

# **Zuverlässigkeitsrestringierte Optimierung faserteilarmierter Hybridbehälter unter Betriebslast**

am Beispiel eines  
CrMo4-Stahlbehälters mit Carbonfaserarmierung  
als Erdgasspeicher im Nahverkehrsbus

## Inhalt

	<i>Seite</i>
<b>Bezeichnungen.....</b>	<b>VIII</b>
<b>1. Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Problembeschreibung und Zielsetzung	3
1.2 Vorgehensweise	5
<b>2. Sicherheit und Zuverlässigkeit .....</b>	<b>9</b>
2.1 Zuverlässigkeit technischer Systeme	11
2.2 Sicherheitsphilosophien	12
2.2.1 Schadensfreiheit	13
2.2.2 Ausfallsicherheit	17
2.3 Modell zur Zuverlässigkeitsberechnung	19
2.3.1 Detailliertes Modell zum Versagensablauf	21
2.3.2 Zuverlässigkeitsmodell zur Entwurfsbewertung	24
2.3.3 Bestimmung der Einzelzuverlässigkeiten	28

<b>3. Das Anwendungs- und Werkstoffbeispiel .....</b>	<b>33</b>
3.1 Die Werkstoffauswahl	33
3.1.1 Auswahl geeigneter Armierungsmaterialien	35
3.1.2 Der Grundkörperwerkstoff	37
3.2 Steifigkeitseigenschaften	38
3.2.1 Steifigkeitseigenschaften des CrMo4-Stahlliners	40
3.2.2 Steifigkeitseigenschaften der gewickelten Armierung	41
3.3 Festigkeitseigenschaften	42
3.3.1 Die Belastbarkeitsgrenze des Liners	43
3.3.2 Die Belastbarkeitsgrenze der Armierung	45
3.3.3 Iterative Bestimmung der Zuverlässigkeit gegen Ermüdung	47
3.4 Die Rißorientierung im Metalliner	48
3.4.1 Literatur zur Rißorientierung	48
3.4.2 Die Versuchsreihe zur Rißorientierung	50
3.4.3 Schlußfolgerungen zur Rißorientierung	53
3.5 Der Druckgasspeicher im Nahverkehrsbus	54
3.5.1 Das Betankungs-Lastkollektiv	55
3.5.2 Die Temperaturschwankungen	59
3.5.3 Die Unfallhäufigkeit	60
<b>4. Die linear-elastische Analyse der Materialbelastung .....</b>	<b>63</b>
4.1 Definition der Entwurfsvariablen und des Entwurfsraums	63
4.1.1 Die Wandstärken	65
4.1.2 Der Eigenspannungs-Grundzustand	67
4.1.3 Entwurfsraum, Restriktionen und Zielfunktion	69
4.2 Die Spannungsanalyse des Hybridzylinders	73
4.2.1 Das Analysemodell der „netztheoretischen Membran“	74
4.2.2 Die Abschätzung des Dickwandigkeitseinflusses	76
4.3 Die Linearitätsgrenzen im Entwurfsraum	79
4.3.1 Metallfließen	80
4.3.2 Zwischenfaserbruch	81

---

<b>5. Variationsrechnung und Optimierung im Entwurfsraum.....</b>	<b>83</b>
5.1 Das Teilversagen des Hybridzylinders	84
5.1.1 Die Ermüdungsformen	84
5.1.2 Das Fail-Safe-Fenster	86
5.2 Die Optimierung des Hybridzylinders im Entwurfsraum	88
5.2.1 Die graphische Optimierung der Wandstärken	88
5.2.2 Die Optimierung im dreidimensionalen Entwurfsraum	96
5.3 Statische Überlast und Sicherheit gegen Bersten	100
5.4 Berücksichtigung von Fertigungstoleranzen im ZER	102
<b>6. Behälterwichte und Leichtbaugütefaktor .....</b>	<b>109</b>
6.1 Bewertung der Zylinderoptimierung	110
6.2 Gewichtswertung des Gesamtbehälters	111
<b>7. Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>115</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>118</b>
A1. Eingangsdaten der Beispielrechnung	118
A2. Vorgehen zur graphischen Darstellung der Restriktionen	120
A3. Literaturverzeichnis	122