

3. Sicherheitstechnische Analyse der Pipelineanlage

3.1 Untersuchungen zur Gefährdungsbildung

Das Ziel der Untersuchungen zur Gefährdungsbildung besteht darin, die Prozesse zur Entwicklung gefährlicher Systemzustände zu erfassen. Die Untersuchungen werden auf der Basis eines Grundmodells zur Gefährdungsbildung geführt. An dieses Grundmodell besteht dabei die Anforderung, daß darauf die risikoanalytischen Untersuchungen aufgebaut werden können. Entsprechend der Definition des Risikos müssen die Modellvorstellungen möglichst alle Merkmale, die den Eintritt eines Schadensereignisses und die Schadensauswirkungen beeinflussen, berücksichtigen.

In Abbildung 3.1 sind die Modellvorstellungen zur Gefährdungsbildung bei Fernleitungssystemen dargestellt. Die Rohrleitung als das eigentliche Funktionselement, einschließlich der Verbindungselemente und andere stoffbeaufschlagte Elemente stellen gleichzeitig auch die einzige Barriere zwischen der Gefahrenquelle (Transportstoff) und dem Schutzgut (Umwelt, Mensch) dar. Auf diese Schutzhülle wirken externe und interne Einflüsse, was entweder eine lokale Überbeanspruchung oder eine Reduzierung der Beanspruchbarkeit der Rohrwandung zur Folge haben kann. Die internen und externen Einflüsse können die Bildung von Emissionskanälen verursachen, womit ein Stoffaustritt in die Umgebung und zwangsläufig eine Gefährdung bzw. Schädigung für die Schutzgüter verbunden ist. Wesentlich ist, dass sowohl das Schutzbedürfnis der Umgebung als auch die Wirkung der externen und internen Einflüsse auf das System ausgeprägt trassenwegdifferenziert sind, d.h. sich entlang des Trassenverlaufes wesentlich ändert. Damit ist zwangsläufig auch eine Trassenwegabhängigkeit des sich ergebenden Risikos und eine entsprechende Differenzierung der erforderlichen sicherheitstechnischen Maßnahmen verbunden.

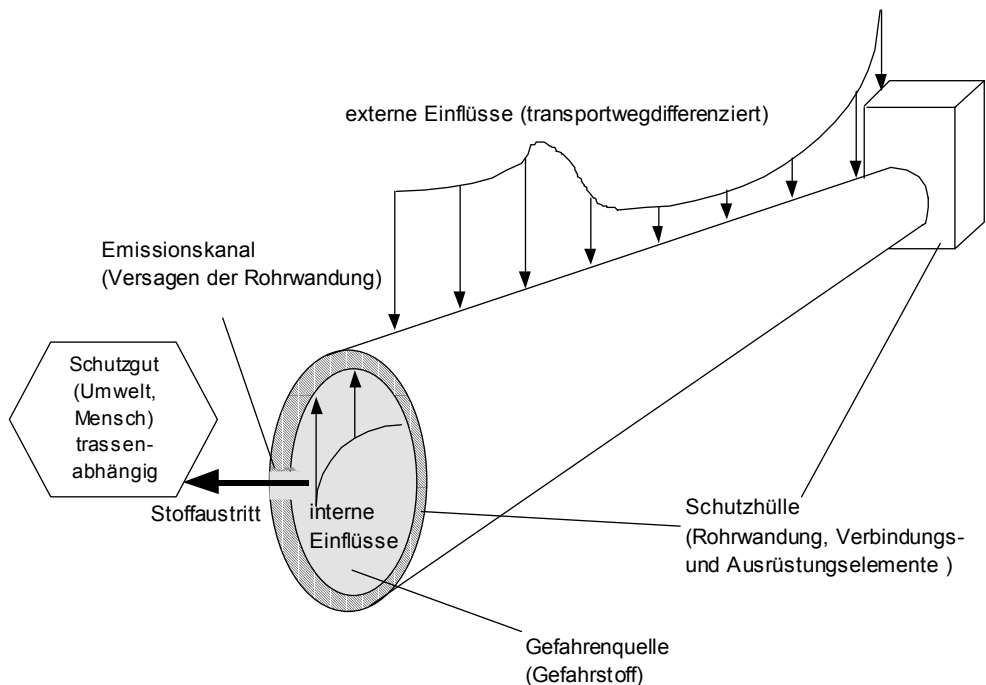


Abbildung 3.1: Spezifisches Grundmodell zur Gefährdungsbildung an Pipelineanlagen

Davon ausgehend, daß die Wirkungen der internen und externen Einflüsse im Verhältnis zum Widerstandsvermögen der Rohrwandung eng mit der Wahrscheinlichkeit des Schadenseintrittes korreliert und Schäden an Menschen und der Umwelt das zu betrachtende Schadensausmaß darstellen, ist die Eignung dieser spezifischen Modellvorstellungen für einen risikoanalytischen Ansatz gegeben.

Die weiterführenden Untersuchungen konzentrieren sich auf die Ermittlung und Charakterisierung der internen und externen Einflüsse und auf die Einbeziehung ihres Verhältnisses zu lokalen und rohrlitungsumfassenden Festigkeitsmerkmalen (Belastbarkeit). Die Analyse des stofflichen Gefährdungspotentials hat dafür aber auch für die später durchzuführenden Untersuchungen der Schadensauswirkungen eine wesentliche Bedeutung.

3.2 Analyse und Charakterisierung des Stoffsystems

Sowohl die Klassifizierung der Rohrfernleitungen in rechtsverbindlichen Vorschriften als auch das geforderte Niveau und die Schwerpunkte der sicherheitstechnischen Gestaltung richten sich vor allem nach den Eigenschaften des Transportgutes /66, 174 –176/.

Ausgehend von der Wirkung auf Menschen und die Umwelt eines angenommenen Stoffaustritts stellt das stoffliche Gefährdungspotential einer Anlage das Produkt aus der Menge und den Gefährlichkeitsmerkmalen eines Stoffes dar. Für Pipelineanlagen ist statt der Menge der Durchsatz relevant, so daß sich bei Rohrleitungsanlagen mit hohen Förderdrücken und Nennweiten das stoffliche Gefährdungspotential stark erhöht.

Prinzipiell müssen bei der Stoffanalyse die Stoffeigenschaften und Kennwerte untersucht werden, die sowohl für die Bildung gefährlicher Zustände als auch für die Auswirkungen bei Stoffemissionen relevant sind.

Eine Charakterisierung des Stoffsystems wird durch sicherheitstechnische Kenngrößen unter Einbeziehung der verfahrenstechnischen Bedingungen ermöglicht. Die Ermittlung dieser Kenngrößen kann über eine Literaturrecherche, mittels Stoffdatenbanken oder über experimentelle Untersuchungen als Bestandteil des anlagenbezogenen Datenkonzeptes erfolgen /160-165, 169, 170/.

Die im wesentlichen zu berücksichtigenden Stoffeigenschaften sind in Abbildung 3.2 dargestellt.

