen gestellt, die im Rahmen von zusätzlichen Bauteilprüfungen nachzuweisen sind.

Mit dem entsprechend DVGW-Regelwerk bei der rechnerischen Dimensionierung der Wanddicke von Rohren zu berücksichtigenden Sicherheitsbeiwert von mindestens 1,6 wird ein ausreichender Abstand zwischen den tatsächlich, aufgrund der Belastung auftretenden Spannungen und den gewährleisteten mindestens ertragbaren Spannungen des Werkstoffes sichergestellt. So wird auch Zusatzspannungen (z. B. Verlegespannungen, Spannungen aus Formabweichungen, Eigenspannungen im Rohr) sicherheitstechnisch Rechnung getragen, so dass diese in der Berechnung nicht explizit berücksichtigt werden müssen. Gemäß den Planunterlagen für die Gastransportleitung AUGUSTA beträgt die Mindestwanddicke der Rohre 13,0 mm aus dem Werkstoff L 485 ME. Der Sicherheitsbeiwert von 1,7 liegt über den Anforderungen im Regelwerk. Somit wird die Sicherheit der geplanten Gashochdruckleitung weiter erhöht.

Für die bei der Herstellung von Rohren für Gashochdruckleitungen verwendeten Werkstoffe werden besondere Eigenschaften hinsichtlich des Streckgrenzenverhältnisses der Verformungsfähigkeit und Zähigkeit gestellt. Die im Laufe der letzten Jahrzehnte entwickelten Mindestanforderungen zeigen, dass damit in jedem Fall eine wichtige Grundvoraussetzung für einen störungsfreien Betrieb gewährleistet ist. Weiterhin darf das Streckgrenzenverhältnis (Verhältnis von Dehngrenze zur Zugfestigkeit) abhängig vom Werkstoff nicht mehr als 0,90 betragen. Das Streckgrenzenverhältnis der Rohre für die Errichtung der Gastransportleitung AUGUSTA wird nach den Angaben der bayernets auf 0,85 begrenzt. Damit ist gewährleistet, dass eine partielle örtliche Überschreitung der tatsächlichen Streckgrenze zwar zu einer Verformung, nicht aber zu einem plötzlichen Versagen der drucktragenden Rohrwandung eines Bauteiles führen kann.

Da Gasleitungen mit gasförmigem Medium üblicherweise in einem nahezu stationären Betriebszustand mit nur geringen tageszeitlichen und jahreszeitlichen Schwankungen gefahren werden, unterliegen sie keinen signifikanten Druckwechseln und folglich nur geringen Betriebslastspielen (Lastwechsel). Somit unterliegen auch Stellen mit Verformungen und örtlich gestörtem Spannungszustand keinen wechselnden Zusatzspannungen (Biegewechselspannungen), die zu einer Langzeitschädigung oder plötzlichem Versagen eines Bauteiles führen könnten.

Des Weiteren wurde in den europäischen Normen für die Herstellung von Rohrleitungsstählen berücksichtigt, dass Werkstofftrennungen (z. B. Dopplungen, Laminationen, Risse) aufgrund der hohen Anforderungen an die Kerbschlagzähigkeit (Maß für die Verformungsfähigkeit eines Werkstoffes bis zum Bruch) nicht zu instationärem Risswachstum führen.

Da im Zuge der Errichtung der Gashochdruckleitung eine Wasserdruckprüfung nach dem Stresstestverfahren (entsprechend „VdTÜV Merkblatt 1060“) durchgeführt wird, werden Fehlstellen in den Rohren und Rohrleitungsteilen vor Inbetriebnahme erkannt, beseitigt bzw. durch Umlagerung von Spannungen unschädlich gemacht. An Kerben und Rissen werden durch den hohen bei der Stresstestprüfung aufgebrauchten Prüfdruck geringe plastische Dehnungen erzeugt, die eine Umlagerung von Zugspannungen in günstige Druckvorspannungen bewirken. Damit werden örtliche Zusatzspannungen an Fehlstellen so weit reduziert, dass ein späteres Versagen im Betrieb sicher verhindert wird. Die Wasserdruckprüfung nach diesem „Stresstestverfahren“ erzeugt eine vorbeugende und vorausschauende Wirkung und stellt eine integrale Festigkeitsprüfung dar, die jedes einzelne in der Leitung befindliche Bauteil erfasst. Durch den Abbau von Zusatzspannungen (Spannungsspitzen) sowie durch Homogenisierung wird das Spannungsniveau der Rohrleitung nachhaltig verbessert. So trat nachweislich an keiner Rohrleitung, die einer Festigkeitsprüfung nach dem Stresstestverfahren unterzogen wurde, ein Versagen infolge betrieblicher Einflüsse auf.

Neben den oben aufgeführten werkstofftechnischen Anforderungen an die Qualität der verwendeten Werkstoffe, den beschriebenen Sicherheitsstandards bei der Errichtung der Rohrleitung und dem anschließenden Stresstestverfahren wird die Gastransportleitung AUGUSTA gemäß DVGW Arbeitsblatt G 463 mit einem den zu erwartenden mechanischen und anderen korrosiven Beanspruchungen entsprechenden Korrosionsschutz versehen. Dieser besteht aus einer Rohrumhüllung (passiver Schutz) und zusätzlich einem kathodischen Korrosionsschutz - KKS (aktiver Schutz). Die Wirksamkeit des Korrosionsschutzes ist nach Inbetriebnahme und wiederkehrend nachzuweisen.

