

# Künstliche Muskeln

Künstliche Muskeln sind technische Komponenten, die auf externe Reize hin reversible Formveränderungen durchlaufen können und auf diese Weise Eigenschaften und Funktionen von natürlichen Muskeln imitieren. Hinter dem Begriff verbirgt sich ein ganzer Komplex von Technologien mit unterschiedlichen Reifegraden, vom Stand der Technik bis hin zum Forschungs- und Entwicklungsstadium. Die Realisierbarkeit von technischen Systemen, die biologischen Muskeln in Gänze, d.h. in allen relevanten Eigenschaften gleichzeitig entsprechen, ist jedoch allenfalls mittel- bis langfristig zu erwarten.

Als etablierte Beispiele für Künstliche Muskeln können einfache pneumatische oder hydraulische Aktoren angesehen werden, die eine Druckerhöhung im Inneren aufgrund geeigneter Hüllstrukturen in eine Längenänderung umwandeln können. Diese Systeme werden fortlaufend weiterentwickelt und verbessert. Technologisch anspruchsvoller sind Aktoren aus Funktionswerkstoffen, deren Formänderung durch spezifische physikalische oder chemische Steuerimpulse (z.B. elektrische Spannung, Wärme, Licht, pH-Wert) ausgelöst wird. Hierzu zählen Piezoelektrische Aktoren (elastische Verformung in Abhängigkeit von elektrischer Spannung) oder solche aus Formgedächtniswerkstoffen (temperaturinduzierte reversible Verformung). Diese haben ebenfalls bereits viele Anwendungen gefunden, von der Medizintechnik bis hin zur Luft- und Raumfahrt.

Äußerst attraktive Eigenschaften für einen zukünftig weiter verbreiteten Einsatz als Künstliche Muskeln versprechen sogenannte Elektroaktive Polymere (EAP). Das sind leichte, nachgiebige Kunststoffe, deren Form durch das Anlegen einer elektrischen Spannung reversibel verändert werden kann. Aufgrund unterschiedlicher Wirkprinzipien werden sie in zwei Klassen unterteilt. Bei ionischen EAP beruht die elastische Verformung auf der Wanderung von Anionen und Kationen und einer damit einhergehenden Massenverschiebung, bei elektronischen EAP hingegen auf der Wanderung von Elektronen und daraus resultierenden elektrostatischen Wechselwirkungen. Zu den elektronischen EAP gehören

dielektrische Elastomeraktoren (Dielectric Elastomer Actuators, DEA). Deren Funktionsweise basiert auf der elektrostatischen Anziehung zwischen zwei Elektroden, die durch einen reversibel verformbaren, passiven Elastomerfilm voneinander getrennt sind. DEA zeichnen sich durch hohe Schaltfrequenzen, große Dehnbarkeit und gute Wirkungsgrade aus, benötigen aber bisher noch Steuerspannungen im Kilovolt-Bereich, was manche Anwendungen erschwert oder gar ausschließt (z.B. im medizinischen Bereich).

Darüber hinaus gibt es vielfältige weitere Bemühungen um die Nutzbarmachung neuer Wirkprinzipien, Fertigungsprozesse und Materialkombinationen zur Realisierung von Künstlichen Muskeln. Vielversprechende Kandidaten sind sogenannte Smarte Hydrogele. Dabei handelt es sich um hydrophile Polymernetzwerke, die in Abhängigkeit von äußeren Einflussfaktoren spezifische Quellungs- und Entquellungsprozesse durchlaufen und dabei mechanische Arbeit verrichten können. Typische Stimuli sind Änderungen der Temperatur oder des pH-Wertes. Einsatzmöglichkeiten gibt es insbesondere in der Mikrosystemtechnik (z. B. Drug-Delivery-Systeme). Als besonders bedeutsam für die Entwicklung von Künstlichen Muskeln könnte sich die Entdeckung erweisen, dass sich durch die Verdrillung von Fasern aus Kohlenstoffnanoröhren, Polymeren oder anderen volumenveränderlichen Materialien Aktorelemente mit außergewöhnlichen mechanischen Eigenschaften erzeugen lassen. Für Schlagzeilen sorgte vor allem die Herstellung von leistungsfähigen und langlebigen Künstlichen Muskeln aus herkömmlicher Angelschnur (Nylon), die sich um bis zu 50 Prozent verkürzen und dabei etwa hundertmal schwerere Lasten als natürliche Muskeln gleicher Dicke heben können.

Im Vergleich zu konventionellen Aktoren wie Elektromotoren oder komplizierteren Hydrauliksystemen haben Künstliche Muskeln eine ganze Reihe von Vorteilen. Dazu zählen insbesondere eine je nach Typ mehr oder weniger weiche bzw. nachgiebige Struktur, eine einfache Bauweise, ein nahezu geräuschloser Betrieb, eine hohe Leistungsfähigkeit bei geringem Gewicht

sowie eine hohe Energieeffizienz. Dazu kommen eine präzise Ansteuer- und gute Miniaturisierbarkeit sowie niedrige Herstellungskosten. Als in Form und Funktion dem natürlichen Vorbild ähnelnde Systeme könnten sie damit in verschiedenen Anwendungen zum Einsatz kommen. Naheliegende Anwendungsgebiete sind in der Prothetik und der Robotik zu sehen. Das Einsatzspektrum reicht dabei von künstlichen Ersatzgliedmaßen über kraftverstärkende Exoskelette bis hin zu biomimetischen Schwimm- oder Laufmaschinen und humanoiden Robotern. Von besonderer Bedeutung sind Künstliche Muskeln für die Entwicklung von sogenannten Soft Robots, also weitgehend weichen bzw. nachgiebigen Robotern, die beispielsweise eine sichere Mensch-Roboter-Interaktion in der industriellen Fertigung ermöglichen sollen. Ihre im Vergleich zu konventionellen Motoren und Aktoren potenziell höhere Leistungsdichte macht Künstliche Muskeln gleichzeitig interessant für Anwendungsbereiche, in denen Gewichtsreduktion und Platzersparnis im Vordergrund stehen (z. B. Luft- und Raumfahrt). Ihre hervorragende Skalierbarkeit birgt außerdem Potenzial für die Entwicklung von neuen mikroelektromechanischen und mikrofluidischen Systemen. Auch in selbstregulierenden Systemen z.B. zur adaptiven Anpassung von Triebwerkskomponenten könnten Künstliche Muskeln eine zunehmende Rolle spielen.

Allerdings ist die strukturelle Organisation und funktionelle Bandbreite natürlicher Muskeln bislang unerreicht. Zwar werden isolierte Funktionen des natürlichen Vorbilds, wie z. B. Stellpräzision oder Ansprechverhalten, bereits erfolgreich durch die technischen Systeme imitiert bzw. sogar übertroffen, insgesamt erweist es sich in der Praxis aber als erhebliche Herausforderung, das volle Potenzial Künstlicher Muskeln in einem einzigen, universell einsetzbaren Produkt zu vereinen. Die vielfältigen Vorteile, die man sich von ihnen verspricht, werden Künstliche Muskeln somit erst mittel- bis langfristig ausspielen können.

**Dr. Carsten Heuer, Jürgen Kohlhoff**