

Kapitel 4

Optimierung und Ausblick

4.1 Einfluss der Polungsfeldstärke auf das Biegeverhalten von monolithischen Aktuatoren

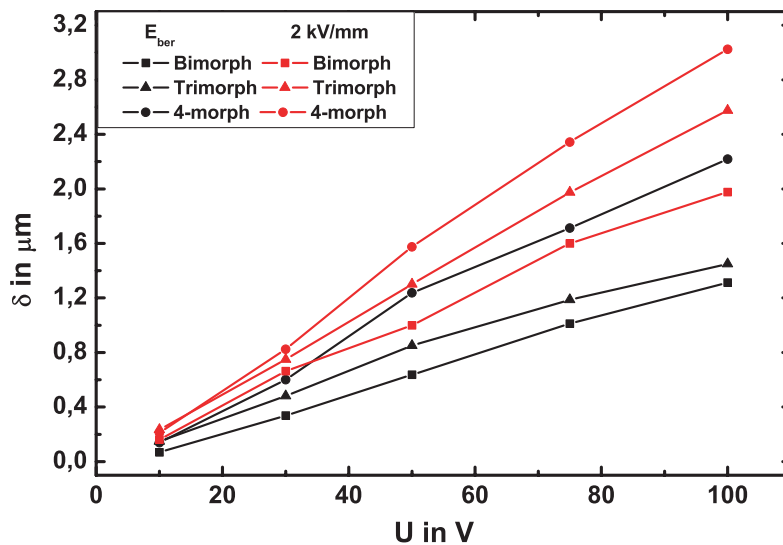


Abbildung 4.1: Maximale Auslenkung von B-2, T-2, V-2 als Funktion der Anregungsspannung. Die Aktuatoren wurden bei E_{ber} oder bei 2 kV/mm gepolt.

Im Abschnitt 2.8 wurde bereits die Verbesserung des Polungsverhaltens durch Erhöhung der Polungsfeldstärke diskutiert. Die Auswirkungen auf das Biegeverhalten sollen im Folgenden beschrieben werden. In Abb. 4.1 sind die maximalen Auslenkungen bei verschiedenen Anregungsspannungen für Aktuatoren mit hohem Sn-Gehalt dargestellt. Dabei wurde jeweils ein Bi-, Tri- und 4-morph mit der bisher diskutierten Feldstärke E_{ber} und und zweiter mit einer Feldstärke von 2 kV/mm gepolt. Die Polungsfeldstärke E_{ber} wur-

de mit Hilfe des Polungsmodells so gewählt, dass die maximale lokale Feldstärke, die in der BTS15 Schicht auftritt, 2 kV/mm nicht überschritt. Dadurch sind die Proben mit verschiedenen Schichtzahlen vergleichbar, da die maximale Polarisierung in allen Proben den gleichen Wert annimmt. Die Polungsfeldstärke wurde auf 2 kV/mm begrenzt, da bei höheren Spannungen die Gefahr eines Probendurchschlages deutlich zunahm.

Werden die Aktuatoren mit einer Feldstärke von 2 kV/mm gepolt, so ist eine deutliche Verbesserung der Biegeauslenkung zu beobachten. Dies korreliert sehr gut mit der bereits beschriebenen Zunahme der piezoelektrischen Koeffizienten d_{31} , vor allem in der piezoelektrisch aktiven Schicht BTS7.5 (s. Tabelle 2.4). Auch bei diesen monolithischen Proben nimmt die maximale Auslenkung mit der Anzahl der Schichten zu. Wie bereits erwähnt, ist dies dadurch zu erklären, dass die gleichmäßige Sn-Verteilung (chemischer Gradient) durch die Polung nicht zwangsläufig in eine gleichmäßige Verteilung der Materialeigenschaften (piezoelektrischer bzw. dielektrischer Gradient) umgewandelt wird. Hier ist in zukünftigen Arbeiten noch eine weitere Optimierung durchzuführen. So können z.B. Schichtdicken bzw. deren chemische Zusammensetzung verändert werden, um den Funktionsgradienten der piezoelektrischen und dielektrischen Eigenschaften zu optimieren. Die Grundlagen dafür wurden in dieser Arbeit dargelegt.