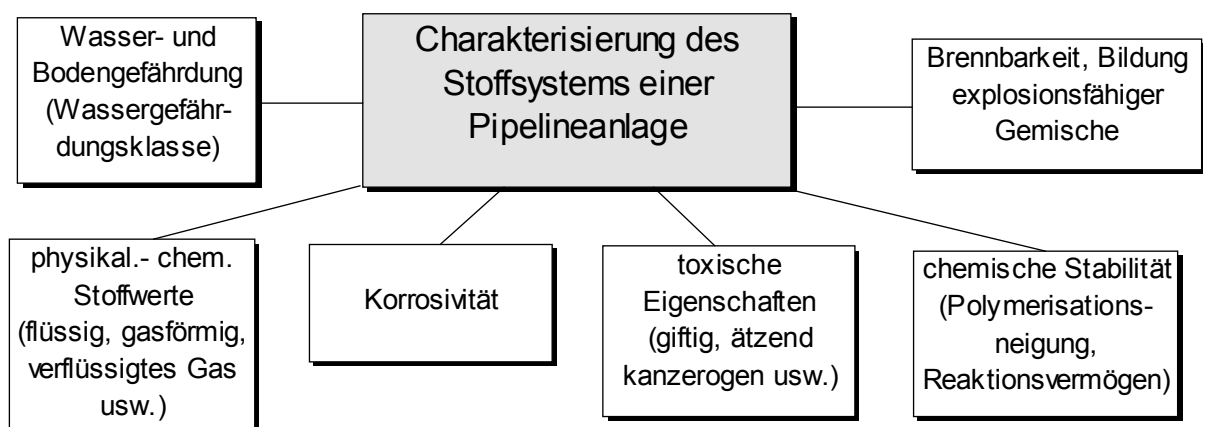


Abbildung 3.2: Zu berücksichtigende Eigenschaften des Stoffsystems

Das Maß des stofflichen Gefährdungspotentials ist immer im engen Zusammenhang mit den jeweiligen lokalen Umgebungsverhältnissen und den Verfahrensparametern zu sehen.

Insbesondere die Auswirkungen eines Stoffaustrittes sind danach differenziert zu bewerten, da z.B. schon kleinere Leckagen in schutzbedürftigen Gebieten (Trinkwasserschutzgebiete) erhebliche Umweltschäden zur Folge haben können. Umweltgefährlichkeit, Toxizität und Brennbarkeit sind dann die entscheidenden Stoffparameter, wenn bei einem Stoffaustritt Personen oder sensible Gebiete betroffen sind (Stationen, Nähe von Bebauungen, Flußquerungen). Diese Gefährlichkeitsmerkmale sind somit maßgeblich bei der Ermittlung der zu erwartenden Schadensauswirkungen im Rahmen der Risikoanalyse und des weiteren bei der Festlegung von Schutzmaßnahmen bei einem angenommenen Leckagefall /166, 167/. Weiterhin sind solche Stoffeigenschaften wesentlich, die für die Festlegung der Betriebsbedingungen, der Anlagengestaltungs- und Werkstoffkonzeption sowie speziell abgestimmter Sicherheitsmaßnahmen zu berücksichtigen sind. Dazu zählen vor allem die Korrosivität, Polymerisationsneigung und weitere physikalisch-chemische und thermodynamische Stoffwerte (z.B. Dampfdruck). Bei dem bei modernen Pipelineanlagen häufig realisierten Mehrstoffbetrieb ist zusätzlich die chemische Verträglichkeit der Stoffe bezogen auf deren Reaktivität zu beachten /168/.

Ein weiteres stoffspezifisches Gefährdungsmerkmal, welches jedoch in enger Beziehung zu den Förderbedingungen steht, ist die Druckenergie und daraus folgend das mechanische Schädigungspotential. Im Gegensatz zu Gashochdruckleitungen ist diese Gefahr bei Flüssigkeitsleitungen infolge der geringen Kompressibilität der Transportmedien relativ gering. Des weiteren kann es bei Flüssigkeitsleitungen im Falle des Rohrleitungsbruches auf Grund der hohen Geschwindigkeit der Druckentlastungswelle nicht zu großen Rißlängen kommen, was bei Gashochdruckleitungen insbesondere bei der Verwendung nicht genügend zäher Rohrwerkstoffe durchaus möglich ist /38, 181/. Die Auswirkungen bei Schadensfällen sind bei Flüssigkeitsleitungen deshalb in der Regel örtlich stark begrenzt.

Für eine Vielzahl der Fördermedien sind die Stoffwerte und die Gefährlichkeitsmerkmale bekannt, wobei für die Stoffbeurteilung auch eventuell vorhandene Verunreinigungen oder Beimengungen berücksichtigt werden müssen.

Aus den Gefährlichkeitsmerkmalen des Transportstoffes lassen sich direkte Sicherheits- und Schutzmaßnahmen ableiten, die eine Inaktivierung bzw. Minimierung der Gefährdungen als Zielstellung haben. In folgender Übersicht sind die Sicherheitsmaßnahmen den wesentlichsten Stoffeigenschaften formal zugeordnet.

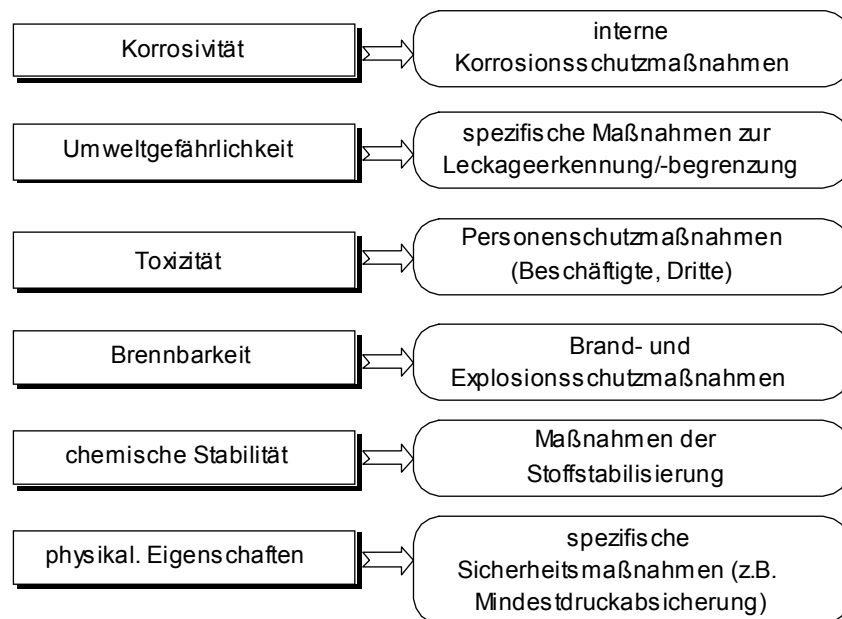


Abbildung 3.3: Sicherheitsmaßnahmen in Abhängigkeit der Stoffeigenschaften

Die Ergebnisse der Stoffanalyse fließen direkt als wesentliche Grundlage in die Risikoanalyse ein.

