

Einführung

Keramische piezoelektrische Werkstoffe sind polykristalline Materialien, die aus einer großen Anzahl kleiner Kristallite bestehen [3]. Dank ihrer einzigartigen piezoelektrischen und ferroelektrischen Eigenschaften [1], [2] haben diese Werkstoffe große wirtschaftliche Bedeutung erlangt und werden in vielen Bereichen der Technik angewendet. Die Hauptvorteile der keramischen Werkstoffe sind hohe piezoelektrische Eigenschaften, die Stabilität gegen Lösungsmittel, billige Herstellung und die Möglichkeit bei der Herstellung beliebige Formen zu realisieren.

Es wurde viele Bauteile und Geräte wie z.B. Schall-, Ultraschallgeber oder Aktuatoren entwickelt, die direkt oder indirekt die Eigenschaften von keramischen piezoelektrischen Werkstoffen verwenden [4]. Die Konstruktion von piezoelektrischen Bauteile hängt von der Anwendung ab. Oft, wenn es um große Auslenkungen geht, werden die so genannten **Biegeaktuatoren** verwendet.

In dieser Arbeit wird das Verhalten von Biegeaktuatoren aus piezoelektrischer Keramik beschrieben. Die klassischen Biegeaktuatoren haben eine Mehrschichtstruktur und bestehen aus zusammengeklebten Schichten [5] mit unterschiedlichen dielektrischen und piezoelektrischen Eigenschaften (s. Abb. 1, (a)). Beim Anlegen eines elektrischen Feldes an den Aktuator führen die kleinen Änderungen der Abmessungen der Schichten durch den inversiven Piezoeffekt zu einer großen Biegung des gesamten Aktuators. Während der Biegung wird die mechanische Spannung im Aktuator stark ansteigen, weil eine Seite jeder Schicht sich verkürzt, die andere Seite sich jedoch gleichzeitig verlängert. Durch die hohe mechanische Spannung können Risse in den Schichten entstehen oder die Schichten können sich ablösen. Das verkürzt die Lebenszeit und verschlechtert die Zuverlässigkeit des Biegeaktuators.

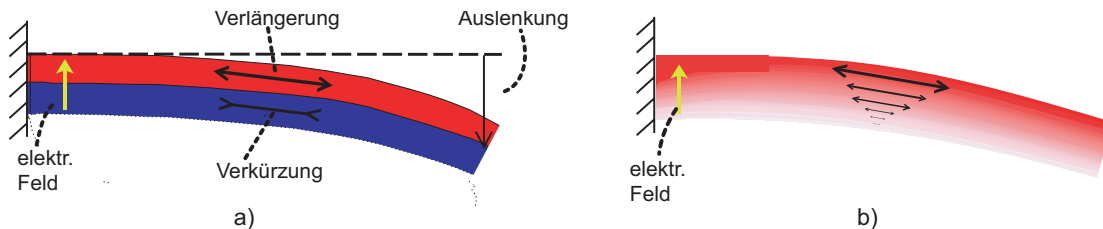


Abbildung 1: Graphische Darstellung eines klassischen piezoelektrischen Biegeaktuators (a) und Biegeaktuators aus Gradientenmaterialien (b) unter dem Einfluss eines elektrischen Feldes

Eine Möglichkeit zur Verlängerung der Lebenszeit und Verbesserung der Zuverlässigkeit von Biegeaktuatoren besteht in der Anwendung keramischer **Materialien mit einem Funktionsgradienten** (engl. Functionally graded materials - **FGM**) [6], [7], [68]. Gradientenmaterialien sind in unserem Fall monolithische keramische Werkstoffe mit in einer oder mehreren Richtungen veränderten Eigenschaften. Die in dieser Arbeit untersuchten Keramiken haben einen eindimensionalen Gradient der piezoelektrischen, dielektrischen und elastischen Eigenschaften in Richtung der Probendicke (s. Abb. 1, (b)).

