



Störfallbetrachtungen zur Verlegung einer Erdgas- hochdruckleitung im Doppelrohrsystem und/oder zur Verlegung einer Erdgashochdruckleitung mit verschiedenen Überdeckungen (Tiefenlagen)

(Oktober 2016)

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Die rasche Siedlungsentwicklung rund um Erdgashochdruckanlagen hat in den vergangenen Jahren vermehrt zu Interessenskonflikten und steigenden Risiken bei bestehenden Anlagen geführt. Eine Arbeitsgruppe, bestehend aus Vertretern der schweizerischen Erdgaswirtschaft (Swissgas), des Eidgenössischen Rohrleitungsinspektorats, des Bundesamts für Umwelt und des Bundesamts für Energie, der Kantone Zürich und Genf sowie suisseplan Ingenieure AG hat Massnahmen zur Reduktion des von Erdgashochdruckleitungen ausgehenden Risikos in Gebieten mit hoher Siedlungsdichte untersucht.

Der Bericht wurde zur Konsultation den Kantonalen Fachstellen unterbreitet. Das Echo war positiv, die Änderungsanträge wurden weitgehend berücksichtigt.

1.2 Beschreibung der risikomindernden Massnahmen

Als mögliche risikomindernde Massnahmen (Personenrisiko) für Erdgashochdruckleitungen werden im vorliegenden Dokument das Doppelrohrsystem (Stahlrohr im Stahlrohr) und/oder die Tieferlegung beschrieben.

Beide Massnahmen sind einzeln technisch integer, international langjährig erprobt und entsprechen dem Stand der Technik des Pipelinebaues. Doppelwand- bzw. Doppelrohrsysteme finden z.B. Anwendung bei Kesselwagen, Tankschiffen, Erdölleitungen, Chemikalien, u.ä.

Beim Doppelrohrsystem wird die Erdgashochdruckleitung (Produktleitung) in einem äusseren Rohr (Hüllrohr) im Erdreich verlegt. Dabei müssen beide Stahlrohre die Anforderungen einer Erdgashochdruckleitung gemäss ERI Richtlinie erfüllen (für den max. zulässigen technischen Betriebsdruck (MOP) druckfest verschlossenes Hüllrohr, Druck- und Dichtigkeitsprüfung beider Stahlrohre mit 90 % der mindestgarantierten Streckgrenze des verwendeten Stahls, zerstörungsfreie Schweissnahtprüfung, Gewährleistung der Funktion des kathodischen Korrosionsschutzes für das Hüllrohr). Der Ringraum wird mit Inertgas gefüllt, damit wird der Korrosionsschutz für das Produktrohr sichergestellt. Das Inertgas muss einen Überdruck (z.B. 5 – 20 bar) aufweisen, eine Drucküberwachung des Ringraumes muss möglich sein.

1.3 Störfallbetrachtungen in Ergänzung zum Rahmenbericht

Der Rahmenbericht für standardisierte Risikoanalysen von Erdgashochdruckanlagen [1] deckt dieses Doppelrohrsystem als anwendbare Massnahme bisher nicht ab, ebenfalls enthält der Rahmenbericht 2010 keine Aussagen zu Leitungen mit Überdeckung >4 m.

Das vorliegende Dokument beinhaltet die Störfallbetrachtungen basierend auf einem angepassten Fehler- und Ereignisbaum für eine Leitungsverlegung mit grosser Überdeckung und für eine Leitungsverlegung als erdverlegtes Doppelrohrsystem. Diese beiden risikomindernden Massnahmen können sowohl einzeln wie auch kombiniert realisiert werden. Im vorliegenden Dokument werden somit insbesondere folgende Situationen betrachtet:

- Doppelrohrsystem
- Erdgashochdruckleitung mit hoher Überdeckung (4 - 15 m) und
- Erdgashochdruckleitung mit sehr hoher Überdeckung (>15 m)

Spezialfälle wie das Doppelrohrsystem im Bausystem Stollen oder Kanal werden im vorliegenden Dokument nicht behandelt.

2 Fehler- und Ereignisbaum: Einwirkungen Dritter

2.1 Versagensrate

2.1.1 Versagensrate aufgrund von Einwirkungen Dritter: Hohe Überdeckung (>4 m)

Mit zunehmender Überdeckung der Leitung wird ein Leck an der Leitung durch Einwirkungen Dritter immer unwahrscheinlicher. In der Auswertung der Schadensstatistik im 9th EGIG Report wird darauf hingewiesen, dass die Überdeckung einer der wichtigsten Faktoren für die Versagensrate aufgrund von Einwirkungen Dritter ist. Versagensraten bei Mehrüberdeckung (d.h. Überdeckung >1 m) werden jedoch in der EGIG Statistik nicht weiter differenziert erfasst.

