

Ausschuss für Rohrfernleitungen (AfR)

**beim Bundesministerium für
Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit**

Verfahren zur Ermittlung der Sicherheit von Rohrfernleitungen

**Ein Vergleich zwischen deterministischem und probabilistischem
Ansatz**

Erarbeitet von der

AfR - Arbeitsgruppe „Sicherheitsmanagement“, September 2012

In 2022 geprüft und mit einem Vorwort versehen

Der Ausschuss für Rohrfernleitungen (AfR) ist ein nach § 9 Rohrfernleitungsverordnung (RohrFLtgV) beim Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gebildetes Gremium.

Seine Geschäftsstelle ist bei der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung in Berlin eingerichtet.

Anmerkung:

Dieser Bericht wurde mit großer Sorgfalt erstellt. Dennoch übernehmen Verfasser und Auftraggeber keine Haftung für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler. Aus etwaigen Folgen können daher keine Ansprüche gegenüber Verfasser und / oder Auftraggeber gemacht werden.

Dieser Bericht darf für nichtkommerzielle Zwecke vervielfältigt werden. Auftraggeber und Verfasser übernehmen keine Haftung für Schäden im Zusammenhang mit der Vervielfältigung oder mit Reproduktionsexemplaren.

Inhaltsverzeichnis

1	ANLASS UND ZIELSETZUNG.....	2
2	BEGRIFFE UND ABGRENZUNG VERSCHIEDENER ANSÄTZE	3
2.1	ROHRFERNLEITUNGEN ALS TRANSPORTMITTEL.....	3
2.2	ABGRENZUNG DER BEGRIFFE GEFAHR, RISIKO UND SICHERHEIT	3
2.2.1	GEFAHR / GEFÄHRDUNG.....	4
2.2.2	RISIKO	4
2.2.3	SICHERHEIT.....	5
2.3	GEFAHREN- UND RISIKOERMITTLUNG.....	7
2.4	UMGANG MIT TECHNISCHEN GEFAHREN UND RISIKEN.....	8
3	PROBABILISTISCHE ANSÄTZE	10
4	DETERMINISTISCHE ANSÄTZE	18
5	VERGLEICH VON PROBABILISTISCHEN UND DETERMINISTISCHEN ANSÄTZEN	22
5.1	ENTSCHEIDUNGSFREIRÄUME IN BEIDEN VERFAHREN	22
5.2	VORGEHEN BEI ENTWURF UND BEURTEILUNG EINER ROHRFERNLEITUNG.....	23
5.3	ZUSAMMENFASSENDE VERGLEICH DER ANSÄTZE.....	26
5.4	NUTZUNG VON VORTEILEN AUS BEIDEN VERFAHREN	29
6	ZUSAMMENFASSUNG	31
7	LITERATURVERZEICHNIS	33

1 Anlass und Zielsetzung

Auf seiner 9. Sitzung am 18. November 2009 wurde vom Ausschuss für Rohrfernleitungen (AfR), einem beratenden Gremium des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), der Problembereich des Sicherheitsmanagements (Risikoanalysen / Sicherheitsbetrachtungen) für Rohrfernleitungsanlagen diskutiert und die Arbeitsgruppe „Sicherheitsmanagement“ gegründet.

Ziel der Arbeitsgruppe ist die Versachlichung der Diskussion und die Zusammenstellung einer Argumentationsbasis auf dem Gebiet des Sicherheitsmanagements für den Bereich Rohrfernleitungen sowie insbesondere die Darstellung der Relation zwischen deterministischen und probabilistischen Ansätzen. Beide Ansätze kennzeichnen zwei unterschiedliche Wege Erfahrungswissen aufzubereiten und zu nutzen, um das Ziel einer sicheren Beschaffenheit und eines sicheren Betriebs von Rohrfernleitungen zu erreichen. Die Verwendung der Begriffe „Deterministik“ und „Probabilistik“ in Zusammenhang mit der Errichtung und dem Betrieb von Rohrfernleitungen erfolgt häufig missverständlich mit der Folge, dass Befürchtungen, falsche Eindrücke und irrige Erwartungen in der Öffentlichkeit und bei politischen Entscheidungsträgern entstehen. Um zur Versachlichung beizutragen, werden beide Ansätze erläutert, Stärken und Schwächen aufgezeigt und die Beziehung zwischen deterministischen und probabilistischen Ansätzen dargestellt.

Der AfR hat im Jahr 2021 diesen Bericht inhaltlich geprüft und als weiterhin zutreffend angesehen. Seit der ersten Verabschiedung im Jahr 2012 haben sich technische Regeln geändert und zitierte Internetseiten sind nicht mehr aufrufbar. Dies wurde soweit wie ohne große Umformulierungen möglich bei der vorliegenden Fassung berücksichtigt und aktualisiert. Wenn eine Aktualisierung nicht möglich war, ist dies in dieser Ausgabe des Berichts an den entsprechenden Stellen vermerkt.

2 Begriffe und Abgrenzung verschiedener Ansätze

2.1 Rohrfernleitungen als Transportmittel

Rohrfernleitungen sind ein bevorzugtes Transportmittel für flüssige und gasförmige Stoffe, die in großen Mengen kontinuierlich oder wiederkehrend transportiert werden müssen. Gegenüber anderen Transportmitteln weisen Rohrfernleitungen eine Reihe von Vorteilen auf. So können im Gegensatz zu Schiffen, Eisenbahnkesselwagen oder Straßentankwagen die Güter transportiert werden, ohne dass das Transportmittel selbst mittransportiert werden muss, das Transportmittel „Rohrfernleitung“ verbleibt ortsfest an seinem Platz. Für den Transport ist lediglich Energie zur Überwindung der Reibungsverluste in der Rohrleitung aufzuwenden. Sofern mit den transportierten Gütern ein Gefahrenpotential verbunden ist, ermöglicht die ortsfeste Verlegung auch eine im Vergleich zu anderen Transportmitteln sehr viel bessere Kontrolle von Einflüssen, durch die Gefährdungen für Mensch und Umwelt ausgelöst werden könnten.

Damit das zu transportierende Gut in einer Rohrleitung sicher und zuverlässig transportiert werden kann, werden Rohrfernleitungen so konstruiert, dass sie den vorher identifizierten chemischen und physikalischen Belastungen standhalten können. Deshalb wird angestrebt, alle beim Bau und Betrieb möglicherweise auftretenden Einflüsse bereits bei der Auslegung der Rohrfernleitung vollständig zu erfassen und angemessen zu berücksichtigen. Während in dieser Weise die grundlegende Konstruktion einer Rohrfernleitung weltweit auf der Basis naturwissenschaftlich abgesicherter ingenieurtechnischer Regeln erfolgt, wird bei der Berücksichtigung weiterer sicherheitsrelevanter Aspekte in verschiedenen Ländern unterschiedlich vorgegangen. Die Art dieser Berücksichtigung zu vergleichen, ist das Ziel der folgenden Ausführungen.

2.2 Abgrenzung der Begriffe Gefahr, Risiko und Sicherheit

Die Begriffe **Gefahr** und **Risiko** werden umgangssprachlich oft nicht unterschieden. In verschiedenen Fachdisziplinen werden die Wörter ebenfalls uneinheitlich verwendet. Dies gilt nicht nur für Deutschland, sondern auch für den englischen Sprachraum. Zur besseren Verständlichkeit werden hier die Definitionen an den Anfang gestellt, die im weiteren Text Verwendung finden. Es sind Definitionen, die in Deutschland vor allem im technischen Bereich üblich sind.

2.2.1 Gefahr / Gefährdung

Eine **Gefahr** bezeichnet eine mehr oder weniger unmittelbare Möglichkeit eines Schadens. Der Begriff **Gefährdung** bezieht die Gefahr auf ein Objekt: durch eine Gefahr kann ein Schutzgut, eine Sache oder eine Person einer Gefährdung ausgesetzt sein¹. In der technischen Normung wird die Gefährdung als potentielle Schadensquelle definiert. Der Begriff **Gefahrenpotential** wird umgangssprachlich häufig synonym für Gefahr benutzt. In diesem Bericht wird er als die Gesamtheit aller Möglichkeiten eines Schadens verwendet. Entsprechendes gilt für das **Gefährdungspotential**. Es bezeichnet die Gesamtheit der Schadensmöglichkeiten in einer Situation für ein Schutzgut.

2.2.2 Risiko

Das Risiko wird technisch durch eine Wahrscheinlichkeitsaussage beschrieben. Das Risiko wird berechnet als **Produkt** der zu erwartenden **Häufigkeit** eines zum Schaden führenden Ereignisses und des beim Ereigniseintritt zu erwartenden **Schadensausmaßes**. Auf der Grundlage dieser Definition sind verschiedene Risiken zu unterscheiden und getrennt zu ermitteln.

Zuerst ist das **individuelle Risiko** zu nennen. Es bezeichnet das Risiko, dass eine Person z. B. einer gefährlichen Dosis eines giftigen Stoffs, einem Explosionsdruck oder einer Wärmeeinwirkung ausgesetzt ist oder einen materiellen Schaden am eigenen Eigentum erleidet. Je mehr Individuen einem gleichartigen individuellen Risiko ausgesetzt sind, umso höher wird ein daraus aufsummiertes **kumuliertes Risiko**. Über dieses kumulierte Risiko hinaus sind Schäden an öffentlichen Gebäuden und Verkehrsanlagen zu betrachten sowie Folgeschäden aus Einschränkungen wirtschaftlicher Aktivitäten. Nicht zuletzt sind Schäden an Umweltgütern, wie Ökosystemen, Luft, Böden und Gewässern zu nennen. Dieses Gesamtrisiko bezeichnet das **gesellschaftliche Risiko**². Da die Höhe solcher Infrastruktur, Umwelt- und Folgeschäden in der Regel sehr schwierig zu beziffern ist und andererseits der Tod der schwerste Schaden ist, den ein Individuum erleiden kann, wird in den meisten Fällen, in denen Risikobe-

¹ Vgl. auch Lehder, G. (2011) S. 25/26 vgl. ebenso: Risikokommission (2003)

² Vgl. auch HSE 2009 (*nicht aktualisiert*)

trachtungen als Entscheidungsgrundlage genutzt werden, für das gesellschaftliche Risiko das **kumulierte individuelle Todesfallrisiko**³ verwendet. Dann bezeichnet das gesellschaftliche Risiko (lediglich) die Wahrscheinlichkeit, dass eine gewisse Anzahl an Personen durch das Wirksamwerden einer Gefahr umkommt⁴.

