



OSTBAYERISCHE  
TECHNISCHE HOCHSCHULE  
REGENSBURG



# MASTERARBEIT

Tamara Szecsey

## **Intelligentes Schuhwerk für den humanoiden Nao Roboter basierend auf Magneto- und Elektrostiction zur Verbesserung der Bodenhaftung**

Fakultät:	Elektro- und Informationstechnik
Studiengang:	Master Electrical- and Microsystem Engineering
Abgabefrist:	31. Januar 2021
Betreuung:	Prof. Dr. Gareth Monkman
Zweitbegutachtung:	Dr. Dirk Sindersberger

## Erklärung

1. Mir ist bekannt, dass dieses Exemplar der Masterarbeit als Prüfungsleistung in das Eigentum der Ostbayerischen Technischen Hochschule Regensburg übergeht.
2. Ich erkläre hiermit, dass ich diese Masterarbeit selbstständig verfasst, noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

---

Ort, Datum und Unterschrift

Vorgelegt durch:	Tamara Szecsey
Matrikelnummer:	3140789
Studiengang:	Master Electrical- and Microsystem Engineering
Bearbeitungszeitraum:	1. Juni 2020 – 31. Januar 2021
Betreuung:	Prof. Dr. Gareth Monkman
Zweitbegutachtung:	Dr. Dirk Sindensberger

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Theoretischer Hintergrund</b>	<b>2</b>
2.1	Aufbau des NAO . . . . .	2
2.2	Magneto-aktive Polymere . . . . .	5
2.2.1	Begriffserklärung und Eigenschaften . . . . .	5
2.2.2	Anwendungsbereiche . . . . .	5
<b>3</b>	<b>Versuchsaufbau</b>	<b>6</b>
3.1	Schuhkonstruktion . . . . .	6
3.2	Herstellung des MAP . . . . .	6
3.3	Laufstegkonstruktion . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Auswertung und Interpretation</b>	<b>8</b>

# 1 Einleitung

Kapitel 2.2 erklärt die Definition und Eigenschaften von Magneto-aktiven Polymeren (MAP), welche als Sohle für den Nao Roboter eingesetzt wurden. Diese Erklärungen basieren auf einem Buch von Pelteret und Steinmann [1], welches ich für tiefergehende Lektüren empfehle.