Eine Quantifizierung der Reduktion der Versagensrate aufgrund Einwirkungen Dritter mit zunehmender Überdeckung kann deshalb mit den zur Verfügung stehenden EGIG Daten nicht statistisch unterlegt werden, sondern muss indirekt (z.B. auf Basis von denkbaren Bauvorgängen bei grosser Überdeckung mittels Korrekturfaktoren basierend auf Richtlinien aus anderen Ländern, Auswertung der Bauarbeiten Dritter im engeren Einflussbereich der Erdgashochdruckleitungen) hergeleitet werden.

Bei einer Mehrüberdeckung kommen nicht mehr alle Schadenursachen der Kategorie "äussere Einwirkungen" aus der EGIG Statistik vor: Bei einer hohen und sehr hohen Überdeckung ist z.B. eine Beschädigung der Leitung durch Baggerarbeiten kaum mehr denkbar. Wenn die Erdgashochdruckleitung in einem Bereich deutlich unter der üblichen Verlegetiefe von Werkleitungen liegt, sollte eine versehentliche Beschädigung durch Dritte unwahrscheinlicher werden. Beschädigungen der Leitung sind allenfalls durch versehentliches Anbohren (Erdsonden, geologische Sondagen, grabenlose Verlegung von anderen Werkleitungen, etc.), bei Pfählungen und bei Anker-, Spund- und Schlitzwandarbeiten, etc. denkbar.

Eine Auswertung der Baugesuche Dritter bei den schweizerischen Erdgashochdruckbetreibern in den Jahren 2008 bis 2014 zeigt, dass >90% der Baugesuche für Bauarbeiten in unmittelbarer Nähe zur Erdgashochdruckleitung Bauarbeiten bis eine Tiefe von etwa 4 m betrifft. Bei gut 5% der Baugesuche Dritter handelt es sich um Bauarbeiten in einer Tiefe >4 m, etwa 1% der Bauarbeiten reichen >15 m Tiefe. Die restlichen ca. 4% der Baugesuche Dritter stellen Verfahren dar, welchen in der Erhebung keine Tiefe zugeordnet wurde. Aus diesen Daten lässt sich zeigen, dass in der Schweiz die Anzahl Bauarbeiten mit hoher Überdeckung (4-15 m) nur noch etwa ein Zehntel aller Bauarbeiten ausmachen, bei sehr hoher Überdeckung (>15 m) nur noch etwa ein Hundertstel. Damit sollten auch die Beschädigungen einer Erdgashochdruckleitung in einer Verlegetiefe >4 m deutlich abnehmen gegenüber den in der EGIG Statistik erfassten durchschnittlichen Versagen aufgrund Einwirkungen Dritter.

Die Anzahl der möglichen äusseren Einwirkungen ist auch von den lokalen Gegebenheiten des betrachteten Leitungsabschnittes abhängig (z.B. Zulässigkeit von Erdsonden im Bereich der Leitungsführung (z.B. auf Basis Erdwärmesondenkarte etc.), Lage der Leitung innerhalb / ausserhalb Strassenbereich, Länge von Spundwänden in Abhängigkeit des Untergrundes. etc.). Die Herleitung einer ortsspezifischen Eintretenswahrscheinlichkeit wird jedoch im vorliegenden Dokument mit den grundsätzlichen Betrachtungen nicht gemacht.

Die vorliegende Abschätzung des Einflusses einer hohen Überdeckung basiert zudem in Analogie zur Methode im Rahmenbericht 2010 auf statistischen Werten (EGIG Statistik) und Korrekturfaktoren basierend auf Literaturangaben zu Wahrscheinlichkeiten für Leitungskontakte und Leitungsbeschädigungen mit zunehmender Überdeckung. Die in verschiedenen Guidelines verwendeten Werte weisen eine gewisse Bandbreite auf:

- IGEM/TD/2 edition 2 [2]: $K = 0.2$ für eine Überdeckung von 2.5 m
- GESIP n°2008/01 (édition de Janvier 2014) [3]: $K = 0.01$ für Überdeckungen >3 m
- iro Band 38 (2013): Beitrag II.D.1 (Spiekout und Gielisse) [4]: $K = 1/11$ für 1 m zusätzliche überdeckung (basierend auf Reference Manual Bevi Risk Assessments, RIVM 2009)