3.3 Ermittlung von Schadensursachen

Zur Ermittlung der Ursachen für Schäden können Ergebnisse der Auswertungen von Schadensereignissen genutzt werden. Als Schäden im Sinne dieser Untersuchungen werden Ereignisse an Fernleitungen berücksichtigt, bei denen ein ungewollter Stoffaustritt stattfindet und in dessen Folge das Schadensspektrum in Abhängigkeit der Materialeigenschaften die Boden- und Gewässerverunreinigung sowie Personenschädigungen durch Brände, Explosionen und Intoxikationen einschließt. Auf Grund der häufig gegebenen räumlichen Nähe der Pipelineanlage zu Wohnbebauungen und der öffentlichen Infrastruktur sind auch oft Auswirkungen auf die Bevölkerung zu verzeichnen, wobei Personenschäden meist dann auftreten, wenn durch Zündung des ausgetretenen brennbaren Stoffes eine Explosion oder ein Brand ausgelöst wird. Die Meldung der Schadensereignisse in Europa erfolgt im Rahmen einer Selbstverpflichtung der Betreiber zentral an eine unabhängige Institutionen. Die zur Verfügung stehende Datenbasis bietet die Möglichkeit, mit Hilfe der retrospektiven Auswertung der Schadensfälle die Ursachen für das Versagen der Rohrleitungen zu klassifizieren.

Zwischen 1971 und 2000 wurden allein bezogen auf das westeuropäische Öl-Fernleitungsnetz 389 meldepflichtige Schadensfälle registriert, wobei insgesamt 65 071 m³ Gefahrstoffe in die Umgebung austraten /53, 54, 61, 201, 202/. Eine Übersicht über bemerkenswerte Schadensfälle bei Fernleitungsanlagen aus der Vergangenheit ist in Anlage 3 enthalten. Dabei ist zu erkennen, daß die Ursachen für Stoffaustritte meist sehr komplex und im konkreten Fall oft nur auf die räumliche und zeitliche Kopplung mehrerer Einzelursachen zurückzuführen sind. Für die weitere Untersuchung ist es jedoch erforderlich, eine geeignete Klassifizierung der Schadensursachen vorzunehmen.

Die Auswertung der Schadensfälle führt zu folgender Systematisierung der Ursachen für ein Versagen der Rohrwandung:

- ***Mechanische Fehler***
- ***Interne und externe Korrosion***
- ***Einwirkungen Dritter***
- ***Betriebliche Fehler***
- ***Bodenbewegungen***

In folgender Tabelle sind in Auswertung der Leckageereignisse (1971 - 2000) und das prozentuale Verlustvolumen den Ursachenkategorien zugeordnet /54, 201/.

| Ursachenkategorie | Durchschnittlicher Anteil der Ereignisursachen | anteiliger Leckageverlust am Gesamtverlust |
|-------------------------------|---|---|
| Mechanische Fehler | 23 % | 28 % |
| Betriebliche Fehler | 8 % | 4 % |
| Interne und externe Korrosion | 30 % | 16 % |
| Bodenbewegungen | 4 % | 13 % |
| Einwirkungen Dritter | 35 % | 39 % |

Es ist erkennbar, daß die einzelnen Schadensursachen eine unterschiedliche Relevanz in der Gefährdungsbildung besitzen. Die häufigsten Ursachen für Leckagen sind Korrosionschädigungen der Rohrwandung, Einwirkungen Dritter und mechanische Fehler, wobei die austretenden Leckagemengen bei korrosionsbedingten Leckageereignissen vergleichsweise gering sind. Als besonders kritisch sind jedoch die Einwirkungen Dritter anzusehen. Ungewollte externe Einwirkungen treten sehr häufig auf, die Leckagemenge ist am größten und im Gegensatz zu den mechanischen und korrosionsbedingten Ursachen sind Pipelines unabhängig vom Alter und Zustand gefährdet. Die Möglichkeit der externen Einwirkungen durch Dritte ist im Vergleich zu anderen Anlagen ein spezifisches Merkmal der Rohrfernleitungen und nimmt auf Grund ihrer Brisanz eine Schlüsselstellung im Rahmen der Gefährdungsbildung ein. Dies ist bei der Umsetzung der sicherheitstechnischen Konzeption zu berücksichtigen.

Die ermittelten Ursachenkategorien für das Versagen der Rohrwandung haben in Abhängigkeit ihrer Wirkungscharakteristik einen differenzierten Einfluß auf die Entwicklung eines gefährlichen Systemzustandes. Ihre Einbeziehung in die komplexen risikoanalytischen Untersuchungen machen deshalb eine sicherheitsbezogene Bewertung erforderlich. Sie erfolgt im Hinblick auf die zeitliche und räumliche Wirkung auf das Pipelinesystem, woraus vordergründig eine Charakterisierung hinsichtlich

- Wirkungsweise (Reduzierung der Beanspruchbarkeit/Überbeanspruchung),
- Wirkungsraum (extern/intern, örtlich begrenzt/anlagenübergreifend),
- Wirkungsintensität (hoch/gering),
- zeitliches Auftreten (ständig/zeitlich begrenzt)

vorgenommen wird.

Diese Charakterisierung ist des weiteren Voraussetzung für die Ableitung der Anforderungen an die jeweils notwendigen Sicherheitsmaßnahmen. So erfolgt die Anordnung der Sicherheitsmaßnahme in Abhängigkeit des Wirkungsraumes, die Anforderungen an die Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Sicherheitselemente korrelieren mit der Wirkungsintensität und dem zeitlichen Auftreten. Weiterhin werden Hinweise auf die Möglichkeiten zur Vermeidung bzw. Minimierung dieser Schadensursachen gegeben, insbesondere, in welchen Lebensphasen der Einfluß dieser Maßnahmen am größten ist.

3.4 Sicherheitsbezogene Bewertung der Schadensursachen

3.4.1 Mechanische Fehler

Mechanische Fehler treten am Rohrkörper oder an den Verbindungselementen (Schweißnähte) auf und reduzieren die Festigkeit bzw. Belastbarkeit der betroffenen Elemente. Sie resultieren im wesentlichen aus:

- Konstruktions- und Dimensionierungsfehlern
- Material- und Herstellungsfehlern
 - ungenügende Werkstoffqualität
 - fehlerhafte Schweißnähte
 - falsche Werkstoffauswahl
- Fehlern bei der Verlegung
 - Ungleichmäßige Auflagerung
 - Einbeulungen und Beschädigungen

Das größte Potential zur Vermeidung der mechanischen Fehler liegt bei der Sicherung der Qualität im Rahmen der Dimensionierung, der Herstellung und Verlegung der Rohrleitung. Bei modernen Leitungsanlagen treten mechanische Fehler auf Grund der steigenden Qualitätsanforderungen, moderner Prüfmethode und des hohen technischen Entwicklungsstandes auf dem Gebiet der Metallurgie, der Rohrherstellungsverfahren und der Verletechnik selten auf.