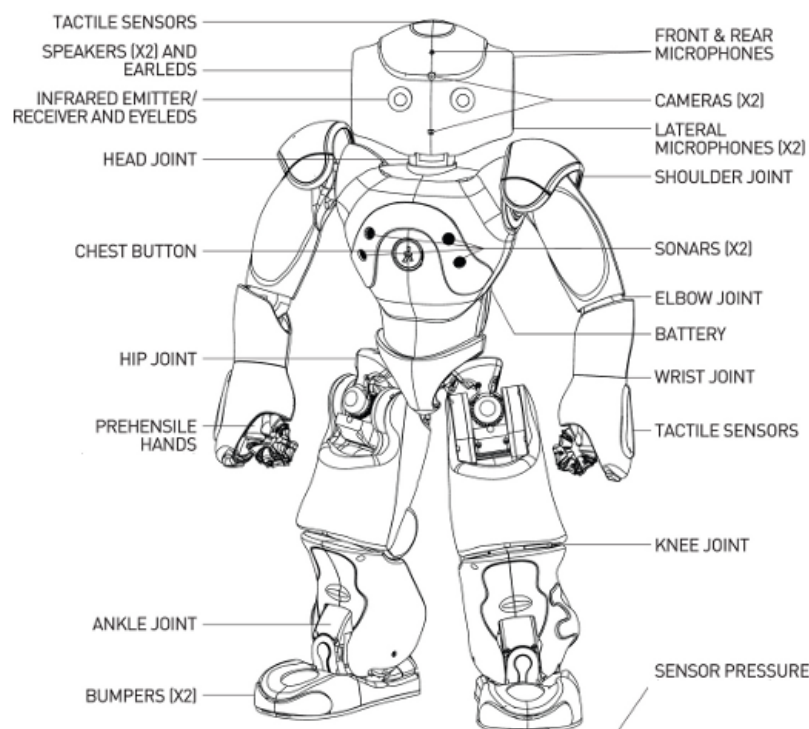
## 2 Theoretischer Hintergrund

### 2.1 Aufbau des NAO

NAO ist ein 574 mm großer, humanoider Roboter (siehe Abb. 1) ursprünglich entwickelt von dem französischen Unternehmen Aldebaran Robotics, welche 2015 von Softbank Group aufgekauft [4] und in Softbank Robotics umbenannt wurde. Während NAO's große Schwester Pepper mit ihren 1,20 m mit einem Tablet und Rollen statt Beinen ausgestattet ist [5], gibt es NAO in verschiedenen Ausführungen, unter anderem nur ab der Hüfte aufwärts oder mit Beinen. Es handelt sich hier um Roboter, die unter anderem Kinder und Jugendlichen die Robotik näher bringen sollen und der Vorführung von Mensch-Roboter Interaktionen dienen. NAO bietet außerdem die Gelegenheit zweibeinige Robotersysteme zu studieren und ist bereits in psychologischen Studien verwendet worden (cite).



**Abb. 1.** NAO V6 [3]



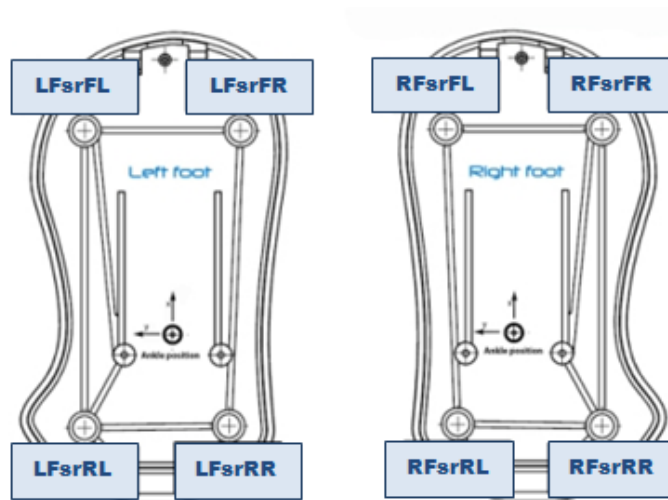
**Abb. 2.** Sensorenüberblick des NAO-H25 Version 6 [2, in /H25]

Das hier verwendete Modell ist NAO-H25 Version 6, dessen Sensoren in Abb. 2 zu sehen sind. Im Unterschied zu anderen Ausführungen besitzt NAO-H25 Drucksensoren an Händen und Fußsohlen. Er gehört zu den kommerziellen Robotern deren Gelenke positionsbasierenden sind [6], hat 25 Freiheitsgrade und wiegt 5,4 kg. Über die an der Brust angebrachten Sonar Sensoren, die Kameras oberhalb und unterhalb der Augen LEDs, die Vorder- und Rückseitigen Mikrofone, den Stoßfängern an den Füßen sowie den Kontaktsensoren an Händen und Kopf kann der NAO mit seiner Umwelt vielseitig interagieren. Jedes Gelenk ist mit Sensoren für die Winkelmessung, den Stromverbrauch und Temperaturmessung ausgerüstet und in seiner Brust befindet sich außerdem ein Gyroskop. Auf die in dieser Arbeit verwendeten Messausgaben wird im Folgenden genauer eingegangen.