Bei einer Leitung mit hoher und sehr hoher Überdeckung wird ein Totalversagen der Leitung immer unwahrscheinlicher, weil der Anteil der Baggerarbeiten kleiner wird und eher Erd-Bohrungen etc. zu erwarten sind. Anstatt der Beschädigungen durch Baggerarbeiten, welche i.d.R. zu markanten Risslängen und Leckgrössen führen können, ist aufgrund der typischen Durchmesser der Bohrgeräte (150 mm) bei Beschädigungen somit nur mit entsprechenden Leckgrössen zu rechnen. Man ist der Meinung, dass sich deshalb mit zunehmender Überdeckung sowohl die Versagensrate aufgrund Einwirkungen Dritter als auch der Anteil Totalversagen ("Totalversagen" entspricht "rupture" gemäss EGIG report: "Rupture: the effective diameter of the hole is larger than the pipeline diameter") bei Einwirkungen Dritter entsprechend reduziert. Der aus einem mittleren Leck ("mittleres Leck" entspricht "hole" gemäss EGIG report: "Hole: the effective diameter of the hole is larger than 2 cm and smaller than or equal to the diameter of the pipe") resultierende Gasaustritt entlang des Bohrlochs von etwa 15 cm Durchmesser liegt in der Grössenordnung eines Gasaustritts bei einem Totalversagen einer Leitung von 4" Durchmesser (Annahme Fläche Gasaustritt bei Totalversagen gemäss Rahmenbericht 2010 = doppelte Querschnittsfläche Rohr). Ein Leck von ca. 15 cm Durchmesser

ist demnach bezüglich des Gasaustrittes äquivalent dem Totalversagen einer 4"/70 bar Leitung. Ein Versagen mit einer Leckgrösse von ca. 15 cm ist somit auch hinsichtlich den Auswirkungen auf die Bevölkerung vergleichbar mit einem Totalversagen einer 4"/70 bar Leitung. Dieser Fall ist in der Regel nicht störfallrelevant, weil die gemäss Rahmenbericht 2010 berechneten Letalitätsradien einer 4"/70 bar Leitung im Vergleich zu den Sicherheitsabständen von 10 m für personenbelegte Gebäude (Sicherheitsvorschriften für Rohrleitungsanlagen, RLSV Art. 12) relativ klein sind.

Es werden folgende Korrekturfaktoren auf die durchschnittliche Versagensrate aufgrund von äusseren Einwirkungen, d.h. auf die Versagensrate gemäss EGIG Statistik, angewendet:		
Leitungsabschnitte mit einer	Versagensrate (alle Leckgrössen)	Anteil Totalversagen
normalen Überdeckung (1-4 m)	Gemäss Rahmenbericht (0.5 ≤ K (Überdeckung) ≤ 1.1)	Gemäss Rahmenbericht (20%)
hohen Überdeckung (4-15 m)	K (Überdeckung) = 0.1 *	15% **
sehr hohen Überdeckung (>15 m)	K (Überdeckung) = 0.01 *	5% **

- * Die oben genannten K-Werte wurden aus der Auswertung der Baugesuche Dritter mit hoher und sehr hoher Tiefe (> 4 m) in der Schweiz in den letzten 7 Jahren abgeleitet.
- ** Der Anteil Totalversagen wurde durch die Arbeitsgruppe in einer Diskussion im Expertenkreis festgelegt (Argumentation siehe letzter Absatz auf S. 3 dieses Dokumentes).

2.1.2 Versagensrate aufgrund von Einwirkungen Dritter: Schutzwirkung Doppelrohrsystem

Die Schutzwirkung des Doppelrohrs gegen eine mögliche Beschädigung der Erdgashochdruckleitung durch äussere Einwirkungen ist unter anderem von der Art der Einwirkungen Dritter abhängig. Ein Doppelrohrsystem ergibt aufgrund seiner Kombination von Wandstärke, Werkstoff und Aussendurchmesser einen hohen mechanischen Schutz gegen Baggerarbeiten und Bohrarbeiten.