Die genannten Basisanforderungen bilden die Grundlage für die Integrität der Gastransportleitung AUGUSTA.

## 6.2 Sicherheit gegen äußere Einwirkungen

Schadensstatistiken werden in Europa seit vielen Jahrzehnten geführt. Sie sind eine gute Grundlage zur Beurteilung und Analyse von an Leitungen aufgetretenen Schäden. Sie zeigen auf, dass Beschädigungen durch Bautätigkeiten Dritter in den letzten Jahrzehnten die häufigste Schadensursache für nicht völlig auszuschließende Schäden an Gashochdruckleitungen darstellen. Diese Beschädigungen können durch fahrlässige mechanische Gewalteinwirkung Dritter auf die Rohrleitung durch Baumaschinen, Tiefpflüge, Erdbohrer (horizontal und vertikal) und ähnliches verursacht werden.

Das Risiko einer Perforation der Rohrwand der Gastransportleitung AUGUSTA kann aufgrund der vorgesehenen Wanddicken von mindestens 13,0 mm als sehr gering eingestuft werden. Eine möglicherweise auftretende Beschädigung durch einen Baggerzahn ohne Gasaustritt wird, sofern sie vom Baggerfahrer nicht bereits gemeldet wird, spätestens bei den regelmäßig stattfindenden KKS-Messungen sowie bei einer entsprechend starken Schädigung der Rohrisolierung auch durch die KKS-Fernüberwachung erkannt.

Eine möglicherweise auftretende Beschädigung durch Erdbohrer kann eine Gefährdung für Gashochdruckleitungen darstellen. Sie können durch zentrisches Auftreffen der Bohrspitze auf die Rohrleitung eintreten. Bei nicht zentrischem Auftreffen des Bohrers können die außen am Bohrkranz angeordneten Schneiden eine Beschädigung der Rohrwand verursachen. Die Beschädigung der Rohrwand erfolgt nicht wie beim Baggerzahn in einem Hub sondern durch allmählichen Materialabtrag. Trifft ein Bohrer auf die Wandung, wird dies in der Regel vom Bediener erkannt werden, da sich der Widerstand erhöht. Bei Fehlinterpretationen könnte jedoch bis zum Durchdringen der Wandung weiter gebohrt werden. Allerdings stellt auch hier die Wanddicke der Gastransportleitung AUGUSTA von mindestens 13,0 mm eine Sicherheitsreserve dar.

Im eher unwahrscheinlichen Falle einer Gasfreisetzung bläst bereits bei kleinster Öffnung sofort Gas nach oben, so dass aufgrund der dabei auftretenden Lärmentwicklung angenommen werden muss, dass der Bediener den Bohrvorgang unmittelbar einstellt und es damit zu keiner Vergrößerung der Öffnung kommt. Das Gas kann abblasen und vom Leitungsbetreiber können Maßnahmen zur Schadensbehebung eingeleitet werden. Ein Entzünden ist aufgrund der engen Zündgrenzen sehr unwahrscheinlich, was auch durch die Schadensstatistik belegt wird.

Zur generellen Vermeidung von Beschädigungen werden Gashochdruckleitungen unterirdisch mit einer Erddeckung von mindestens 1,0 m verlegt. Die Überdeckung der Gastransportleitung AUGUSTA beträgt nach den Planunterlagen entsprechend dem Regelwerk mindestens 1,0 m.

Aufgrund der unterirdischen Verlegung ist der Leitungsverlauf und die Lage der für den Betrieb notwendigen Armaturen durch Schilder oder Schilderpfähle mit entsprechenden Hinweisen nach DIN 4065 im Gelände zu kennzeichnen. Dabei sind Schilderpfähle grundsätzlich auf der Leitungssachse und in Sichtweite zueinander anzuordnen. Müssen aufgrund örtlicher

Gegebenheiten Schilderpfähle von der Leitungssachse entfernt angeordnet werden, ist die Richtung und Entfernung entsprechend darauf zu kennzeichnen.

Um bei Tiefbauarbeiten Warnhinweise auf das Vorhandensein von Leitungen zu geben, wird bei der Verlegung der Gashochdruckleitung AUGUSTA ca. 20 cm über dem Rohrscheitel bzw. dem Betriebs- und Kommunikationskabel ein Trassenwarnband mit verlegt. An besonderen Stellen (z. B. Verkehrswege, Querungen von Gewässern) wird die Erdüberdeckung durch Tieferlegen der Leitung erhöht. Alternativ können andere mechanische Sicherungsmaßnahmen ergriffen werden (z. B. Einbringen eines reißfesten Geotextilgewebes, Überdeckung mit Betonplatten).

Weiterhin werden aufgrund der regelmäßig stattfindenden Trassenkontrollen durch Begehen, Befahren oder Befliegen Bauaktivitäten im Bereich der Leitungstrasse rechtzeitig erkannt und so Beschädigungen der Leitung vermieden.

Der Schutzstreifen wird durch Eintragung in das Grundbuch dinglich gesichert und dient dem Schutz der Rohrleitung. Bebauungen im Schutzstreifen sind generell verboten. Baumaßnahmen Dritter im Bereich des Schutzstreifens sind dem Leitungsbetreiber vor Aufnahme der Arbeiten anzuzeigen. Die Integrität des Schutzstreifens dient damit auch der Integrität der Rohrleitung. Diese Maßnahmen haben sich in den vergangenen Jahrzehnten bewährt.

