

Bio-inspiriertes Fußdesign für einen magnetischen Kletterroboter

Proposal zur Bachelor-Thesis im Internationalen Studiengang Bionik, B.Sc.

Erstgutachterin: Prof. Dr. Susanna Labisch
Zweitgutachter: Prof. Dr. Frank Kirchner
Betreuer: Felix Grimminger
Zeitraum: 21. März bis 22. Mai 2011
(bei Verlängerung bis 05. Juni 2011)

Der Magnet-Crawler (Abbildung 1) aus dem MINOAS-Projekt am DFKI, Bremen ist ein sehr kleiner und robuster Magnet-Kletterroboter, der später zur Inspektion von Schiffsrümpfen genutzt werden soll. Das ursprüngliche Raddesign sah sogenannte Sternräder (Bein-Rad-Hybride, Abbildung 2A) vor. Diese haben im Vergleich zu normalen Radfelgen den essentiellen Vorteil, dass sie Hindernisse einer gewissen Größe (ca. 0,5*Raddurchmesser) und auch 90°-Kanten nahezu problemlos überwinden können, weshalb ein solches Raddesign momentan von vielen terrestrischen Robotern genutzt wird (Eich et al, 2008; Koditschek et al, 2004; Morrey et al., 2003). Beim Klettern in Stahlwänden mit magnetischen Füßen konnte dieses Raddesign jedoch nicht überzeugen, da bei jedem Ablösen eines einzelnen Fußes von der Wand ein sehr großes Moment auf den Roboter übertragen wurde. Dies führte regelmäßig zum Absturz des Roboters. Daher wurde das Sternrad-Design im Rahmen der weiteren Arbeit zunächst verworfen und nach einigen Weiterentwicklungen (Abbildung 2B-D) mit Hilfe von regulären runden Rädern ein - an glatten Wänden - sehr agiles System aufgebaut. Der Roboter hat jedoch ohne die Sternräder große Probleme schon mit kleinen Unebenheiten (> 5mm) und dem Überwinden von Ecken, weshalb eine Rückkehr zum ursprünglichen Raddesign für diese Aufgaben erstrebenswert wäre. Hierzu bedarf es jedoch eines neuartigen Fußdesigns, welches die Magnetkraft kontinuierlich und sanft von der Stahlwand löst.



Abbildung 1: Der MINOAS Magnet-Crawler

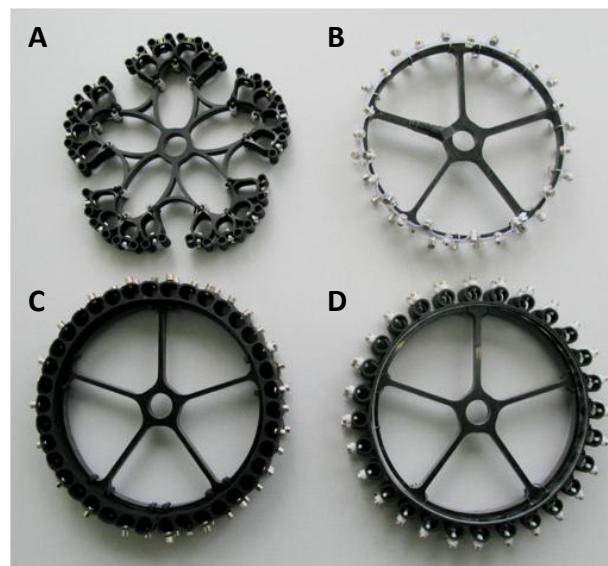


Abbildung 2: Die Weiterentwicklung des Raddesigns in chronologischer Reihenfolge von A-D

An dieser Stelle lohnt sich ein Blick in die Natur. Gerade die Füße von mittels Haftung kletternden Tieren, wie z.B. Geckos oder Baumfröschen, erzeugen sehr große Haftkräfte an der Wand, die in ihrer Gesamtheit ein Vielfaches des Körpergewichts der Tiere halten können (Abbildung 3 A-D). Daher haben sich bei diesen Organismen evolutiv Mechanismen entwickelt, mit denen sie diese enormen Kräfte wieder von der Wand lösen können. Bei dem Peel-Off-Vorgang werden die Haftorgane kontinuierlich von der Wand gelöst und so die Kräfte, die zur Lösung benötigt werden minimiert (Abbildung 3 E). Die Haftorgane und die mit ihnen verbundenen Mechanismen sind momentan der Gegenstand vieler biologischer wie auch robotischer Forschungsarbeiten (siehe z.B. Autumn et al., 2006; Barnes et al., 2007; Huber et al., 2007; bzw. Menon und Sitti, 2006).

