

## 8. Zusammenfassung

Das Ziel der Arbeit bestand darin, einen Beitrag zur Erkenntnisgewinnung auf dem Gebiet der Sicherheitsgestaltung von Pipelineanlagen auf Basis eines systematischen Analyseprozesses unter besonderer Berücksichtigung umweltrelevanter Kriterien zu leisten. Dazu war es erforderlich, den derzeitigen Stand des Wissens auf dem Gebiet der Pipelinetchnik zusammenzufassen und kritisch zu bewerten.

Es wurde gezeigt, daß Pipelines im Vergleich zu anderen verfahrenstechnischen Anlagen hinsichtlich ihres Gefährdungspotentials sowie der Möglichkeit des Einwirkens interner und externer Gefährdungsquellen eine Sonderstellung einnehmen und die erforderlichen Untersuchungsmethoden für die anlagenspezifischen Besonderheiten zu modifizieren sind.

Ausgangspunkt der Untersuchungen war eine umfassende sicherheitstechnische Analyse zur Ermittlung und Bewertung der Ursachen für Störungen, wobei ein entwickeltes Gefährdungsbildungsmodell sowie eine retrospektive Untersuchungsmethode die Grundlagen bildeten.

Ein Schwerpunkt der Arbeit liegt bei der Entwicklung eines spezifischen Konzeptes zur Risikoanalyse von Pipelineanlagen. Der risikoanalytische Ansatz ermöglicht es, die für Pipelineanlagen typische Trassendifferenziertheit in Bezug auf die Umgebungsbedingungen und die relevanten Einflußfaktoren zu erfassen und einer sicherheitstechnischen Bewertung zu unterziehen. Die Risikoermittlung wird auf der Grundlage von Parametern durchgeführt, die die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadensereignisses sowie deren Auswirkungen erfassen.

Mit dem Konzept einer trassenabschnittsbezogenen Risikobetrachtung wurde ein praktikables Instrumentarium zur Ermittlung und Dokumentation objektiv vorhandener Sicherheitsdefizite erarbeitet. Im Ergebnis der Risikoanalyse kann auf Basis eines entsprechenden Sicherheits-Schutz-Konzeptes eine gezielte und trassenabschnittsbezogene Risikoreduzierung durchgeführt werden.

Die weiteren Untersuchungen bezogen sich auf die Ableitung einer anlagenspezifischen Sicherheits-Schutz-Struktur auf Basis der durchgeführten Analysen zur Gefährdungsbildung. Ausgehend vom eingeführten Begriff des Hermetisierungspotentials einer Pipeline konnten drei Hauptziele des zu konzipierenden Sicherheits-Schutz-Systems für Pipelinesysteme abgeleitet werden, wobei den einzelnen Hierarchieebenen differenzierte Aufgaben zuzuordnen sind. Zur passiven Sicherheitsebene gehören dabei sämtliche Maßnahmen zur Gewährleistung der Basissicherheit, die Ebene der sicherheitstechnischen Ausschlußmaßnahmen verhindert aktiv eine Überbeanspruchung der Pipelineelemente und die Schadensbegrenzung wird durch die Schutzebene realisiert.

Im Rahmen der Basissicherheit sind die Wahl der Sicherheitsbeiwerte sowie die Festlegung der Auslegungsdrücke bei der Dimensionierung von entscheidender Bedeutung. Es konnte nachgewiesen werden, daß es dabei aus sicherheitstechnischer Sicht nicht notwendig ist, Sicherheitsbeiwerte über das im verbindlichen Regelwerk geforderte Maß hinaus zu erhöhen. Die Wahl des Auslegungsdruckes im Rahmen der Dimensionierung ist maßgebend für das Erfordernis sicherheitstechnischer Ausschlußmaßnahmen und sollte so gewählt werden, daß damit Sicherheitsmaßnahmen gegen statische Überdrücke substituiert werden können. Sowohl die Basissicherheit als auch das Niveau der sicherheitstechnischen Ausschlußmaßnahmen können in der Planungs- und Errichtungsphase einer Pipeline am effektivsten beeinflusst werden, so daß in dieser Phase das größte Potential zur Risikoreduzierung besteht.

Da ein vollständiger Leckageausschluß vor allem auf Grund der potentiellen Möglichkeit externer Einwirkungen nicht gewährleistet werden kann, muß im Vergleich zu anderen Anlagentypen der Aspekt der Schadensbegrenzung wesentlich ausgeprägter gestaltet werden. Die Schutzebene setzt sich aus der Leckageerkennung bzw. -ortung sowie einer

trassendifferenzierten Ausflußbegrenzung zusammen. Der Schutzebene sind weiterhin sämtliche Maßnahmen der Gefahrenabwehr zuzuordnen.