4.2 Einfluss der Polungszeit auf das Biegeverhalten

Im Abschnitt 2.9 konnte gezeigt werden, dass es in einem Zweischichtsystem aus unterschiedlichen Ferroelektrika möglich ist, durch eine längere Polung mit einem Gleichfeld beide Schichten vollständig zu polen. Die dabei entstehende Differenz der Polarisation wird durch eine Raumladung am Interface zwischen den Schichten kompensiert. In ersten Versuchen wurde geprüft, wie sich dies auf das Biegeverhalten auswirkt.

Als einfachstes System wurde zunächst wieder das Zweischichtsystem BTS(7.5-15) untersucht. Zwei elektrisch miteinander verbundene Schichten wurden im Ölbad für 3 Minuten mit einer Feldstärke von 2 kV/mm gepolt. Nach 24 Stunden wurden die piezoelektrischen und dielektrischen Kleinsignaleigenschaften gemessen. In Tabelle 4.1 sind die Werte der BTS7.5-Schicht mit denen eines kurz gepolten Systems (15 Sekunden) verglichen. Es ist eine deutliche Zunahme der piezoelektrischen Eigenschaften zu erkennen, die auch zu einer Verbesserung der Biegeeigenschaften führen sollte. Die Kleinsignaleigenschaften der piezoelektrisch nicht aktiven BTS15-Schicht blieben unverändert.

Polungszeit	d_{33} in pm/V	d_{31} in pm/V	$\frac{\epsilon_{33}^T}{\epsilon_0}$
15 Sekunden	186	117	3730
3 Minuten	269	132	4760

Tabelle 4.1: Kleinsignaleigenschaften der BTS7.5-Schicht eines kurzgepolten (15 s) und 3 Minuten gepolten Bimorphs BTS(7.5-15), Polungsfeldstärke 2 kV/mm DC

In ersten Untersuchungen wurde auch die Auslenkung von monolithischen Aktuatoren mit hohem Zinngehalt untersucht, da mit diesen die bisher höchsten Auslenkungen erzielt wurden. Die Bi-, Tri- und 4-morphe wurden dazu 2 Minuten bei 2 kV/mm gepolt.

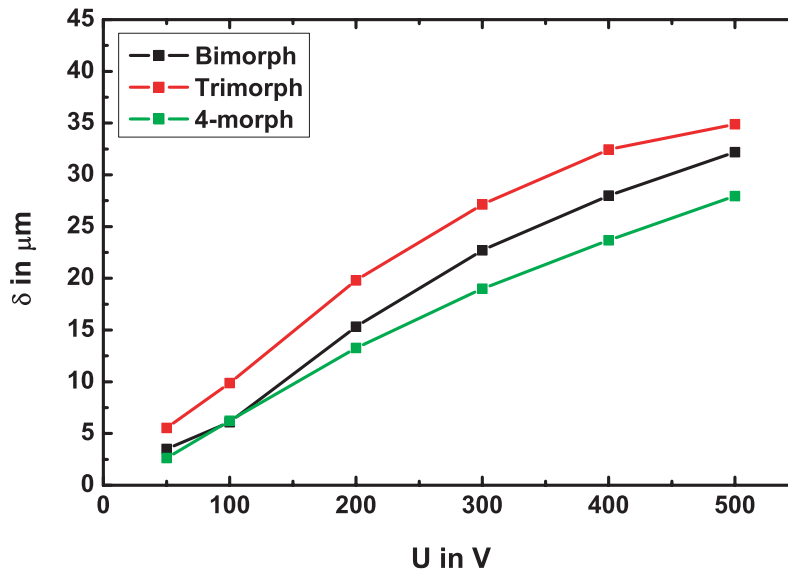


Abbildung 4.2: Auslenkung monolithischer Biegeelemente der Gruppe II, 2 Minuten bei 2 kV/mm gepolt

Die Abb. 4.2 zeigt, dass die Auslenkung gegenüber den im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Proben, die für 15 Sekunden bei 2 kV/mm gepolt wurden noch einmal deutlich zunimmt (vgl. Abb. 3.30 und 4.1). Beim Trimorph wurde sogar eine Verdoppelung der maximalen Auslenkung auf 35 μm bei unipolarer Anregung mit 500 V gefunden. Warum die Zunahme beim 4-morph geringer ausfällt, kann im Moment nicht erklärt werden. Eine Vermutung ist, dass die 2 Minuten für dieses System immer noch zu kurz sind. Dazu mehr im nächsten Abschnitt.