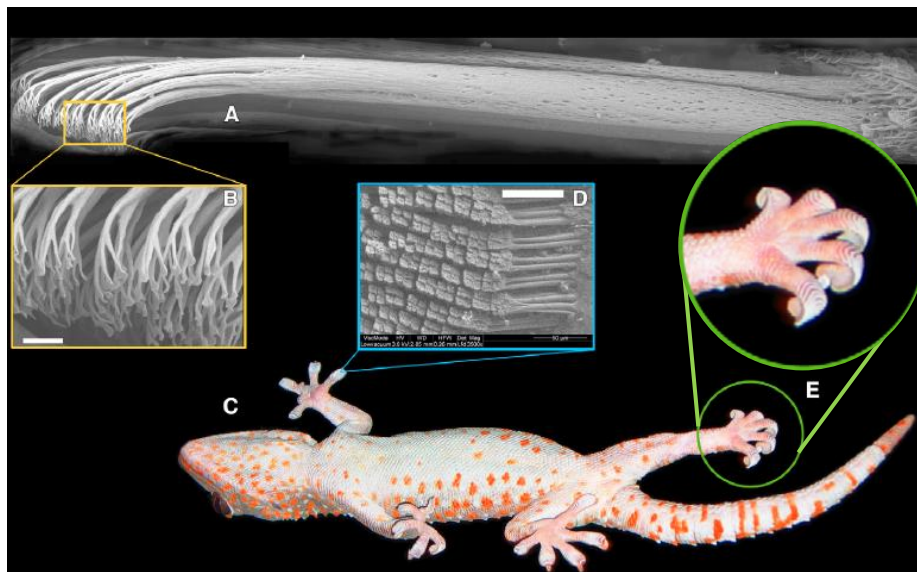


Abbildung 3: Hierarchisch aufgebaute Haftstrukturen beim Tokay-Gecko (C). A, B und D: Vergrößerte Darstellungen der Setae und Spatulae, die durch molekulare Interaktion (van der Waals-Kräfte) die Haftung erzeugen. E: Peel-Off durch Hyperextension der einzelnen Zehen als Ablösevorgang für die Haftorgane. (verändert nach Autumn, et al. 2006)

Ziel dieser Arbeit soll es sein, ein rein technisches Fußkonzept und ein biologisch inspiriertes Fußkonzept zu entwerfen und Prototypen für beide Konzepte herzustellen. Für das bionische Konzept sollen hierzu zunächst die natürlichen Ablösemechanismen untersucht und deren Funktionsweise abstrahiert werden um so im Sinne einer Top-Down-Bionik ein adäquates Konzept zu entwickeln. Möglichkeiten für einen biologisch inspirierten passiven Peel-Off-Mechanismus zeigen z.B. Berengueres et al. (2007) (Abbildung 4). Das technische Konzept soll dagegen mit einer rein ingenieurwissenschaftlichen Methodik (Brainstorming, Morphologischer Kasten, etc.) entstehen. Beide Konzepte sollen dann am Roboter getestet und anhand der für das System gestellten Anforderungen (geringes Gewicht, passiver Mechanismus, einfaches Ablösen der Magnete, robustes Klettern, ggf. Geschwindigkeit/Effizienz) bewertet und verglichen werden.

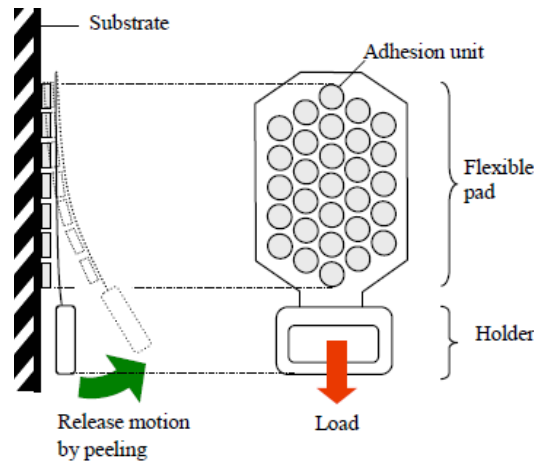


Abbildung 4: Vorschlag für einen bio-inspirierten Peeling-Mechanismus als magnetische Kletterhilfe für Menschen (Berengueres et al., 2007)

Quellen:

Autumn, K., Dittmore, A., Santos, D., Spenko, M. and Cutkosky, M. (2006): Frictional adhesion: a new angle on gecko attachment, *Journal of Experimental Biology* 209(18), 3569-3579.

Barnes, J.; Smith, J.; Platter, J. (2007): Climbing and adhesion in tree frogs, *Comparative Biochemistry and Physiology - Part A: Molecular & Integrative Physiology*, Volume 146, Issue 4, Supplement 1, Abstracts of the Annual Main Meeting of the Society for Experimental Biology, Glasgow, Scotland, S. S144-S145

Berengueres, J., Tadakuma, K., Kamoi, T. and Kratz, R. (2007): Compliant distributed magnetic adhesion device for wall climbing, in *Proc. IEEE Int Robotics and Automation Conf*, 1256-1261.

Eich, M.; Grimminger, F.; Kirchner, F. (2008): Adaptive Stair-climbing Behaviour with a Hybrid Legged-Wheeled Robot, In *Advances in Mobile Robotics. 11th International Conference on Climbing and Walking Robots and the Support Technologies for Mobile Machines, (CLAWAR-2008)*, Coimbra, L. Marques, A.de Almeida, M.O. Tokhi, G.S. Virk (eds.), World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 768-775

Huber, G.; Gorb, S. N.; Hosoda, N.; Spolenak, R.; Arzt, E. (2007): Influence of surface roughness on gecko adhesion, *Acta Biomaterialia*, Volume 3, Issue 4, 607-610

Koditschek, D.E.; Full, R. J.; Buehler, M. (2004): Mechanical aspects of legged locomotion control, *Arthropod Structure & Development*, Volume 33, Issue 3, *Arthropod Locomotion Systems: from Biological Materials and Systems to Robotics*

Menon, C. und Sitti, M. (2006): A Biomimetic Climbing Robot Based on the Gecko, *Journal of Bionic Engineering*, Volume 3, Issue 3, 115-125

Morrey, J. M.; Lambrecht, B.; Horchler, A. D.; Ritzmann, R. E.; Quinn, R. D. (2003): Highly Mobile and Robust Small Quadruped Robots, *Proceedings of the 2003 Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems*, Las Vegas, Nevada