



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 Sindesberger

## 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

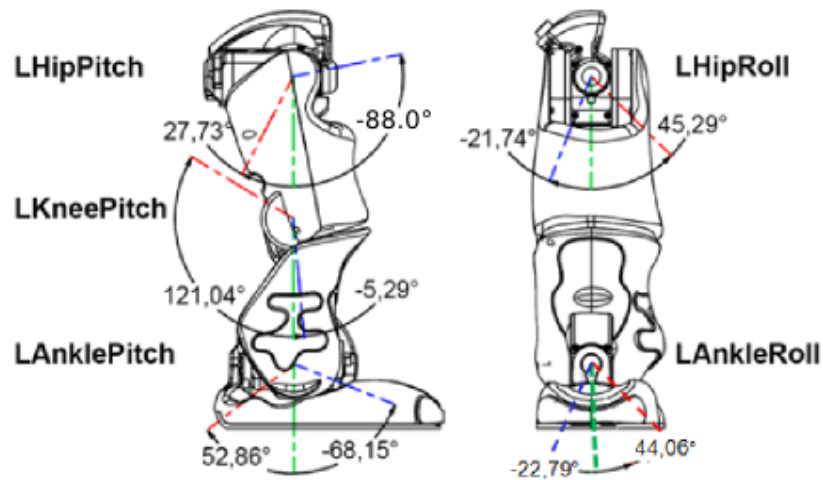
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Theoretischer Hintergrund</b>	<b>2</b>
2.1	Aufbau des Nao . . . . .	2
2.2	Magneto-aktive Polymere . . . . .	2
2.2.1	Begriffserklärung und Eigenschaften . . . . .	2
2.2.2	Anwendungsbereiche . . . . .	4
2.3	Verwendete Software . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Versuchsaufbau</b>	<b>5</b>
3.0.1	Herstellung des MAP für diese Arbeit . . . . .	5
3.0.2	Genaueres zum Einsatz an dem Nao Roboter . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Auswertung und Interpretation</b>	<b>6</b>
4.1	Messungen von AnkleRoll zum Test . . . . .	6

# 1 Einleitung

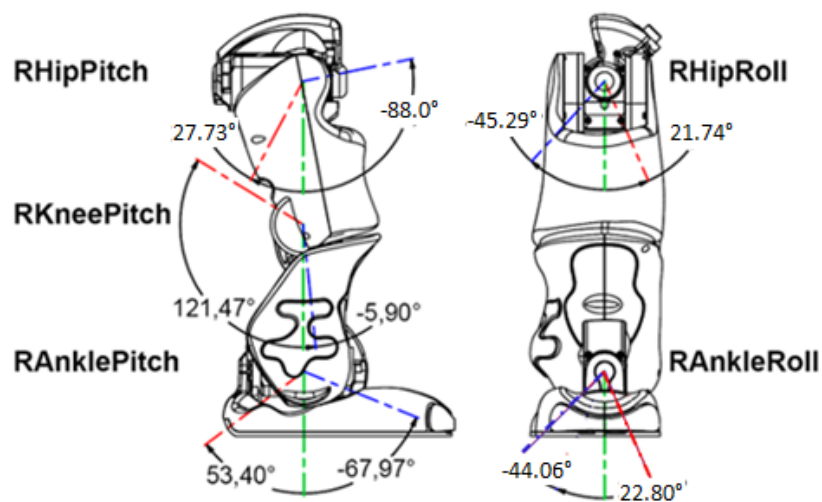
Kapitel 2.2 erklärt die Definition und Eigenschaften von Magneto-aktiven Polymeren (MAP), welche als Sohle für den Nao Roboter eingesetzt wurden. Diese Erklärungen basieren auf einem Buch von Pelteret und Steinmann [1], welches ich für tiefergehende Lektüren empfehle.

## 2 Theoretischer Hintergrund

### 2.1 Aufbau des Nao



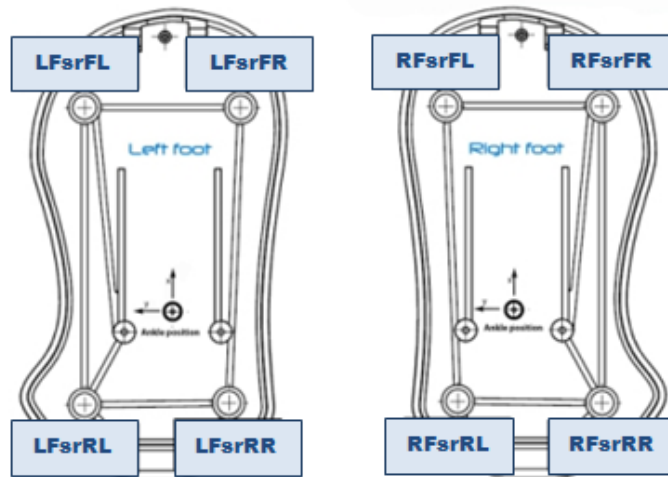
**Abb. 2.** Position und mögliche Winkel der Aktoren des linken Beins. [2, in /kinematics-data/joints]