Die Herstellung von Rundschweißnähten erfolgt nach strengen Richtlinien /197-199/. Schweißnahtfehler werden in der Regel anhand von sog. "good workmanship"-Kriterien oder nach den EPRG-Richtlinien /204/ beurteilt. Schweißnahtfehler, die vorgegeben Fehlergrößen überschreiten, werden repariert, so daß bei neuen Anlagen Fehler in Rundschweißnähten als Ursache für Rohrversagen kaum auftreten.

Für das Verhalten von Fehlern im Grundwerkstoff und in der Längsschweißnaht sind Vorhersagen entwickelt worden. Die Gefahr, daß eine im Werkstoff vorhandene Fehlstelle ein Leitungsversagen verursachen kann, hängt wesentlich von den Auslegungsbedingungen (Betriebsdruck, Wandstärke, Sicherheitsbeiwerte, Werkstoffeigenschaften) ab. Für die Abschätzung des Einflusses der Fehler auf die Sicherheit der Leitung haben sich vor allem das Batelle-Konzept /205/ sowie die britische Norm PD 6493 /206/ bewährt.

Im Gegensatz dazu ist bei älteren Anlagen häufiger mit mechanischen Fehlern zu rechnen, insbesondere, wenn die hohen Qualitätsanforderungen bei der Herstellung noch nicht erfüllt wurden. Schweißnahtfehler und Formabweichungen (Aufdachungen, Unrundheiten) des Rohrkörpers führen lokal zu einer verminderten Beanspruchbarkeit der drucktragenden Teile, so daß es schon bei bestimmungsgemäßen Betriebsbedingungen zum Versagen der Leitung kommen kann.

Die Ermittlung der Fehlstellen und geometrischen Abweichungen erfolgt durch den Einsatz intelligenter Molche, mit denen Inneninspektionen der Rohrleitungen durchgeführt werden.

Weitere umfangreiche Untersuchungen zur Problematik der mechanischen Fehler sind in der Literatur zu finden / 83-86, 88,122,145,181/.

In folgender Abbildung sind die Einflüsse für das Auftreten mechanischer Fehler zusammengefaßt.

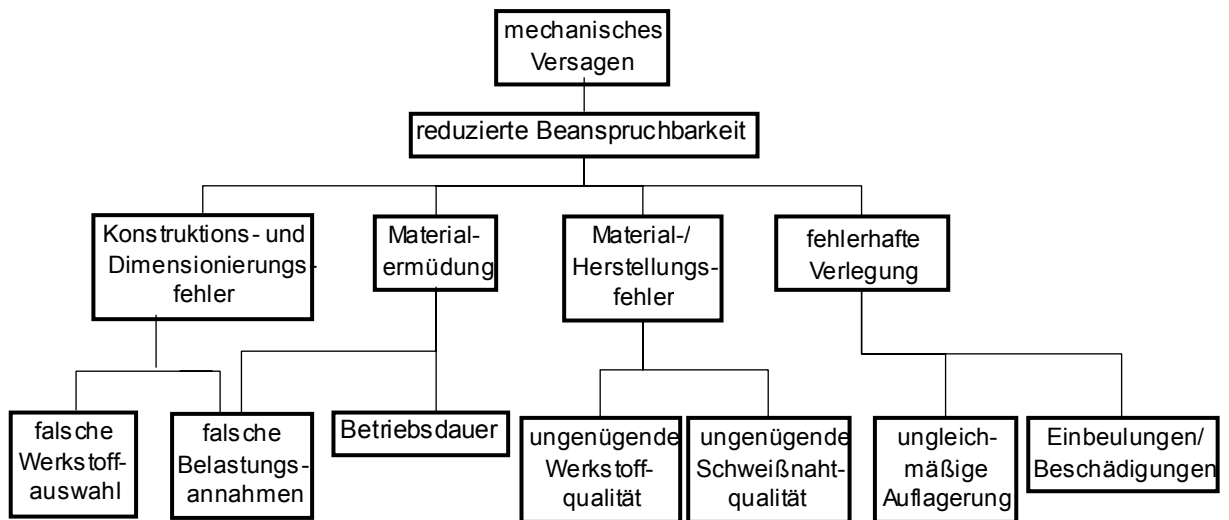


Abbildung 3.4: Einflußgrößen für das Auftreten mechanischer Fehler

Die relevanten Einflußgrößen für der Entstehung mechanischer Fehler können demnach mit „Rohrqualität“, „Leitungsverlegung“, „Design“ sowie „Betrieb/Überwachung“ zusammengefaßt werden, wobei die "Rohrqualität" und "Betrieb/Überwachung" eine höhere Relevanz haben als die anderen Einflußgrößen.

Zusammenfassende Bewertung der Versagensursache "Mechanische Fehler":

- direkte Reduzierung der vorgesehenen Beanspruchbarkeit der Rohrkörper und Verbindungselemente,
- Leitungsbruch auch unter bestimmungsgemäßen Betriebsbedingungen möglich,
- In Abhängigkeit der Fehlergröße und -art sowie der auftretenden Beanspruchung können diese kurzfristig oder nach längerer Betriebszeit zum Leckagefall führen,
- In Abhängigkeit des Anlagenzustandes meist örtlich begrenztes Auftreten.
- Vermeidung dieser Schadensursache vorwiegend in der Planungs- und Bauphase

3.4.2 Korrosion

Korrosionseinflüsse auf Pipelineanlagen sind sowohl **extern** (durch Umgebungsbedingungen) als auch **intern** (durch Transportstoffeigenschaften) zu erwarten. Korrosion wird im allgemeinen definiert als die Reaktion eines metallischen Werkstoffes (elektrochemisch, chemisch, metallphysikalisch) mit seiner Umgebung, die eine meßbare Veränderung des Werkstoffes bewirkt und zu einer Beeinträchtigung der Funktion (Beanspruchbarkeit) eines metallischen Bauteils oder eines ganzen Systems führen kann /190,191/. Bei Pipelineanlagen treten externe Korrosionen in Abhängigkeit der Umgebungsbedingungen und der Wirksamkeit der vorgesehenen Korrosionsschutzmaßnahmen (passive und aktive Korrosionsschutzmaßnahmen) örtlich differenziert auf /73-78/. Das Auftreten interner Korrosion hängt neben der Korrosivität des Transportstoffes wesentlich vom Design und den Betriebsbedingungen im Leitungssystem ab.