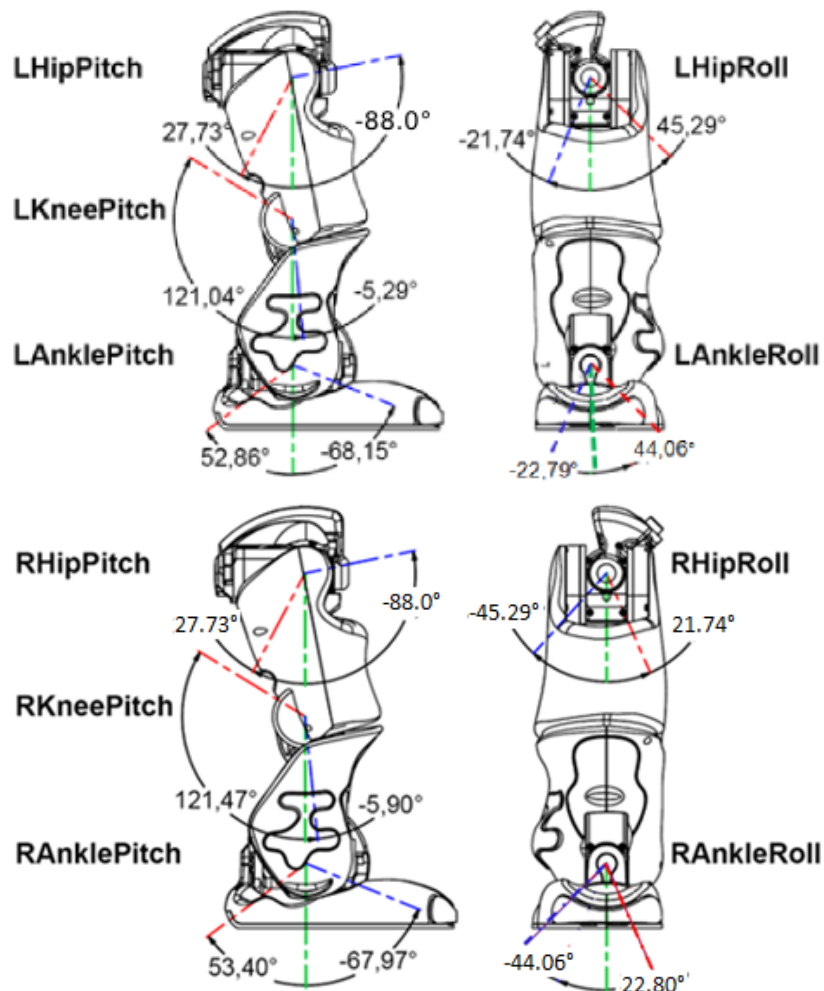
### **2.1.1 Druckempfindlicher Widerstand**

### **2.1.2 Aktoren und Sensoren der Beinen**

### **2.1.3 Gyroskop**



**Abb. 3.** Sensoren am Fuß.



**Abb. 4.** Das obere Bild zeigt Vorder- und Seitenansicht der Positionen und möglichen Winkel des linken Beins. Die untere Abbildung veranschaulicht dieselben Parameter für das rechte Bein. [3, in /kinematics-data/joints]

## 2.2 Magneto-aktive Polymere

### 2.2.1 Begriffserklärung und Eigenschaften

Der Begriff magneto-aktive Polymere (MAP) schließt eine Gruppe von intelligenten, auf Felder ansprechende Materialien ein, welche typischerweise Kombinationen aus einer weichen, polymetrischen Grundlage und magnetisch aktiven Partikeln sind. Diese Partikel werden während dem Vernetzungsprozess des Polymers in dieses eingebettet.

Die wesentlichen Verhaltensweisen, die MAP in der heutigen Zeit attraktiv für seine Verwendung gemacht hat, wurde bereits in den 80er Jahren von Rigbi und Jilken [7] sowie Rigbi und Mark [8] beschrieben. Ein Jahrzehnt später wurde eine genauere Analyse zum ersten Mal von Ginder und Jolly et al. [9] veröffentlicht. Diese kombinierten, aus mehreren Komponenten bestehenden Materialien stechen durch zwei Schlüsseleigenschaften heraus. Zum einen ist es das magnetostriktive Verhalten, bei dem es sich um das Phänomen der Verformung eines Materials handelt, welches durch ein Magnetfeld hervorgerufen wird. [10] Zum anderen sind es die leicht veränderbaren Materialeigenschaften wie Elastizität und Dämpfungsfaktor, welche hauptsächlich mit der Mikrostruktur des Grundlagematerials zusammenhängt. [11] [12]

