

# Heliotrope Polymere als Materialien für lichtausgelöste Bewegung

**Projekt:** Heliotrope Polymere  
**Laufzeit:** 01.05.2014 bis 30.04.2015  
**Gesamtkosten:** 40.000,00 €  
**Fördersumme:** 40.000,00 €

**Projektleiter:**  
Prof. Dr. Gerd Wehnert  
Fakultät Angewandte Chemie  
Technische Hochschule Nürnberg  
Georg Simon Ohm

Der Begriff „Heliotropie“ stammt aus dem Griechischen und bedeutet in etwa, der Sonne zugewandt, und bezeichnet in der Pflanzenphysiologie Pflanzen, wie beispielsweise Sonnenblumen, die ihre Blüten der Sonnenbewegung folgen lassen. Diese Bewegung wird durch Druckveränderungen in den Pflanzenzellen bewirkt. Mit diesem Hintergrund werden Polymere, die in der Lage sind, auf Grund von Lichteinstrahlung Gestaltänderungen zu vollziehen, heliotrop genannt. Solche Polymere sind neuartige Materialien, die unter Lichtbestrahlung selbstständig Bewegungen ausführen können. Hierdurch lässt sich zum Beispiel Sonnenlicht in Bewegung umsetzen. Dadurch könnten sich Sonnenkollektoren oder Lichtleitersysteme automatisch an die Sonnenbewegung anpassen. Da Polymere keinen zellulären Aufbau besitzen, braucht es hierfür sogenannte photoaktive Bestandteile in der Polymerkette. Als photoaktiver Bestandteil dient beispielsweise Azobenzol. Durch Lichteinwirkung geht die gestreckte trans-Form des Azobenzols in die gewinkelte cis-Form über, was sich in einer Dimensionsänderung des Moleküls widerspiegelt (siehe Abbildung 1). Als Polymere bieten sich auf Grund ihres inneren Ordnungszustandes die flüssigkristallinen Elastomere (LCE) an. Elastomere sind formfeste, aber elastisch verformbare Kunststoffe.

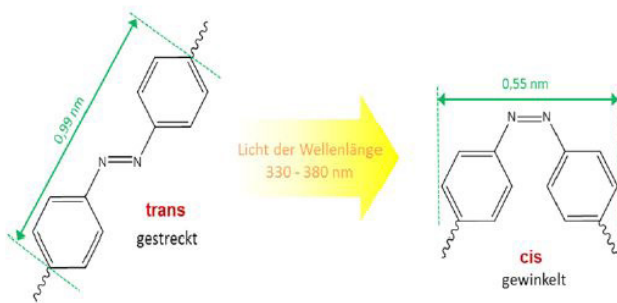


Abb. 1: Dimensionsänderung des Azo-Benzols durch eine trans-cis-Umlagerung und Bestrahlung mit UV-Licht

Ein Grundgerüst aus Silikon, funktionalisiert mit starren Molekülsegmenten (sogenannten Mesogenen), findet hierbei als flüssigkristallines Elastomer Verwendung. Da die starren Segmente sich aneinander ausrichten, entsteht ein Zustand hoher Ordnung. Eine erhöhte Temperatur, oberhalb der Übergangstemperatur, führt zu einem Verlust des Ordnungszustandes, das Gesamtsystem kontrahiert (siehe Abbildung 2). Für eine Sensibilisierung gegenüber Licht dienen zusätzliche Azo-Benzol-Mesogene. Flüssigkristalline Elastomere mit photoaktiven Bestandteilen werden als intelligente oder adaptive Materialien bezeichnet.

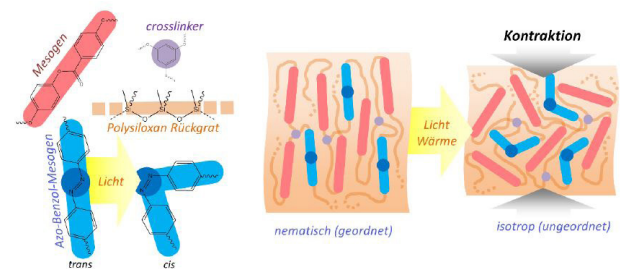


Abbildung 2: Die molekularen Komponenten des photomechanisch aktiven Polymers und die schematische Wirkungsweise bei UV-Bestrahlung.

Sie können selbstständig, ohne Regelung von außen, auf veränderte Umweltbedingungen wie Lichteinstrahlung oder Wärme mit einer Formveränderung reagieren. Diese Wandlung ist dabei vollständig reversibel.