**Abb. 3.** Position und mögliche Winkel der Aktoren des rechten Beins. [2, in /kinematics-data/joints]

### 2.2 Magneto-aktive Polymere

#### 2.2.1 Begriffserklärung und Eigenschaften



**Abb. 4.** Sensoren am Fuß.

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 [3] sowie Rigbi und Mark [4] beschrieben. Ein Jahrzehnt später wurde eine genauere Analyse zum ersten Mal von Ginder und Jolly et al. [5] veröffentlicht. Diese kombinierten, aus mehreren Komponenten bestehenden Materialien stechen durch zwei Schlüsseigenschaften 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. [6] Zum anderen sind es die leicht veränderbaren Materialeigenschaften wie Elastizität und Dämpfungsfaktor, welche hauptsächlich mit der Mikrostruktur des Grundlagenmaterials zusammenhängt. [7] [8]

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 anisotropische Verhalten zuführen. Isotropisches MAP hingegen enthält keine gerichteten Partikel. Diese verschie-



**Abb. 1.** Nao

denen 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.

## **2.3 Verwendete Software**

## **3 Versuchsaufbau**

**3.0.1 Herstellung des MAP für diese Arbeit**

**3.0.2 Genauerer zum Einsatz an dem Nao Roboter**



## 4 Auswertung und Interpretation

### 4.1 Messungen von AnkleRoll zum Test

Die Messungen von LAnkleRoll und RAnkleRoll, zu sehen in Abb. 2 und 3 wurden 20 mal wiederholt und mit den normalen Schuhen von Nao vollzogen. Dabei legte er in etwa eine Strecke von 0,8 m auf der Rampe im flachen Zustand zurück. Insgesamt wurden alle verfügbaren Messwerte von AnkleRoll aufgezeichnet, das sind pro Aktor 6 Messwerte. Temperatur, Stiffness und Temperatur Status erwiesen sich als Konstant und daher nicht entscheidend, um einen Unterschied der Bodenbeschaffenheit oder Sohlen erkennen zu können. Stiffness ist immer auf 100% während dem Gang. Der Befehl für diesen Lauf war der moveTo() Befehl, welcher nicht weiter verändert wurde (kommt in den Theorieteil).

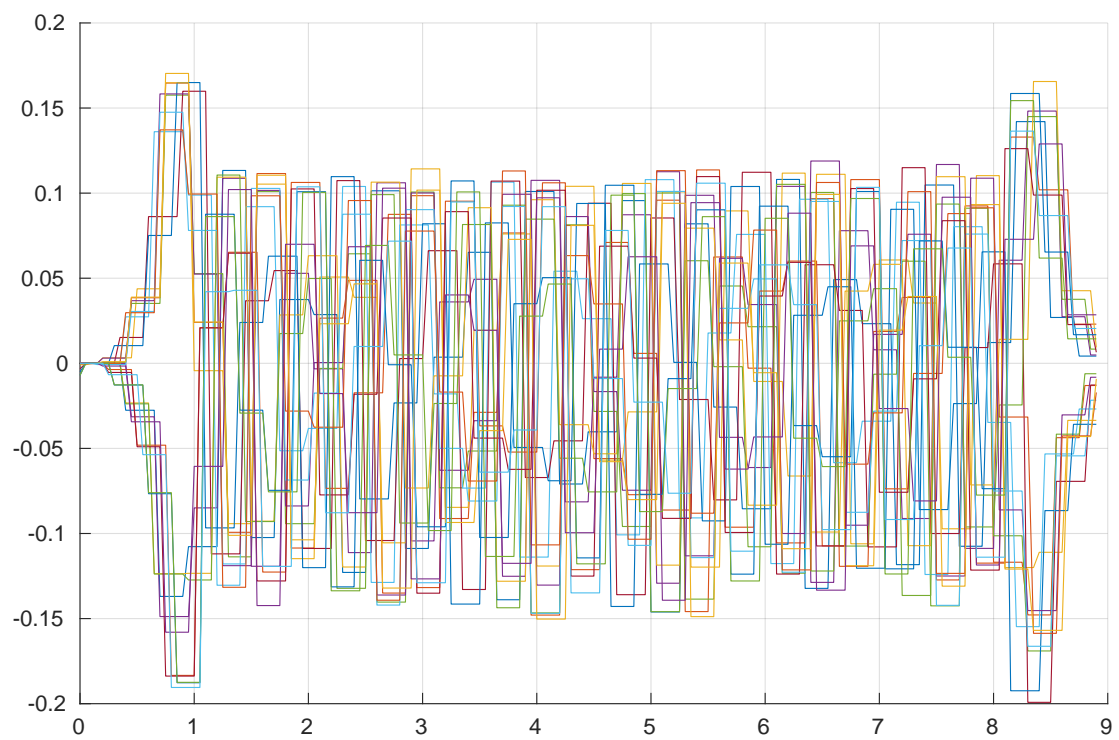
In Abb. 5 und 6 sind die Messdaten von jeweils einem Fuß des Messwertes Position/Actuator abgebildet. Hier ist zu sehen, dass die Anfangswerte sich aufspalten, in positive und einmal in negative Winkelangaben. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass die Funktion moveTo() per Zufall Nao mit dem linken oder mit dem rechten Fuß beginnen lässt.

