

## Zusammenfassung (Deutsch)

Adhäsion und Reibung kommen sowohl in vielen technischen als auch natürlichen Systemen vor. Beide Phänomene haben einen großen Einfluss auf die Haltbarkeit und Effizienz technischer Systeme, insbesondere bei Mikrokontakt-Anwendungen mit hohem Oberflächen-Volumen-Verhältnis. Ein anerkannter Ansatz zur präzisen Abstimmung dieser Eigenschaften ist - neben der Veränderung der physikalisch-chemischen Eigenschaften - die Mikro- und/oder Nanostrukturierung der interagierenden Oberflächen. Die Oberflächen pflanzlicher Blätter besitzen oftmals eine Vielzahl artspezifischer Morphologien, die bemerkenswerte Eigenschaften aufweisen und als Inspirationsquellen dienen können: Rutschfestigkeit, Selbstreinigung und Antihafteffekte sind nur einige Beispiele. Diese biologischen Oberflächeneigenschaften basieren auf dem komplexen Zusammenspiel von Oberflächenstrukturierungen und chemischen Eigenschaften wodurch sich ein sehr komplexes System ergibt, bei welchem es noch viele ungelöste Fragen zu erforschen gibt. Die vorliegende interdisziplinäre Arbeit zielte darauf ab, eine systematische Untersuchung der Adhäsions- und Reibungsmechanik auf mikrostrukturierten Oberflächen, direkt repliziert von der Oberfläche von Pflanzenblättern, durchzuführen. Hierfür wurde ein Modell-Haftsystem, welches den Haftpolstern (Arolen) von Insekten nachempfunden wurde, entwickelt.

Blattoberflächen dreier verschiedener Pflanzenarten sowie eine technische Oberfläche, deren Oberflächen-Morphologien in Bezug auf Größe (0,5 - 100  $\mu\text{m}$ ), Form und Komplexität (hierarchische Ebenen) variierten, wurden für diese Arbeit ausgewählt. Frisches Blattmaterial diente als Vorlage zur direkten Übertragung der Oberflächen-Morphologien auf ein weiches, viskoelastisches Polymer. Hierfür wurden drei unterschiedliche Replikationsansätze etabliert und umfassend untersucht. Darüber hinaus wurden rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen durchgeführt, um die Oberflächenmorphologie der Blätter zu analysieren und die Genauigkeit der drei Replikationstechniken qualitativ zu vergleichen. Eine quantitative Bewertung der Replikationsqualität wurde ebenfalls durchgeführt, indem zwei Modellparameter (das Kreuzkovarianzverhältnis und die relative Topographiedifferenz) auf die Linienprofile und die mit der konfokalen Laserscanning-Mikroskopie aufgenommenen Oberflächenprofile angewandt wurden. Sowohl die qualitativen als auch quantitativen Untersuchungen haben sich in der Praxis bewährt und bestätigen die hochpräzise Replikationsfähigkeit der Epoxy-PDMS-Technik.

Für die kontaktmechanischen Analysen wurde ein hochauflösender Nanoindenter (Last- oder Auslenkungskontrolle) mit einer einzigartigen Funktion ausgestattet, die eine *in-situ* Aufzeichnung der realen Kontaktflächen ermöglicht. Haftkraftmessungen (Abzugsversuche) auf Basis der JKR (Johnson, Kendall und Roberts) Kontaktmechanik wurden für einen niedrigen Kraftbereich an Replikaten biologischer Proben durchgeführt, nachdem Kontakt zum Modellhaftsystem hergestellt worden war. In weiteren Untersuchungen wurde der Einfluss der Vorspannung auf die Eigenschaften der Haftkraft quantitativ nachvollzogen und bewertet. Eine signifikante Verbesserung der Haftkraft mit zunehmender Vorspannung wurde bei *Hevea*- (feine Mikrostrukturierung) und *Litchi*-Replikaten (komplexe, hierarchische Morphologie) beobachtet, wohingegen auf den übrigen Oberflächen, glattes PDMS und *Ludisia*-Replikate (grobe konische Formmuster), kein spezifischer Einfluss festgestellt werden konnte. Im Gesamtvergleich zeigten alle vier Oberflächen signifikante Unterschiede in ihren Haftkräften, die den jeweiligen Oberflächenprofilen zugeordnet werden konnten. Darüber hinaus zeigten die Ergebnisse der Echtzeit-Synchronisation des realen (*in-situ*) Kontaktbildes mit den korrespondierenden Kraftwerten eindeutige Anhaftungs- und Ablösungsmodi auf, die auf unterschiedlichen Vorspannungsbedingungen und Oberflächentopographien basierten.

In einer weiterführenden Studie wurde der Reibungsmechanismus auf allen vier Substraten, die in der vorangegangenen Studie zur Adhäsionsmechanik verwendet worden waren, untersucht. Mit demselben Nanoindenter, der bereits in der vorherigen Studie verwendet worden war, wurden unidirektionale Reibungstests in der Gleitkonfiguration durchgeführt, um den Einfluss der Normallast und der Gleitgeschwindigkeit auf die Reibungseigenschaften zu untersuchen. Alle Oberflächen zeigten eine Abnahme des Reibungskoeffizienten mit zunehmender Normallast, wobei die tatsächliche Abnahme von Oberfläche zu Oberfläche verschieden war. Die Auswertung des synchronen *in-situ* Videomaterials zeigte verschiedenartige Entwicklungen der realen Kontaktfläche und der Gleitdynamik unter Scherung, die sich aus oberflächenspezifischen Topographien ergaben. Auf allen Oberflächen konnte eine eindeutige, schrittweise Abhängigkeit zwischen der Gleitgeschwindigkeit und dem Reibungsverhalten festgestellt werden, die auf das ratenabhängige viskoelastische Verhalten von PDMS zurückzuführen ist. Dementsprechend wurde das Reibungsverhalten mit dem PDMS-Verlustfaktor des gleichen Frequenzbereichs korreliert und analysiert. Ein Gesamtvergleich zeigte, dass *Ludisia*- und *Litchi*-Replikate deutlich niedrigere Reibungskoeffizienten im Vergleich zu denen des glatten PDMS und der *Hevea*-Replikate besitzen.

Die in dieser Arbeit erzielte Weiterentwicklung der Replikationstechnik kann eine effektive Alternative für zukünftige Bio-Replikationsstudien darstellen. Darüber hinaus können die Erkenntnisse und Konzepte aus dieser Studie ein wertvolles Hilfsmittel bei der Gestaltung bioinspirierter, funktionalisierter Oberflächen, sowie bei der präzisen Einstellung der Adhäsions- und Reibungseigenschaften zahlreicher „intelligenter“ Oberflächenanwendungen sein.