## Ziele

Ziel des Projektes „Heliotrope Polymere als Materialien für lichtausgelöste Bewegung“ war die Entwicklung einer effizienten Methode zur Synthese von heliotropen Polymeren mit guten mechanischen Eigenschaften. Vorangegangene Arbeiten konnten keine reproduzierbaren Ergebnisse vorweisen und die synthetisierten LCEs waren stets durch kristalline Ausscheidungen geprägt. Der Fokus lag somit auf der Entwicklung einer Synthese, welche die Reproduzierbarkeit und Qualität gewährleistete. Durch zusätzliche Synthesestufen und neuen Lösungsmitteln war es erstmals möglich, Mischungslücken durch Entmischung der einzelnen Komponenten auszuschließen. Da bisher fast alle Syntheseschritte unter Schutzgas abliefen, war ein weiterer Schwerpunkt die Vereinfachung der Synthese, mit dem Blick auf Kosten- und Zeitersparnis. Auch von großer Bedeutung war die Orientierung der Polymerfilme. Die mechanische Orientierung der Polymerrückgrate wird durch Anlegen einer mechanischen Spannung bewirkt. Eine möglichst einheitliche Ausrichtung der Rückgrate innerhalb des Polymers ist Voraussetzung für verformende Eigenschaften. Neben den Synthesen selbst bildet die Charakterisierung der synthetisierten LCE-Filme das Kernstück dieses Projektes. Wesentliches Merkmal des heliotropen Polymers ist das mechanische Verhalten bei Bestrahlung.

## Projektverlauf und Ergebnisse

Alle Versuche wurden entweder mit einer Infrarotlampe oder einer UV-Leistungsdioden durchgeführt. Die Wellenlänge betrug 365 Nanometer bei einer Bestrahlungsstärke von 666 Milliwatt pro Quadratcentimeter. Die Bestrahlung mit ultraviolettem Licht führte nur in den oberen Schichten der Azo-Benzol-Einheiten der Elastomere zu einer Anregung, was eine vollständige Absorption der Bestrahlungsenergie in den oberen Schichten erklärt. Demzufolge muss das photochrome Verhalten der Elastomer-Filme mit steigender Schichtdicke abnehmen.

Die Bilderserie (siehe rechte Seite) stellt das Verhalten eines Elastomer-Films bei Bestrahlung mit Infrarotlicht, in Abhängigkeit der Bestrahlungsdauer dar. Der Prozess ist vollständig reversibel.

Spröde, kristalline Ausscheidungen in der elastischen Polymermatrix sind Ausgangspunkte für Rissbildungen, dies beeinträchtigt die Reversibilität elastischer Verformungen. Die im Lösungsmittel Toluol synthetisierten Elastomer-Filme zeigten im mikroskopischen Bild stets Ausscheidungen in Form von zahlreichen kleinen Kristallen. Diese haben eine durchschnittliche Kantenlänge von 120 Mikrometern bei einer Anzahl von etwa 95 pro Quadratmillimeter. Bei der Verwendung von Anisol als Lösungsmittel waren unter dem Mikroskop nahezu keine Kristalle mehr zu erkennen. Der Polymerfilm ist flächiger und kaum von kristallinen Stellen geprägt, er ist also wesentlich homogener. Es waren nur noch circa 14 Kristalle pro Quadratmillimeter bei einer durchschnittlichen Kantenlänge von 35 Mikrometern. Zyklische Belastungstests haben gezeigt, dass die mit Anisol als Solvens hergestellten LCE-Filme ein sehr reproduzierbares Dehnungs- und Kontraktionsverhalten zeigen. So trat nach 70 Aktivierungszyklen keine mechanische Ermüdung des Materials auf.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Ziel des Projektes erreicht wurde: Es gelang, ein, hochwertiges heliotropes Elastomer reproduzierbar zu synthetisieren. Die Eigenschaften des Elastomers haben dabei - nach Aussage von Fachleuten - die Erwartungen weit übertroffen.



Abbildung 3: Polymerfilm am Beginn der Bestrahlung mit IR-Licht, 0s

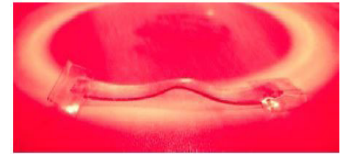


Abbildung 4: Polymerfilm bei der Bestrahlung, 25s



Abbildung 5: Polymerfilm bei der Bestrahlung, 43s, maximale Krümmung



Abbildung 6: Polymerfilm bei der Bestrahlung, 50s, maximale Kontraktion



Abbildung 7: Polymerfilm direkt nach der Bestrahlung, 51s



Abbildung 8: Polymerfilm nach der Bestrahlung, 56s

Fördergeber



STAEDTLER  
STIFTUNG

Projektleiter  
Prof. Dr. Gerd Wehnert  
Telefon: 0911/5880-1525  
E-Mail: gerd.wehnert@th-nuernberg.de

Fakultät  
Angewandte Chemie  
Technische Hochschule Nürnberg  
Georg Simon Ohm

[www.th-nuernberg.de](http://www.th-nuernberg.de)