Hüllrohre aus Stahl mit 10 mm Wandstärke werden im GESIP rapport n°2008/01 als Schutzmassnahme aufgeführt. Literaturangaben zur Quantifizierung der Schutzwirkung von Hüllrohren aus Stahl wurden jedoch keine gefunden. Die vorliegende vereinfachte Abschätzung der Schutzwirkung stützt sich deshalb auf Literaturangaben zu Korrekturfaktoren für ähnliche Situationen:

- GESIP rapport n°2008/01 [3]: K = 0.02 für Stahlplatten (≥20 mm Dicke) und K = 0.01 für Stahlplatten mit Warngitter
- HSE, Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments (28/06/2012) [5]: Failure frequency for double walled Pressure Vessels im Vergleich zu Failure frequency for single walled Pressure Vessels: Faktor 1/100

Eigene Abklärungen der Arbeitsgruppe bei Unternehmern haben ergeben, dass die Schutzwirkung eines Stahl-Doppelrohres unterschiedlich eingeschätzt wird, je nach Art der Bauarbeiten. Bei Spülbohrungen z.B. wird der Rollenmeissel wahrscheinlich abdriften beim Auftreffen auf ein Stahlrohr. Bei Pressverfahren besteht die Wahrscheinlichkeit, dass das Doppelrohr stark beschädigt wird. Grosse Spundwandgeräte können ein Stahlrohr durchtreiben, ebenso ein Pfahlbohr- oder Pfahlrammgerät. Widerstände (Leitungen) mit grosser Überdeckung werden in der Regel auf der Baustelle als natürliche Widerstände (Findling, etc.) interpretiert.

Es wird deshalb in Anlehnung an die von GESIP verwendeten Reduktionsfaktoren ein Korrekturfaktor von $K = 0.01$ für das Doppelrohrsystem mit Signal- und Warneffekt (Überdruck im Ringraum des Doppelrohrsystems) auf die Versagensrate aufgrund von äusseren Einwirkungen verwendet.

Es wird angenommen, dass sich der Anteil Totalversagen des Doppelrohrsystems gegenüber einer erdverlegten Erdgashochdruckleitung reduziert: Das Aussenrohr ist ebenfalls auf den Betriebsdruck ausgelegt. Dem Einfluss der durch das Bohrloch generierten Leckgrösse auf die Gesamtschwächung des Rohres ist Rechnung zu tragen. Demnach schwächt das Bohrloch von 150 mm ein Aussenrohr weniger stark als das Produkterohr, welches ja einen kleineren Durchmesser aufweist. Produkte- und Aussenrohr verstehen sich als statisch unabhängige Systeme. Nach Beschädigung des Produkterohres hat der Betreiber ab Signalerfassung "Druckanstieg im Aussenrohr" die Möglichkeit, zu reagieren. Ein progressives Versagen ist sehr unwahrscheinlich. Bei Beschädigung des Aussenrohres kann der Betreiber ab Signalerfassung "Druckabfall im Aussenrohr" reagieren.

Für die Schutzwirkung des Doppelrohrsystems mit Überdruck im Ringraum wird folgender Korrekturfaktor auf die durchschnittliche Versagensrate des Produkterohres aufgrund von äusseren Einwirkungen, d.h. auf die Versagensrate gemäss EGIG Statistik, angewendet:

– $K(\text{Doppelrohrsystem}) = 0.01$

Dieser Korrekturfaktor beinhaltet die Schutzwirkung des Doppelrohrsystems und ist unabhängig von der Überdeckung.

Der Anteil Totalversagen des Doppelrohrsystems an der Versagensrate aufgrund von äusseren Einwirkungen wird mit 10% * angenommen.

* Der Anteil Totalversagen wurde durch die Arbeitsgruppe in einer Diskussion im Expertenkreis festgelegt (Argumente siehe 3. Absatz auf dieser Seite).

2.2 Ausmass

2.2.1 Ausmass bei Versagen aufgrund von Einwirkungen Dritter: Hohe Überdeckung (>4 m)

Das Ausmass beim Versagen einer Erdgashochdruckleitung wird unabhängig von der Überdeckung und konservativ berechnet gemäss Rahmenbericht.

Weitergehende Überlegungen zum Ablauf des Störfallereignisses bei einem Totalversagen einer Erdgashochdruckleitung mit grosser Überdeckung (Kraterbildung etc.) sind im vorliegenden Dokument nicht enthalten.