In Tabelle 3.2 sind die wesentlichen Korrosionsmechanismen und ihr Anteil an Schadensfällen an verfahrenstechnischen Anlagen enthalten. Daraus ist ersichtlich, daß die

abtragende Korrosion und die Spannungsrißkorrosion die häufigsten Schadensursachen sind. Beide Korrosionsarten sind auch an Pipelines zu erwarten.

| Schadensart | Anteil der Schadensfälle [%] |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| abtragende Korrosion | 28,2 |
| Spannungsrißkorrosion | 23,7 |
| Lochkorrosion | 14,3 |
| interkristalline Korrosion | 10,1 |
| sonstige Lokalkorrosion | 8,6 |
| Verschleiß, Erosion, Kavitation usw. | 7,9 |
| Hochtemperaturkorrosion | 2,8 |
| Schwingungsrißkorrosion | 2,7 |
| Wasserstoffrißbildung | 1,4 |

Abtragende Korrosion

Es tritt ein gleichmäßiger und ungleichmäßiger Flächenabtrag auf, wobei es sich vorwiegend um elektrochemische Vorgänge handelt.

Das Ausmaß der Korrosionsreaktionen nimmt mit der Ausdehnung der Objekte zu, so daß erdverlegte Pipelines besonders gefährdet sind. Die externe Korrosionsgefährdung ändert sich auf Grund ihrer Potentialabhängigkeit mit dem Trassenverlauf teilweise recht stark und richtet sich nach der Bodenbeschaffenheit und nach möglichen elektrischen Einflüssen (Elementbildung oder Streuströme). Bei Elementbildung und Streuströmen ist immer mit frühzeitigem Auftreten von Schäden zu rechnen, so daß in diesem Falle Schutzmaßnahmen eine sehr hohe Priorität haben /190-192/.

Die interne Korrosionsgefährdung ist wesentlich durch die Korrosivität des Transportmediums bestimmt, wobei insbesondere wäßrige Medien und Stoffe mit CO₂ und O₂ als Bestandteile als korrosiv eingestuft werden. Bei Gas, Erdöl und deren Produkten kann im allgemeinen davon ausgegangen werden, daß keine abtragende Korrosion auftritt. Dies sollte jedoch durch einen Nachweis nach einer festgesetzten Betriebsdauer bestätigt werden, da vorhandene Verunreinigungen oder nicht abgeschiedenes Wasser korrosiv wirken können. Außerdem ist bei Änderungen des Transportmediums dessen Korrosivität neu zu bewerten.

Lochkorrosion

Die Lochkorrosion kann auf Grund ihres Mechanismus sehr schnell zur Bauteilzerstörung führen. Die Voraussetzung einer Lochkorrosion ist dann gegeben, wenn ein kritisches Korrosionspotential überschritten wird /74, 185/.

Spannungsrißkorrosion

Ein nicht unbeträchtlicher Teil der durch Korrosion verursachten Leckagefälle ist auf die Spannungsrißkorrosion zurückzuführen. Diese beginnt mit kleinsten Rissen in der Rohrwandung, die während des Betriebes bis zu einer kritischen Rißlänge wachsen können und zu einer Leckage oder zum Bruch der Pipeline führen. Ein für Spannungsrißkorrosion anfälliges Rohrmaterial, ein korrosiver Einfluß auf die Rohroberfläche sowie Zugbeanspruchung sind die Bedingungen für das Auftreten der Spannungsrißkorrosion. Wesentliche Untersuchungsergebnisse zur Spannungsrißkorrosion sind in /68/ enthalten.

wasserstoffinduzierte Rißkorrosion

Bei Vorhandensein von Wasserstoff im Fördermedium, wie zum Beispiel in Erdöl oder Erdgas, spielt die Korrosion durch Wasserstoff eine wesentliche Rolle. Die wasserstoffinduzierte Rißbildung tritt auch dann auf, wenn keine mechanischen Belastungen auf das Bauteil wirken. Die Wasserstoffschädigung ist ein sehr komplexer Vorgang, so daß selbst in der Literatur die Bewertung der Wasserstoffempfindlichkeit der Materialien unterschiedlich ausfällt /73, 86, 184, 185/.

Die Feststellung des Korrosionszustandes einer Leitung erfolgt mit Hilfe der intelligenten Molchtechnik und durch regelmäßige äußere Prüfungen in Verbindung mit einer Wanddickenmessung. Die Möglichkeiten zur Realisierung von Schutzmaßnahmen zur Vermeidung der Korrosion bieten sich sowohl in der Phase der Auslegung (Werkstoffauswahl, Wahl der Schutzhülle) als auch in der Betriebsphase (regelmäßige Prüfung der Korrosionsschutzmaßnahmen, Zustandsfeststellung) an.

In den nachfolgenden Abbildungen sind die Einflußgrößen für das Entstehen externer und interner Korrosionsschäden zusammengefaßt:

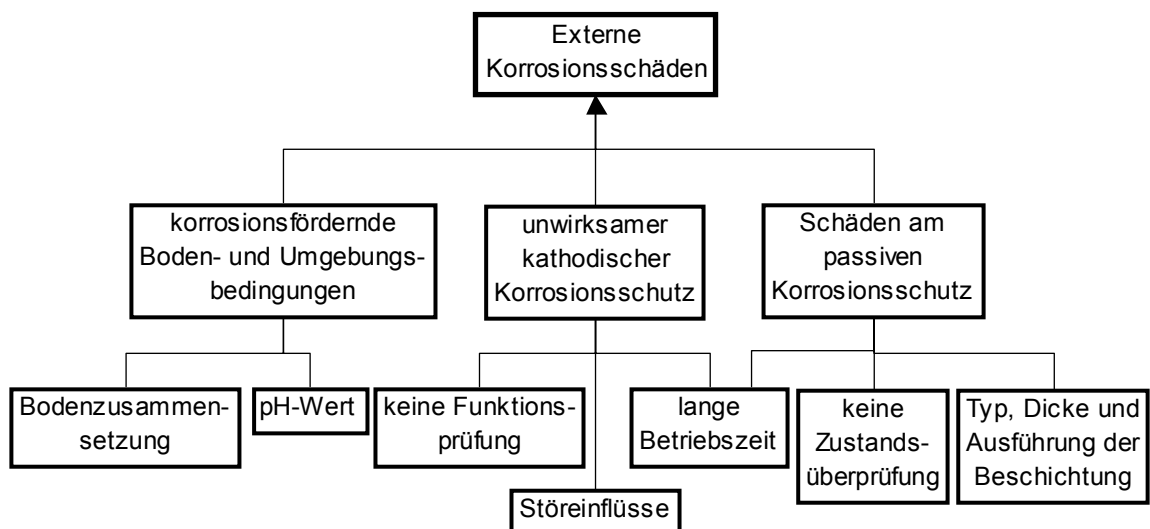


Abbildung 3.5: Wesentliche Einflüsse auf die Entstehung externer Korrosionsschäden

