

Abstract

Steadily increasing demands on the safety and economy as well as energy and resource efficiency of industrial and consumer goods require new and innovative approaches. Based on extensive (fundamental) numerical analyses novel construction techniques have been developed with considerably improved mechanical characteristics. Emphasis is placed on meso- and macroscopic structural and design concepts which substantially enhance the efficiency of lightweight structures fabricated from tested and conventional materials by rendering their global system behavior auxetic.

Auxetic materials and structures react atypically. While common perception and experience teach us that the cross-sections of a component decrease when being pulled, auxetic materials and structures behave in an opposite manner: cross-sections become larger under tension and smaller under compression. Since this counterintuitive property has generally been considered extreme and unnatural, it has received little attention in research until fairly recently – despite the fact that it can have a strikingly positive impact on such important structural parameters as stiffness, strength, thermal and vibration properties, energy absorption capability etc. As a result, performance levels per unit weight may be attained, which are not achievable using conventional approaches. In addition, this characteristic also enables completely new functionalities and design solutions for a wide range of products with tailorable functional properties. Possible applications can be found e.g. in lightweight, protective, and adaptive/intelligent structures in fields as varied as structural engineering, aviation and aerospace, automotive and medical technology as well as many other technical areas. These structural concepts can be realized – regardless of the choice of material – with the aid of well-established manufacturing methods and be integrated in existing processing techniques with marginal need for further development.

Numerical analyses that have been performed within the scope of this thesis affirm the practicality and efficiency of auxetic constructions in technically relevant fields of application and loading situations. These studies prove fundamental auxetic deformation characteristics, even if the structures consist of macroscopic cells. Specifically tailored and modified strain and stress conditions lead – with appropriate choice of topology and parameters – to enhanced mechanical properties. Moreover, a wide range of influencing quantities allows a flexible adjustment according to individual standards and requirements.

Zusammenfassung

Stetig steigende Anforderungen an Ressourcen- und Energieeffizienz, Sicherheit und Wirtschaftlichkeit von Investitions- und Gebrauchsgütern erfordern innovative Konstruktionsansätze. Auf der Basis von umfangreichen numerischen (Grundlagen-) Untersuchungen ist es gelungen, neuartige Bauweisen mit wesentlich verbesserten mechanischen Eigenschaftsprofilen zu entwickeln. Der Schwerpunkt liegt dabei auf meso- bzw. makroskopischen Strukturierungs- und Formgebungskonzepten zur Effizienzsteigerung von Leichtbaukonstruktionen, die dazu führen, dass Bauteile aus erprobten und konventionellen Werkstoffen ein globales auxetisches Systemverhalten aufweisen.

Auxetische Materialien und Strukturen reagieren atypisch: Eine axiale Zugbeanspruchung führt hier – entgegen der Alltagserfahrung – zu einer Querschnittsvergrößerung, wohingegen Druckbelastungen eine Querschnittsverkleinerung bewirken. Diese konträre Eigenschaft gilt als extrem und unnatürlich, weshalb sie in der Forschung lange Zeit kaum Beachtung fand. Sie kann jedoch maßgebliche mechanische Strukturparameter wie z. B. Steifigkeit, thermisches und Schwingungsverhalten oder Energieabsorptionsfähigkeit überdurchschnittlich positiv beeinflussen und bei gleichem Gewicht Leistungsniveaus generieren, die mit üblichen Bauweisen nicht realisierbar sind. Darüber hinaus ermöglicht sie völlig neuartige Funktionalitäten und Designlösungen für eine Vielzahl von Produkten mit gezielt einstellbaren Funktionsprofilen. Einsatzmöglichkeiten finden sich etwa bei Leichtbau-, Schutz- und adaptiv-intelligenten Konstruktionen sowie in der Luft- und Raumfahrt, dem Fahrzeug-, Maschinen- und Anlagenbau, der Medizintechnik und vielen weiteren Technikbereichen. Die – grundsätzlich materialunabhängigen – Strukturierungskonzepte sind ferner mit Hilfe etablierter Fertigungsverfahren umsetzbar und können ohne nennenswerten Entwicklungsbedarf in bestehende Produktionsprozesse integriert werden.

Im Rahmen der Arbeit durchgeführte FE-Analysen bestätigen die Praktikabilität und Effizienz auxetischer Konstruktionsansätze in technisch relevanten Anwendungsfällen und Belastungssituationen und weisen die fundamentalen Verformungsmerkmale auch bei makroskopischer Zellausführung nach. Die gezielt modifizierten Deformations- und Spannungszustände führen hier bei geeigneter Topologie- und Parameterwahl zu einer Aufwertung der jeweils relevanten Strukturkennwerte. Ein breites Spektrum an Einflussgrößen ermöglicht zudem eine flexible Anpassung an einsatzspezifische Voraussetzungen und Anforderungen.