

<b>1.0 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Historischer Überblick	3
1.1.1. Kurzer Einblick in die Geschichte der Pipelines	3
1.1.2. Kurzer Einblick in die Geschichte der Molche	6
1.2 Einige Betrachtungen zu Rohrleitungen	8
1.2.1. Allgemeines	8
1.2.2. Einteilung der Rohrleitungen	8
1.2.3. Fernrohrleitungselemente	9
<b>2.0 Vom Rohr zur Pipeline</b>	<b>10</b>
2.1 Werkstoffe	10
2.2 Pipeline Rohre	12
2.2.1. Nahtlose Rohre	13
2.2.2. Geschweißte Rohre	13
2.3 Qualitätskontrolle	14
2.4 Pipelinebau	15
<b>3.0 Defekte und Fehler in Pipelines</b>	<b>19</b>
3.1 Geometrische Fehler	20
3.2 Korrosion ohne das Auftreten von Rissen	21
3.3 Risse und rißähnliche Defekte	24
3.3.1. Ermüdungsrisse und Schwingungsrißkorrosion	28
3.3.2. Spannungsrißkorrosion	30
3.3.2.1. Anodische Spannungsrißkorrosion	31
3.3.2.2. Wasserstoffinduzierte Spannungsrißkorrosion	33
3.4 Prüfung von Pipelines	36
3.4.1. Druckprobe und Stresstest	36
3.4.2. Molche	37
<b>4.0 Zustandsbewertung von Pipelines</b>	<b>39</b>
4.1 Schadenskundliche Vorgehensweise	40
4.1.1. Beanspruchung von Pipelines	41
4.1.1.1. Betriebsbeanspruchung	42
4.1.1.2. Zusätzliche Beanspruchungen	43
4.1.2. Bauteilumgebung	43
4.1.3. Bauteilwerkstoff	44
4.1.6. Bauteilgeometrie	44
4.2 Maximum Allowable Operating Pressure	44
4.3 Zustandsbewertung: Neue Entwicklungen	47
4.4 Projekt Lebensdauerbewertung rißbehafteter Pipelines	50
<b>5.0 Bruchmechanische Vorgehensweise</b>	<b>53</b>
5.1 Linear Elastische Bruchmechanik	54
5.1.1. Der Spannungsintensitätsfaktor K	55
5.1.2. Die Energiefreisetzungsrate	57
5.1.3. Das J-Integral	58

5.2 Zustandsbewertung	59
5.2.1. Ermüdungsrisse	60
5.2.2. Spannungsrißkorrosion	62
5.3 Verwendung der Finite Elemente Methode	63
5.3.1. Bestimmung von Spannungsintensitätsfaktoren	65
5.3.2. Modellierung der Rißspitze und Diskretisierung	68
5.3.3. Filter Technik für Mixed Mode Probleme	73
<b>6.0 Wasserstoffinduzierte Risse</b>	<b>76</b>
6.1 Bruchmechanische Beschreibung eines realen Ensembles	76
6.2 Der Schrägriß	85
6.3 Betrachtung verschiedener Ensemble Konfigurationen	86
6.3.1. Oberflächennahe (nichtsymmetrische) Ensemble	86
6.3.2. Innenliegende (symmetrische) Ensemble	91
6.3.2.1. Circumferentiell ausgerichtete Rißspitzen	91
6.3.2.2. Radial ausgerichtete Rißspitzen	93
6.4 Einfluß der circumferentiellen bzw. radialen Ausdehnung eines Ensembles	95
6.4.1. Variation der circumferentiellen Länge	95
6.4.2. Variation der radialen Länge	96
6.5 Zusammenstellung der Ersatzrisse	97
6.6 Bemerkung zur Anwendbarkeit	98
<b>7.0 Betrachtung von Beulen</b>	<b>99</b>
7.1 Beulengeometrien	99
7.2 2D-Untersuchungen	101
7.2.1. FE-Rechnungen und Vorgehensweise	101
7.2.2. Axisymmetrische Untersuchungen	102
7.2.3. Untersuchungen zum ebenen Dehnungszustand	104
7.2.4. Rißberechnungen	104
7.2.4.1. FE-Netz in Bezug auf eine bruchmechanische Berechnung	105
7.2.4.2. Rißausbreitungsrichtung	106
7.2.5. Resultate	106
7.2.6. Diskussion	113
7.2.6.1. Axisymmetrische Untersuchungen	113
7.2.6.2. Ebener Dehnungszustand	115
7.3 Weitere 2D-Untersuchungen	116
7.4 3D-Untersuchungen	118
7.5 Elasto-plastische Untersuchungen	124
7.5.1. Materialgesetz	127
7.5.2. Lasteinbringung	127
7.5.2.1. Kugeleindruck (rotationssymmetrische Struktur)	129
7.5.2.2. Zylindereindruck (EDZ)	130