Dies wurde für Abb. 7 und 8 sortiert. In ersterer Abbildung beginnt Nao mit dem linken Fuß. Da die Hüfte sich für den ersten Schritt nach rechts bewegen muss, verschiebt sich die Position beider Gelenke in die Negativrichtung, der Winkel wird absolut gemessen, wie in Abb 2 und 3 zu sehen ist.

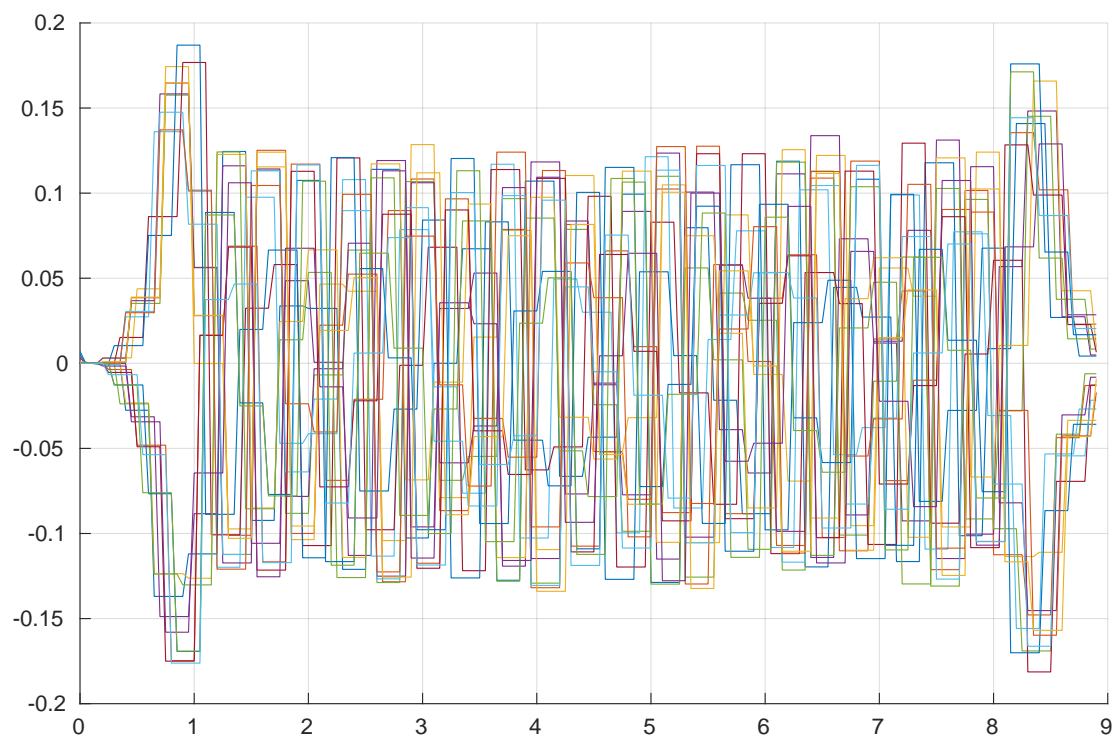
Außerdem sind in Abb. 7 und 8 neben den Messwerten von Position Actuator in schwarz auch die von Position Sensor in blau gezeigt. **Was diese beiden Messwerte genau unterscheidet und ob einer von moveTo() vorgegeben wird, ist noch zu entscheiden.** Der bedeutendste Unterschied ist zu Beginn der Aufnahmen. Die Position/Actuator Messung beginnt nahe 0, während Position/Sensor für den jeweiligen Fuß bei einem Wert über Null oder unter Null anfängt.