Für die mit dem Risiko verbundene Wahrscheinlichkeitsaussage gibt es verschiedene Möglichkeiten zur Bestimmung. Die Spannbreite der Aussagegenauigkeit reicht von qualitativen Wahrscheinlichkeiten („A ist unwahrscheinlicher als B“) über semi-quantitative Aussagen („Die Wahrscheinlichkeit von A liegt über einem Grenzwert, die von B nicht“) bis hin zu quantitativen Aussagen („A tritt mit einer Wahrscheinlichkeit von x Fällen pro Jahr auf“). Insbesondere für quantitative Aussagen ist umfangreiches Datenmaterial erforderlich, das entweder aus der betrieblichen Praxis genommen wird oder aus Versuchen stammt.

2.2.3 Sicherheit

Sicherheit ist die Abwesenheit von Unsicherheit. Der Begriff **Unsicherheit** kann sowohl Unwissen bedeuten als auch eine Ungewissheit oder ein Risiko. **Unwissenheit** drückt aus, dass mögliche Ereignisse und/oder deren Auswirkungen nicht vollständig bekannt sind. **Ungewissheit** drückt aus, dass zwar die Folgen eines Ereignisses bekannt sind, jedoch über dessen Eintrittswahrscheinlichkeit keine Informationen vorliegen. Von **Risiko** wird schließlich gesprochen, wenn die Folgen eines Ereignisses bekannt sind und auch über die Eintrittswahrscheinlichkeit eine Aussage gemacht werden kann, der Zeitpunkt, an dem das Ereignis eintreten wird, jedoch nicht bekannt ist.⁵ Eine vollständige Sicherheit in diesem umfassenden Sinne, d. h. keine Unwissenheit, keine Ungewissheit und kein Risiko, kann es in Natur und Gesellschaft nicht geben, da unser Wissen über alle möglichen Ereignisse niemals vollständig sein kann und zufällige Einflüsse nicht berücksichtigt werden können. Von Sicherheit ist dennoch die Rede, und zwar dann, wenn nach menschlichem Ermessen Unsicherheit weitgehend ausgeschlossen werden kann und nur noch akzeptierte Restrisiken verbleiben. Oft

³ VROM 2005 (Purple Book) (*nicht aktualisiert*)

⁴ Dass dennoch wirtschaftliche Schäden auch eine Rolle spielen, zeigt die Diskussion über unterschiedliche Grenzwerte für das gesellschaftliche Risiko für Frachtschiffe und Schiffe, die auch Personen befördern, vgl. Skjong, R. und Eknes, M., (o.J.) DNV Research Paper 346

⁵ W. Müller, 1993

wird dafür der Ausdruck **hinreichende Sicherheit** verwendet. Damit wird zum Ausdruck gebracht, dass mit großer Sorgfalt und umfassender Fachkenntnis alle nur möglich erscheinenden Folgen bedacht sind und Vorsorge gegen ihr Eintreten getroffen worden ist. Das menschliche Ermessen von Folgen und Vorsorgemaßnahmen beinhaltet implizit oder explizit immer auch eine zumindest qualitative Beurteilung von Wahrscheinlichkeiten.

In Fall technischer Anlagen wird von hinreichender Sicherheit in zweierlei Hinsicht gesprochen. Zum einen geht es darum, dass technische Anlagen und ihr Betrieb keine Gefahr für die Allgemeinheit und für Gemeingüter darstellen sollen. Zum anderen geht es darum, dass aus dem öffentlichen Raum keine Gefahr für die technische Anlage und ihren Betrieb ausgeht. Der erstgenannte Aspekt ist Anlass für die Beteiligung von Behörden und staatlicher Aufsicht⁶. Der zweite Aspekt könnte vollständig dem Eigentümer oder Betreiber einer Anlage überlassen bleiben, soweit nicht Rückwirkungen für die Allgemeinheit oder öffentliche Güter zu besorgen sind. Dies ist jedoch häufig der Fall.

Im Hinblick auf den Schutz der Allgemeinheit und der Gemeingüter ist hinreichende Sicherheit zu gewährleisten, sind also Risiken zu minimieren. Die Risiken ergeben sich aus der Anlage selbst, den dort vorhandenen Stoffen und aus Eigenschaften und Einflussfaktoren der Umgebung. Für eine Rohrfernleitung sind dies die unter Druck stehende Rohrleitung selbst, die physikalisch-chemischen und toxikologischen Eigenschaften der in der Rohrleitung transportierten Stoffe, die Schadensempfindlichkeit der Umgebung bzw. der Umwelt sowie Einflüsse aus der Umgebung, die sich auf die Integrität der Rohrleitung ungünstig auswirken könnten. Daraus sind sowohl technische als auch organisatorische Anforderungen an den Bau und den Betrieb von Rohrfernleitungen abzuleiten. Wie bei anderen technischen Anlagen auch wird unterschieden nach primären Anforderungen, die das Eintreten von Gefahrensituationen verhindern sollen, und nach sekundären Anforderungen, die Maßnahmen umfassen, die die Auswirkungen einer Gefahr (z. B. eines Stoffaustritts) vermindern, falls dennoch eine Gefahrensituation eintritt. Viele dieser Maßnahmen entspringen technischen und konstruktiven Überlegungen und werden in vielen Staaten in ähnlicher Weise getroffen. Unterschiede in den Anforderungen in einzelnen Staaten ergeben sich aber sowohl

⁶ Grundgesetz Artikel 2 Absatz 2 Satz 1: „Jeder hat das Recht auf Leben und körperliche Unversehrtheit.“

hinsichtlich der Gesamtsystematik als auch in der Auswahl und Wichtung von Kriterien, nach denen einzelne Maßnahmen einzuordnen und zu treffen sind.

2.3 Gefahren- und Risikoermittlung

In der Gesamtsystematik für eine sichere Beschaffenheit und einen sicheren Betrieb haben sich zwei Grundkonzeptionen bewährt: jene, die auf einer probabilistischen Sicherheitsphilosophie basieren und solche, die ein sogenanntes deterministisches Vorgehen verfolgen. Die probabilistische Betrachtungsweise stellt nach der grundlegenden technischen Bemessung den Begriff des Risikos in den Mittelpunkt und befasst sich für den Nachweis von Sicherheitsreserven mit der expliziten und meist quantitativen Bestimmung von Risiken. Als deterministisch werden Konzepte bezeichnet, in denen Risiken überwiegend implizit berücksichtigt werden, d. h. die stärker auf den Ausschluss von Gefährdungen und die Beherrschung von Gefahren setzen und dazu in kooperativer Zusammenarbeit von Fachleuten erstellte Regelwerke mit festgelegten – determinierten – Maßnahmen zur Grundlage von Bau und Betrieb von Anlagen machen. Für die deterministische Konzeption sind also Gefahren und Gefahrenpotentiale zu ermitteln, für die probabilistische Grundkonzeption werden Risikoangaben benötigt.

Die Ermittlung von Gefahren und Risiken beginnt bei den gleichen Ausgangspunkten, unterscheidet sich aber im weiteren Verlauf.

Gefahren und Gefahrenpotentiale werden identifiziert und analysiert, indem Betriebserfahrungen, technisch-wissenschaftliche Versuche, Analogieschlüsse und weitere Erkenntnisquellen herangezogen werden, um Gefahren erkennen und Gegenmaßnahmen ergreifen zu können. Wahrscheinlichkeiten werden im Zuge der Analyse nur implizit bewertet, auf eine explizite Ermittlung von Eintrittswahrscheinlichkeiten wird in der Regel verzichtet. Ziel ist es, Gefahren selbst zu erkennen, ihre Ursachen zu verstehen, um sie dann durch geeignete Maßnahmen ausschließen zu können.

Auch am Anfang einer Risikoermittlung steht eine Ermittlung von Gefahren und Gefahrenpotentialen nach den oben genannten Kriterien. Zur Ermittlung von Risiken müssen sodann aber explizite Wahrscheinlichkeitsaussagen getroffen werden. Zur Ermittlung dieser Wahrscheinlichkeiten werden ebenfalls Betriebserfahrungen, meist in Form von Statistiken und Versuchen, sowie weitere Erkenntnisquellen herangezogen.

Da die Betriebserfahrungen in der Regel aus sehr unterschiedlichen Situationen stammen, werden daraus abgeleitete Wahrscheinlichkeitsaussagen häufig durch Korrekturfaktoren modifiziert, um sie auf einen aktuellen Berechnungsfall anzuwenden⁷. Die verwendeten probabilistischen Ansätze enthalten Parameter, die keine direkte physikalische Entsprechung haben und deren statistische Basis ein Anwender nicht mehr in jedem Fall beurteilen kann⁸. Wichtig ist im Ergebnis, dass die Wahrscheinlichkeiten möglichst präzise ermittelt werden, damit die einzelnen Teilrisiken zu einem Gesamtrisiko oder einem gesellschaftlichen Risiko zusammengefasst und auf dieser Grundlage so viele Maßnahmen zur Reduzierung des Risikos ergriffen werden können, dass ein akzeptables Restrisiko verbleibt.

2.4 Umgang mit technischen Gefahren und Risiken

Als Ausgangspunkte für den Umgang mit technischen Gefahren und Risiken lassen sich das Vorsorgeprinzip und das Risikomanagement als zwei im Grundsatz unterschiedliche Herangehensweisen identifizieren.

Nach dem Vorsorgeprinzip ist gegen Gefahren Vorsorge zu treffen. Erkannte Gefahren sind auszuschließen. Vorsorgliches Handeln ist auch dann geboten, wenn über die näheren Zusammenhänge, die Schwere oder Wahrscheinlichkeit von Konsequenzen noch keine endgültige oder vollständige Klarheit besteht.

Konstitutiver Bestandteil des Risikomanagements dagegen ist ein Vergleichs- und Abwägungsprozess mit dem Ziel, das ermittelte aufsummierte Risiko durch eine möglichst günstige Kombination von Maßnahmen zu reduzieren. Im Einzelfall kann dies auch zu der Entscheidung führen keine Maßnahmen vorzusehen, wenn die erwarteten Folgen von möglichen Schäden niedriger eingeschätzt werden als der zur Vermeidung notwendige Aufwand.

Beide Ansätze müssen jeweils innerhalb ihres soziokulturellen und sozioökonomischen Umfeldes bewertet werden. Eine absolute Anwendung des Vorsorgeprinzips, mit dem Versuch, jegliche Gefährdung und jegliches Wagnis auszuschließen, wäre

⁷ Vgl. Abschnitt 3

⁸ Vgl. z. B. Cornwel; et al (o.J.) <http://www.questconsult.com/hazard.html> zuletzt abgerufen am 3.8.2011 (nicht aktualisiert); sowie Hauptmanns, 2011

lebensfremd und würde technischen Fortschritt und wirtschaftliche Entwicklung wirksam unterbinden. In gleicher Weise können sich Risikomanagementansätze lähmend auf Fortschritt und wirtschaftliche Entwicklung auswirken, wenn für jede auch noch so entfernte Schadensmöglichkeit allerhöchste Kosten einzuplanen wären.