2.2.2 Ausmass bei Versagen aufgrund von Einwirkungen Dritter: Doppelrohrsystem

Weil das Volumen im Ringraum des Doppelrohrsystems gering ist im Vergleich zu der bei einem (Total-)Versagen in kurzer Zeit austretenden Gasmenge, werden die Brandszenarien und damit das Ausmass für die Ausflussmenge Gas aus dem Leck an der Produkteitung betrachtet. Störfälle, wo das Leck im Hüllrohr kleiner ist als die Leckgrösse beim Totalversagen des Produkterohrs, würden damit jedoch zu konservativ berechnet. Dies wird in den Risikoanalysen für ein Doppelrohrsystem insofern berücksichtigt, indem der Anteil Totalversagen eines Doppelrohrsystems bei Versagen aufgrund von Einwirkungen Dritter durch die Expertengruppe mit der Hälfte des Wertes der EGIG Statistik (10%) festgelegt wird.

Für ein Doppelrohrsystem wird das Ausmass konservativ mit der Gasaustrittsmenge basierend auf der Leckgrösse des Produkterohres gemäss Rahmenbericht berechnet, d.h. es werden die Letalitätsradien gemäss Rahmenbericht verwendet für die Ausmassberechnung.

3 Fehler- und Ereignisbaum: Bodenbewegung / Naturgefahren (Ground Movement)

3.1 Versagensrate

3.1.1 Versagensrate aufgrund von Bodenbewegungen: Hohe Überdeckung (>4 m)

Der nachfolgend abgebildete Auszug aus der EGIG Statistik zeigt die Verteilung der Schadensursachen innerhalb der Gruppe "Ground Movement":

Abb. 1 Statistisch erfasste sub-causes bei Versagen aufgrund "Ground Movement" (9th EGIG Report, Feb. 2015 [6])

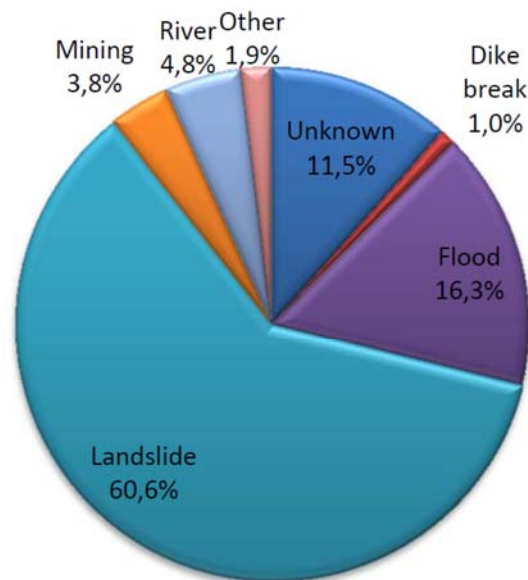


Figure 62: Distribution of the sub-causes of ground movement (1970-2013)

Die Schadensursache "Landslide" verursacht mehr als die Hälfte der Versagen aufgrund von "Ground Movement". Gewässer als Ursache des Versagens ("Flood", "River", Dike Break") ergeben zusammen etwas mehr als 20% der Versagen aufgrund "Ground movement".

Ein (Total-)Versagen aufgrund von Naturereignissen wird mit zunehmender Überdeckung immer unwahrscheinlicher, weil in dieser grossen Tiefe einige der Schadenursachen in der EGIG Statistik ("sub-causes of ground movement") nicht mehr denkbar sind: "Flood" ist nicht relevant in grossen Tiefen, "River" ist stark reduziert bei hoher Überdeckung der Leitung, auch "Landslide" wird weniger häufig auftreten in grossen Tiefen. Eine direkte Quantifizierung des Einflusses der Überdeckung basierend auf der EGIG Statistik ist schwierig. Vom erfassten Leitungsnetz weisen knapp die Hälfte der Leitungen Überdeckungen ≤ 1 m auf, die Überdeckung > 1 m wird in der Statistik nicht weiter unterteilt.

Im vorliegenden Ansatz wird jedoch davon ausgegangen, dass die Häufigkeit von Bodenbewegungen / Naturgefahren mit hoher und sehr hoher Überdeckung (Überdeckung >4 m) stark abnimmt gegenüber den normal erdverlegten Leitungen (1-4 m).

Es werden folgende Korrekturfaktoren auf die durchschnittliche Versagensrate aufgrund von Bodenbewegungen / Naturgefahren, d.h. auf die Versagensrate gemäss EGIG Statistik, angewendet, sofern für den Bereich der Leitungssachse fachlich fundiert nachgewiesen werden kann, dass keine Naturgefahren vorliegen, welche ein Versagen der Leitung auslösen können:

- Für Leitungsabschnitte mit einer Überdeckung von 1 - 4 m gelten die Korrekturfaktoren auf die Versagensrate aufgrund von Bodenbewegungen / Naturgefahren gemäss Rahmenbericht
- Leitungsabschnitte mit einer Überdeckung 4 - 15 m: $K = 0.1$
- Leitungsabschnitte mit einer Überdeckung >15 m: $K = 0.05$

Von diesen Werten abweichende Korrekturfaktoren, d.h. tiefere Werte, sind basierend auf einem geologischen Gutachten zu begründen, um allfällige Anpassungen geltend zu machen.

