

<b>Verzeichnis der Abbildungen</b>	<b>Seite</b>
Abbildung 1.1: Komplexität der Einflüsse auf die Sicherheit von Pipelinesystemen.....	2
Abbildung 1.2: Relative zeitliche Entwicklung des Gefährdungspotentials und des erforderlichen Sicherheitsniveaus bei Pipelineanlagen.....	3
Abbildung 1.3: Zusammenfassende Darstellung der Arbeitsschwerpunkte.....	7
Abbildung 1.4: Pipelinekomponenten und Rahmen der durchgeführten sicherheitstechnischen Untersuchungen.....	8
Abbildung 2.1: Informationskette bei einem Schadensfall.....	14
Abbildung 3.1: Spezifisches Grundmodell zur Gefährdungsbildung an Pipelineanlagen.....	16
Abbildung 3.2: Zu berücksichtigende Eigenschaften des Stoffsystems.....	17
Abbildung 3.3: Sicherheitsmaßnahmen in Abhängigkeit der Stoffeigenschaften .....	18
Abbildung 3.4: Einflußgrößen für das Auftreten mechanischer Fehler .....	22
Abbildung 3.5: Wesentliche Einflüsse auf die Entstehung externer Korrosionsschäden.....	24
Abbildung 3.6: Wesentliche Einflüsse auf die Entstehung interner Korrosionsschäden .....	24
Abbildung 3.7: Wesentliche Einflüsse auf die Entstehung von Schäden durch externe Einwirkungen .....	26
Abbildung 3.8: Druckstoßursachen.....	27
Abbildung 3.9: Einflußgrößen für die Entstehung betrieblicher Fehler.....	28
Abbildung 3.10: Wesentliche Einflüsse auf die Entstehung von Schäden durch Bodenbewegungen ..	29
Abbildung 4.1: Prinzipieller Ablaufplan einer Risikoanalyse an Pipelineanlagen .....	31
Abbildung 4.2: Ermittlung des Risikobereiches .....	32
Abbildung 4.3: Grundsätzliche Vorgehensweise zur Bestimmung der Risikoparameter .....	34
Abbildung 4.4: Risikobereiche für Pipelineabschnitte.....	45
Abbildung 4.5: Matrix zur Ermittlung des Risikobereiches .....	46
Abbildung 4.6: Ausflußrate als Funktion bei einem Totalbruch einer DN 1000 Gasleitung (60 bar).....	49
Abbildung 4.7: Wärmefluss eines Fackelbrandes nach einem Totalversagen für eine Gasleitung (DN 750, 70 bar).....	50
Abbildung 4.8: Letalität als Funktion der Expositionszeit für verschiedene Wärmeflüsse.....	48
Abbildung 5.1: Schematischer Risikoverlauf für einen Pipelineabschnitt .....	56