In der Praxis haben sich in manchen Ländern mehr oder weniger umfangreiche Mischformen etabliert, mit denen versucht wird, Elemente des einen Sicherheitsansatzes mit den Vorteilen des anderen zu verbinden. Hierauf wird in Abschnitt 5.4 noch eingegangen.

3 Probabilistische Ansätze

Der probabilistische Ansatz basiert auf einer Quantifizierung des Risikos, welches durch die Rohrfernleitung verursacht wird. Bei der Quantifizierung des Risikos wird zunächst die **Eintrittswahrscheinlichkeit** eines Schadensereignisses berücksichtigt. Weiterhin werden **die Auswirkungen (das Ausmaß)** eines solchen Ereignisses quantifiziert. Das Risiko ist das Produkt dieser beiden Größen.

Neben der Bestimmung des Risikos muss ein **Akzeptanzniveau** festgelegt werden, welches darüber bestimmt, welches Risiko als noch annehmbar anzusehen ist. Hier besteht die Notwendigkeit von einheitlichen Vorgaben. Die reine Quantifizierung des Risikos ist demnach allein keine ausreichende Entscheidungsgrundlage, ob die vorgesehenen **Maßnahmen zur Vermeidung des Ereignisses** und die **Maßnahmen zur Verringerung der Auswirkungen** ausreichend sind. Beide Arten von Maßnahmen werden hierbei als grundsätzlich gleichwertig angesehen. Die Entscheidung erfolgt auf der Grundlage, dass das tatsächliche Risiko unter dem Akzeptanzniveau liegen muss. Abbildung 1 zeigt den grundsätzlichen Ablauf einer Risikoanalyse.

Kennzeichnend für den probabilistischen Ansatz ist, dass die Bewertung des Risikos aufgrund der Notwendigkeit der Auswirkungsbetrachtung wiederholt durchgeführt wird. Dies ist der Fall, wenn Änderungen der Umgebung (z. B. Besiedlungsdichte) zu Änderungen der Auswirkungen eines Schadensereignisses führen, auch wenn die Wahrscheinlichkeit des Eintritts sich nicht geändert hat.

Nachfolgend werden die Hauptschritte des probabilistischen Ansatzes im Detail diskutiert. Diese sind

- (1) die Quantifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens,
- (2) die Quantifizierung der Auswirkungen des Schadens,
- (3) die Festlegung des Akzeptanzniveaus und der Vergleich zwischen Risiko und Akzeptanzkriterium.

Dabei wird hier auf die grundlegende Beschaffenheit und Auslegung einer Rohrfernleitung nicht eingegangen. Auch in Ländern mit probabilistischem Sicherheitskonzept erfolgen Vorentwurf, Materialvorauswahl und grundsätzliche Bemessung auf der

Grundlage von Normen oder technischen Regeln. Im Zuge des Risikomanagementansatzes geht es dann jedoch um Anpassungen an mehr und weniger risikobehaftete Bereiche.

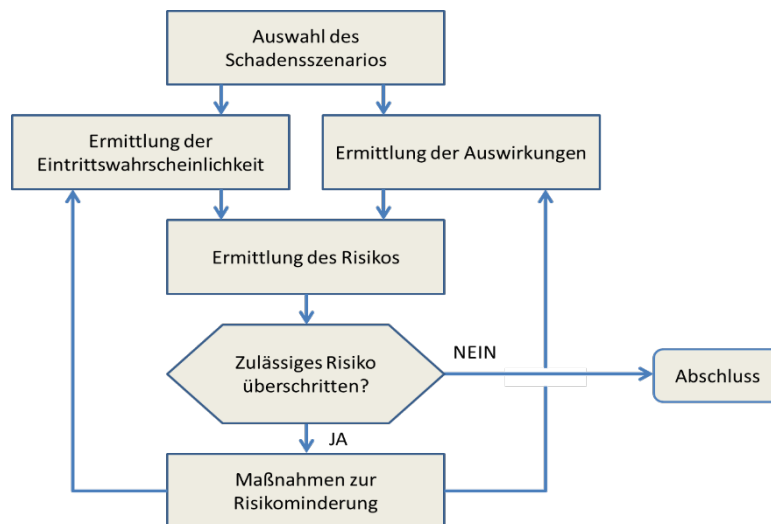


Abbildung 1: Ablauf der Risikoanalyse

1) Quantifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens

Die Quantifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeit beginnt in der Regel mit der Identifikation der Schadensszenarien, die betrachtet werden sollen. Dies kann beispielsweise durch die Erstellung eines Ereignisbaumes wie in Abbildung 2 erfolgen. Unterschiedliche Gründe für ein Versagen der Leitung resultieren in verschiedenen Schadensszenarien. Die Schadensszenarien treten jeweils mit einer unterschiedlichen Wahrscheinlichkeit ein. Da es nicht praktikabel ist, alle Schadensszenarien zu berücksichtigen, erfolgt i. d. R. eine Beschränkung auf die wichtigsten Szenarien, d. h. auf diejenigen, die entweder eine hohe Eintrittswahrscheinlichkeit besitzen oder bei denen mit erheblichen Auswirkungen auf die Umgebung zu rechnen ist. Die Auswirkungsbeurteilung muss nachfolgend für jedes Schadensszenario durchgeführt werden.

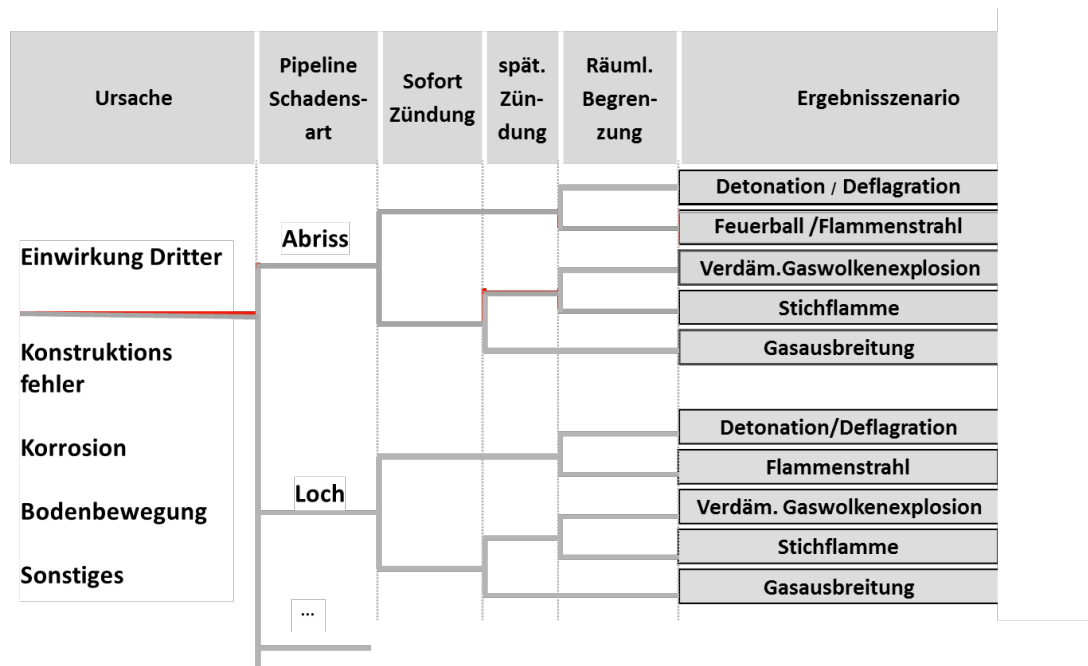


Abbildung 2: Ermittlung der Schadensszenarien in Form eines Ereignisbaumes nach Brito et al (2009)

Jede Verzweigung im Ereignisbaum muss mit einer eigenen Eintrittswahrscheinlichkeit belegt werden. Wo diese nicht vorliegt, muss eine Schätzung herangezogen werden.

Zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeit, mit der eines der Schadensszenarien eintritt, werden üblicherweise Statistiken herangezogen. Abbildung 3 zeigt beispielhaft ein Ergebnis der Statistik von EGIG (European Gas Pipeline Incident Data Group). Die Statistik erlaubt eine grobe Einteilung nach dem Grund des Versagens und zeigt auch, dass die Eintrittswahrscheinlichkeiten aufgrund der betrachteten Schadensursachen in jüngeren Zeiträumen niedriger sind als im Mittel der letzten ca. 50 Jahre. Die Eintrittswahrscheinlichkeit von Schäden wird bei Rohrfernleitungen üblicherweise auf die Leitungslänge bezogen, beispielsweise normiert auf 1000 km Leitung und Jahr.

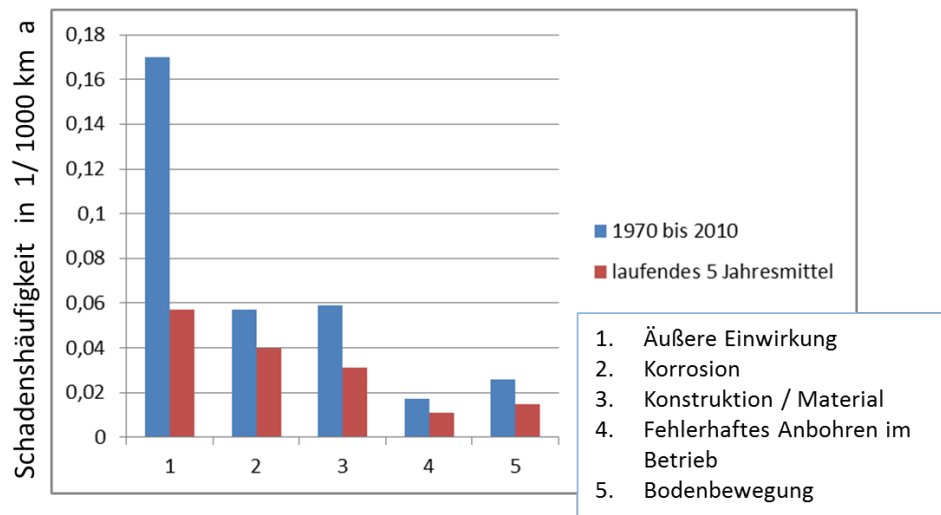


Abbildung 3: Eintrittswahrscheinlichkeit nach Schadensursachen aus den Schadensstatistiken der European Gas Pipeline Incident Data Group (EGIG, 2020)

