

---

# Inhaltsverzeichnis

|          |  |    |
|----------|--|----|
| <b>1</b> | <b>Einführung</b>  | 1  |
| 1.1      | Historische Entwicklung der Druckgasspeicher   | 5  |
| 1.2      | Bedeutung des minimalen Berstdrucks für die Betriebsfestigkeit                       | 8  |
| 1.3      | Die Lastwechsel-Empfindlichkeit  | 9  |
| 1.4      | Die Restfestigkeit   | 11 |
| 1.5      | Die langsame Berstprüfung  | 12 |
| 1.6      | Der probabilistische Ansatz  | 13 |
|          | Literatur  | 14 |
| <b>2</b> | <b>Prozeduren für die hydraulische Stichprobenprüfung</b>                            | 17 |
| 2.1      | Anforderungen zur Verbesserung der Reproduzierbarkeit                                | 18 |
| 2.1.1    | Reproduzierbarkeit der Lastwechselprüfung  | 18 |
| 2.1.2    | Reproduzierbarkeit der Berstprüfung  | 27 |
| 2.2      | Der Einfluss der Zeit auf die Ergebnisse quasi-statischer Prüfungen bis zum Versagen | 29 |
| 2.2.1    | Berstprüfung von Composite-Cylindern   | 29 |
| 2.2.2    | Zeitstandsprüfung von Composite-Cylindern  | 32 |
| 2.3      | Die langsame Berstprüfung (SBT)  | 35 |
| 2.3.1    | Der Weg zum Konzept der langsamen Berstprüfung (SBT)                                 | 36 |
| 2.3.2    | Erfahrungen mit der langsamen Berstprüfung (SBT)                                     | 39 |
| 2.4      | Detaillierte Empfehlungen für eine SBT-Prüfprozedur                                  | 50 |
| 2.4.1    | Zusammensetzung der Stichprobe   | 50 |
| 2.4.2    | Prüfparameter  | 50 |
| 2.4.3    | Prüfprozedur   | 51 |
| 2.4.4    | Der SBT mit schrittweisem Druckaufbau  | 53 |
|          | Literatur  | 55 |
| <b>3</b> | <b>Statistische Bewertung der Stichprobenprüfergebnisse</b>                          | 59 |
| 3.1      | Einführung des „Stichproben-Arbeitsdiagramms“  | 60 |
| 3.1.1    | Das Arbeitsdiagramm für die Berstfestigkeit von Stichproben                          | 64 |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 3.1.2    | Das Arbeitsdiagramm für die Zeitstandsfestigkeit von Stichproben .....  | 67         |
| 3.1.3    | Das Arbeitsdiagramm für die Lastwechselfestigkeit von Stichproben .....                                       | 68         |
| 3.2      | Statistische Auswertung der Stichprobenprüfergebnisse .....   | 72         |
| 3.2.1    | Ergebnisse der Berstprüfung und der langsamen Berstprüfung ..   | 72         |
| 3.2.2    | Ergebnisse der Lastwechselprüfung .....   | 77         |
| 3.3      | Ermittlung der Überlebenswahrscheinlichkeit einer Stichprobe .....  | 84         |
| 3.3.1    | Die Überlebenswahrscheinlichkeit im Kontext der Berstprüfung und der langsamen Berstprüfung .....             | 85         |
| 3.3.2    | Die Überlebenswahrscheinlichkeit im Kontext der Lastwechselprüfung .....                                      | 89         |
| 3.4      | Übertragung der Stichprobenergebnisse auf eine Population von Composite-Cylindern .....                       | 95         |
| 3.4.1    | Konfidenzniveau und Konfidenzintervall .....  | 96         |
| 3.4.2    | Stichprobenbewertung im Arbeitsdiagramm für die Berstfestigkeit (lineare Achsenskalierung) .....              | 107        |
| 3.4.3    | Stichprobenbewertung im Arbeitsdiagramm für die Lastwechselfestigkeit (logarithmische Achsenskalierung) ..... | 111        |
| 3.5      | Aspekte der praktischen Verwendung .....  | 113        |
| 3.5.1    | Einfluss der Gase-Eigenschaften .....   | 114        |
| 3.5.2    | Aspekte unfallbedingter Lasten .....  | 120        |
|          | Literatur .....   | 132        |
| <b>4</b> | <b>Degradation und Bewertung der sicheren Betriebsdauer .....</b>   | <b>135</b> |
| 4.1      | Aspekte der baumusterspezifischen Degradation .....   | 137        |
| 4.1.1    | Grundsätzliche Betrachtungen zum primären Versagen von Composite-Cylindern .....                              | 141        |
| 4.1.2    | Klassifizierung der Baumuster nach dem Kriterium der Lastwechselempfindlichkeit .....                         | 143        |
| 4.1.3    | Beurteilung des Leck-vor-Bruch-Verhalten .....  | 146        |
| 4.1.4    | Festigkeit am Ende der Produktion „Begin des Lebens“ .....  | 148        |
| 4.2      | Erfahrungen mit der künstlichen Alterung .....  | 150        |
