

Bioinspirierte reversible Haftsysteme

Im Laufe der Evolution haben Pflanzen und Tiere vielfältige hochspezifische Oberflächen entwickelt. Diese schützen die jeweiligen Organismen beispielsweise vor Verschmutzung (Lotus-Effekt) oder mechanischen Belastungen. Sie können aber auch einigen Organismen ermöglichen, besonders gut an Materialien zu haften. Im Rahmen der verhältnismäßig jungen Forschungsdisziplin Bionik bietet die Analyse solcher optimierter biologischer Systeme eine Möglichkeit, von der Natur zu lernen, um dadurch technische Oberflächen zu optimieren. Ein prominentes Beispiel im Bereich der bionischen Grundlagenforschung ist die Entwicklung von reversiblen Haftsystemen nach dem Vorbild der Gecko-Füße, z.B. für die Entwicklung von Laufrobotern, die an glatten Wänden empor laufen können.

Abhängig von der speziellen Funktion des Haftsystems gibt es in der Natur unterschiedliche Haftprinzipien, basierend z.B. auf Haken, Klemmen, Saugglocken oder biologischen Klebstoffen. Dazu kommen die trockene Adhäsion auf der Basis intermolekularer Kräfte („Van-der-Waals-Kräfte“) sowie die nasse Adhäsion, die auf sogenannte Kapillarkräfte beruht. Langfristige Haftung (Minuten bis hin zu Tagen) wird maßgeblich mit Hilfe von mechanischem Verzahnen bzw. Verhaken, mit Saugglocken oder durch Klebstoffe erreicht. Kurzzeitige Haftung (Sekunden bis Minuten) hingegen basiert maßgeblich auf trockener Adhäsion. Diese Haftung kann teilweise zusätzlich durch nasse Adhäsion unterstützt werden.

Auch wenn das Prinzip der trockenen Haftung bei verschiedenen Arten zu finden ist, sind hier Geckos aufgrund ihrer herausragenden Haftstrukturen das prominenteste biologische Vorbild. So können sie senkrecht an polierten Glasscheiben hinauf laufen und dabei innerhalb von Millisekunden zwischen starkem Anhaften und Ablösen umschalten. Ermöglicht wird ihnen dies durch eine ausgeklügelte Oberflächenstruktur an den Füßen. Jeder Fuß trägt dabei ca. 500.000 Haare, jedes davon ungefähr ein Zehntel so dick wie ein menschliches Haar. Die Enden dieser

Haare weisen auf einer nächsten Hierarchieebene zusätzlich noch feinere Verzweigungen auf. Dieser Aufbau ist ausgesprochen flexibel und ermöglicht eine extrem gute Anlagerung und Haftung an einem Untergrund, und das unabhängig von dessen Mikrostruktur und chemischer Beschaffenheit. Theoretisch könnte ein Gecko, dessen Haare alle gleichzeitig in Kontakt mit einer Oberfläche stehen, bis zu 133 kg heben.

Der Mechanismus der trockenen Adhäsion ist für die Entwicklung von reversiblen Haftsystemen besonders attraktiv. Konventionell werden diese derzeit vornehmlich aus weichen, klebenden viskoelastischen Materialien hergestellt, um so den Kontakt mit einer Oberfläche bei Deformation zu verbessern. Beispiele sind Pflaster oder Haftnotizen. Dabei gibt es oftmals die Extreme, dass die Haftsysteme entweder stark und schwer zu entfernen oder sehr schwach und dementsprechend leicht zu entfernen sind. Zusätzlich verlieren sie teilweise nach häufiger, teils schon nach einmaliger Verwendung ihre Funktion. Ansprüche an zukünftige reversible Haftsysteme sind jedoch insbesondere das vielfache Anhaften und Ablösen an vielfältige Untergründe bei einer gleichzeitigen Erhöhung der Haftkraft und ihrer Zuverlässigkeit. Vorteil eines bioinspirierten Systems ist dabei, dass es auch nach häufigem Gebrauch seine Funktionalität nicht verliert (im Test bis zu 30.000 Mal), da es ausschließlich auf strukturellen und physikalischen Effekten beruht. Zusätzlich weist ein solches System selbstreinigende Eigenschaften auf und haftet nicht – wie konventionelle Systeme – an sich selbst.

Als potenzieller Markt sind vornehmlich biomedizinische Anwendungsgebiete wie beispielsweise im Bereich der Endoskopie und als Gewebekleber denkbar. Ebenfalls interessant scheint ein Einsatz bei der Ausrichtung und dem Transport von Wafern sowie bei Laufrobotern, die z.B. an Fassaden hinauf klettern sollen. Hier wurden bereits interessante Prototypen wie beispielsweise der sogenannte Stickybot vorgestellt. Dieser, mit strukturierten Polyurethan-Haftpads ausgestattete Laufroboter, ist bereits in der Lage an Glasschei-

ben empor zu laufen. Die Herstellung von Haftpads, die ähnlich fein strukturiert sind wie die Gecko-Füße, ist jedoch bislang schwierig. So sind die eingesetzten Strukturen noch zu groß, um sich optimal an das Substrat anzulagern bzw. anzuhaften. Dies bedeutet insbesondere Limitationen beim Robotergewicht. Zudem bedarf es weiterer Verbesserungen im Bereich der selbstreinigenden Eigenschaften.

Es gibt auch bereits kommerzielle Ansätze, die das Gecko-Haftprinzip technisch umsetzen. Dabei handelt es sich zumeist um mikrostrukturierte Polymere, die sich in der Größe, Form und Anordnung der Oberflächenstrukturen unterscheiden und damit versuchen, die Struktur der biologischen Haare zu imitieren. Diese Ansätze kommen jedoch bei weitem noch nicht an das biologische Vorbild heran. Die Ursachen liegen in derzeit noch bestehenden Limitationen in der Fertigung der extrem feinen Verzweigungen. Während die Strukturen der Gecko-Füße aus vier Hierarchieebenen aufgebaut sind, weisen derzeitige bioinspirierte strukturierte Haftsysteme nur ein bis zwei Ebenen auf. Hier scheint die Dichte und Größe der Endstrukturen wichtig. Je größer die Endstrukturen sind, desto schwieriger ist eine enge Anlagerung der Strukturen an das Substrat und desto geringer sind die Haftkräfte. Im Prototypenstadium befinden sich darüber hinaus Systeme, die auf Kohlenstoffnanoröhren basieren. Diese sind im Prinzip in der Lage, vier Mal so stark zu haften wie die Strukturen der Gecko-Füße.

Insgesamt wurden bereits sehr interessante bioinspirierte Prototypen für reversible Haftsysteme vorgestellt. Doch, wie in vielen Bereichen der bionischen Forschung, stellt auch hier die Komplexität der biologischen Systeme eine Herausforderung für die technische Umsetzung dar. Die meisten aktuellen bioinspirierten Tapes weisen noch deutlich geringere Haftkräfte auf als die traditionellen Tapes. So wird es voraussichtlich noch fünf bis zehn Jahre dauern, bis kostengünstige bioinspirierte reversible Haftsysteme in großem Maßstab hergestellt werden können.

Dr. Anna Schulte