Zur Beurteilung einer Gefährdung durch Naturgefahren können weiter

- die Vollzugshilfe "Schutz vor Massenbewegungsgefahren, Vollzugshilfe für das Gefahrenmanagement von Rutschungen, Steinschlag und Hangmuren", BAFU, 2016 (<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01850/index.html?lang=de>) und
- die Empfehlung zur "Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten", BWW/BRP/BUWAL, 1997) (<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00786/index.html?lang=de>),
- die Naturgefahrenkarten der Kantone sowie
- andere geeignete Grundlagen

als Hilfe herangezogen werden.

Es wird mit dem durchschnittlichen Anteil Totalversagen aufgrund von Naturereignissen / Bodenbewegungen (40% entsprechend EGIG Statistik und Rahmenbericht) gerechnet. Der mögliche zusätzliche Einfluss sowohl der Höhe der Überdeckung als auch des Doppelrohrsystems auf den Anteil des Totalversagens wurde im Rahmen dieser Arbeitsgruppe nicht evaluiert.

3.1.2 Versagensrate aufgrund von Bodenbewegungen: Schutzwirkung Doppelrohrsystem

Ein Doppelrohrsystem kann einen guten Schutz des Produkterohres gegen einwirkende Kräfte infolge Naturgefahren bieten. Die risikomindernde Wirkung eines Doppelrohrsystems ist jedoch stark abhängig von der Art eines möglichen Naturereignisses / Bodenbewegung und muss deshalb fallweise aufgrund der geologischen Situation bestimmt werden.

Wenn die Bodenbewegung bzw. das Naturereignis keine schnell auftretenden grossen Kräfte, sondern z.B. Fliesen oder Kriechen des Erdreiches beinhaltet, kann das Doppelrohrsystem temporär einen guten mechanischen Schutz für die Erdgashochdruckleitung bieten. Dieser erhöhte Schutz des Doppelrohrsystems gegen Bodenbewegungen kann einerseits durch die Nutzung eines freien Ringraumes Hüllrohr / Produktrohr als Kompensator bzw. Puffer für Querverschiebungen gewährleistet werden, wobei dabei die Funktionalität der Abstandshalter überprüft und diese dementsprechend optimiert werden müssen.

Ein gleichzeitiges Versagen beider Rohre bei langsamen Bewegungen wird durch die Arbeitsgruppe als genügend unwahrscheinlich betrachtet, so dass es in den Störfallbetrachtungen vernachlässigt werden kann.

Beim Auftreten eines Lecks am Hüllrohr oder am Produktrohr vor dem Bruch beider Leitungen würde der Betreiber durch die Druckänderung im Ringraum alarmiert, so dass organisatorische Sicherheitsmassnahmen getroffen werden können.

Bei schnellen Bodenbewegungen wird von der Arbeitsgruppe kaum eine Schutzwirkung des Doppelrohrsystems erwartet.

Für das Doppelrohrsystem kann somit folgende Schutzwirkung bei Versagen aufgrund von Naturgefahren im Vergleich zur durchschnittlichen Versagensrate aufgrund von Bodenbewegungen / Naturgefahren (EGIG) erwartet werden:

– *Langsame Bewegungen*

(Kriechen, Setzungen, Verschiebungen, Aufschwemmungen, etc.):

In der Regel gute Schutzwirkung des Doppelrohrsystems, d.h. Korrekturfaktor (Schutzwirkung Doppelrohrsystem) $K = 0$ auf durchschnittliche Versagensrate aufgrund von Bodenbewegungen / Naturgefahren, d.h. auf Versagensrate gemäss EGIG Statistik

– *Schnelle, starke Krafteinwirkungen (Hangrutsch, Sturz, Hochwasser mit Geschiebetrieb, etc.):*

In der Regel keine Schutzwirkung durch das Doppelrohrsystem, d.h. Korrekturfaktor (Schutzwirkung Doppelrohrsystem) $K = 1$ auf durchschnittliche Versagensrate aufgrund von Bodenbewegungen / Naturgefahren, d.h. auf Versagensrate gemäss EGIG Statistik