Abbildung 5.2:	Allgemeine Struktur eines Sicherheits-Schutz-Systems für verfahrenstechnische Anlagen .....	57
Abbildung 5.3:	Zusammenhang zwischen Belastung, Belastbarkeit und Hermetisierungspotential .....	58
Abbildung 5.4:	Grundprinzip der Sicherheitskonzeption für Pipelineanlagen .....	59
Abbildung 5.5:	Funktionsbezogene Struktur des Sicherheits-Schutz-Konzeptes der Pipelineanlage .....	60
Abbildung 5.6:	Struktur des Sicherheitskonzeptes .....	61
Abbildung 5.7:	Einflußgrößen und Maßnahmen zur Gewährleistung des Basissicherheit .....	63
Abbildung 5.8:	Einfluß des Auslegungsdruckes auf die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen gegen unzulässige Überdrücke .....	67
Abbildung 5.9:	Zusammenhang zwischen Prüfung und Lebensdauerabschätzung von Pipelinerohren .....	68
Abbildung 5.10:	Einflußgrößen und Maßnahmen zum Ausschluß unzulässiger Beanspruchungen .....	69
Abbildung 5.11:	Struktur des Schutzsystems für Rohrabschnitte .....	72
Abbildung 5.12:	Reduzierung des maximal möglichen Austrittsvolumens in Abhängigkeit der Anzahl der Trassenabsperrramaturen für unterschiedliche Nennweiten .....	73
Abbildung 6.1:	Struktur der Sicherheits- und Steuerungs-/Regelungssysteme .....	77
Abbildung 6.2:	Zuverlässigkeitslogische Struktur eines redundanten Sicherheitssystems von Pipelineanlagen .....	79
Abbildung 6.3:	Zeitlicher Verlauf der Überlebenswahrscheinlichkeit für verschiedene Systeme (schematisch) .....	80
Abbildung 6.4:	Effektivität der Redundanz bei verschiedenen Systemen (schematisch) .....	80
Abbildung 6.5:	Einbeziehung zuverlässigkeitsrelevanter Faktoren in die Modellentwicklung .....	81
Abbildung 6.6:	Zustandsgraph zur Ermittlung der Kenngröße $Q_s$ .....	82
Abbildung 6.7:	$\Delta Q_s = f(\tau)$ für Systeme unterschiedlicher Forderungsraten ( $\lambda_s = 0,5 \text{ 1/a}$ ) .....	85
Abbildung 6.8:	Verlauf von $Q_s(\tau)$ für das Sicherheitssystem in redundanter und einfacher Ausführung ( $\lambda_p = 1,0 \text{ 1/a}$ $\lambda_s = 0,5 \text{ 1/a}$ ) .....	86
Abbildung 6.9:	Funktionsschema der Sicherheitssysteme zur Druckstoßabsicherung .....	87
Abbildung 6.10:	Zuverlässigkeitslogisches Schema des Sicherheitssystems zur Druckstoßabsicherung .....	88
Abbildung 6.11:	Zustandsgraph für das betrachtete Sicherheitssystem .....	88
Abbildung 7.1:	Datenstruktur für die Risikoanalyse .....	95

Abbildung 7.2: Ablaufplan zur Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen.....	98
Abbildung 7.3: Datenstruktur zur Zuverlässigkeitsanalyse.....	99

<b>Verzeichnis der Tabellen</b>	<b>Seite</b>
Tabelle 2.1: Prinzipien der Leckerkennung und Leckortung .....	13
Tabelle 3.1: Statistische Übersicht zu Schadensfällen am westeuropäischen Pipelinenetz .....	20
Tabelle 3.2: Statistische Auswertung von Korrosionsschäden an verfahrenstechnischen Anlagen .....	23
Tabelle 4.1: Risikoparameter "Externe Korrosion" ( $L_{\text{ext. Korr.}}$ ).....	35
Tabelle 4.2: Risikoparameter "Interne Korrosion" ( $L_{\text{int. Korr.}}$ ) .....	35
Tabelle 4.3: Risikoparameter "Einwirkungen Dritter" ( $L_{\text{Einw. Dritter}}$ ).....	35
Tabelle 4.4: Risikoparameter "Bodenbewegungen" ( $L_{\text{Bodenbew.}}$ ) .....	36
Tabelle 4.5: Risikoparameter "Mechanische Fehler" ( $L_{\text{mechan. Fehler}}$ ).....	36
Tabelle 4.6: Risikoparameter "Betriebliche Fehler" ( $L_{\text{betriebl. Fehler}}$ ) .....	37
Tabelle 4.7: Anteilige Versagensraten in Abhängigkeit der Gefährdungsquelle (statistische Auswertung 1971 - 2000 .....	40
Tabelle 4.8: Kriterien zur Klassifizierung der Trassenabschnitte mit dem Parameter $S_{\text{Person}}$ .....	43
Tabelle 4.9: Definition der Risikobereiche .....	46
Tabelle 4.10: Schwerpunkte der Untersuchungen an kritischen Leitungsabschnitten.....	47
Tabelle 4.11: Verteilung der Leckgröße [%] in Abhängigkeit der Unfallursache für Erdgasleitungen.....	48
Tabelle 4.12: Letalität in Abhängigkeit des Wärmeflusses.....	51
Tabelle 4.13: Gefährdungsradien für Feuerbälle und Fackelbrände.....	52
Tabelle 5.1: Vor- und Nachteile großer Wanddicken.....	65
Tabelle 5.2: Häufigkeit externer Störungen in Abhängigkeit der Verlegetiefe .....	70
Tabelle 5.3: Differenzierte Schutzstrategie bei Stoffemissionen .....	71
Tabelle 6.1: Zustandsbeschreibung des Sicherheitssystems .....	89
Tabelle 6.2: Ausfallraten der Elemente der Sicherheitseinrichtung .....	89
Tabelle 6.3: Werte für $Q_s$ .....	90
Tabelle 7.1: Daten für die Bewertung der Risikoparameter zur Bestimmung der Leckageintrittswahrscheinlichkeit (beispielhaft) .....	96