Vor Baubeginn ist der Bauausführende verpflichtet, Erkundigungen über die Lage von unterirdischen Versorgungsanlagen (andere Versorgungsleitungen und Kabel) einzuholen. Für den Betreiber besteht die Pflicht zur Auskunft über die Lage und den Verlauf der Versorgungsanlagen. Die rechtliche Verpflichtung ergibt sich aus dem Baugesetzbuch (§ 2 BauGB, § 4 BauGB), den technischen Regeln (DVGW-Arbeitsblätter GW 118, GW 315) sowie den Vorschriften zur Unfallverhütung (DGUV Regelwerk). Die Bauarbeiten sind vom Bauausführenden mit dem Betreiber im Zuge der Erkundigungspflicht abzustimmen. Auflagen, Schutzanweisungen und Sicherungsmaßnahmen (z. B. Einweisung vor Ort, Arbeitsgenehmigung des Betreibers) sind einzuhalten. Die Erkundigungspflicht vor Baubeginn stellt daher ein unverzichtbares Mittel zur Gewährleistung der Sicherheit gegen äußere Einwirkungen dar.

Die Bauarbeiten dürfen nur unter fachkundiger Aufsicht durchgeführt werden. Baumaschinen dürfen nur so eingesetzt werden, dass eine Beschädigung der Gashochdruckleitung sowie anderer betroffener Versorgungsleitungen und Kabel ausgeschlossen ist. Die Auflagen des Betreibers sind dabei einzuhalten. Für die notwendige Fachkunde der Aufsicht und die Qualifikation des Maschinenführers ist der Bauausführende verantwortlich. Die Fachkunde und Qualifikation erfolgt nach den einschlägigen Regeln und Vorschriften des Baugewerbes und den Unfallverhütungsvorschriften (z. B. DGUV Vorschrift 38, DGUV Information 203-017) oder durch Nachweis eines Lehrgangs nach DVGW-Hinweis GW 129.

Für den Fall einer ungewollten Gasfreisetzung verfügen die Leitungsbetreiber über eine zentrale Leitwarte (Fernüberwachung und Betriebssteuerung), die Leckagen anhand von Druckverlusten

erkennen und unverzüglich die Einleitung von geeigneten Maßnahmen ergreifen bzw. veranlassen kann. Eine zentrale Meldestelle nimmt darüber hinaus Meldungen von außen entgegen, koordiniert und steuert die entsprechenden Sicherungsmaßnahmen. Die zentrale Meldestelle ist rund um die Uhr besetzt. Sicherungsmaßnahmen können so umgehend eingeleitet werden. Entsprechend dem Managementsystem liegen Notfallpläne vor, nach denen die Sicherungsmaßnahmen durchgeführt werden. Diese werden regelmäßig geübt.

### **6.3 Parallelführung und Kreuzungen**

Gashochdruckleitungen sind ergänzend zu der unter Punkt 6.1 beschriebenen Basissicherheit aufgrund des Regelwerkes zur Sicherung ihres Bestandes, des Betriebes und der Instandhaltung sowie gegen Einwirkungen von außen in einem Schutzstreifen zu verlegen. Der Schutzstreifen muss für Tätigkeiten an der Leitung jederzeit und ungehindert zugänglich bleiben. Die Errichtung von betriebsfremden Bauwerken innerhalb des Schutzstreifens ist ebenfalls nicht gestattet.

Für die Gastransportleitung AUGUSTA beträgt die Schutzstreifenbreite 10 m, wobei die Leitung in der Regel mittig in dem Schutzstreifen verlegt wird.

Im DVGW-Regelwerk sind zulässige Abstände zu anderen unterirdischen (Rohrleitungen und Kabel) sowie oberirdischen Versorgungsanlagen (Hochspannungsfreileitungen und Strommasten) vorgegeben. Können im Zuge der Bauausführung die vorgegebenen Abstände nicht eingehalten werden, werden in Abstimmung mit dem Sachverständigen zusätzliche Maßnahmen ergriffen, durch die eine gegenseitige Beeinträchtigung ausgeschlossen werden kann.

In Kreuzungsbereichen mit Verkehrswegen sind, zusätzlich zur Beanspruchung der Rohrleitung durch Innendruck, höhere Erdlasten infolge einer höheren Erdüberdeckung und die Verkehrslasten zu berücksichtigen. Unter Berücksichtigung dieser Lasten ist nach den Anforderungen des DVGW-Regelwerkes der Nachweis zu erbringen, dass keine unzulässigen Spannungszustände oder Verformungen der Rohrleitung entstehen können.

Für Kreuzungen in geschlossener Bauweise sind im DVGW-Regelwerk (u. a. DVGW-Arbeitsblätter GW 304, GW 312) besondere Anforderungen hinsichtlich Planung und Ausführung festgelegt.

### **6.4 Annäherung an Wohngebäude**

Die geplante Breite des Schutzstreifens der Gastransportleitung AUGUSTA beträgt 10 m. Die GasHDrLtGv sowie das DVGW-Regelwerk sehen keine starren Vorgaben für den Abstand zu Wohngebäuden vor. Bei der Trassenplanung werden geschlossene Siedlungsflächen unter Berücksichtigung der örtlichen Bebauungs- und Flächennutzungsplanungen soweit wie möglich umgangen. Aufgrund der Zersiedelung lässt sich die Annäherung an Wohnbebauung bis dicht an den Schutzstreifenrand heran nicht gänzlich vermeiden. Im Folgenden soll die Annäherung an Wohnbebauung näher betrachtet und aus sicherheitstechnischer Sicht beurteilt werden.