| 4.2.1    | Prüfung auf Restfestigkeit am Ende der künstlichen Degradation .....  | 151        |
| 4.2.2    | Künstliche Alterung durch hydraulisches Lastwechseln .....  | 152        |
| 4.2.3    | Künstliche Alterung durch konstanten Innendruck bei erhöhter Temperatur .....                                 | 155        |
| 4.2.4    | Künstliche Alterung durch Druckzyklieren mit Gas .....  | 157        |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 4.3      | Erfahrungen mit der betrieblichen Degradation .....   | 164        |
| 4.3.1    | Ergebnisse der Restfestigkeitsprüfung<br>mittels hydraulischer Lastwechsel .....  | 165        |
| 4.3.2    | Ergebnisse der Restfestigkeitsprüfung mittels<br>langsamen Berstens .....   | 171        |
| 4.4      | Abschätzung der Degradation bis zum Ende der sicheren<br>Betriebslebensdauer .....  | 177        |
| 4.4.1    | Degradation der Überlebenswahrscheinlichkeit .....  | 177        |
| 4.4.2    | Extrapolation der Prüfergebnisse aus der<br>betrieblichen Alterung .....  | 183        |
| 4.4.3    | Interpolation der Prüfergebnisse aus der künstlichen Alterung ...   | 189        |
| 4.5      | Abschätzung des Betriebsendes auf Basis der künstlichen<br>Alterung in Kombination mit betriebsbegleitenden Prüfungen ..... | 193        |
| 4.5.1    | Untersuchungen am Baumuster im Neuzustand .....   | 194        |
| 4.5.2    | Betriebsbegleitende Untersuchungen .....  | 196        |
| 4.6      | Produktionsqualität und ihr Einfluss auf die Lebensdauer .....  | 198        |
| 4.6.1    | Interpretation der Degradation .....  | 200        |
| 4.6.2    | Composite-Cylinders ohne mittragendem Liner .....   | 202        |
| 4.6.3    | Composite-Cylinders mit metallischem Liner .....  | 204        |
| 4.6.4    | Erkennen von Herstellungsfehlern mittels<br>zerstörungsfreier Prüfung .....   | 206        |
|          | Literatur .....   | 209        |
| <b>5</b> | <b>Der Probabilistische Zulassungsansatz (PAA) .....</b>  | <b>213</b> |
| 5.1      | Das akzeptierte Risiko – basierend auf Konsequenz und<br>Versagenswahrscheinlichkeit .....                                  | 215        |
| 5.1.1    | Die Abwägung von Risiko und Chance .....  | 216        |
| 5.1.2    | Diskussion von Konsequenz und<br>Versagenswahrscheinlichkeit an Beispielen .....  | 224        |
| 5.2      | Vergleich des probabilistischen Ansatzes mit<br>deterministischen Anforderungen .....                                       | 234        |
| 5.2.1    | Statistische Interpretation deterministischer Anforderungen .....   | 234        |
| 5.2.2    | Prinzipien der statistischen Bewertung von<br>Mindestanforderungen .....  | 242        |
| 5.2.3    | Bewertung der Mindestanforderungen in den<br>Regelwerken nach dem Kriterium der Zuverlässigkeit .....                       | 246        |
| 5.2.4    | Einfluss der Stichprobe bei der Betrachtung der<br>Festigkeit in der (langsamen) Berstprüfung .....                         | 251        |
| 5.2.5    | Einfluss der Stichprobe bei der Betrachtung der<br>Festigkeit in der Lastwechselprüfung .....                               | 255        |

---

|                                  |   |     |
|----------------------------------|---|-----|
| 5.3                              | Entwicklungspotential eines probabilistischen Zulassungsansatzes . . . . .                          | 259 |
| 5.3.1                            | Schwachstellen und Unsicherheiten des PAA . . . . .   | 260 |
| 5.3.2                            | Kostensenkung durch Anwendung des probabilistischen<br>Zulassungsansatzes . . . . .                 | 268 |
| 5.3.3                            | Grundlegende Anforderungen für die Einführung des<br>probabilistischen Zulassungsansatzes . . . . . | 270 |
| Literatur                        | . . . . .   | 274 |
| <b>Nachwort</b>                  | . . . . .   | 279 |
| <b>Begriffe und Definitionen</b> | . . . . .   | 281 |
| <b>Sachverzeichnis</b>           | . . . . .   | 301 |

Sicherheitsbewertung von  
Composite-Druckgasbehältern  
Potential statistischer Methoden jenseits aktueller  
Vorschriften

Mair, G.W.

2016, XIX, 303 S. 180 Abb., 132 Abb. in Farbe.,

Softcover

ISBN: 978-3-662-48131-8