Cause	Primary failure frequency			
	1970-2019 per 1,000 km·yr	2000-2019 per 1,000 km·yr	2010-2019 per 1,000 km·yr	2015-2019 per 1,000 km·yr
External interference	0.134	0.054	0.035	0.036
Corrosion	0.050	0.033	0.034	0.032
Construction defect / Material failure	0.048	0.020	0.020	0.015
Hot tap made by error	0.013	0.005	0.002	0.001
Ground movement	0.025	0.020	0.020	0.017
Other and unknown	0.022	0.015	0.017	0.024

Table 2: Primary failure frequencies per cause (confidence intervals are given in APPENDIX 1)

Probleme entstehen bei der Übertragung der ermittelten Eintrittswahrscheinlichkeiten auf verschiedene Rohrfernleitungen. Die Eintrittswahrscheinlichkeit hängt stark von den Eigenschaften der Rohrfernleitungen, aber auch von anderen Einflussfaktoren ab, wie z. B. bei einer der Hauptschadensursachen, der Beschädigung der Rohrfernleitungen durch Dritte. So wird die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Stoffaustrittes, die mit diesem Auslöser verbunden ist, einerseits durch die Wandstärke und die Überdeckung der Rohrfernleitungen beeinflusst, andererseits aber auch von der Bevölkerungsdichte und von Maßnahmen des Betreibers zur Vermeidung des Eingriffs durch Dritte (Überwachung). Die Grundlagen der statistischen Daten sind somit oft uneinheitlich. Die verfügbaren internationalen Statistiken erfassen Schäden, hinter denen stark unterschiedliche Schadensdefinitionen stehen, beispielsweise „Schaden = Stofffreisetzung“ oder „Schaden = Kosten von mind. € 50.000“. Überdies werden Rohrfernleitungen unter unterschiedlichen Betriebsbedingungen eingesetzt und unterscheiden sich somit

Da die Statistik über viele unterschiedliche Leitungen gemittelte Größen wiedergibt, wird häufig eine Korrektur der Eintrittswahrscheinlichkeit durch Korrekturfaktoren zum Ausgleich der vorgenannten unterschiedlichen Einflüsse vorgenommen, siehe Abbildung 4. Da die Statistiken nicht zur Ermittlung der Korrekturfaktoren ausreichen, sind hier in der Regel Schätzwerte anzuwenden.

-

2) Quantifizierung der Auswirkungen des Schadens

14

Konsequenzen oft unberücksichtigt. Zur Ermittlung der Auswirkung muss zusätzlich zur Modellierung des Ausmaßes (z. B. der Wärmestrahlung) der Zusammenhang zwischen dem Modellergebnis und der Letalität bekannt sein. Die Quantifizierung des Ausmaßes erfolgt auf Basis der Abbildung der physikalisch-chemischen-toxikologischen Effekte, die sich als Konsequenz des Schadens ergeben. Dazu werden Modelle und validierte Berechnungswerkzeuge eingesetzt, wobei für jeden transportierten Stoff und die entsprechenden Betriebsbedingungen eine differenzierte Betrachtung erforderlich ist.

Bei der Berechnung des Ausmaßes kommen Modelle zum Einsatz, die die Realität mit ausreichender Genauigkeit wiedergeben müssen. Die Ergebnisse können jedoch abhängig von den bei der Herleitung des Modells getroffenen vereinfachenden Annahmen variieren. Unabhängig von der Qualität des Modells sind Eingangsparameter zu unterstellen (Beispiel: Windstärke und -richtung), die ihrerseits mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten eintreten können. Wie bereits bei der Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit werden in der Regel auch hier die Szenarien mit dem höchsten vermuteten Risiko betrachtet.

3) Festlegen des Akzeptanzniveaus, Vergleich zwischen Risiko und Akzeptanzkriterium

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, das Risiko zu beeinflussen, bspw. durch konstruktive und betriebliche Maßnahmen an der Rohrfernleitung. Die Quantifizierung des dann verbleibenden Risikos kann in unterschiedlichen Formen erfolgen. Eine Form ist das **individuelle Risiko**, das mit dem Abstand von der Rohrfernleitung sinkt. Abbildung 5 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen individuellem Risiko und dem Abstand von der Rohrfernleitung.

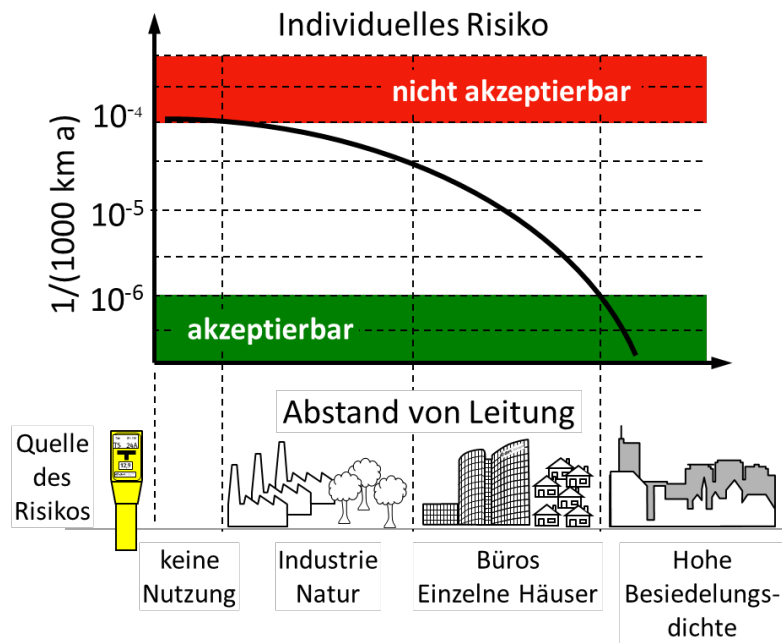


Abbildung 5: Individuelles Todesfallrisiko, hier mit einem Akzeptanzniveau von 10^{-6} Ereignissen pro 1000 km Leitungslänge und Jahr. Aufgetragen ist die Wahrscheinlichkeit, dass eine an einem bestimmten Punkt befindliche ungeschützte Person durch das Wirksamwerden der betrachteten Gefahr umkommt, über dem Abstand von der Leitung. (Quelle: E.ON Ruhrgas)

Da Rohrfernleitungen linienförmige Bauwerke sind, genügt die Angabe des Abstandes von der Rohrfernleitung. Bei punktförmigen Bauwerken (d. h. also Anlagen) werden Risikokonturen um das Bauwerk gezeichnet.

Abhängig vom Akzeptanzniveau kann entschieden werden, in bestimmten Abständen von der Leitung Zonen mit bestimmten zulässigen Risiken einzurichten. Eine solche Einteilung ist in Ländern mit probabilistischem System üblich. Je höher das individuelle Risiko, umso niedriger ist die zulässige Anzahl an Personen, die sich über längere Zeit in der betreffenden Zone aufhalten sollen und umso niedriger ist die zulässige Siedlungsdichte.

Eine weitere Möglichkeit zur Darstellung des Risikos ist das **kumulierte Risiko**. Die Eintrittswahrscheinlichkeit wird über der Anzahl der Todesopfer aufgetragen, wie Abbildung 6 zeigt. Die Akzeptanzkriterien sind hier beispielhaft angegeben. Je größer die Zahl der möglichen Todesopfer, umso geringer darf die zugehörige Eintrittswahrscheinlichkeit sein.

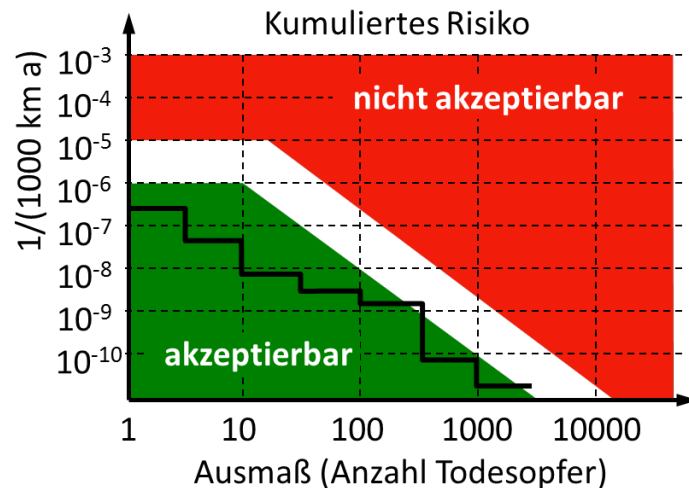


Abbildung 6: Beispiel für die Bewertung des kumulierten Risikos. Aufgetragen ist die Wahrscheinlichkeit, dass eine an einem bestimmten Punkt befindliche Gruppe ungeschützter Person durch das Wirksamwerden der betrachteten Gefahr umkommt. [in Anlehnung an: Merz, H. A, 1995]

Probabilistische Verfahren werden in einigen europäischen Ländern als Grundlage für die Planung und den Betrieb von Rohrfernleitungen eingesetzt, u. A. im Vereinigten Königreich von Großbritannien und Nordirland und in der Schweiz.

Informationen über den in der Schweiz verfolgten Ansatz finden sich auf der Webseite des Schweizer Bundesamtes für Umwelt (BAFU), (<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00554/index.html?lang=de>), dort insbesondere <http://www.bafu.admin.ch/stoerfallvorsorge/00226/index.html?lang=de> (*nicht aktualisiert*). Weitere Informationen enthält der Bericht „Sicherheit von Erdgashochdruckanlagen - Rahmenbericht zur standardisierten Ausmaßeinschätzung und Risikoermittlung“ (2010) unter www.swissgas.ch/fileadmin/user_upload/Rahmenbericht/Rahmenbericht_Erdgashochdruckanlagen_2010.pdf (*nicht aktualisiert*).

Der im Vereinigten Königreich verwendete Ansatz wird in dem Dokument „Reducing Risks, Protecting People – HSE’s decision-making process“ (2001) beschrieben, zugänglich unter (<http://www.hse.gov.uk/risk/theory/r2p2.htm>) (*nicht aktualisiert*). Weitere Informationen enthält das Dokument „PADHI – HSE’s land use planning methodology“ (2011), zugänglich unter (<http://www.hse.gov.uk/landuseplanning/padhi.pdf>) sowie die Seite <http://www.hse.gov.uk/pipelines/hseandpipelines.htm> (*nicht aktualisiert*).