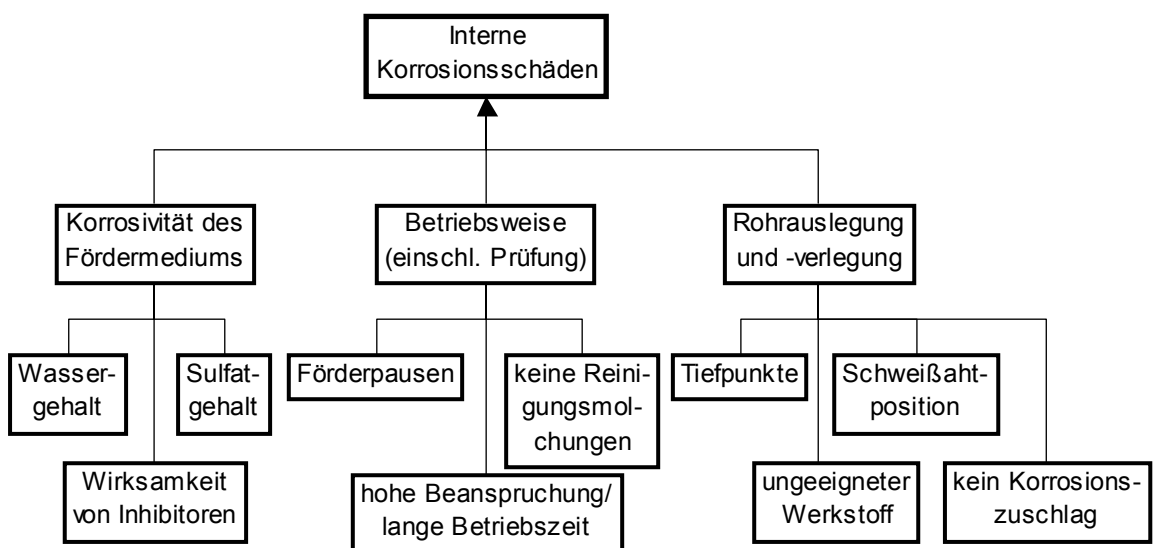


Abbildung 3.6: Wesentliche Einflüsse auf die Entstehung interner Korrosionsschäden

Die Bildung von externen Korrosionsschäden hängt demnach hauptsächlich von den "Umgebungsbedingungen", dem "kathodischen Korrosionsschutz" und dem passiven Korrosionsschutz ab. Die Schutzmaßnahmen haben dabei eine höhere Relevanz als die Umgebungsbedingungen.

Bei der Entstehung interner Korrosionsschäden haben die Korrosivität des Fördermediums, die Betriebsweise und die Rohrauslegung eine weitgehend gleiche Relevanz.

Zusammenfassende Bewertung der Versagensursachen "Interne Korrosion" und "Externe Korrosion":

- direkte Reduzierung der vorgesehenen Beanspruchbarkeit der Rohrkörper und Verbindungselemente,
- Leitungsbruch auch bei bestimmungsgemäßen Betriebsbedingungen möglich,
- Einwirkung auf den Rohrkörper von innen (interne Korrosion) und von außen (externe Korrosion),
- bei interner Korrosion ist i.d.R. gesamte Anlage betroffen; externe Korrosion ist trassenwegspezifisch,
- ständige Einwirkung auf den Rohrkörper,
- i.d.R. geringe Wirkungsintensität, da erst nach längerer Betriebszeit mit einer wesentlichen Beeinflussung gerechnet werden muß, damit vor allem bei älteren Leitungen relevant,
- Vermeidung dieser Schadensursache sowohl in der Planungs- als auch Betriebsphase

3.4.3 Einwirkungen Dritter

Entsprechend der Ergebnisse der Schadensauswertung stellt die Möglichkeit der Einwirkungen durch Dritte eine Besonderheit der Rohrfernleitungen im Vergleich zu anderen verfahrenstechnischen Anlagen dar. Die Gefahr, daß eine Fernleitung durch die Einwirkung Dritter beschädigt wird, ergibt sich daraus, daß sich ein Großteil der Pipeline auf öffentlich zugänglichem Territorium befindet und somit der unmittelbare und nicht kontrollierbare Zugriff fremder Personen möglich ist. Mit etwa 30% der Leckageereignisse zählt die Beschädigung durch Dritte neben der Korrosion zu den häufigsten Leckageursachen. Dabei handelt es sich fast ausschließlich um unbeabsichtigte Beschädigung infolge von Bodenaushub-, Bohrungs- oder Grabungsarbeiten in der Nähe der Pipeline.

Weitere Ursachen sind u.a:

- Arbeiten an parallel verlegten Leitungen
- landwirtschaftliche Bodenbearbeitung
- geologische Bodenuntersuchungen

Die Unkenntnis über das Vorhandensein oder die genaue Lage der Fernleitung wird als häufigste Begründung von den Verursachern genannt /181, 136, 138/.

Obwohl im gesamten frei zugänglichen Bereich einer Pipeline grundsätzlich externe Einwirkungen durch Dritte möglich sind, ist erkennbar, daß bestimmte Trassenabschnitte besonders gefährdet sind. Dazu zählen besonders Gebiete, in denen Bauarbeiten, oder geologische Untersuchungen zu erwarten sind sowie Bereiche mit einer dichten Bebauung in Trassennähe. Auf diese Trassenabschnitte müssen sich die Maßnahmen zur Reduzierung der Gefahr externe Einwirkungen konzentrieren.

Die Belastungen, die durch einen äußeren Eingriff zum Beispiel durch Baggerzähne oder Bohreinrichtungen gewaltsam auf die Rohrwandung einwirken, können die zulässigen Beanspruchungswerte zum Teil erheblich übersteigen. Eine erhöhte Wanddicke bzw.

Festigkeit der Rohre kann die Möglichkeit einer zerstörenden Wirkung zwar reduzieren, jedoch nicht ausschließen.

Die Möglichkeiten zur Minimierung der Gefahr durch Einwirkung Dritter liegen vorwiegend in der Planungsphase (Trassenverlauf, Verlegetiefe, Design) und weniger in der Betriebsphase (regelmäßige Trassenkontrollen).

Die wesentlichen Einflüsse auf die Entstehung der Schadensursachen "Einwirkungen Dritter" ist in Abbildung 3.7 zusammengefaßt:

