
Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	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
2	Prozeduren für die hydraulische Stichprobenprüfung	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
3	Statistische Bewertung der Stichprobenprüfergebnisse	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
4	Degradation und Bewertung der sicheren Betriebsdauer	135
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 mittels hydraulischer Lastwechsel	165
4.3.2	Ergebnisse der Restfestigkeitsprüfung mittels langsamen Berstens	171
4.4	Abschätzung der Degradation bis zum Ende der sicheren Betriebslebensdauer	177
4.4.1	Degradation der Überlebenswahrscheinlichkeit	177
4.4.2	Extrapolation der Prüfergebnisse aus der betrieblichen Alterung	183
4.4.3	Interpolation der Prüfergebnisse aus der künstlichen Alterung ...	189
4.5	Abschätzung des Betriebsendes auf Basis der künstlichen 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 zerstörungsfreier Prüfung	206
	Literatur	209
5	Der Probabilistische Zulassungsansatz (PAA)	213
5.1	Das akzeptierte Risiko – basierend auf Konsequenz und Versagenswahrscheinlichkeit	215
5.1.1	Die Abwägung von Risiko und Chance	216
5.1.2	Diskussion von Konsequenz und Versagenswahrscheinlichkeit an Beispielen	224
5.2	Vergleich des probabilistischen Ansatzes mit deterministischen Anforderungen	234
5.2.1	Statistische Interpretation deterministischer Anforderungen	234
5.2.2	Prinzipien der statistischen Bewertung von Mindestanforderungen	242
5.2.3	Bewertung der Mindestanforderungen in den Regelwerken nach dem Kriterium der Zuverlässigkeit	246
5.2.4	Einfluss der Stichprobe bei der Betrachtung der Festigkeit in der (langsamen) Berstprüfung	251
5.2.5	Einfluss der Stichprobe bei der Betrachtung der 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 Zulassungsansatzes	268
5.3.3	Grundlegende Anforderungen für die Einführung des probabilistischen Zulassungsansatzes	270
Literatur	274
Nachwort	279
Begriffe und Definitionen	281
Sachverzeichnis	301