

Konstruieren mit Keramik

State of the Art und offene Fragen

em. o.Univ.-Prof. Dr. Robert Danzer
Lehrstuhl für Struktur- und Funktionskeramik
Montanuniversität Leoben

Technische keramische Werkstoffe weisen eine sehr hohe Fließgrenze auf, sie sind besonders hart und auch sehr steif. Diese Eigenschaften müssen für einen erfolgreichen Einsatz dieser Werkstoffe berücksichtigt werden. Mechanisches Versagen erfolgt durch spröden Bruch, der von Inhomogenitäten (Defekten) im Volumen oder an der Oberfläche der Teile ausgeht. Da die Größe dieser Defekte für die Festigkeit der Teile verantwortlich ist, und da die Größe der Defekte von Bauteil zu Bauteil unterschiedlich ist, kommt es zu einer starken Streuung der Festigkeitswerte. Dies macht es nötig, die Festigkeit als statistische Größe zu betrachten.

Zur Beschreibung der Festigkeitsverteilung von Keramiken wurde vor mehr als 70 Jahren die Weibullverteilung entwickelt. Sie gibt die Summenhäufigkeit für das Versagen als Funktion der aufgetragenen Zugspannung an. Anders als andere Verteilungen wie z.B. die Gaußverteilung oder die log.-Normalverteilung berücksichtigt sie auch den Einfluß der Bauteil- bzw. der Probengröße auf die Festigkeitswerte.

Diese Zusammenhänge wurden zunächst für homogene und einachsige Spannungszustände formuliert. In den 70er und 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts wurden die Gleichungen auf inhomogene und mehrachsige Beanspruchungen erweitert. Weiters wurde erkannt, daß dem spröden Bruch (die Rißausbreitung erfolgt dabei annähernd mit Schallgeschwindigkeit) meist ein „langames“ Rißwachstum vorangeht. Auch dieser Effekt wurde in die bruchstatischen Gleichungen eingebaut. Dies stellt den „State of the Art“ beim Konstruieren mit Keramik dar. Er wird in entsprechenden Lehrbüchern über das mechanische Verhalten von Keramiken, z.B. in dem hervorragenden Buch von Munz und Fett aus dem Jahr 1999, dargestellt.

Die Anwendung dieser Gleichungen erfordert aber in der Regel die Berechnung schwieriger und extrem nichtlinearer Gleichungen, was meist nur numerisch möglich ist und die damaligen Rechensysteme an ihre Grenzen brachte. Daher wurde diese Methodik bisher kaum angewandt.

In der Zwischenzeit konnte die weitgehend empirisch entwickelte Weibullstatistik auch physikalisch begründet werden. Sie gilt für spröde Werkstoffe mit einer häufig (aber nicht immer) auftretenden Defektgrößenverteilung. Daraus ergeben sich auch Grenzen für die Anwendbarkeit der Weibullstatistik. Zu unvorhergesehenen Schadensfällen kommt es häufig, weil entscheidende Beanspruchungen (z.B. hervorgerufen durch Temperaturunterschiede oder Temperaturwechsel) nicht erkannt werden und Handhabungen, die bei Werkstoffen, die einen niedrigen E-Modul und/oder eine geringe Fließgrenze aufweisen, angemessen sind, unkritisch auf Keramiken übertragen werden. Diese offenen Fragen werden in der Forschung leider völlig ignoriert.