4 Deterministische Ansätze

Der deterministische Ansatz basiert auf der **verbindlichen Anwendung von Normen und Regeln** zu sicherheitstechnischen Grundanforderungen, um sichere Betriebszustände zu gewährleisten. Diese Regeln benennen geeignete Maßnahmen, die ein ungewolltes Ereignis mit großer Zuverlässigkeit ausschließen. Bei Einhaltung der im Regelwerk festgelegten sicherheitstechnischen Anforderungen geht der Gesetzgeber davon aus, dass durch die Abwehr von konkreten und bekannten Gefahren der sichere Betrieb einer Rohrfernleitung gewährleistet ist.

Die Vermeidung von Stofffreisetzungen (Vorsorgeprinzip) wird bei diesem Konzept vorrangig gegenüber der Begrenzung von schädlichen Folgen eines solchen Ereignisses gesehen⁹. Der Schwerpunkt hierbei liegt deswegen auf Maßnahmen zur primären Sicherheit, die Undichtheiten und Stoffaustritte verhindern. Darüber hinaus werden auf gleiche Weise Sicherheitsmaßnahmen festgelegt, die die Konsequenzen von Stofffreisetzungen, falls diese dennoch auftreten, minimieren (sekundäre Maßnahmen).

Bei dem deterministischen Sicherheitskonzept basieren die Entscheidungen über die einzusetzende Technik nicht auf einem explizit berechneten Risiko. Vielmehr wird aus der Logik der Technologie analysiert, auf welche Weise Stoffe aus der Rohrfernleitung freigesetzt werden könnten und welche Maßnahmen den Eintritt dieses Ereignisses vermeiden. Nicht nur Unfälle, sondern auch gefährliche Situationen, die keine Unfälle zur Folge hatten (Beinahe-Unfälle), werden ausgewertet und können zu Nachbesserungen bestehender Anforderungen führen. Auf diese Weise erfolgt eine stetige Prüfung und ggf. Verbesserung der Vorsorgemaßnahmen und damit eine Weiterentwicklung des Standes der Sicherheitstechnik, ausgerichtet an der Verminderung erkannter Gefährdungen.

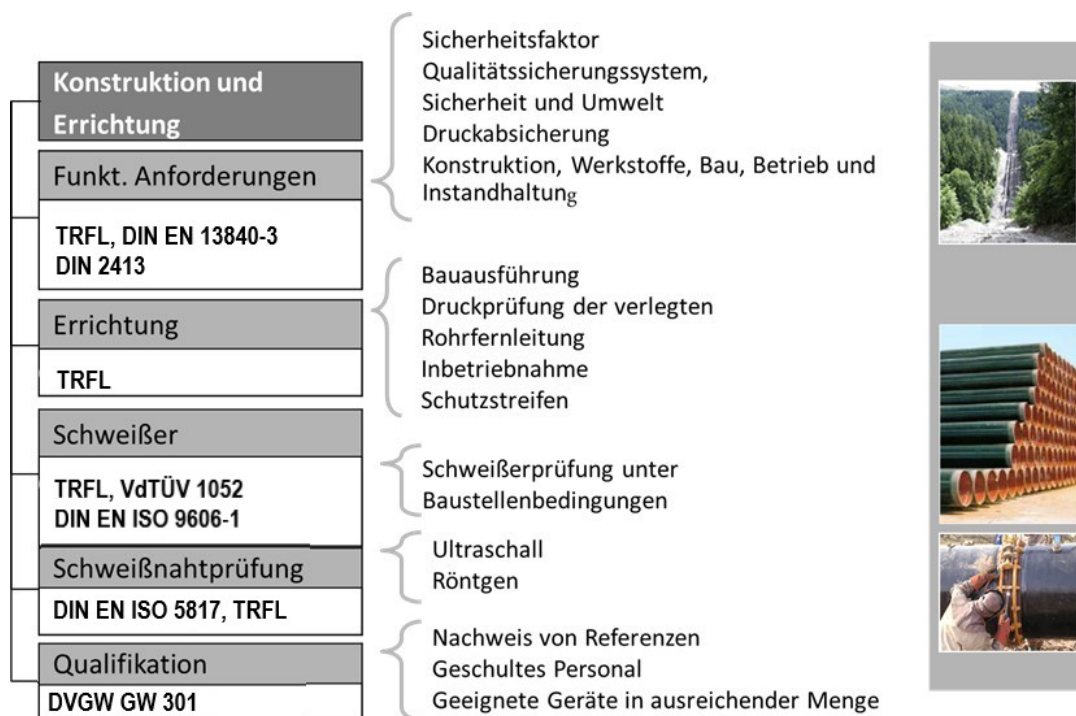
Der für den deterministischen Bewertungsansatz notwendige Erfahrungsschatz fließt somit in Regelwerke ein (z. B.: TRFL - Technische Regel für Rohrfernleitungen, DVGW - Regeln¹⁰), die regelmäßig neuen technischen und sonstigen Erkenntnissen angepasst werden.

⁹ Schwier, 1997

¹⁰ Regeln des Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches

Eine grundlegende Eigenschaft des deterministischen Ansatzes besteht in seinem Regelcharakter. Indem das Regelwerk Festlegungen trifft, wird die Komplexität für den Anwender reduziert. Damit werden nicht nur Möglichkeiten für Fehlentscheidungen in der Planung und im Betrieb stark beschnitten, sondern es wird auch die Transparenz erhöht, weil die Einhaltung der Vorgaben durch unabhängige Prüfstellen, Behörden und die Öffentlichkeit leichter nachzuvollziehen sind.

Abbildung 7 stellt beispielhaft wichtige Regeln der deutschen Vorschriften dar. Die Regeln legen unter anderem das Vorgehen bei der Planung, der Konstruktion, der Errichtung und dem Betrieb der Rohrfernleitung fest.



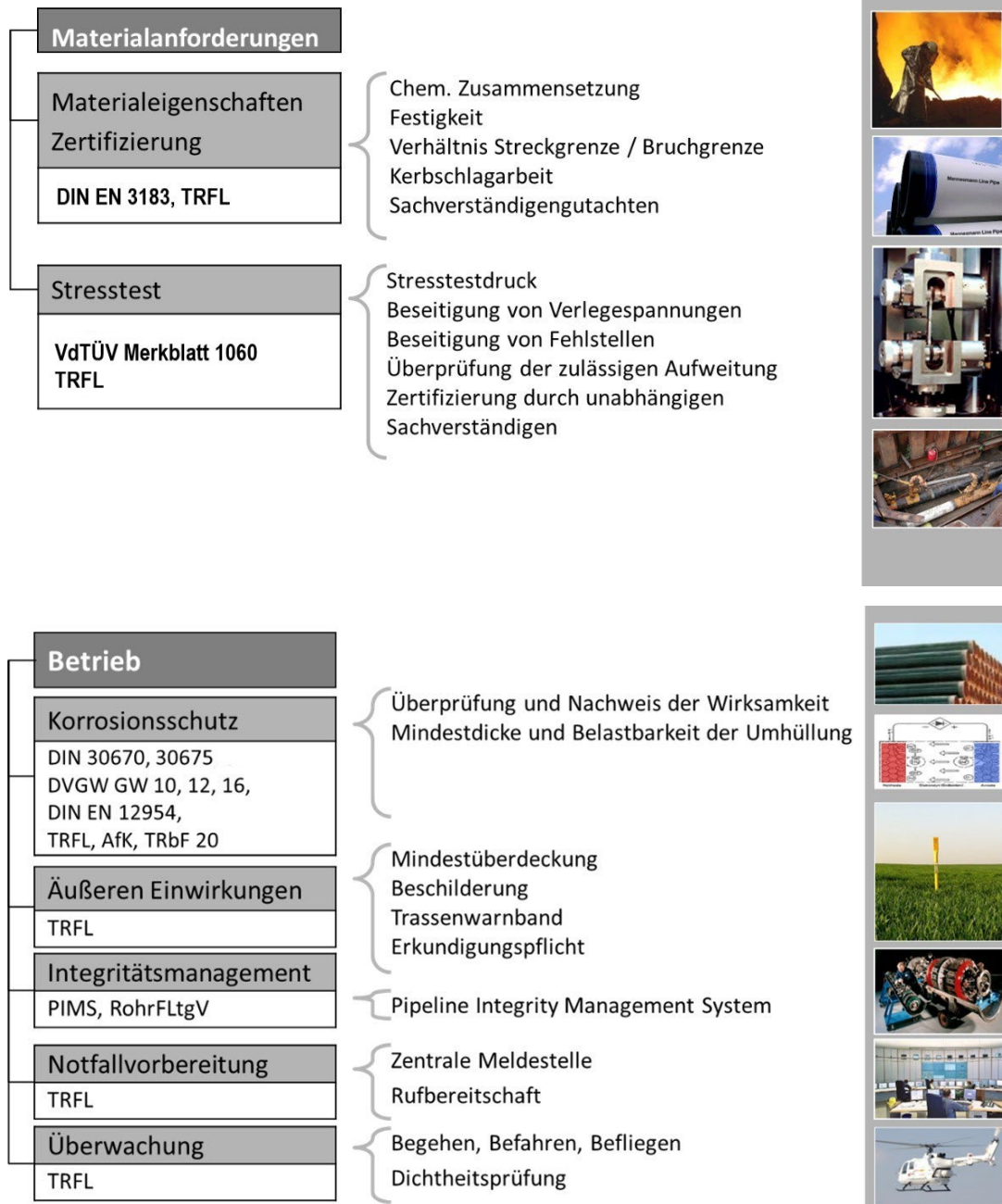


Abbildung 7: Beispiele für Festlegungen durch das Regelwerk

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass das erfahrungsbasierte Regelwerk des Ausschusses für Rohrfernleitungen¹¹, des DVGW und des einschlägigen Normenwerks die relevanten technischen Regeln für Konstruktion, Errichtung und Betrieb von Rohr-

¹¹ Der Ausschuss für Rohrfernleitungen (AfR) hat die Aufgabe, das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) in technischen Fragen zum Transport gefährlicher Stoffe in Pipelines zu beraten und die dem Stand der Technik entsprechenden Regeln (Technische Regeln, hier TRFL) vorzuschlagen.

fernleitungen bilden, die dem Stand der Technik entsprechende Anforderungen an Sicherheitsmaßnahmen und -einrichtungen zur Verhinderung von Schadensfällen festlegen.

Auf Regelwerke gestützte deterministische Verfahren werden nicht nur in Deutschland verwendet, sondern auch in anderen europäischen Staaten, wie z. B. Österreich, Italien, Portugal, Tschechien, Slowakei und Griechenland.