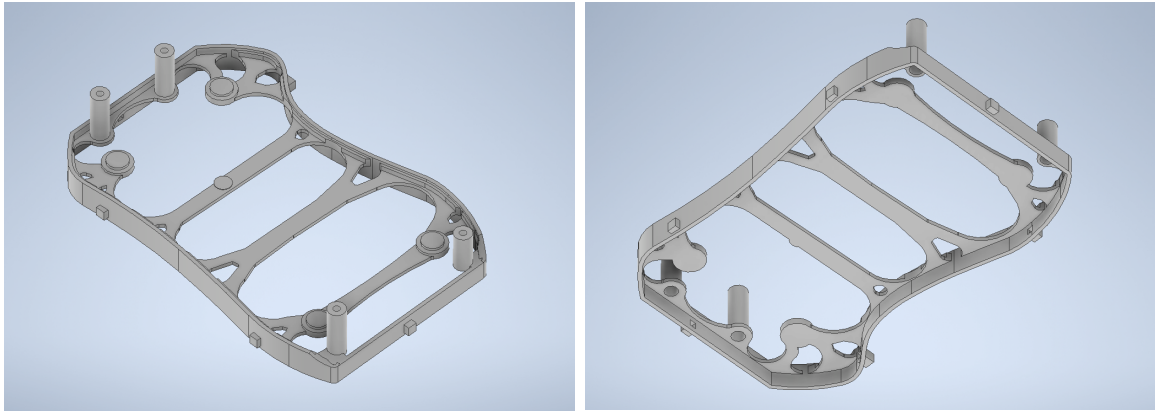
Außerdem ist entscheidend, wie die magnetischen Partikel in das Polymer eingebettet werden. Je nachdem ob während des Vernetzungsprozesses ein Magnetfeld wirkt, können sich die Partikel kettenförmig ausrichten und dadurch dem MAP eine anisotropisches Verhalten zuführen. Isotropisches MAP hingegen enthält keine gerichteten Partikel. Diese verschiedenen Ausrichtungsarten können sowohl die Steifigkeit verändern als auch bestimmen, ob das MAP in einem Magnetfeld ausgedehnt oder zusammengedrückt wird.

### 2.2.2 Anwendungsbereiche

Weiche, mit einem Feld manipulierbare, Polymere haben diverse Anwendungsbereiche in akademischen und industriellen Bereichen. Angefangen von anpassungsfähiger Vibrationsabsorption in der Luftfahrt und Automobilindustrie durch das Einsetzen durch Scherung (cite 175,114) Windung(202) und Kompression bzw. Elongation(246) und vibrationsisolatoren (cite 174) sowie Sensoren (174,334), Ventile und Aktoren (55,254) und anpassungsfähige Sandwichartige Strukturen (575,576,560) bis hin zur Anwendung in der Bionik wie zum Beispiel durch Mikro- und Nanoroboter und Schwimmroboter (438,561.329.219), Schlauchradpumpen (152) und Erschütterungsisolatoren (308).

Desweiteren wird die Verhärtung bei Anlegen eines Magnetfeldes für Greifer genutzt (cite suchen), ebenso wird der 3D Druck von magneto-aktiven Polymeren (cite von uns) wird bereits erforscht.





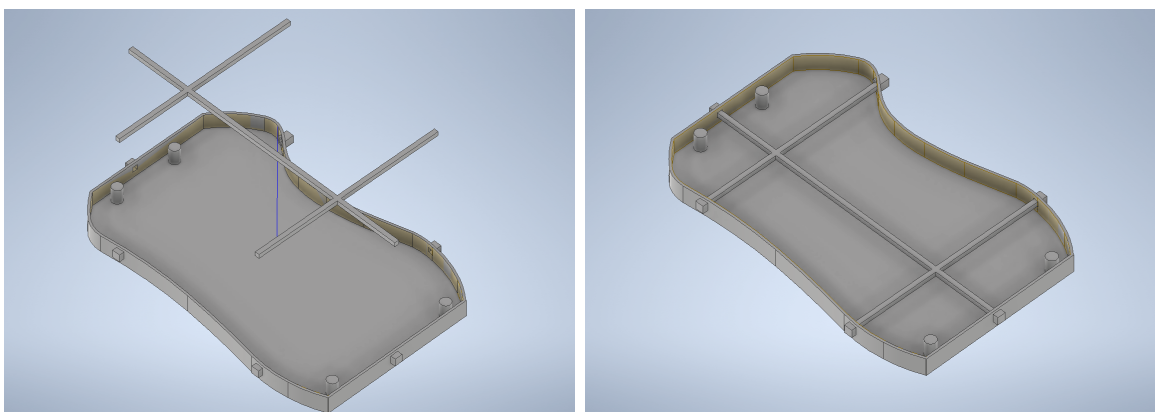
**Abb. 5**

### 3 Versuchsaufbau

#### 3.1 Schuhkonstruktion

#### 3.2 Herstellung des MAP

Das verwendete Polymer als Grundlage für das MAP ist ein additiv vernetzendes Silikon von (Firma und cite einbinden). Während dem Mischverfahren ist es flüssig und muss deshalb in eine Form gegeben werden. Silikon selbst lässt sich nur sehr schlecht durch etwaige Klebstoffe nach der Vernetzung verkleben. Deshalb wird hier wie in Abb. 6 zu sehen ist, eine 2 mm dicke Stangenkonstruktion eingehängt, welche bis auf die 6 Enden mit MAP umschlossen wird. Diese, aus PLA gedruckte Konstruktion ist flexibel und kann deshalb durch Verbiegen in die Verankerungen gedrückt werden. Nach der vollständigen Vernetzung kann die Sohle aus der Form entnommen und in den Schuh aus dem vorherigen Kapitel eingesetzt werden.