Durch die zuverlässigkeitslogische Verknüpfung der einzelnen Ebenen konnten allgemeingültige Leitsätze für die Gestaltung des Sicherheits-Schutz-Systems für Pipelineanlagen abgeleitet werden. Im wesentlichen zählt dazu die Gleichwertigkeit der passiven Sicherheit und der Ebene der sicherheitstechnischen Ausschlußmaßnahmen sowie die besondere Notwendigkeit einer differenzierten Schadensbegrenzung.

Die Bewertung und Einordnung der einzelnen Sicherheitsmaßnahmen führte zu dem Ergebnis, daß mit dem heutigen Stand der technischen Entwicklung das Potential zur Erhöhung des Sicherheitsniveaus weniger im Bereich der statischen (passiven) Sicherheit, sondern bei den dynamischen (aktiven) Sicherheitssystemen liegt, wobei die Einrichtungen zur Vermeidung unzulässiger Druckstoßbeanspruchungen die sicherheitstechnisch relevanten Systeme sind. Die Untersuchung dieser Sicherheitssysteme wird durch die Anwendung zuverlässigkeitstheoretischer Methoden ermöglicht. Ausgehend von der typischen zuverlässigkeitslogischen Struktur der Sicherheitssysteme von Pipelineanlagen konnte der spezifische redundanztechnische Einfluß ermittelt werden. Es wird nachgewiesen, daß die Effektivität und die Notwendigkeit der redundanten Gestaltung lokaler Sicherheitssysteme mit deren Anzahl und damit äquivalent zur linearen Ausdehnung von Pipelineanlagen zunimmt, ein Redundanzgrad größer als zwei in der Regel sicherheitstechnisch jedoch nicht erforderlich ist.

Diese vereinfachten Modellansätze reichen nicht aus, um die komplexen Einflüsse auf das Sicherheitssystem berücksichtigen zu können, so daß für die vertiefenden Untersuchungen die Modellvorstellungen erweitert werden mußten. Das entwickelte Zuverlässigkeitsmodell bezieht sowohl die spezifische Systemstruktur als auch die Inspektionsstrategie, die Forderungsrate und das Ausfallverhalten des Sicherheitssystems ein. Die Bewertungsgrundlage stellt die Kenngröße  $Q_s$  dar. Es wurde festgestellt, daß die Verkürzung des Prüfindervalls geeignet ist, um die Zuverlässigkeit des Sicherheitssystems gewährleisten zu können, wobei durch wirtschaftliche Randbedingungen dieser Strategie Grenzen gesetzt sind. Für eine optimale Inspektionsplanung ist neben der Zuverlässigkeit der einzelnen Elemente auch die Forderungsrate des Sicherheitssystems zu berücksichtigen. Der Zeitraum zwischen zwei Funktionsprüfungen muß verkürzt werden, je unzuverlässiger die Einzelelemente sind und je geringer die Forderungsrate des Sicherheitssystems ist.

Konkrete Zuverlässigkeitsuntersuchungen wurden am Sicherheitssystem zur Vermeidung unzulässiger Druckstöße durchgeführt. Damit wurde die Möglichkeit geschaffen, an Pipelineanlagen zuverlässigkeitsbezogene Untersuchungen zu konkreten Sicherheitssystemen durchführen zu können, mit dem Ziel, unter Einbeziehung ökonomischer Randbedingungen die technische Gestaltung und Betriebsweise zu optimieren.

Das ergänzende Kapitel 7 wurde unter dem Gesichtspunkt der praktischen Anwendung der Risiko- und Zuverlässigkeitsanalysen erarbeitet und beinhaltet die Konzeption zur Erfassung und Bereitstellung der erforderlichen Informationen und Daten, wobei der Schwerpunkt bei der Strukturierung der Daten liegt.

Offene Probleme werden im folgenden komprimiert zusammengefaßt:

1. Rechentechnische Umsetzung der Risiko- und Zuverlässigkeitsanalyse sowie des Datenkonzeptes zur Bewältigung der Informationsmenge mit dem Ziel, kurzfristig auf sich ändernde Bedingungen zu reagieren bzw. die Einschätzung ihrer sicherheitstechnischen Relevanz vornehmen zu können.
2. Einbeziehung geeigneter Stoffausbreitungsmodelle flüssiger und gasförmiger Medien in Böden für die Abschätzung der Auswirkungen von Leckagen erdverlegter Pipelines.
3. Bereitstellung ausreichend genauer Zuverlässigkeitskenngrößen.

Des Weiteren wird es erforderlich sein, die Betrachtungen zur Dimensionierung, sicherheitstechnischen Gestaltung und Betriebsweise sowie die Modelle zur Zuverlässigkeitsbewertung durch weitere ökonomische Kenngrößen zu ergänzen.