Für die Schutzwirkung des Doppelrohrsystems wird folgender Korrekturfaktor Naturgefahren auf die durchschnittliche Versagensrate aufgrund von Bodenbewegungen / Naturgefahren (EGIG) verwendet:

- Korrekturfaktor (Schutzwirkung Doppelrohrsystem) $K = 0$ auf durchschnittliche Versagensrate aufgrund von Bodenbewegungen / Naturgefahren, d.h. auf Versagensrate gemäss EGIG Statistik für langsame Bewegungen (Kriechen, Setzungen, Verschiebungen, Aufschwemmungen, etc.)
- Korrekturfaktor (Schutzwirkung Doppelrohrsystem) $K = 1$ auf durchschnittliche Versagensrate des Produkterohres aufgrund von Bodenbewegungen / Naturgefahren, d.h. auf Versagensrate gemäss EGIG Statistik für schnelle, starke Krafteinwirkungen (Hangrutsch, Sturz, Hochwasser mit Geschiebetrieb, etc.)

Dieser Korrekturfaktor für Naturgefahren / Bodenbewegung ist im Einzelfall zu bewerten mittels geologischem Gutachten zu Bodenbewegungen / Naturgefahren.

Es wird mit dem durchschnittlichen Anteil Totalversagen aufgrund von Naturereignissen / Bodenbewegungen (40% entsprechend EGIG Statistik und Rahmenbericht) gerechnet. Der mögliche zusätzliche Einfluss sowohl der Höhe der Überdeckung als auch des Doppelrohrsystems auf den Anteil des Totalversagens wurde im Rahmen dieser Arbeitsgruppe nicht evaluiert.

3.2 Ausmass

3.2.1 Ausmass bei Versagen aufgrund von Bodenbewegungen: Hohe Verlegetiefe (>4 m)

Das Ausmass beim Versagen einer tief verlegten Leitung wird gemäss Rahmenbericht berechnet. Überlegungen zum Ablauf des Störfallereignisses bei einem Totalversagen einer Erdgashochdruckleitung mit grosser Überdeckung (Kraterwurf etc.) sind im vorliegenden Dokument nicht enthalten.

3.2.2 Ausmass bei Versagen aufgrund von Bodenbewegungen: Doppelrohrsystem

Weil das Volumen im Ringraum des Doppelrohrsystems gering ist im Vergleich zu der bei einem (Total-)Versagen in kurzer Zeit austretenden Gasmenge, werden die Brandszenarien und damit das Ausmass für die Ausflussmenge Gas aus dem Leck an der Produkteitung betrachtet.

Für ein Doppelrohrsystem wird das Ausmass konservativ mit der Gasaustrittsmenge basierend auf der Leckgrösse des Produkterohres gemäss Rahmenbericht berechnet, d.h. es werden die Letalitätsradien gemäss Rahmenbericht verwendet für die Ausmassberechnung.

4 Fehler-und Ereignisbaum: Material- und Konstruktionsfehler

4.1 Versagensrate

4.1.1 Versagensrate aufgrund von Material-und Konstruktionsfehlern: Hohe Verlegetiefe (>4 m)

Die Versagensrate des Produkterohres aufgrund von Material- und Konstruktionsfehlern ändert sich durch die Tieferlegung der Leitung gegenüber den Daten aus der EGIG Statistik nicht.

4.1.2 Versagensrate aufgrund von Material-und Konstruktionsfehlern: Schutzwirkung Doppelrohrsystem

Die Versagensrate des Produkterohres aufgrund von Material- und Konstruktionsfehlern ändert sich durch den Einbau in ein Hüllrohr gegenüber den Daten aus der EGIG Statistik nicht.

4.2 Ausmass

4.2.1 Ausmass bei Versagen aufgrund von Material- und Konstruktionsfehlern: Hohe Verlegetiefe (>4 m)

Das Ausmass beim Versagen einer tief verlegten Leitung wird gemäss Rahmenbericht berechnet. Überlegungen zum Ablauf des Störfallereignisses bei einem Totalversagen einer Erdgashochdruckleitung mit grosser Überdeckung (Kraterwurf etc.) sind im vorliegenden Dokument nicht enthalten.

4.2.2 Ausmass bei Versagen aufgrund von Material- und Konstruktionsfehlern: Schutzwirkung Doppelrohrsystem

Weil das Hüllrohr auf den Bewilligungsdruck (MOP) der Produktleitung ausgelegt ist, kann das aus der Produktleitung austretende Gas bei einem Material- oder Konstruktionsfehler am Produktrohr vollständig durch das druckfeste Hüllrohr aufgefangen werden.