In ungepolten keramischen Werkstoffen sind die Orientierung der Kristallite und damit die Domänen statistisch verteilt. Sie zeigen deshalb keine makroskopische Polarisation und keine piezoelektrischen Eigenschaften. Diese bekommen sie erst nach einem Polungsprozess. Das Polungsverhalten von homogenen Ferroelektrika verändert sich aber wesentlich, wenn es mit anderen Ferroelektrika oder Dielektrika elektrisch verbunden ist, da dann nicht mehr von einer homogenen Feldverteilung ausgegangen werden kann.

In dieser Arbeit haben die Biegeaktuatoren eine Mehrschichtstruktur, wo mehrere Schichten mit unterschiedlichen dielektrischen und piezoelektrischen Eigenschaften miteinander verbunden sind. In diesem speziellen Fall **inhomogener Ferroelektrika** wurden erst in den letzten Jahren mit detaillierten experimentellen und theoretischen Untersuchungen des Polungsverhaltens begonnen. Die Theorien und Modelle für inhomogenen Dielektrika können hier nicht verwendet werden, weil dabei die Nichtlinearität der ferroelektrischen Eigenschaften und der Einfluss des piezoelektrischen Effekts nicht berücksichtigt werden. Aber die Größe und Verteilung der piezoelektrischen und dielektrischen Eigenschaften hängen sowohl in Biegeaktuatoren mit einer Mehrschichtstruktur als auch in Gradientenmaterialien neben der chemischen Zusammensetzung auch von der Größe und Verteilung der Polungsfeldstärke ab. Auf der anderen Seite sind bis heute noch keine genauen Verfahren für die Messung des lokalen elektrischen Feldes sowie der lokalen dielektrischen und piezoelektrischen Eigenschaften in monolithischen, inhomogenen Keramiken bekannt. Deshalb ist es unter anderem nötig, ein Modell für die Verteilung des elektrischen Feldes im keramischen Gradientenmaterialien zu entwickeln, weil ohne eine detaillierte Vorstellung über die Verteilung des Feldes während der Polung und im Betrieb eine Beschreibung der Aktuatoren aus solchen Gradientenkeramiken nicht möglich ist.

In dieser Arbeit wurden Modelle für das Polungs- und Biegeverhalten von Aktuatoren mit einem Funktionsgradienten entwickelt. Um diese Modelle zu überprüfen, wurden Proben aus piezoelektrischer Keramik mit variierender chemischer Zusammensetzung $\text{BaTi}_{(1-x)}\text{Sn}_x\text{O}_3 - \text{BaTi}_{(1-y)}\text{Sn}_y\text{O}_3$ hergestellt. Dieses Material wurde gewählt, da im Institut für Anorganische Chemie, AG Keramik am Fachbereich Chemie bereits reichhaltige Erfahrung mit diesem Mischkristallsystem gesammelt wurden. Ein anderer Grund ist, dass dieses Material im Unterschied zu den technisch häufig verwendeten Hochleistungskeramiken (PZT, PMN, etc.) bleifrei, d.h. umweltverträglich, ist. Das Polungsverhalten dieser Keramik wurde für verschiedene Gradienten der chemischen Zusammensetzung (x , y - Werte) sowie in Abhängigkeit von der Polungsfeldstärke, der Polungsrichtung und -dauer untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen lieferten Information über die Verteilung des elektrischen Feldes während der Polung und die piezoelektrischen und dielektrischen Eigenschaften nach der Polung. Danach wurde das Biegeverhalten von Aktuatoren aus diesen keramischen Gradientenmaterialien unter verschiedenen Bedingungen untersucht. Dabei wurden Ergebnisse aus der Untersuchung des Polungsverhaltens verwendet. Die Modelle wurden durch den ständigen Vergleich der Ergebnisse der theoretischen Untersuchung mit experimentellen Ergebnissen überprüft und verbessert.