5 Vergleich von probabilistischen und deterministischen Ansätzen

5.1 Entscheidungsfreiräume in beiden Verfahren

Ziel sowohl des deterministischen als auch des probabilistischen Sicherheitskonzepts ist der sichere Betrieb von Rohrfernleitungsanlagen. Beiden Ansätzen stehen grundsätzlich die gleichen technisch-naturwissenschaftlichen Kenntnisse über Material- und Stoffeigenschaften und physikalische Gesetze zur Verfügung. Bei beiden Verfahren verbleiben Informationslücken, da menschliches Wissen nie vollständig sein kann (vgl. Abschnitt 2.2.3). Zum Erreichen einer hohen Sicherheit müssen in beiden Konzepten verbleibende Wissensdefizite durch Annahmen geschlossen werden. In der Art und Weise, wie diese Annahmen getroffen werden, unterscheiden sich beide Verfahren.

Im **deterministischen Ansatz** werden Informationen über Betriebserfahrungen, Unfälle und Beinahe-Unfälle von Expertengremien erörtert und bewertet. Durch die Befassung von Fachgremien und durch eine anschließende Diskussion in der Fachöffentlichkeit wird angestrebt, Auswirkungen individueller Interpretationen und subjektiver Bewertungen zu begrenzen. Die Ergebnisse der Bewertungen fließen in technische Regeln ein, die beim Bau und Betrieb vor Ort vom Betreiber einzuhalten sind. Mit hohen Sicherheitsbeiwerten wird bezweckt, Unsicherheit, die sich aus Unwissen, Ungewissheit oder Risiken zusammensetzt, entgegenzuwirken (vgl. Abschnitt 2.2.3). Nur ausnahmsweise und im Einzelfall sind zusätzliche Risikobetrachtungen anzustellen. Grundsätzlich herrscht Übereinkunft, dass Eintrittswahrscheinlichkeiten nicht präzise zu ermitteln sind, deshalb also eher Ungewissheit als Risiko beachtet werden muss, und dass insgesamt über die Sicherheitsbeiwerte ausreichende Vorsorge gegenüber der Summe aus Unwissen, Unsicherheit und Risiken getroffen ist.

Im **probabilistischen Ansatz** werden ebenfalls Informationen über Unfälle ausgewertet. Diese Auswertung bleibt überwiegend statistisch, eine technische Interpretation der hinter der Statistik liegenden Einzelereignisse fließt in der Regel nicht mit in die Auswertung ein. Die statistischen Auswertungen erfolgen in manchen Ländern durch staatliche Einrichtungen, in anderen Ländern durch Konstrukteure und Betreiber. Die Interpretation der statistischen Daten für ein aktuelles Vorhaben aber obliegt in jedem Fall dem Vorhabensträger. Gegenüber dem deterministischen Ansatz

liegt hier somit eine zusätzliche Aufgabe und eine zusätzliche Verantwortung beim Vorhabensträger. Er ist dafür verantwortlich, nicht nur die maßgebenden Schadensszenarien zu identifizieren, sondern auch eine ausreichende Zahl dieser Schadensszenarien zu untersuchen. Der Betreiber ist also dafür verantwortlich, dass beim Bau der Rohrfernleitung die mit ihr verbundenen Risiken in angemessener Weise ermittelt und sodann ausreichende Gegenmaßnahmen vorgesehen werden. Von der Theorie des Konzeptes her haben Betreiber damit einen sehr hohen Aufwand zu treiben. Gegenüber dem deterministischen Ansatz hat der Betreiber im probabilistischen Ansatz allerdings erheblich mehr Gestaltungsmöglichkeiten. Er unterliegt damit aber auch einem höheren Rechtfertigungsdruck.

Der grundsätzliche Unterschied liegt also in der Art der Auswertung des Erfahrungsschatzes. Während im deterministischen Ansatz Fachgremien, in denen Experten aller berührten Bereiche zusammenarbeiten, einen sehr breiten Erfahrungsbereich auswerten und Regeln aufstellen, die der Betreiber zu beachten hat, fließt im probabilistischen Ansatz nach einer grundlegenden Bemessung, die ebenfalls auf deterministischen Ansätzen beruht, die Zahl der Schadenereignisse in Statistiken ein, mit denen der Betreiber Risikobetrachtungen anstellen muss. Eine Interpretation der kausalen technischen Zusammenhänge hingegen unterbleibt dabei. Der Betreiber muss deshalb im probabilistischen Ansatz nicht nur die richtigen Risiken ermitteln und diese mit den Statistiken abgleichen, sondern auch die hinter den statistischen Ergebnissen stehenden kausalen Zusammenhänge erkennen und interpretieren. Dabei ist er vor allem auf seine eigenen Erfahrungen bzw. auf die seiner Berater angewiesen.

5.2 Vorgehen bei Entwurf und Beurteilung einer Rohrfernleitung

Die nachfolgende Abbildung 8 stellt einen Vergleich des deterministischen und des probabilistischen Ansatzes bei der Beurteilung einer Rohrfernleitung dar. Weiß hinterlegte Felder beziehen sich auf das deterministische und grau hinterlegte auf das probabilistische Verfahren.

Beim **deterministischen Verfahren** werden zunächst die auf die Rohrfernleitung einwirkenden **Belastungen** ermittelt. Der Hauptlastfall ist der Innendruck der Rohrfernleitungen, weitere Lasten (Druckwechselbelastungen, Erdlast, Verkehrslast, Lasten bei

Wasserdruckprüfung etc.) sind, wenn sie nicht unerheblich sind, ebenfalls zu berücksichtigen. Weiterhin wird die **Belastbarkeit** der Rohrfernleitungen ermittelt (es kann sich um eine neu zu errichtende oder eine bestehende Rohrfernleitung handeln). Danach erfolgt der Vergleich zwischen Belastung und Belastbarkeit unter Berücksichtigung des vorgegebenen Sicherheitsfaktors. Fällt der Vergleich positiv aus, kann die Rohrfernleitungen betrieben werden. Wenn nicht, sind weitere Maßnahmen entweder zur Erhöhung der Belastbarkeit oder zur Minderung der Belastung erforderlich.

Während des Betriebes der Rohrfernleitungen muss regelmäßig ein Vergleich zwischen Belastung und Belastbarkeit, beispielsweise im Rahmen des Integritätsmanagements, erfolgen. Es wird untersucht, ob sich beispielsweise die Belastbarkeit der Leitung geändert hat (z. B. Fehlstellen, die bei Molchungen aufgefunden werden).

Bei dem Belastungs-/Belastbarkeitsvergleich ist der Sicherheitsfaktor dazu geeignet, Unschärfen bei der Ermittlung dieser beiden Größen abzudecken. Dies ist in der Praxis z. B. dann der Fall, wenn gegenüber der Last durch Innendruck unerhebliche Zusatzlasten über den Sicherheitsfaktor Berücksichtigung finden.

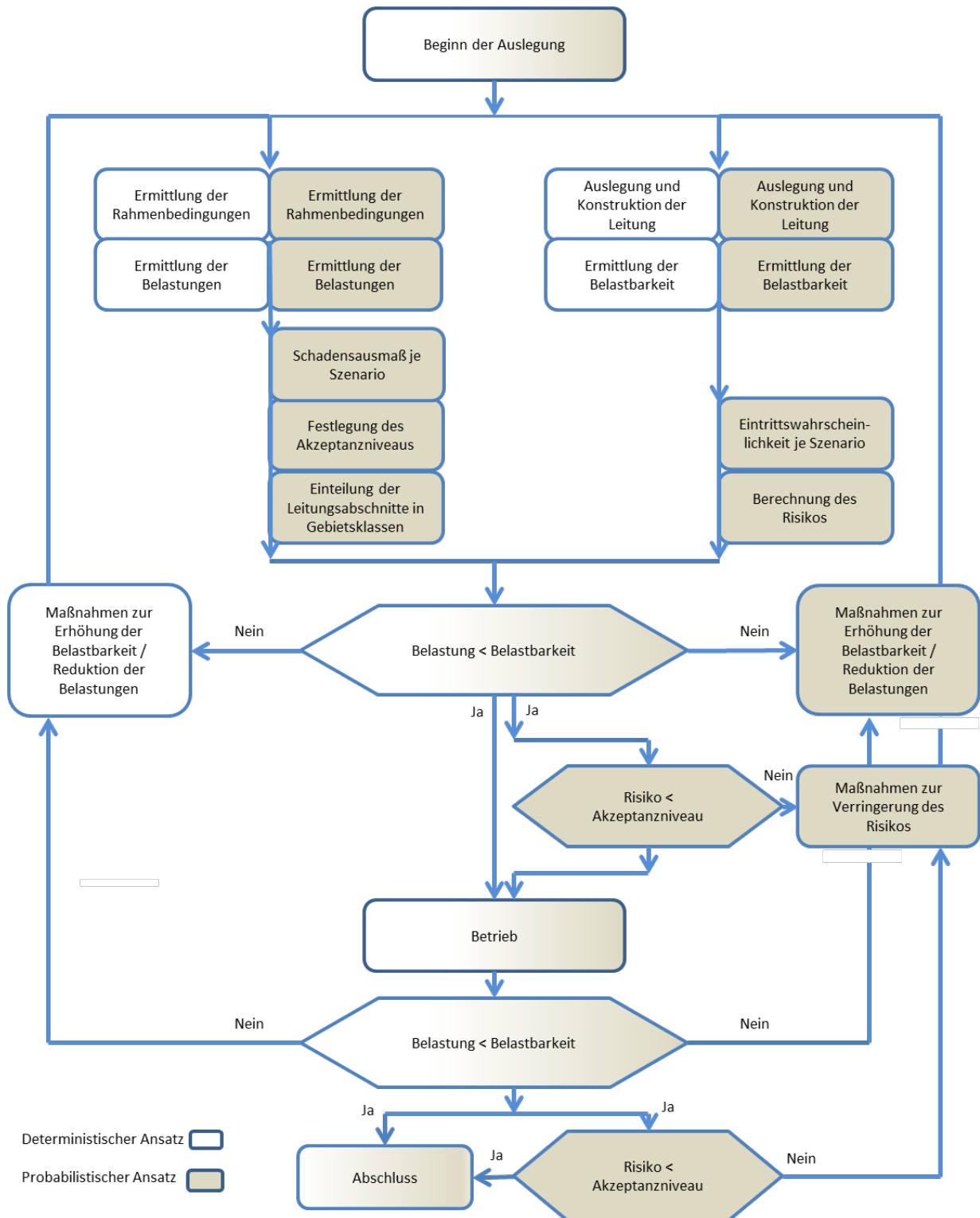


Abbildung 8: Vergleich zwischen den beiden Ansätzen

Auch im **probabilistischen Ansatz** werden zunächst die auf die Rohrleitungen wirkenden Lasten ermittelt und auf dieser Grundlage eine erste Bemessung der Rohrlei-