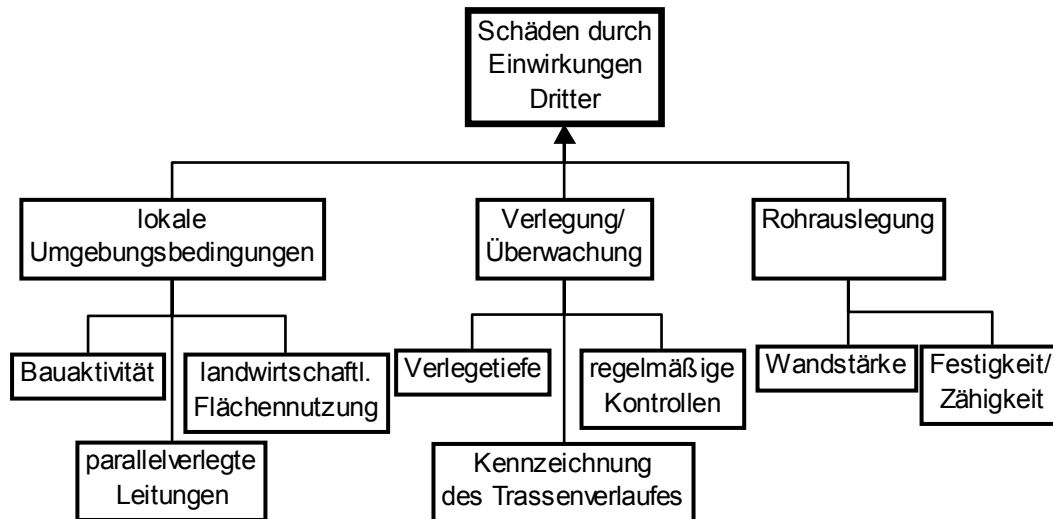


Abbildung 3.7: Wesentliche Einflüsse auf die Entstehung von Schäden durch externe Einwirkungen

Die lokalen Umgebungsbedingungen sind dabei ausschlaggebend für das Auftreten der Schadensursache "Einwirkungen Dritter". Sicherheitsmaßnahmen wie eine Erhöhung der Festigkeit oder eine intensivierete Überwachung können diese Schadensursache in der Regel nicht ausschließen, deren Eintrittswahrscheinlichkeit jedoch reduzieren.

Zusammenfassende Bewertung der Versagensursache "Einwirkungen Dritter":

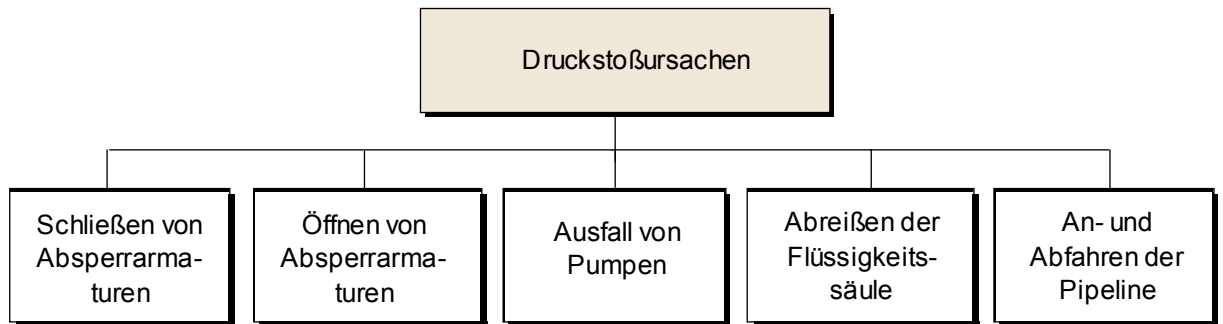
- Überbeanspruchung der Rohre und der Verbindungselemente
- Auftreten ist stark abhängig von den jeweiligen Trassenbedingungen
- Einwirkung von außen auf die Rohrleitung
- Auftreten ist unabhängig vom Alter und Zustand der Anlage
- hohe Wirkungsintensität (bei Auftreten sofortiges Versagen der Rohrwandung möglich)
- Vermeidung dieser Schadensursache vorwiegend in der Planungsphase

3.4.4 Betriebliche Fehler

Ausfälle bzw. Fehlfunktionen sicherheitstechnischer Ausrüstungen, und Fehlbedienungen führen in der Regel zu einer sicherheitsrelevanten Beeinflussung des Betriebszustandes. Damit besteht grundsätzlich die Möglichkeit, daß sicherheitsrelevante Betriebsparameter (z.B. Förderdruck) zulässige Grenzwerte überschreiten, womit eine Überbeanspruchung bzw. Schädigung der Rohrwandung oder der Ausrüstungselemente verbunden ist. Durch Fehlbedienungen (z.B. von Absperrrichtungen) oder bei unsachgemäßen Instandsetzungs-, Reparatur- bzw. Inspektionsarbeiten können direkt Stoffemissionen verursacht werden. Die wesentlichste Gefährdung besteht jedoch darin, daß durch Versagen von Betriebs- bzw. Sicherheitseinrichtungen oder durch falsche Betriebsführung Druckstöße erzeugt werden.

Während die Druckbelastung bei stationärem Betrieb (Förderdruck und strömungsbedingte Druckverluste) zulässige Grenzwerte, die im Rahmen der Berechnung und Dimensionierung des Pipelinesystems berücksichtigt werden, nicht überschreitet, ist dies bei Druckstößen grundsätzlich möglich. Druckstöße sind positive und negative Zusatzdrücke, die aus Trägheitskräften bei dynamischen Durchflußänderungen resultieren. Die Änderung des

Massendurchflusses durch das Rohrleitungssystem kann durch beabsichtigte Schalt- oder Regelvorgänge oder durch Störungen des Betriebes (Schließen oder Öffnen von Absperrventilen) hervorgerufen werden (vgl. Abbildung 3.8) /110- 112, 118, 181/.



hervorgerufen durch:

- Ausfall der Stromversorgung,
- Unterbrechung der Datenfernübertragung,
- Bauteilversagen,
- Fehlbedienung,
- Systemfehler.

Abbildung 3.8: Druckstoßursachen

Der resultierende Innendruck ergibt sich aus der Überlagerung des stationären Druckes mit dem instationären Druck.

$$p_i = p_{stat.} + \Delta p_{instat.} \quad (3.1)$$

Die zeitliche Druckänderung ist entscheidend von der Dynamik und der Größe der Massendurchflußänderung abhängig, ferner auch von den konstruktiven Gegebenheiten (Einbauten), der Leitungslänge und den Stoffparametern. Steile Druckwellenköpfe entstehen beim Schließen molchbarer Schieber, die sich in der Mitte eines längeren Rohrleitungsabschnittes befinden. Neben der Tatsache, daß eine effektive Drosselung erst in den letzten etwa 20% des Schließweges einsetzt, und damit in kurzer Zeit eine erhebliche Geschwindigkeitsreduzierung erfolgt, tritt zusätzlich zum Druckanstieg vor dem Schieber ein äquivalenter Druckabfall hinter dem Schieber auf, so daß die zur Geschwindigkeitserhöhung zur Verfügung stehende Druckdifferenz verdoppelt wird /89-91/.

Ähnlich steile Druckwellenköpfe entstehen bei Ausfall von Pumpenstationen, wenn die Auslaufzeit der Aggregate kurz ist.

Neben einer Überschreitung des zulässigen Innendruckes können negative Druckänderungen zu einer Unterschreitung des Dampfdruckes und damit zum Abreißen der Flüssigkeitssäule führen. Ein Wiederauffüllen der so entstandenen Hohlräume kann kritische Belastungen der Rohrleitung hervorrufen /115/.

Instationäre Betriebszustände (z.B. An- und Abfahren) sind demnach besonders kritisch im Zusammenhang mit der Entstehung von Druckstößen zu bewerten.