**Nomenklatur*****Symbole***

$\Delta$		Differenz
$v$		Schweißnahtzuschlag
$\tau$	a	Inspektionsintervall
$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	Dichte
$\beta$		Parameter zur Charakterisierung der betroffenen Personen
$\lambda_p$	a <sup>-1</sup>	Forderungsrate des Sicherheitssystems
$\lambda_s$	a <sup>-1</sup>	Ausfallrate des Sicherheitssystems
$\lambda_{si}$	a <sup>-1</sup>	Ausfallrate des Elementes des Sicherheitssystems
$\phi$		Parameter Schadensbegrenzung und -minimierung
$\eta_{vi}$		Wertigkeitsfaktor
$\sigma_{zul}$	N/mm <sup>2</sup>	zul. Spannung
a	m/s	Schallgeschwindigkeit
BK		momentane lokale Belastbarkeit
BS		momentane lokale Belastung
$c_1$	mm	Zuschlag zur Berücksichtigung der Waddickenunterschreitung
$c_2$	mm	Abnutzungszuschlag/Korrosionszuschlag
D	mm	Außendurchmesser
D	mm	Leitungsdurchmesser
$f_v$	d <sup>-1</sup>	Verkehrsfrequenz
K	N/mm <sup>2</sup>	Werkstoffkennwert
$K_p$		Hermetisierungspotential
L		Risikoparameter zur Beurteilung der Leckageintrittswahrscheinlichkeit
l	km	Länge
$M_g$	kg	reagierende Gasmenge
n		Anzahl

$N_\tau$		Zufallsgröße des Systemzustandes zum Zeitpunkt $\tau$
$P$	$a^{-1}$	Eintrittswahrscheinlichkeit
$p$	bar	Druck
$P$		durchschnittliche Anzahl der betroffenen Personen
$Q_s$		Zuverlässigkeitskenngröße
$r$		Redundanzgrad
$r$	m	minimaler Abstand Schutzobjekt - Gefahrenstelle
$R_f$	m	Feuerballradius
$r_i$	$a^{-1}$	Überlebenswahrscheinlichkeit der Systemelemente
$R_L$	$a^{-1}$	Lastwechselzahl
$R_{Leck}$	$a^{-1}$	Leckagewahrscheinlichkeit
$R_{Leck/rel.}$		relative Leckagewahrscheinlichkeit
$R_{Leck/stat.}$	$[km a]^{-1}$	statistische Leckagewahrscheinlichkeit
$R_n$	$[km a]^{-1}$	anteilige Versagensrate
$R_p(t)$	$a^{-1}$	Wahrscheinlichkeit für den Eintritt einer Betriebsabweichung
$R_s(t)$	$a^{-1}$	Überlebenswahrscheinlichkeit
$R_{Schad}$		Risikoparameter Schadensauswirkungen
$s$	m, km	Ortsvariable/Länge
$S_{Person}$		Risikoparameter zur Beurteilung der Schadensauswirkungen auf Personen
$s_R$	mm	Rohrwanddicke
$S_S$		Sicherheitsfaktor
$S_{Umwelt}$		Risikoparameter zur Beurteilung der Schadensauswirkungen auf die Umwelt
$T$	h, a	Betriebszeit
$t$	h, a	Zeit
$v$	m/s	Geschwindigkeit
$v_i$		Bewertungsvariable

***Indizes und Abkürzungen***

Auschl.	sicherheitstechn. Ausschlussmaßnahmen
Betriebsführ.	Betriebsführung
DFÜ/FW	Datenferübertragung/Fernwirkeinrichtung
Gef.	Gefährdungszustand
i	innen
i	Laufvariable
instat.	instationär
j	Laufvariable
Leck	Leckagezustand
MAX	Maximum
MIN	Minimum
pass	passiv
Pipe	Pipeline
Schutz	Schutzebene
SPS	speicherprogrammierbare Steuerung
stat.	stationär