Ein Versagen der Erdgashochdruckleitung führt nicht zu einer Schädigung der Bevölkerung und hat somit keinen Einfluss auf das Ausmass. Diese Schadensursache wird deshalb in den entsprechenden Berechnungen der Summenkurven für ein Doppelrohrsystem nicht berücksichtigt.

5 Fehler- und Ereignisbaum: Übersicht

5.1 Übersicht Reduktionsfaktoren

Tab. 1 Übersicht Korrekturfaktoren auf durchschnittliche (basiert auf EGIG Statistik) Versagensraten für erhöhte Überdeckung

Überdeckung	Einwirkungen Dritter		Bodenbewegungen	Material-, Konstruktionsfehler
	<i>Versagensrate</i>	<i>Anteil Totalversagen</i>	<i>Versagensrate *</i>	<i>Versagensrate *</i>
1 - 4 m	Gemäss Rb: $0.5 \leq K_{\ddot{u}} \leq 1.1$	Gemäss Rb: 20%	Gemäss Rahmenbericht	Gemäss Rb: K = 1
4 - 15 m	$K_{\ddot{u}} = 0.1$	15%	$K \leq 0.1$ (geologisches Gutachten)	K = 1
>15 m	$K_{\ddot{u}} = 0.01$	5%	$K \leq 0.05$ (geologisches Gutachten)	K = 1

(Berechnung des Ausmasses unabhängig von der Überdeckung konservativ mit der Gasaustrittsmenge basierend auf der Leckgrösse des Produkterohres gemäss Rahmenbericht, d.h. für die Ausmassberechnung Verwendung der Letalitätsradien gemäss Rahmenbericht)

Tab. 2 Übersicht Korrekturfaktoren auf durchschnittliche (basiert auf EGIG Statistik) Versagensraten für Doppelrohrsystem (DRS)

System	Einwirkungen Dritter **	Bodenbewegungen *	Material-, Konstruktionsfehler
Doppelrohrsystem	K (DRS) = 0.01	Langsame Bodenbewegung: K(DRS) = 0 oder Rasche Bodenbewegung: K(DRS) = 1	K (DRS) = 0, d.h. Schadenursache wird in Risikoanalyse nicht berücksichtigt
	Anteil Totalversagen: 10%	Anteil Totalversagen: 40% gemäss Rahmenbericht	

* Die aufgeführten Korrekturfaktoren werden auf die Versagensrate des Produkterohres angewendet.

(Berechnung des Ausmasses unabhängig von der Überdeckung konservativ mit der Gasaustrittsmenge basierend auf der Leckgrösse des Produkterohres gemäss Rahmenbericht, d.h. für die Ausmassberechnung Verwendung der Letalitätsradien gemäss Rahmenbericht)

5.2 Zündwahrscheinlichkeit

Für die Zündwahrscheinlichkeiten bei einem Gasaustritt an der Oberfläche werden dieselben Faktoren angenommen wie im Rahmenbericht, d.h. 0.4375 (sofortige und verzögerte Zündung).

6 Literaturverzeichnis

- [1] Schweizerische Erdgaswirtschaft und suisseplan Ingenieure AG, 2010: Sicherheit von Erdgashochdruckanlagen, Rahmenbericht zur standardisierten Ausmasseneinschätzung und Risikoermittlung, 1.12.2010
- [2] Institution of Gas Engineeris & Managers (IGEM) /TD/2 edition 2: Assessing the risks from high pressure Natural Gas pipelines
- [3] Groupe d'étude de sécurité des industries pétrolières et chimiques (GESIP) Guide professionnel GESIP n°2008/01 (édition de Janvier 2014): Guide méthodologique pour la réalistaion d'une étude de dangers concernant une canalisation de transport (hydrocarbures liquides ou liquéfiés, Gaz naturel ou assimilé et produits chimiques)
- [4] Schriftenreihe aus dem Institut für Rohrleitungsbau Oldenburg (iro) Band 38 (2013): Beitrag II.D.1 (Spiekout und Gielisse): Deterministischer und probabilistischer Ansatz im Rohrleitungsentwurf – was sind die Unterschiede – wie wichtig ist das im Endergebnis? Die Vorgehensweise in den Niederlanden
- [5] Health and Safety Executive (HSE), Failure Rate and Event Data for use within Risk Assessments (28/06/2012)
- [6] 9th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group (EGIG) (period 1970 – 2013), Feb. 2015