**Abb. 6.** Gussform der MAP Sohlen. Links ist die Innenhalterung herausgenommen, rechts ist sie eingespannt in den sechs Eckhalterungen.

Die vier Zylinder dienen einem Platzhalter um die sechs Ecken in der Halterung des Schuhs für einen besseren Halt festzukleben und dann durch die Löcher des MAPs die Schrauben lockern zu können.

### 3.3 Laufstegkonstruktion

Der NAO Roboter ist für den Einsatz auf geraden Bodenflächen im Innenbereich ausgelegt wobei er bei einem Bewegungsablauf ohne Anpassung an die Umwelt wie mit dem Befehl `moveTo()` durch Rutschen nicht immer die gleiche Strecke zurücklegt. Um wiederholbare Messreihen garantieren zu können ist eine Teststrecke von Nöten. Desweiteren sind verschiedene, flache Untergründe für eine Sohlenentwicklung interessant. Außerdem kann auf das MAP nur Einfluss genommen werden, wenn ein magnetisches Feld angelegt wird. Deshalb wurde ein Laufsteg mit einem Hohlraum angefertigt, um unter der Fläche, auf der NAO läuft, Magneten angebracht werden.

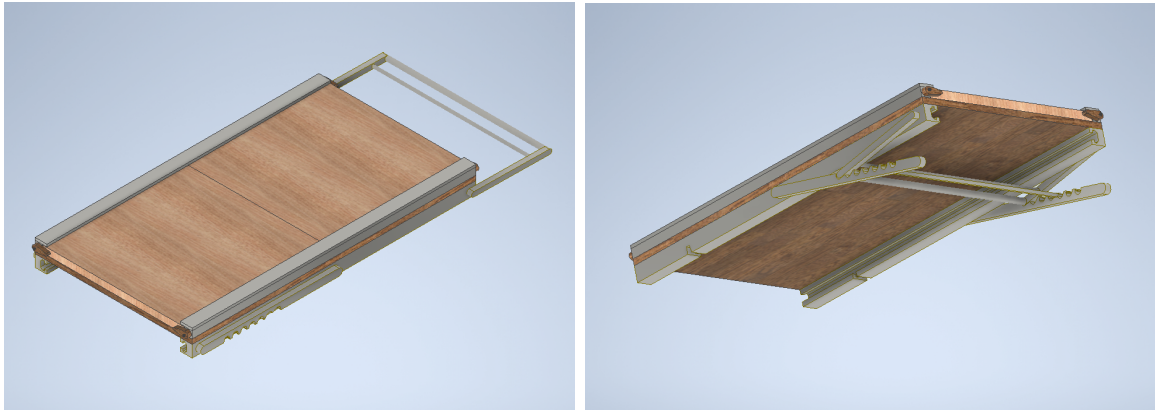
Der Laufsteg besteht aus einer  $120 \times 66,4$  cm großen Pressholzplatte, die auf der Oberseite mit einem Aluminiumkonstrukt erweitert ist, welches die Einschubplatten von beiden Längsseiten und nach oben hin abschließt, Abb. 7 links. Auf den kurzen Seiten verriegeln jeweils Zwei drehbare Keile den Einschub, sodass die Platten eingeschlossen werden, Abb. 8.



**Abb. 8.** Seitenansicht der Rampe mit einer Breite von 66,4 cm.

Auf der Unterseite sind an den Längsseiten zwei mit T-Nut versehene Aluminumstangen angebracht, sowie eine zweiteilige Stangenkonstruktion, die eine Winkelverstellung mit Raste erlaubt, zu sehen in Abb. 7 rechts. Die einstellbaren Winkel betragen ca.  $5^\circ$  bis  $17^\circ$ , oder es wird für  $0^\circ$  vollständig eingeklappt.