Äußere Beschädigungen stellen in der Schadensstatistik die häufigste Ursache für Schäden an Gasleitungen mit Gasfreisetzungen dar. In Gebieten mit erhöhtem Schutzbedürfnis, u. a. in bebauten Gebieten, sind entsprechend den Anforderungen des DVGW-Regelwerks (DVGW-Arbeitsblatt G 463) zusätzliche Schutzmaßnahmen vorzusehen. Die Maßnahmen werden im Folgenden dargestellt und deren Anwendbarkeit bei der Errichtung der Gastransportleitung AUGUSTA beurteilt.

(1) Verwendung eines besonders verformungsfähigen Werkstoffes

Zur Vermeidung eines plötzlichen Versagens der drucktragenden Rohrwandung bei einer Überschreitung der tatsächlich vorhandenen Streckgrenze sollte das Streckgrenzenverhältnis (Verhältnis Streckgrenze zur Zugfestigkeit) entsprechend DIN EN ISO 3183 - Anhang A, nicht mehr als 0,90 betragen. Nach den Angaben der bayernets ist es vorgesehen einen L 485 ME als Rohrleitungswerkstoff mit einem Streckgrenzenverhältnis von  $\leq 0,85$  und einer Bruchdehnung von  $\geq 18 \%$  einzusetzen.

(2) Sicherheitsbeiwert

Der Sicherheitsbeiwert der Gastransportleitung AUGUSTA beträgt unabhängig von der Schutzbedürftigkeit über die gesamte Leitungslänge 1,7. Durch den Sicherheitsbeiwert von 1,7 im Vergleich zu dem mindestens geforderten Wert von 1,6 wird bereits bei der Dimensionierung der Rohrleitung ein höheres Maß an Sicherheit erreicht.

(3) Wasserdruckprüfung mit erhöhtem Prüfdruck nach VdTÜV-Merkblatt 1060

Entsprechend DVGW-Arbeitsblatt G 463 wird bebautes Gebiet als Gelände definiert, das bereits bebaut ist oder im Geltungsbereich eines gültigen Bebauungsplanes (gemäß §§ 8, 11, Baugesetzbuch) zur Bebauung ausgewiesen ist. Darunter fällt auch Gelände, in dem Gasleitungen näher als 20 m an Wohngebäude oder Gebäude, die zum ständigen Aufenthalt von Menschen bestimmt sind, vorbeigeführt werden.

In diesem Fall ist die Gasleitung einer Wasserdruckprüfung nach dem Druck-/ Volumenmessverfahren (Stresstestverfahren entsprechend „VdTÜV Merkblatt 1060“) zu unterziehen. Die gesamte Gastransportleitung AUGUSTA wird einer Stresstestprüfung unterzogen. Bei diesem Druckprüfungsverfahren werden die Rohre bis an ihre Elastizitätsgrenze (Beginn der plastischen Verformung) erprobt. Damit werden kritische Fehler in den Rohren und deren Schweißnähte durch Spannungsumlagerung saniert, durch Undichtigkeit oder Platzen detektiert bzw. bei unkritischer Länge durch eine örtliche Vorspannung stabilisiert. Das Stresstestverfahren stellt weltweit das modernste Festigkeitsprüfverfahren dar. Durch den Einsatz dieses Verfahrens wird die integrale Sicherheit der Gastransportleitung AUGUSTA deutlich erhöht.

(4) Verlegung von Warnbändern oberhalb der Rohrleitung

Unabhängig von der Schutzbedürftigkeit wird nach den vorliegenden Planunterlagen ca. 20 cm über dem Rohrscheitel bzw. dem Betriebs- und Kommunikationskabel ein Trassenwarnband verlegt, um bei Tiefbauarbeiten Warnhinweise auf das Vorhandensein von Leitungen zu geben.

(5) Höhere Erdüberdeckung

Entsprechend dem DVGW-Regelwerk wird eine Überdeckung von mindestens 1,0 m gefordert. Durch die Tieferlegung wird die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Beschädigung durch äußere Einwirkung, wie im EGIG Report dargestellt, deutlich verringert. Als zusätzliche Sicherungsmaßnahme kann die Verlegung eines Sicherheitsvlieses durchgeführt werden. Das Vlies wird mittig über der Fernleitung verlegt. Eine Ersatzmaßnahme zur höheren Überdeckung stellt ebenso der Einbau von Betonplatten oberhalb der Rohrleitung dar, die zum einen eine Lastverteilung im Bereich von Kreuzungen mit Verkehrswegen (Straße, Schiene) bewirken und zum zweiten einen zusätzlichen mechanischen Schutz darstellen. Die Umsetzung ist grundsätzlich möglich und bei der Ausführungsplanung vorzusehen.

(6) Umfangreichere Überwachung der Bau-, Schweiß- und Verlegearbeiten

Beim Bau einer Gashochdruckleitung müssen jeweils von der bauausführenden Firma sowie vom Bauherrn (bayernets GmbH) die Arbeiten durch qualifiziertes Fachpersonal der Schweißtechnik und des Tiefbaus beaufsichtigt werden. Zusätzlich führt der Sachverständige eine Bauprüfung baubegleitend bei der Errichtung der Rohrleitung entsprechend VdTÜV-Merkblatt 1001 durch. Dabei prüft der Sachverständige stichprobenweise die ordnungsgemäße Durchführung der Bau-, Schweiß- und Verlegearbeiten. Durch den Einsatz zusätzlicher Sachverständiger oder Inspektoren kann eine umfassende Qualitätssicherung erfolgen. Die Umsetzung ist beim Bau der Gastransportleitung AUGUSTA generell umsetzbar.