tung vorgenommen. Danach werden Aspekte ermittelt, die sich auf die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens auswirken können, und welches Ausmaß ein etwaiger Schaden hätte. Auf der Basis dieser Werte wird das durch die Rohrfernleitungen bestehende Risiko quantifiziert. Gleichzeitig muss – in der Regel von Seiten des Gesetzgebers oder der Behörden - für dieses Risiko ein gesellschaftlich akzeptiertes bzw. toleriertes Akzeptanzniveau festgelegt werden. Daraufhin erfolgt der Vergleich zwischen Risiko und Akzeptanzniveau. Verläuft der Vergleich positiv, darf die Rohrfernleitungen gebaut und betrieben werden. Anderenfalls sind Maßnahmen erforderlich, durch die entweder die Eintrittswahrscheinlichkeit sinkt oder die Auswirkungen eines Schadensereignisses vermindert werden. Dies können Maßnahmen zur Erhöhung der Belastbarkeit der Rohrfernleitungen umfassen, Maßnahmen zur Reduzierung der Leitungsbelastung, Maßnahmen zur Reduzierung eines potentiellen Schadensausmaßes oder weitere Vorsorgemaßnahmen. Wie beim deterministischen Verfahren muss auch hier eine fortlaufende Neubewertung der Rohrfernleitungen erfolgen. Im Unterschied zum deterministischen Verfahren müssen dabei jedoch auch Flächennutzungsänderungen an der Umgebung der Rohrfernleitungen berücksichtigt werden.

5.3 Zusammenfassender Vergleich der Ansätze

Im probabilistischen Konzept werden die Rohrfernleitungen konstruktiv an die unterschiedlichen Gefährdungspotentiale entlang des Leitungsverlaufs angepasst, sodass überall das Risikoakzeptanzniveau eingehalten bzw. unterschritten ist. Im deterministischen Ansatz dagegen wird im Allgemeinen keine Anpassung vorgenommen. Ein hoher gleichbleibender Sicherheitsfaktor führt zu einer annähernd gleichen Wanddicke entlang der Leitung. Potentiell unterschiedliche örtliche Gefährdungspotentiale bleiben mit wenigen Ausnahmen außer Betracht. Der deterministische Ansatz konzentriert sich auf das Verhindern des Schadenseintritts, weil Umgebungsnutzungen und damit auch Gefährdungspotentiale sich im Laufe der Zeit ändern können.

Das probabilistische Konzept erfordert einen komplexen Vorgang der Risikoabschätzung. Dadurch ist die Nachvollziehbarkeit unter Umständen schwierig. Weiterhin sind die Methoden aufgrund der variablen Eingangsdaten und Verfahren, die bei der Berechnung Anwendung finden, mit Unsicherheiten behaftet. Das probabilistische Verfahren macht einen Vergleich mit Akzeptanzkriterien notwendig, deren Festlegung einer gesellschaftlichen Konvention bedarf. Das Akzeptanzniveau ist nicht nur schwer

festzulegen, sondern auch insbesondere gegenüber Personen, die einem höheren Risiko ausgesetzt sind, schwer kommunizierbar.

Demgegenüber ist das im deterministischen Konzept verwendete regelwerksbasierte System leichter kommunizierbar. Andererseits kann auch die ausschließliche Einhaltung von Regelwerken ohne Betrachtung der konkreten Umgebungsbedingungen im Hinblick auf das Ausmaß möglicher Schäden sowohl bei neuen als auch bei bestehenden Leitungsprojekten zu Akzeptanzproblemen in der Öffentlichkeit führen.

Bei beiden Ansätzen erfolgt eine regelmäßige Bewertung des Zustandes der Rohrfernleitung. Darüber hinaus ist beim probabilistischen Ansatz eine regelmäßige Neubewertung der Risiken notwendig. Damit ist es zusätzlich erforderlich, Veränderungen in der Umgebung der Rohrfernleitungen zu betrachten (Einfluss auf die Auswirkungsbetrachtung). Gegebenenfalls bestehen hier Einschränkungen bei an die Rohrfernleitung heranrückender Bebauung, wenn die zuvor festgelegten Zonen dies nicht zulassen. Alternativ müssen technische oder organisatorische Maßnahmen zur Minderung der Eintrittswahrscheinlichkeit oder des potentiellen Schadensausmaßes getroffen werden, wenn dies möglich ist.

Die Kriterien für die Zulässigkeit des Rohrfernleitungsbetriebes sind bei beiden Verfahren unterschiedlich: Während in der Deterministik der Vergleich zwischen Belastung und Belastbarkeit erfolgt, vergleicht die Probabilistik darüber hinaus das Risiko, das sich neben der Belastung und der Belastbarkeit auch aus der Umgebungsnutzung ergibt mit einem Akzeptanzkriterium.

Die Stärken und Schwächen beider Systeme werden aus den vorhergehend diskutierten Detaileigenschaften deutlich. Sie lassen sich wie folgt zusammenfassen.

Deterministik - Stärken

- Regelwerk, Werksnormen, Erfahrungsschatz der Industrie: Das Regelwerk trifft eine präzise Festlegung von Anforderungen an Sicherheitsmaßnahmen und -einrichtungen zur Verhinderung von Schadensfällen. Darüber hinaus sieht es auch Maßnahmen zur Begrenzung von Produktaustritten vor. Es

basiert auf einem umfangreichen, langjährigen Erfahrungswissen und bildet den Stand der Technik mit in der Praxis bewährten Lösungen.

- Das Regelwerk ist eindeutig, einfach anwendbar und nachvollziehbar.
- Die Prüfung der Einhaltung durch Behörden und Öffentlichkeit kann auf relativ einfache Weise erfolgen.
- Das Regelwerk unterliegt einer fortlaufenden Überprüfung und bedarfsweisen Anpassung an neue Erkenntnisse.
- Unsicherheiten / Unschärfen bei der Ermittlung der Belastung und der Belastbarkeit werden durch erfahrungsbasierte hohe Sicherheitsbeiwerte über den gesamten Trassenverlauf kompensiert.

Deterministik - Schwächen

- Schadensausmaße werden explizit nicht betrachtet.
- Die Methodik sieht eine Berücksichtigung von Veränderungen in der Umgebungsnutzung nicht vor. Auch bei konstant geringer Eintrittswahrscheinlichkeit, kann sich durch eine Erhöhung des Gefährdungspotentials in der Umgebung eine Risikoerhöhung ergeben.
- Zusätzlich können Veränderungen der Flächennutzung in der Umgebung der Leitung auch Auswirkungen auf die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens haben.

Probabilistik - Stärken

- Das mit der Leitung verbundene Risiko wird quantifizierbar.
- Das Konzept berücksichtigt das Schadensausmaß im Schadensfall. Die Bewertung von auswirkungsbegrenzenden Maßnahmen ist besser möglich.
- Weiterhin wird die Betrachtung sowohl von Unfällen mit hohem Schadensausmaß und geringer Eintrittshäufigkeit als auch mit weniger hohem Schadensausmaß und großer Eintrittshäufigkeit möglich.
- Das System erlaubt unterschiedliche Maßnahmen, die zum gleichen Risikoniveau führen. Es besteht die Möglichkeit zum Vergleich von Auslegungsalternativen zum Erreichen des gleichen Risikoniveaus. Es bietet weiterhin die Möglichkeit, Risiken verschiedener Leitungen miteinander zu vergleichen.

- Die detaillierte Darstellung in Form eines Ereignisbaumes ist eine systematische Möglichkeit zum Erkennen der kausalen Zusammenhänge, die während eines Schadensereignisses ablaufen. Dabei wird das Zusammenspiel der technischen Komponenten und der menschlichen Eingriffe sowie eventueller Einwirkungen von außen erkennbar. Das Vorgehen bietet insofern die Möglichkeit zum Aufdecken und zur Beseitigung von Schwachstellen mit dem Ziel einer ausgewogenen Systemauslegung.
- Das Vorgehen erlaubt grundsätzlich die Ermittlung der Ausfallwahrscheinlichkeit von Systemen.
- Das Konzept erfordert eine anlassbezogene Neubewertung von Risiken.

Probabilistik - Schwächen

- Die Quantifizierung des Risikos kann aufgrund der mathematischen Ansätze, der verwendeten Modelle und Annahmen und der Unterstellung bestimmter Szenarien stark fehlerbehaftet sein. Eine mathematische Exaktheit der Quantifizierung des Risikos wird suggeriert und es bestehen Interpretationsspielräume bei der Risikoquantifizierung.
- Ein hoher Aufwand entsteht bei der Erstellung der Ereignisbäume und der Nachverfolgung der Daten. Wegen dieses Aufwandes werden häufig nur Extremfälle betrachtet und einfache Modelle angewandt. Dies kann zu einem erheblichen Qualitätsverlust bei der Risikoermittlung führen.
- Die Ermittlung eines Risikos allein über die Letalität berücksichtigt nicht andere Auswirkungen wie privatwirtschaftliche und volkswirtschaftliche Verluste. Bei der Berücksichtigung von Umweltschäden stellt sich auch die Frage der Schadensbewertung.
- Die Quantifizierung von Risiken erfolgt unterschiedlich. Es ist schwer sicherzustellen, dass Schadensereignisse valide nach spezifischen Kriterien differenziert in Datenbanken eingestellt werden.

5.4 Nutzung von Vorteilen aus beiden Verfahren

Da beide Verfahren Vor- und Nachteile aufweisen, hat sich in einigen Staaten eine Konvergenz der beiden Ansätze ausgebildet, um die Vorteile beider Ansätze zu nutzen. So wird in der Schweiz in weitem Ausmaß deterministisch gearbeitet. Wird in einer

darauffolgenden probabilistischen Betrachtung deutlich, dass örtlich besondere Risiken bestehen, werden auf der Grundlage von Risikoberechnungen an diesen Stellen zusätzliche Maßnahmen ergriffen, bis die festgestellten örtlichen Risiken das Akzeptanzniveau wieder unterschreiten (s. Abschnitt 3).

