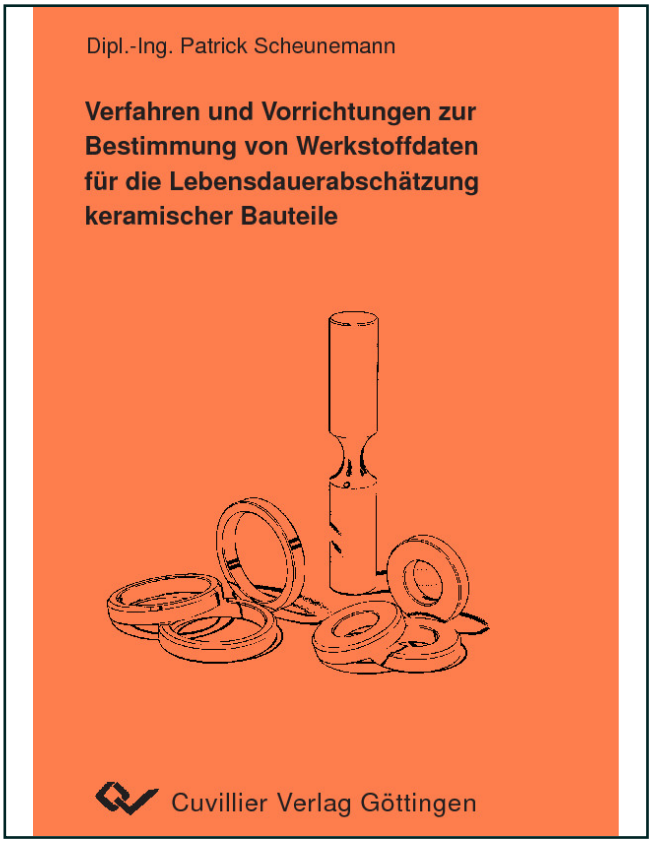
Patrick Scheunemann (Autor)

# Verfahren und Vorrichtungen zur Bestimmung von Werkstoffdaten für die Lebensdauerabschätzung keramischer Bauteile




https://cuvillier.de/de/shop/publications/2613

Copyright:
Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany
Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: https://cuvillier.de

# Inhaltsverzeichnis


**1 Einleitung** **1**
1.1 Ausgangssituation . . . 1
1.2 Zielsetzung . . . 2
1.3 Vorgehensweise . . . 2

**2 Stand von Technik und Forschung** **5**
2.1 Begriffsdefinitionen . . . 5
2.2 Keramik als hoch belasteter Konstruktionswerkstoff . . . 5
2.3 Festigkeit keramischer Bauteile . . . 8
2.3.1 Kurzzeitfestigkeit . . . 8
2.3.2 Verifikation von Versagenskriterien . . . 17
2.3.3 Lokales Bruchrisiko . . . 18
2.4 Lebensdauervorhersage . . . 18
2.4.1 Unterkritisches Risswachstum . . . 19
2.4.2 R-Kurven-Verhalten . . . 22
2.4.3 Experimentelle Bestimmung von Risswachstumsgesetzen . . . 22
2.4.4 Zyklische Ermüdung . . . 23
2.4.5 Übergangsrisswachstum nach veränderter Lasthöhe und Risswachstum bei nichtproportionalen Spannungen . . . 24

**3 Voruntersuchungen und Anforderungsdefinition** **26**
3.1 Kolben einer Axialkolbenmaschine . . . 26
3.1.1 Kolbenhals . . . 30
3.1.2 Zylindrischer Teil des Kolbens (Kolbenkörper) . . . 32
3.2 Wälzkörper . . . 37
3.3 Beanspruchungsklassifizierung . . . 39
3.4 Anforderungsdefinition für das Prüfkonzept . . . 42

**4 Gestaltung des Versuchsverfahrens** **45**
4.1 Tabellierung der char. Spannung . . . 45
4.2 Verkürzung von Versuchen mit konstanter Lastanstiegsrate . . . 48
4.3 Methoden zur Bestimmung von Risswachstumsparametern . . . 48
4.3.1 Likelihood innerhalb Gruppen + Regression der Gruppenergebnisse . . . 52
4.3.2 Dreiwertige Maximum-Likelihood-Schätzung . . . 52
4.3.3 Vergleich der Methoden . . . 54
4.3.4 Zusammenhang zwischen Zeitaufwand und Aussagesicherheit . . . 57
4.3.5 Schätzwertkorrektur der dreiwertigen Likelihood-Methode . . . 60