Die Möglichkeiten zur Minimierung der Gefahren durch Druckstöße sind vorwiegend durch die Auswahl technischer Ausrüstungen und zuverlässiger Sicherheitseinrichtungen sowie einem geeignetem Betriebsreglement gegeben (Betriebsphase). Der vollständigen Einbeziehung der Druckstoßbeanspruchung im Rahmen der Rohrdimensionierung sind in der Regel durch die sich damit ergebenden großen Wanddicken technisch und ökonomisch Grenzen gesetzt, jedoch verringert eine größere Wanddicke oder Festigkeit der Rohre die Gefährdung durch betriebliche Fehler.

Das Auftreten betrieblicher Fehler ist neben den Betriebsbedingungen und dem Design der Leitung wesentlich von der Ausführung und der Zuverlässigkeit der Sicherheitsausrüstung abhängig.

Die wesentlichsten Einflußfaktoren für die Entstehung betrieblicher Fehler sind in folgender Abbildung dargestellt:

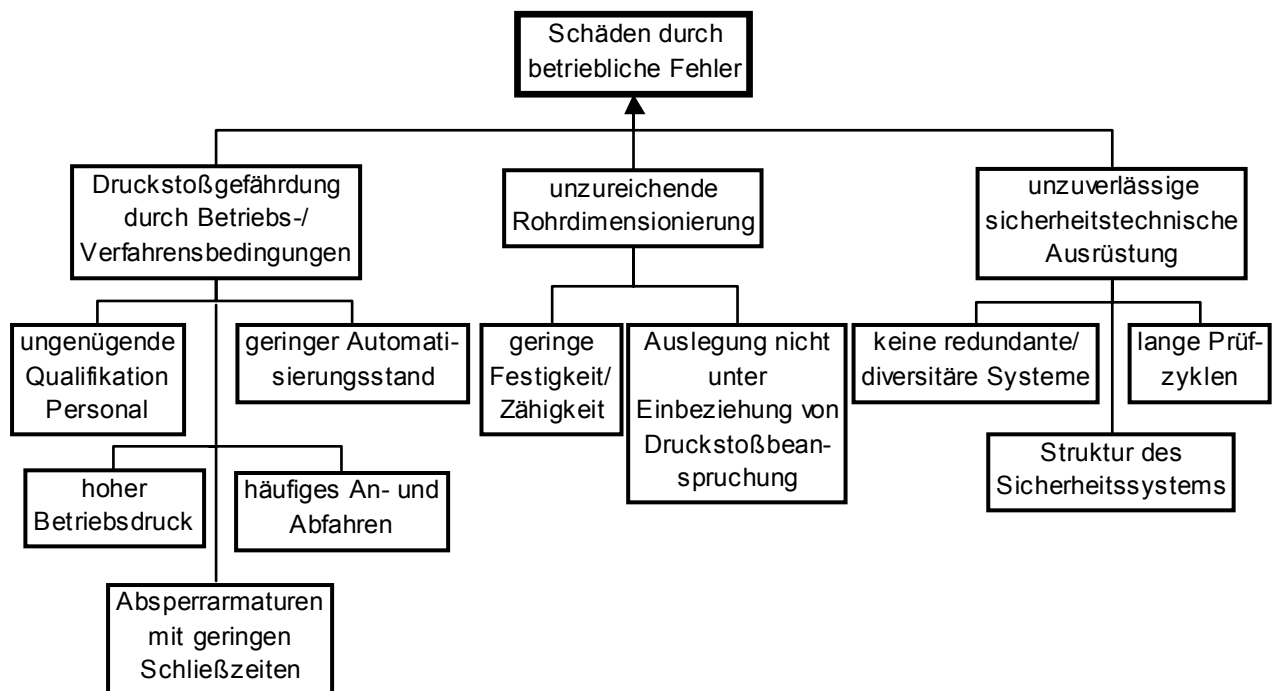


Abbildung 3.9: Einflußgrößen für die Entstehung betrieblicher Fehler

Die sicherheitstechnische Gestaltung der Ausrüstungen zur Vermeidung von betrieblich bedingten Überbeanspruchungen hat gegenüber den anderen Einflußgrößen eine höhere Relevanz.

Zusammenfassende Bewertung der Versagensursache "Betriebliche Fehler":

- Überbeanspruchung der Rohrleitung und der Verbindungselemente
- Einwirkung auf den Rohrkörper von innen
- kurzzeitige Wirkung auf die Rohrleitung
- hohe Wirkungsintensität (bei Auftreten sofortiges Versagen der Rohrwandung möglich)
- Vermeidung dieser Schadensursache vorwiegend in der Betriebsphase

3.4.5 Bodenbewegungen

Von einer Gefährdung durch Bodenbewegungen ist dann auszugehen, wenn eine Verlegung der Pipeline im Einwirkungsbereich ehemaliger oder aktiver Bergbaugebiete bzw. durch erdrutschgefährdete oder seismisch aktive Gebiete erfolgt. Bodenbewegungen verursachen eine Lageveränderung der Pipeline, womit das Auftreten eines kritischen Spannungszustandes verbunden ist, der unmittelbar zum Leitungsbruch führt oder eine Schädigung des Werkstoffgefüges zur Folge hat. Des Weiteren bestehen die Gefahren externer Überbeanspruchungen durch Bodenbewegungen im Bereich von Kreuzungen hochfrequentierter Verkehrswege und Gewässern.

Die Möglichkeiten zur Minimierung der Gefahr durch Bodenbewegungen liegen vorwiegend in der Planungs- und Auslegungsphase (Trassenverlauf, spezielle Schutzmaßnahmen) und eingeschränkt in der Überwachung der Lage der Leitung während des Betriebes.

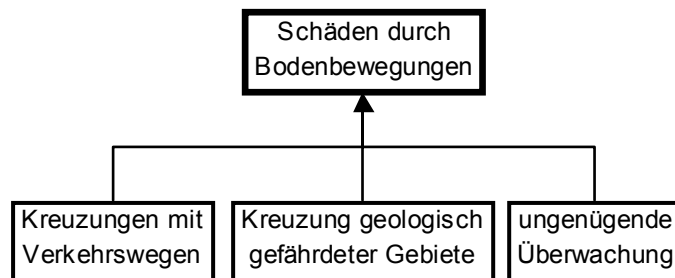


Abbildung 3.10: Wesentliche Einflüsse auf die Entstehung von Schäden durch Bodenbewegungen

Zusammenfassende Bewertung der Versagensursache "Bodenbewegungen":

- Überbeanspruchung der Rohrleitung und der Verbindungselemente
- Einwirkung auf den Rohrkörper von außen
- kurzzeitige oder langfristige Wirkung auf die Rohrleitung
- hohe Wirkungsintensität (bei Auftreten sofortiges Versagen der Rohrwandung möglich)
- Vermeidung dieser Schadensursache vorwiegend in der Planungsphase