In Deutschland sind in das deterministische Regelwerk probabilistische Elemente eingeflossen. So legt die zur Konkretisierung der Rohrfernleitungsverordnung entwickelte technische Regel TRFL fest, dass in Bebauungsgebieten oder anderen Gebieten mit besonderem Schutzbedürfnis besondere Sicherheitsmaßnahmen vorzusehen sind, sofern diese Gebiete nicht mit der Rohrfernleitungstrasse umgangen werden können. Die TRFL enthält den Hinweis, dass im Einzelfall auch eine risikobasierte Betrachtung angestellt werden kann, um weiteren Aufschluss zu erhalten. Da aber Akzeptanzkriterien für Risiken in Deutschland weder durch technische Regeln noch durch den Gesetzgeber vorgegeben sind, können solche Betrachtungen nur indikativ für eine besondere örtliche Situation sein. Die TRFL benennt deshalb direkt beispielhaft geeignete besondere Sicherheitsmaßnahmen, die aufgrund qualitativer Abschätzungen angeordnet werden können. Dies sind Maßnahmen, die auch in anderen Staaten mit probabilistischem Vorgehen zur Erhöhung der primären und sekundären Sicherheit Verwendung finden. Überwiegend sind dies konstruktive Maßnahmen, die das verwendete Rohrmaterial und die Art der Verlegung betreffen. Darüber hinaus haben sich in den letzten Jahrzehnten betriebliche Maßnahmen bewährt, die im weitesten Sinne dem Bereich der Rohrleitungsüberwachung zuzuordnen sind. Insbesondere diesen Maßnahmen ist es zuzuschreiben, dass in den letzten Jahrzehnten im Bestand der Rohrfernleitungen ein weiterer Rückgang von Schadensereignissen zu verzeichnen gewesen ist.¹²

¹² vgl. Schadenstatistiken nach EGIG (www.egig.nl) und CONCAWE (www.concawe.be)

6 Zusammenfassung

In der Gesamtsystematik für eine sichere Beschaffenheit und einen sicheren Betrieb von Rohrfernleitungen haben sich zwei Grundkonzeptionen bewährt: jene, die auf einer probabilistischen Sicherheitsphilosophie basieren und solche, die ein sogenanntes deterministisches Vorgehen verfolgen. Die probabilistische Betrachtungsweise stellt den Begriff des Risikos in den Mittelpunkt und befasst sich mit der expliziten und möglichst quantitativen Bestimmung von Risiken. Als deterministisch werden Konzepte bezeichnet, in denen Risiken überwiegend implizit berücksichtigt werden und die stärker auf den Ausschluss von Gefährdungen und die Beherrschung von Gefahren setzen und dazu in Zusammenarbeit von Fachleuten erstellte Regelwerke mit festgelegten – determinierten – Maßnahmen zur Grundlage von Bau und Betrieb von Anlagen machen.

Beide Ansätze kennzeichnen zwei unterschiedliche Wege, Erfahrungswissen aufzubereiten und zu nutzen, um das Ziel einer sicheren Beschaffenheit und eines sicheren Betriebs von Rohrfernleitungen zu erreichen.

Im deterministischen Ansatz werten Fachgremien, in denen Experten aller berührten Bereiche zusammenarbeiten, einen sehr breiten Erfahrungsbereich aus und stellen Regeln auf, die der Betreiber zu beachten hat. Die Anwendung des deterministischen Ansatzes in Deutschland beinhaltet im Ergebnis die summarische Berücksichtigung von verschiedenen nur unscharf bestimmbar Einflüssen durch einheitliche Sicherheitsbeiwerte. Voraussetzung für die Anwendung dieses Ansatzes ist die Bereitschaft auch von Betreibern, ihre Erkenntnisse und Erfahrungen in die regelmäßige Aktualisierung und Verbesserung der Regelwerke einzubringen.

Im probabilistischen Ansatz fließt die Zahl der Schadensereignisse in Statistiken ein, mit denen der Betreiber arbeiten muss. Nach einer grundlegenden auf deterministischen Prinzipien beruhenden Bemessung der Rohrfernleitung hat der Betreiber im probabilistischen Ansatz nicht nur die richtigen Szenarien und Risiken zu ermitteln, sondern er muss auch die hinter den statistischen Ergebnissen stehenden kausalen Zusammenhänge erkennen und interpretieren. Dabei ist er vor allem auf seine eigenen Erfahrungen bzw. auf die seiner Berater angewiesen. Bereits die explizite Ermittlung

von Risiken ist komplex und nur mit vielerlei vereinfachenden Modellannahmen möglich. Nach der Bestimmung der Risiken können Risikobereiche und Maßnahmen nach Prioritäten gereiht und risikomindernde Maßnahmen dort vorgesehen werden, wo sie die höchste Wirkung erzielen. Voraussetzung für die Anwendung dieses Ansatzes ist zum einen eine staatliche Regelung bzw. eine gesellschaftliche Konvention über die Höhe eines akzeptablen Grenzzrisikos. Zum zweiten erfordert der Ansatz möglichst homogene Statistiken über Schadensereignisse. Schließlich erfordert die Anwendung des Ansatzes eine Neubewertung von Risiken entlang aller Rohrfernleitungen immer dann, wenn dort Änderungen der Flächennutzung in Aussicht genommen werden, die eine Erhöhung von Schadenspotentialen zur Folge haben können.

In der Praxis zeigt sich in den letzten Jahren eine zunehmende Tendenz, die Vorteile beider Ansätze durch hybride Elemente mit einander zu verbinden. Entsprechende Beispiele finden sich in der Schweiz, in den Niederlanden und in Deutschland. So sind in Deutschland in das deterministische Regelwerk Elemente eingeflossen, indem in Bebauungsgebieten oder anderen Gebieten mit besonderem Schutzbedürfnis besondere Sicherheitsmaßnahmen vorzusehen sind. Grundlage für diese Maßnahmen können im Einzelfall Risikobetrachtungen sein oder die Erfahrungswerte des Regelwerks über besonders geeignete Zusatzmaßnahmen.

7 Literaturverzeichnis

Brito, A.J.; de Almeida, A.T. (2009): Multi-attribute risk assessment for risk ranking of natural gas pipelines, in: Reliability Engineering and System Safety, 94 (2009) 187–198;

EGIG (2020): Gas Pipeline Incidents, 11th Report of the European Gas Pipeline Incident Data Group (period 1970 – 2019), Doc No VA 20.0432 17TH of December 2020;

Hauptmanns, U. (2011): Beurteilungskriterien für sicherheitstechnische Prüfungen, in: ChemieIngenieurTechnik, 2011, 83, Nr.8, 1161-1172;

HSE - Health and Safety Executive (2009): Societal Risk: Initial briefing to Societal Risk Technical Advisory Group Prepared jointly by the Health and Safety Laboratory and the Health and Safety Executive, RR703 Research Report;

Jo, Y.-D. ; Ahn, B.J. (2005): A method of quantitative risk assessment for transmission pipeline carrying natural gas, in: Journal of Hazardous Materials A123, S. 1-12;

Lehder, G. (2011): Taschenbuch Arbeitssicherheit, 12. Auflage, Erich Schmidt Verlag, S.25/26

Merz, H. A (1995).: „Bewertung von technischen Risiken“; Polyprojekt Risiko und Sicherheit technischer Systeme, vdf;

Müller, W. (1993): Risiko und Ungewissheit! In: Wittmann, W., Kern, W., Köhler, R., Küpper, H.-U. & Wysocki, K. (Hrsg.): Handwörterbuch der Betriebswirtschaft, Teilband 3. / 5. Aufl., Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1993;

Risikokommission (2003): Abschlussbericht der Risikokommission: Ad-hoc Kommission Neuordnung der Verfahren und Strukturen zur Risikobewertung und Standardsetzung im gesundheitlichen Umweltschutz der Bundesrepublik Deutschland, Salzgit-ter;

Schwier, K. (1997): Sicherheit und Integrität von Erdgas-Hochdruckleitungen – Philosophie und Erfahrungen in Deutschland, in: 3R international, Heft 7, Juli 1997, S. 375 – 379;

Internetquellen:

Publikationen

Cornwel; John B. und Jeffrey D. Marx, Jeffrey D. (o.J.) The Significance of Hazard End Points, In Quantitative Risk Analysis, <http://www.questconsult.com/hazard.html> zuletzt abgerufen am 03.08.2011

Skjong, R. und Eknes, M., (o.J.) Economic Activity and Societal Risk Acceptance, DNV research paper 346, <http://research.dnv.com/skj/Papers/346.pdf> , zuletzt abgerufen am 15.02.2012

VROM 2005 Publication Series on Dangerous Substances (PGS 3) Guidelines for quantitative risk assessment (Purple Book), <http://content.publi-catiereeksgevaarlijkestoffen.nl/documents/PGS3/PGS3-1999-v0.1-quantitative-risk-assessment.pdf> zuletzt abgerufen am 16.02.2012

Schadensstatistiken

www.eqig.eu

www.concawe.eu

Probabilistischer Ansatz in der Schweiz:

<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00554/index.html?lang=de>

<http://www.bafu.admin.ch/stoerfallvorsorge/00226/index.html?lang=de> www.swiss-gas.ch/fileadmin/user_upload/Rahmenbericht/Rahmenbericht_Erdgashochdruckanlagen_2010.pdf

Probabilistischer Ansatz im Vereinigten Königreich:

<http://www.hse.gov.uk/risk/theory/r2p2.htm>

<http://www.hse.gov.uk/landuseplanning/padhi.pdf>

<http://www.hse.gov.uk/pipelines/hseandpipelines.htm>

Mitglieder der AfR - Arbeitsgruppe „Sicherheitsmanagement“

Stand 2012

Prof. Dr.-Ing. Robert Holländer (Vorsitz)	Institut für Infrastruktur und Ressourcenmanagement, Universität Leipzig
Horst Bokelmann	WINGAS GmbH
Dr. Hermann Dinkler	Verband der TÜV e.V. (VdTÜV)
Dr. Achim Hilgenstock	E.ON Ruhrgas
Dirk Jedziny	Infracor GmbH
Christiane Kühl	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
Rainer Leipnitz	TÜV SÜD Industrieservice GmbH
Wolfgang Pander	Dow Olefinverbund GmbH
Sabine Sievers	AIR LIQUIDE GmbH Deutschland
Gerhard Winkelmann-Oei	Umweltbundesamt

Bei der Prüfung (2022)

Dr. Hermann Dinkler (Vorsitz)	TÜV-Verband e.V. (VdTÜV)
Chantal Kuhl	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie Niedersachsen
Jan Lillie	Bundesverband Erdöl, Erdgas und Geoenergie e. V.
Klaus Nießen	Bundeswehr, BAIUDBw GS ÖrABw milPplSys
Sabine Sievers	AIR LIQUIDE Deutschland GmbH
Dr. Michael Steiner	Open Grid Europe

Geschäftsstelle des Ausschusses für Rohrfernleitungen

in der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

Unter den Eichen 44-46

D - 12203 Berlin

Telefon: +49 30 8104-3986

<http://www.afr.bam.de>