4.3.6 Ausgleich von Eigenschaftsschwankungen der Prüfkörper . . . . . 63
4.3.7 Vierwertige Maximum-Likelihood-Schätzung . . . . . 67
4.4 Festlegung der Versuchsinhalte . . . . . 67
4.4.1 Proportionaler Spannungszustand . . . . . 67
4.4.2 Nichtproportionaler Spannungszustand . . . . . 68

**5 Prüfkörpergestaltung 70**
5.1 Proportionaler Spannungszustand . . . . . 70
5.1.1 Einfluss des Versagenskriteriums . . . . . 71
5.1.2 Auswahl von Prüfkörper und Prüfverfahren . . . . . 79
5.1.3 Innendruckbelastete Ringe . . . . . 80
5.1.4 Prüfkörperabmessungen . . . . . 84
5.1.5 Variante mit Dichtspaltkontakt (Variante 2) . . . . . 89
5.1.6 Variante mit Drosselspalt (Variante 4) . . . . . 98
5.1.7 Einfluss der Temperatur auf die Spannungen im Prüfkörper . . . . . 110
5.1.8 Erfassung und Korrektur von Form- und Maßabweichungen . . . . . 115
5.1.9 Resümee . . . . . 125
5.2 Nichtproportionaler Spannungszustand . . . . . 126
5.2.1 Prüfkörperanforderungen . . . . . 126
5.2.2 Bewertung von nichtproportionalen Spannungen . . . . . 126
5.2.3 Auswahl von Prüfkörpergeometrie und -belastung . . . . . 129
5.2.4 Simulation der Prüfkörperbeanspruchungen . . . . . 132

**6 Prüfstände 138**
6.1 Innendruckprüfstand I1 . . . . . 138
6.1.1 Prüfstandsbeschreibung . . . . . 138
6.1.2 Eigenschaften des Prüfstands . . . . . 141
6.1.3 Minimum-Maximum-Regelung . . . . . 143
6.2 Innendruckprüfstand I2 . . . . . 148
6.3 Prüfstand für nichtproportionale Spannungen . . . . . 150

**7 Versuche 154**
7.1 Versuche mit proportionalem Spannungszustand . . . . . 154
7.1.1 Ringvermessungen . . . . . 155
7.1.2 Anpassungstests . . . . . 157
7.1.3 Kurzzeitfestigkeit . . . . . 159
7.1.4 Reibung und Auflagerkontakt . . . . . 166
7.1.5 Lebensdauerversuche . . . . . 167
7.1.6 Bestimmung von Versagenskriterien . . . . . 171
7.1.7 Diskussion der Ergebnisse . . . . . 175
7.2 Versuche an NPT-Proben . . . . . 178
7.2.1 Kurzzeitversuche an NPT-Proben . . . . . 178
7.2.2 Versuche mit Lastsequenzen . . . . . 180

**8 Zusammenfassung 184**

**A Maximum-Likelihood-Schätzer** **188**
A.1 Vollständige Stichprobe . . . 188
A.2 Abgeschnittene Stichprobe . . . 189

**B Auswertung FEM-Ergebnisse** **191**

**C Spannungszustand-Verteilungs-Diagramm** **194**

**D Druckfeldsimulation** **197**
D.1 Druckfeld bei gegebener Kolbenlage ohne Verformungen . . . 197
D.1.1 Die Reynoldssche Gleichung . . . 197
D.1.2 Spalthöhenfunktion . . . 199
D.1.3 Randbedingungen . . . 199
D.1.4 Numerische Lösung der Reynoldsschen Gleichung . . . 199
D.2 Druckfeld bei gegebener Kolbenbelastung . . . 202

**E Belastungsbeispiele** **204**
E.1 Wälzkörper . . . 204
E.2 Kolben einer Axialkolbenmaschine . . . 205
E.2.1 Druck- und Spannungsfelder . . . 205

**F Tabellen** **208**
F.1 Statistische Auswertungsverfahren . . . 208
F.2 Prüfstandsdaten . . . 210
F.2.1 Innendruckprüfstand I1 . . . 210
F.2.2 Innendruckprüfstand I2 . . . 210
F.2.3 Prüfstand für nichtproportionale Spannungen . . . 210

**G Ringvermessung** **211**