(7) Erhöhung der Anzahl der Markierungen zur Kennzeichnung des Leitungsverlaufs

Die Lage der für den Betrieb notwendigen Armaturen sowie der Verlauf der Gashochdruckleitung im Gelände, im Bereich von Straßen-, Leitungs- und Gewässerkreuzungen ist durch Schilderpfähle oder Schilder nach DIN 4065 zu kennzeichnen. Dabei sind die Schilderpfähle grundsätzlich auf der Leitungssachse und in Sichtweite zueinander anzuordnen. Zur Erhöhung der Wahrnehmung ist in bebautem Gebiet eine dichtere Kennzeichnung der Leitungsführung, z. B. durch Schilderpfähle, vorzusehen. Eine Aufstellung zusätzlicher Schilderpfähle an exponierten Stellen, zum frühzeitigen Hinweis auf das Vorhandensein einer Gasleitung ist generell umsetzbar.

(8) Einrichtung zusätzlicher Messstellen zur Überwachung des kathodischen Korrosionsschutzes

Der Einbau zusätzlicher Messstellen zur Überwachung der Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes ist generell umsetzbar.



Durch die aufgeführten Maßnahmen lässt sich zum einen die Eintrittswahrscheinlichkeit einer äußeren Beschädigung der Rohrleitung durch Dritte deutlich herabsetzen, zum anderen wird durch die Verformungsfähigkeit des Werkstoffes sowie durch die Wandstärke der Rohre, die integrale Sicherheit der Gashochdruckleitung gesteigert.

Die Maßnahmen (1) bis (4) sind unabhängig von der Schutzbedürftigkeit auf der gesamten Trassenlänge der Gashochdruckleitung AUGUSTA vorgesehen. Zusätzliche Maßnahmen werden in einem Konzept in Abhängigkeit des Abstandes zur Bebauung festgelegt und sind Teil der Ausführungsplanung für den Bau der Gastransportleitung AUGUSTA.

## **6.5 Sicherheit gegen Auswirkungen von Naturereignissen**

Für die Trassenplanung sind entsprechend den technischen Vorschriften (u. a. DIN EN 1594, DVGW-Arbeitsblatt G 463) geographische, geotechnische, hydrologische und topographische Verhältnisse, die einen Einfluss auf die Sicherheit der Gashochdruckleitung haben könnten, sorgfältig zu erkunden und zu berücksichtigen. Sofern die Gashochdruckleitung durch ein Gebiet verläuft, in dem signifikante äußere Lasten (z. B. durch Hangrutschungen oder Hochwasser) auftreten können, müssen in Abhängigkeit vom Gefährdungspotential konstruktive Maßnahmen zum Schutz der Leitung ergriffen werden.

### Erdbeben

In Deutschland treten Erdbeben relativ selten und mit sehr geringer Intensität auf. Entsprechende Schäden an Gashochdruckleitungen, verursacht durch Erdbeben, sind bisher nicht bekannt geworden.

Durch den Ausschuss für Rohrfernleitungen, angesiedelt beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, wurde im Dezember 2011 „Die Beurteilung der Gefährdung von eingeeordneten Rohrfernleitungen durch Erdbeben in deutschen Erdbebengebieten“ veröffentlicht.

Auf Grundlage der DIN EN 1998-1 (2011-01), der DIN EN 1998-4 (2007-01) und DIN EN 1998-1/NA (2011-01) wurden die zulässigen Grenzzustände (Fließgrenze, Bruchgrenze) hinsichtlich der Verformungen eingeeordneter Rohrleitungen bei dem Auftreten von Erdbebenwellen untersucht. Nach DIN EN 1998-1/NA (2011-01) erfolgt die Klassifizierung abhängig von der Wahrscheinlichkeit und Intensität (Bodenbeschleunigung) seismischer Aktivitäten in Erdbebenzonen von 0 bis 3, wobei die Wahrscheinlichkeit und Intensität seismischer Aktivitäten in Zone 0 am geringsten und in Zone 3 entsprechend am höchsten ist. In Abbildung 8 sind schematisch die Erdbebenzonen in Deutschland dargestellt. Die Gebiete mit erhöhter Seismizität beschränken sich auf den Alpennordrand, das Bodenseegebiet, den Oberrheingraben, die Schwäbische Alb, das Mittelrheingebiet, die Niederrheinische Bucht, das Vogtland, die Region um Gera und die Leipziger Bucht.

Zusätzlich zur Bodenbeschleunigung wurden die Einflüsse der örtlichen Untergrundverhältnisse (Baugrund- und Untergrundklassen), der sog. Bedeutungsbeiwert für das Gefahrenpotential des Transportgutes sowie die zulässige Dehnung und Stauchung von Rohrleitungen (Wandstärken-Durchmesserverhältnisse für unterschiedliche Werkstoffe) berücksichtigt.

Unter Zugrundelegung der jeweils ungünstigsten Randbedingungen (größte anzunehmende Bodenbeschleunigungen (Erdbebenzone 3), ungünstigste Baugrund- und Untergrundverhältnisse, maximaler Bedeutungsbeiwert und ungünstigen Wanddicken-Durchmesserverhältnissen) ergaben sich Zusatzbeanspruchungen, die deutlich unter den in der Norm angegebenen Grenzwerten liegen. Innerhalb der Bundesrepublik Deutschland würde die Grenzbelastbarkeit einer Rohrfernleitung demnach auch unter der Annahme von sehr konservativen Randbedingungen nicht überschritten.