Die theoretische und experimentelle Untersuchung des Polungsverhaltens bei längeren Polungszeiten von Systemen mit mehr als zwei Schichten sowie die Modellierung des nichtlinearen Biegeverhaltens wird die Aufgabe zukünftiger Arbeiten sein.

4.3 Elektrische Zyklisierung

Die Lebenszeit der verschiedenen Aktuatoren kann durch Untersuchung der Abhängigkeiten des Biegeverhaltens von der Anzahl der elektrischen Zyklen bestimmt werden. Da diese Ermüdungsmessungen mit zyklischer Belastung sehr zeitaufwendig sind, wurden bisher nur einige ausgewählte Proben untersucht.

In Abb. 4.3 ist die Abhängigkeit der maximalen Auslenkung von der Anzahl der elektrischen Zyklen für einen konventionell geklebten Bimorph sowie einen monolithischen Bimorph und 4-morph dargestellt. Um einen optimalen Ausgangswert zu erhalten, wurden alle Proben 3 Minuten bei 2 kV/mm DC gepolt. Die Zyklisierung erfolgte mit 500 V (unipolar) und 100 Hz.

Die maximale Auslenkung aller Aktuatoren ist bis ca. 10^5 Zyklen fast konstant ist.

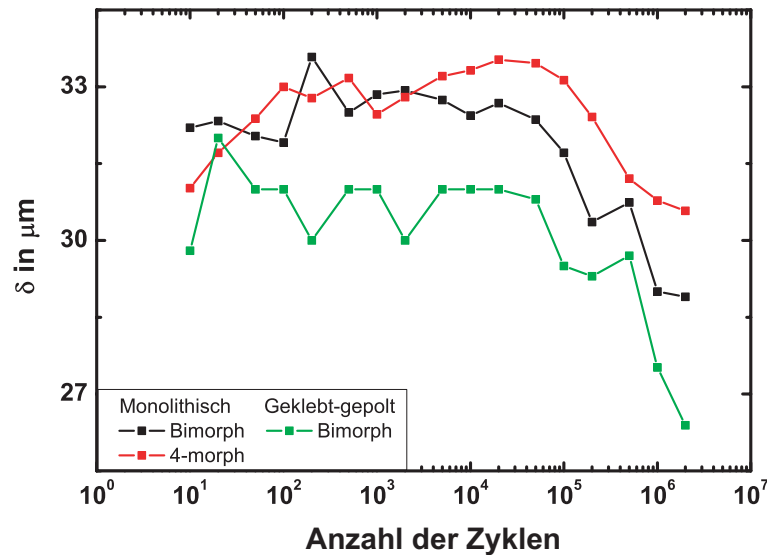


Abbildung 4.3: Maximale Auslenkung von monolithischen und geklebten Aktuatoren aus Gruppe II als Funktion von der Anzahl der elektrischen Zyklen

Nur beim monolithischen 4-morph ist ein konstant leichter Anstieg bis 10^4 Zyklen zu erkennen. Dies könnte ebenfalls ein Anzeichen dafür sein, dass die Probe nach 3 Minuten noch nicht vollständig gepolt war und durch das Zyklieren eine gewisse Nachpolung erfolgte. Eine Abnahme der Auslenkung ist bei allen drei Proben ab 10^5 Zyklen zu beobachten. Dabei nehmen die maximalen Werte der Auslenkung bis $2 \cdot 10^5$ Zyklen um ca. 10 % ab. Eine generelle Aussage über das Langzeitverhalten kann nach diesen ersten Versuchen noch nicht getroffen werden. Dazu sind weitere Untersuchungen notwendig.