<b>8.0 Untersuchung zum Zusammenhang zwischen Spannung und muldenförmiger Korrosion</b>	<b>136</b>
8.1 Hypothese einer spannungsgesteuerten Korrosion	138
8.2 FE-Analyse	138
8.3 Resultate und Diskussion	142
8.3.1. Einachsiger Zug	142
8.3.2. Zweiachsiger Zug mit ungleichförmiger Belastung	144
8.3.3. Zweiachsiger Zug mit gleichförmiger Belastung	145
<b>9.0 Oberflächenrisse</b>	<b>147</b>
9.1 Wechselwirkende Risse	147
9.1.1. Untersuchte Rißkonfigurationen und FE-Modellierung	147
9.1.2. FE-Rechnung und Resultate	150
9.1.3. Diskussion und Rückschlüsse	150
9.2 Schweißnahttrisse	158
9.2.1. Modellierung des Problems	161
9.2.1.1. Werkstoffkundlicher Aspekt	161
9.2.1.2. Geometrischer Aspekt	162
9.2.2. FE-Analyse	163
9.2.3. Resultate	166
9.2.4. Diskussion und Schlußfolgerungen	167
<b>10.0 Dopplungen</b>	<b>171</b>
10.1 Laminationen	171
10.2 Lamination und Korrosionskerbe	173
10.3 Durch Innendruck beaufschlagte Lamination	175
10.3.1. Konstanter Innendruck	176
10.3.2. Fallender Innendruck	178
10.4 Wechselwirkung zwischen Lamination und Radialriß	179
10.4.1. Kurze Lamination	180
10.4.2. Lange Lamination	182
10.4.3. Diskussion und Folgerungen	182
<b>11.0 Risstopp</b>	<b>184</b>
11.1 Risstopp durch Umlenkung	184
11.2 Einleitung in ein Druckgebiet	187
<b>12.0 Verzögerte Rißinitiierung durch Gestaltoptimierung</b>	<b>193</b>
12.1 Strukturoptimierung	193
12.2. CAO - Gestaltoptimierung durch adaptives Wachstum	195
12.2.1. Von der Natur lernen	195
12.2.2. Verschiedene Methoden der Gestaltoptimierung	196
12.2.3. Simulation adaptiven Wachstums	197
12.3 Ermüdungsschäden an T-Joints	200
12.3.1. Werkstoffkundlicher Aspekt	201
12.3.2. Geometrischer Aspekt	201

12.4 Geschweißtes massives T-Stück	201
12.5 Anwendung der CAO-Methode auf rotationssymmetrische Strukturen	205
12.5.1. Quasi 3D-Modellierung eines T-Stückes mit unterschiedlichen Rohrdurchmessern	205
12.5.2. Verbindung bei ähnlichen Rohrdurchmessern	205
12.6 T-Stück und Y-Stück mit rechteckigem Querschnitt	209
12.7 T-Stück mit kreisförmigen Querschnitt	213
<b>13.0 Zusammenfassung</b>	<b>217</b>
<b>14.0 Literatur</b>	<b>220</b>