Abbildung 8:  
Erdbebenzonen in Deutschland gemäß DIN EN 1998-1/NA (2011-01). /10/

## Erdbewegungen / Hangrutschungen

Bei der Planung der Trassenführung von Gashochdruckleitungen werden sowohl wasserführende Täler (mit Flussläufen) als auch direkte Überquerungen von Bergen oder Hügeln möglichst vermieden. Die Leitungen werden vornehmlich entlang des „Hangauslaufes“ verlegt, um ein Freispülen oder Erosionen sowie Hangrutschungen zu vermeiden.

Hangrutschungen an Oberflächen werden in der Regel durch Gleitschichten in oberflächennahen Bodenbereichen ausgelöst. Solche Gleitschichten können sich zum Beispiel durch „gespanntes Grundwasser“ auf wasserundurchlässigen Schichten ausbilden. Ausgehend von einer Abrisskante kann dabei eine Erdscholle abrutschen.

Erfahrungen aus der laufenden Überwachung von Rutschhängen zeigen, dass dabei die oberflächennahen Erdschichten im „Fußbereich“ eines Hanges nicht mehr wesentlich betroffen werden, da sich die bewegende Scholle ähnlich einer Moräne überwiegend darüber hinweg schiebt. Werden Rohrleitungen in diesen Bereichen mit höherer Erddeckung verlegt, bleiben diese von möglichen Erdbewegungen unbeeinflusst.

Durch die intensive Einbindung von geologisch geschulten Fachleuten bei der Trassenplanung und vorausgehenden Bodenuntersuchungen werden die für die Verlegung zu erwartenden Bedingungen bereits vor der Errichtung der Gashochdruckleitung eingeschätzt. Somit können bereits im Planungsstadium wirksame Maßnahmen zur Stabilisierung betroffener Bereiche für rutschgefährdete Hänge, wasserführende Bereiche sowie für Bodenbewegungen vorgesehen werden.

Sofern eine Verlegung der Trasse in Gebiete außerhalb von rutschgefährdeten Bereichen nicht möglich ist, werden zusätzliche, den örtlichen Gegebenheiten angepasste Maßnahmen zur Sicherung der Leitungsstabilität sowie zur Überwachung der Lage und des Spannungszustandes der Leitung ergriffen.

## Hochwasser

Für Gasleitungen mit Verlauf in Überschwemmungs- oder Moorgebieten sowie bei der Kreuzung mit Gewässern mittels Dükerung muss dem Sachverständigen im Zuge der Begutachtung des Bauvorhabens die Sicherheit der Leitung gegen Auftrieb und Absinken, Freispülung und Beschädigung auch in diesen Bereichen nachgewiesen werden. So ist zum Nachweis einer ausreichenden Sicherheit der Leitung eine sog. Auftriebsberechnung durchzuführen, anhand der dann die erforderlichen Maßnahmen (z. B. der Einbau von Betonreitern) festgelegt werden.

Durch den Einbau von Tonriegeln werden Rinnenströmungen entlang der Rohroberfläche wirksam verhindert. Zum Schutz der Fernleitungen vor Freispülungen durch Hochwasser werden betonummantelte Dükerrohre i. d. R. in den Grundbereichen der Gewässer mit Betonplatten oder

großen Steinen zusätzlich gesichert. Die Uferbereiche werden großzügig in diese Sicherungsmaßnahmen mit einbezogen.

## **6.6 Betrieb, Instandhaltung und Notfallvorsorge**

Entsprechend § 4 GasHDrLtG werden von Betreibern von Gashochdruckleitungen im Zuge eines Managementsystems laufende Instandhaltungs- und Wartungsmaßnahmen sowie die Unterhaltung eines ständigen Bereitschafts- und Entstörungsdienstes gemäß DVGW-Arbeitsblatt GW 1200 gefordert, wodurch ein sicherer Leitungsbetrieb sowie die schnelle Einleitung von Maßnahmen im Störfall gewährleistet ist. Die Anforderungen an die Qualifikation und Organisation von Gasnetzbetreibern werden im DVGW-Arbeitsblatt G 1000 definiert. Die Einhaltung der Anforderungen wird regelmäßig im Rahmen einer TSM-Schulung (TSM: Technisches Sicherheitsmanagement) beurteilt.

So sind für den Betrieb von Gashochdruckleitungen der öffentlichen Gasversorgung gemäß GasHDrLtG Betriebsstellen einzurichten, die ständig zur Entgegennahme von Meldungen bereit sind und die zur Entstörung nötigen Maßnahmen einleiten können. Zur Beseitigung von Störungen und zur Schadensbekämpfung ist ständig ein Bereitschaftsdienst zu unterhalten. Er ist fachlich so zusammenzusetzen und mit Fahrzeugen auszurüsten, dass er in der Lage ist, Folgeschäden zu verhindern oder zu beseitigen und notwendige Ausbesserungen nach Möglichkeit sofort vorzunehmen.

### Instandhaltung

Die erforderlichen Maßnahmen zur Instandhaltung (Inspektion, Wartung und Instandsetzung) von Gashochdruckleitungen werden im DVGW-Arbeitsblatt G 466-1 geregelt.

In bebauten Gebieten ist die Leitungstrasse mindestens alle 2 Monate einmal zu begehen, zu befahren oder monatlich zu befliegen. Darüber hinaus werden Leitungen in bebauten Gebieten entsprechend DVGW-Arbeitsblatt G 466-1 mindestens jährlich auf Undichtheiten hin überprüft.