Man hat bereits NAO schräge Flächen gehen lassen wie in (cite). Dies erfordert einen komplett anderen Gang und hätte den Rahmen dieser Arbeit gesprengt. Die Neodymmagnete, die verwendet wurden, haben eine Haftkraft von ca. 16 kg, eine Maße von  $40 \times 40 \times 4$  mm [13] und wurden an die Unterseite der Rampe geschraubt. Die ersten Versuche ergaben schließlich, dass das MAP nur bei einem Abstand unter den Einlageplatten reagierte. Deshalb wurde in den hiesigen Messungen nur ohne Platten gemessen.



**Abb. 7.** Laufstegrampenkonstruktion mit zwei austauschbaren Platten und einer Winkelverstellung mit Raste. Links: Sicht von schräg oben mit eingeklappter Winkelverstellung. Rechts: Sicht von schräg unten mit niedrigster Winkeleinstellung.

## 4 Auswertung und Interpretation

## Literatur

- [1] Jean-Paul Pelteret und Paul Steinmann. *Magneto-Active Polymers - Fabrication, characterisation, modelling and simulation at the micro- and macro-scale*. De Gruyter, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1515/9783110418576>.
- [2] NAO (NAOqi-2.1) NAO - documentation. URL: <https://developer.softbankrobotics.com/nao-naoqi-2-1/nao-documentation/nao-technical-guide/> (besucht am 04.01.2021).
- [3] SoftBank Robotics. NAO - Documentation. URL: <https://developer.softbankrobotics.com/nao6/nao-documentation> (besucht am 21.12.2020).
- [4] URL: <https://spectrum.ieee.org/autaton/robotics/humanoids/aldebaran-robotics-founder-and-ceo-steps-down-softbank-appoints-new-leader> (besucht am 04.01.2021).
- [5] URL: <https://www.softbankrobotics.com/emea/en/pepper> (besucht am 04.01.2021).
- [6] P. Shahverdi, M. J. Ansari und M. T. Masouleh. "Balance Strategy for Human Imitation by a NAO Humanoid Robot". In: *2017 5th RSI International Conference on Robotics and Mechatronics (ICRoM)*. 2017, S. 138–143. DOI: [10.1109/ICRoM.2017.8466225](https://doi.org/10.1109/ICRoM.2017.8466225).
- [7] Z. Rigbi und L. Jilken. "The response of an elastomer filled with soft ferrite to mechanical and magnetic influences". In: *J. Magn. Magn. Mater* 37(3) (Juli 1983), 267–276. DOI: [10.1016/0304-8853\(83\)90055-0](https://doi.org/10.1016/0304-8853(83)90055-0).
- [8] Z. Rigbi und J. E. Mark. "Effects of a magnetic field applied during the curing of a polymer loaded with magnetic filler". In: *J. Polym. Sci., Polym. Phys. Ed.* 23(6) (Juni 1985), 1267–1269. DOI: [10.1002/pol.1985.180230618](https://doi.org/10.1002/pol.1985.180230618).
- [9] J. M. Ginder. "Encyclopedia of Applied Physics". In: Bd. 16. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co KGaA, New York, New York, 1996. Kap. Rheology controlled by magnetic fields, 487–503. DOI: [10.1002/3527600434.eap402](https://doi.org/10.1002/3527600434.eap402).
- [10] D. Read J. E. Martin R. A. Anderson und G. Gulley. "Magnetostriction of field-structured magnetoelastomers". In: *Phys. Rev. E* 74(5).051507 (Nov. 2006). DOI: [10.1103/physreve.74.051507](https://doi.org/10.1103/physreve.74.051507).
- [11] G. Filipcsei Z. Varga und M. Zrínyi. "Smart composites with controlled anisotropy". In: *Polymer* 46(18) (Aug. 2005), 7779–7787. DOI: [10.1016/j.polymer.2005.03.10](https://doi.org/10.1016/j.polymer.2005.03.10).
- [12] G. Filipcsei Z. Varga und M. Zrínyi. "Magnetic field sensitive functional elastomers with tuneable elastic modulus". In: *Polymer* 47(1) (Jan. 2006), 227–233. DOI: [10.1016/j.polymer.2005.10.139](https://doi.org/10.1016/j.polymer.2005.10.139).
- [13] URL: [https://www.supermagnete.de/magnete-zum-anschrauben/quadermagnet-40-x-40-x-4mm\\_CS-Q-40-40-04-N](https://www.supermagnete.de/magnete-zum-anschrauben/quadermagnet-40-x-40-x-4mm_CS-Q-40-40-04-N) (besucht am 06.01.2021).