In unbebautem Gebiet erfolgt die Streckenkontrolle in Abständen von höchstens 4 Monaten. Streckenabschnitte in bergrechtlich bedeutsamen Gebieten unterliegen intensiverer Trassenkontrolle sowie zusätzlichen Überwachungen. Weitere Details sind im Abschnitt 5 des DVGW-Arbeitsblatts G 466-1 geregelt.

Inspektion und Wartung umfassen nachstehende Tätigkeiten:

- regelmäßige Streckenkontrollen,
- Überwachung und Wirksamkeitsprüfung des kathodischen Korrosionsschutzes,
  - Kontrolle von Schutzanlagen,
  - Kontrollmessungen des Rohr/Boden-Schutzpotentials,

- Kontrolle von galvanischen Anodenanlagen,
- Kontrolle von Rohrleitungen mit Schutzmaßnahmen gegen Streuströme,
- Wartung von kathodischen Fremdstromschutzanlagen,
- Überprüfung der bestehenden Rohrleitung auf Beschädigung im Zuge von Tiefbauarbeiten, Rammungen, Rohrverlegungen etc.,
- Anpassung der Überwachungsmaßnahmen bei Änderung der Betriebsbedingungen oder Änderung der Bebauung,
- Funktionsüberprüfungen von Leitungseinrichtungen (Fernsteueranlagen, Motorschieber etc.),
- Dokumentation und Auswertung der Überwachungsergebnisse.

### Bereitschaftsdienst

Neben der rechtlichen Verpflichtung des Betreibers, einen ständigen Bereitschafts- und Entstörungsdienst zu unterhalten, bestehen gemäß DVGW-Arbeitsblatt GW 1200 grundsätzliche Anforderungen an die Aufbau- und Ablauforganisation sowie an das Personal des Bereitschaftsdienstes.

### Alarmierungs- und Einsatzpläne

In Alarmierungs- und Einsatzplänen sind die Anweisungen für das Verhalten bei Störungen und Schadensfällen sowie Einzelheiten für die Alarmierung externer Hilfsorganisationen und Information der zuständigen Behörden geregelt.

## **7. Zusammenfassung**

Gashochdruckleitungen müssen entsprechend den Anforderungen des Standes der Technik errichtet und geprüft werden.

Analog der Philosophie des in Deutschland üblichen deterministischen Sicherheitskonzeptes werden Rohrleitungen so ausgelegt, errichtet, geprüft und betrieben, dass an allen Punkten der Leitung, unabhängig von den äußeren nicht beeinflussbaren Bedingungen, eine gleich hohe Sicherheit gewährleistet ist.

Im Vergleich zu anderen europäischen Regelwerken sind die bundesdeutschen technischen Anforderungen für die Errichtung, die Prüfung und den Betrieb von Gashochdruckleitungen als sehr hoch einzustufen. Die seit Jahrzehnten verwendeten bewährten Vorschriften, technischen Regeln und Baustandards und die baubegleitende Qualitätssicherung und Überwachung der Bau-, Schweiß- und Verlegearbeiten durch qualifiziertes Fachpersonal sind Grundlage dieses hohen Standards.

Die Vorprüfung der Planunterlagen sowie die Überwachung der Bau-, Schweiß- und Verlegearbeiten während der gesamten Projektphase sowie die Durchführung einer integralen Wasserdrukprüfung nach dem Stresstestverfahren durch anerkannte Sachverständige gewährleisten die Einhaltung der Qualitätsstandards, die gleichzeitig eine ausreichende Basissicherheit von Gashochdruckleitungen darstellen.


Bereits bei der Tassenplanung werden mögliche Einflüsse auf die Sicherheit der Gashochdruckleitung anhand von vorausgehenden Bodenuntersuchungen durch geologisch geschulte Fachleute beurteilt.

Für die Vermeidung von äußeren mechanischen Beschädigungen kommt der Kennzeichnung des Trassenverlaufes, der Überwachung der Einhaltung des Bauverbotes im Schutzstreifen sowie der zyklischen Kontrolle der Leitungstrasse eine besondere Bedeutung zu.

Durch die Anforderungen des DVGW-Regelwerks wird gewährleistet, dass die Gastransportleitung AUGUSTA entsprechend dem Stand der Technik errichtet sowie sicher und bestimmungsgemäß mit dem Medium Erdgas betrieben werden kann. Zusätzlich zu den im Regelwerk des DVGW festgelegten Anforderungen wird die integrale Sicherheit der Leitung durch die Erhöhung des Sicherheitsbeiwertes auf 1,7 und einer Mindestwanddicke von 13,0 mm weiter gesteigert.

München, 10.08.2022

Anlagensicherheit  
Bereich Fernleitungen



i. A. Wolfram Sollinger

Der Sachverständige\*)



Ronny Friedrich

\*) der akkreditierten Inspektionsstelle Typ A (Urkunde D-IS-14153-02-05),  
anerkannt gem. § 11 Abs. 1 GasHDrLtgV durch das StMWi Bayern, Az. 85c-8225c/485/3 vom 20.07.2018

## Referenzen

- /1/ Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz - EnWG) vom 7. Juli 2005 (BGBl. I S. 1970, 3621), zuletzt geändert durch Artikel 84 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436)
- /2/ Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) vom 18. März 2021 (BGBl. I S. 540), zuletzt geändert durch Artikel 14 des Gesetzes vom 10. September 2021 (BGBl. I S. 4147)
- /3/ Baugesetzbuch (BauGB) vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634), zuletzt geändert durch Artikel 9 des Gesetzes vom 10. September 2021 (BGBl. I S. 4147)
- /4/ Verordnung über Gashochdruckleitungen (Gashochdruckleitungsverordnung – GasHDrLtGv) vom 18.05.2011, zuletzt geändert durch Artikel 24 des Gesetzes vom 13. Mai 2019 (BGBl. I S. 706)
- /5/ DIN 4065 „Gasleitungen im Transportnetz - Hinweisschilder“; Dezember 2019
- /6/ DIN 30670 „Polyethylen-Umhüllungen von Rohren und Formstücken aus Stahl - Anforderungen und Prüfungen“; April 2012
- /7/ DIN EN 1594 „Gasinfrastruktur - Rohrleitungen für einen maximal zulässigen Betriebsdruck über 16 bar - Funktionale Anforderungen“; Dezember 2013
- /8/ DIN EN 1998-1 „Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten“; Januar 2011
- /9/ DIN EN 1998-4 „Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 4: Silos, Tankbauwerke und Rohrleitungen“; Januar 2007
- /10/ DIN EN 1998-1/NA „Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben - Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten“; Januar 2011
- /11/ DIN EN ISO 3183 „Erdöl- und Erdgasindustrie - Stahlrohre für Rohrleitungstransportsysteme“; Februar 2020
- /12/ DGUV Vorschrift 1 „Grundsätze der Prävention“; November 2013
- /13/ DGUV Vorschrift 38 „Bauarbeiten“; April 2020
- /14/ DGUV Regel 100-500 „Betreiben von Arbeitsmitteln“; April 2022
- /15/ DGUV Information 201-052 „Rohrleitungsbauarbeiten“; Juli 2021
- /16/ DGUV Information 203-017 „Schutzmaßnahmen bei Erdarbeiten in der Nähe erdverlegter Kabel und Rohrleitungen“; Februar 2019
- /17/ DVGW-Arbeitsblatt G 260 „Gasbeschaffenheit“; September 2021
- /18/ DVGW-Arbeitsblatt G 463 „Gashochdruckleitungen aus Stahlrohren für einen Auslegungsdruck von mehr als 16 bar; Planung und Errichtung“; Oktober 2021

- /19/ DVGW-Arbeitsblatt G 466-1 „Gashochdruckleitungen aus Stahlrohren für einen Auslegungsdruck von mehr als 16 bar; Betrieb und Instandhaltung“; Dezember 2021
- /20/ DVGW-Arbeitsblatt G 469 „Druckprüfverfahren Gastransport / Gasverteilung“; Juli 2019
- /21/ DVGW-Arbeitsblatt G 1000 „Anforderungen an die Qualifikation und die Organisation von Unternehmen für den Betrieb von Anlagen zur leitungsgebundenen Versorgung der Allgemeinheit mit Gas (Gasversorgungsanlagen)“; September 2020
- /22/ DVGW-Arbeitsblatt GW 118 „Erteilung von Netzauskünften“; April 2017
- /23/ DVGW-Hinweis GW 129 „Sicherheit bei Arbeiten im Bereich von Netzanlagen - Ausführende, Aufsichtspersonen und Arbeitsvorbereitende: Anforderungen und Qualifikation“; August 2021
- /24/ DVGW-Arbeitsblatt GW 304 „Rohrvortrieb und verwandte Verfahren“; Dezember 2008
- /25/ DVGW-Arbeitsblatt GW 312 „Statische Berechnung von Vortriebsrohren“; März 2014
- /26/ DVGW-Arbeitsblatt GW 315 „Maßnahmen zum Schutz von Versorgungsanlagen bei Bauarbeiten“; Januar 2020
- /27/ DVGW-Arbeitsblatt GW 350 „Schweißverbindungen an Rohrleitungen aus Stahl in der Gas- und Wasserversorgung - Herstellung, Prüfung und Bewertung“; Juni 2015
- /28/ DVGW-Arbeitsblatt GW 1200 „Grundsätze und Organisation des Entstörungsmanagements für Gasnetzbetreiber und Wasserversorgungsunternehmen“; Juni 2021
- /29/ VdTÜV-Merkblatt 1001 „Richtlinie über die Bauprüfungen an Gashochdruckleitungen durch den Sachverständigen der Inspektionsstelle nach § 13 GasHDrLtgV“; Juli 2015
- /30/ VdTÜV-Merkblatt 1051 „Wasserdruckprüfung von erdverlegten Rohrleitungen nach dem Druck-Temperatur-Messverfahren (D-T-Verfahren)“; Juni 2015
- /31/ VdTÜV-Merkblatt 1060 „Rohrleitungen; Richtlinien für die Durchführung des Stresstests“; April 2018
- /32/ Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie: Bayerischer Windatlas; September 2021
- /33/ M. Schatzmann: An Integral Model of Plume Rise Atmospheric Environment, Vol 13, S. 721-731, 1979
- /34/ Ausschuss für Rohrfernleitungen (AfR) beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Die Beurteilung der Gefährdung von eingeedeten Rohrfernleitungen durch Erdbeben in deutschen Erdbebengebieten; Dezember 2011
- /35/ 11th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group (period 1970 – 2019); December 2020
- /36/ BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung: Forschungsbericht 285 - Zu den Risiken des Transports flüssiger und gasförmiger Energieträger in Pipelines; 2009