Es ist eindeutig zu erkennen, dass die Messungen erst nach der Sortierung des Anfangsschrittes ein regelmäßiges Bild ergeben.

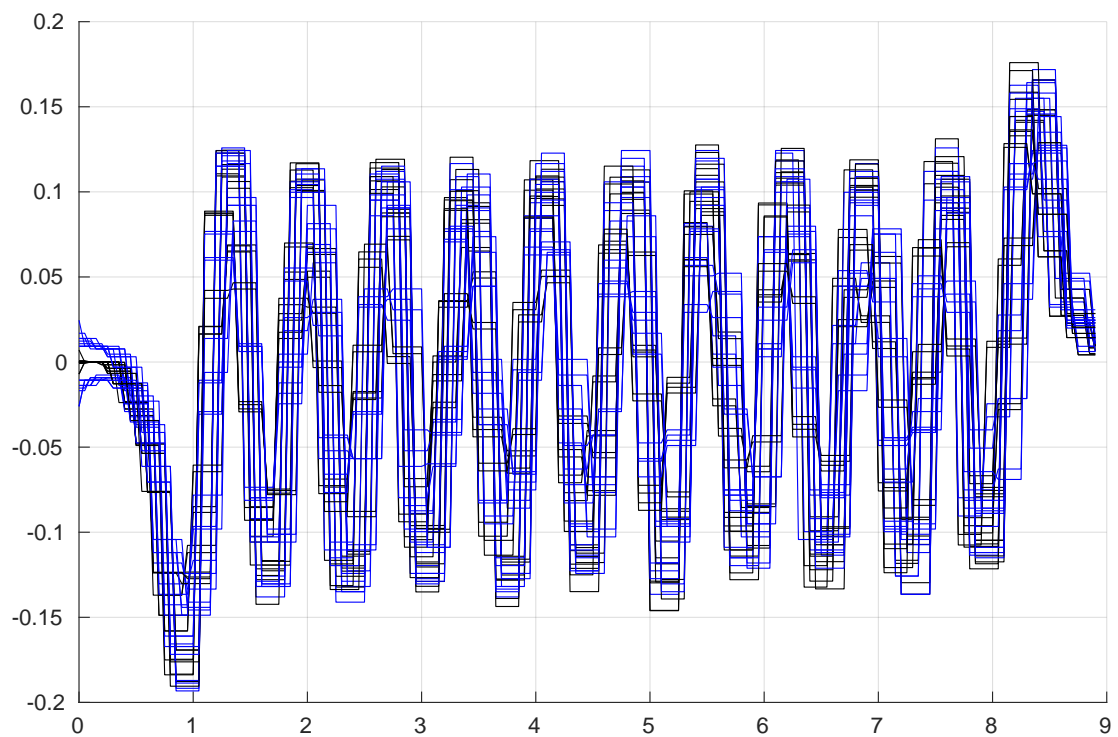
Der Strom, welcher die Gelenke einsetzen müssen um das gewollte Ergebnis zu erzielen, scheint eine mögliche, vergleichbare Aufnahmegröße für unterschiedliche Sohlen und Umgebungen des Nao zu sein. In Abb. 9 und 8 ist der Messwert Current aufgeteilt in Anfangsschritte gezeigt. Hier ist der Unterschied, mit welchem Fuß der erste Schritt gemacht wird, nicht so gravierend, wie bei den vorherigen Messwerten. Allerdings zeichnet sich eine Tendenz ab, dass der linke Fuß, hier in schwarz, einen höheren Strom beansprucht, als der rechte Fuß. Dies könnte dem beobachteten Fehlgang des Naos und dem zusätzlichen Geräusch bei jedem zweiten Schritt geschuldet sein. Bei normaler Einstellung und ohne Korrektur würde dieser Nao einen Bogen nach rechts laufen. Um dies auszugleichen wurden bei moveTo() Anpassungen hinzugefügt.



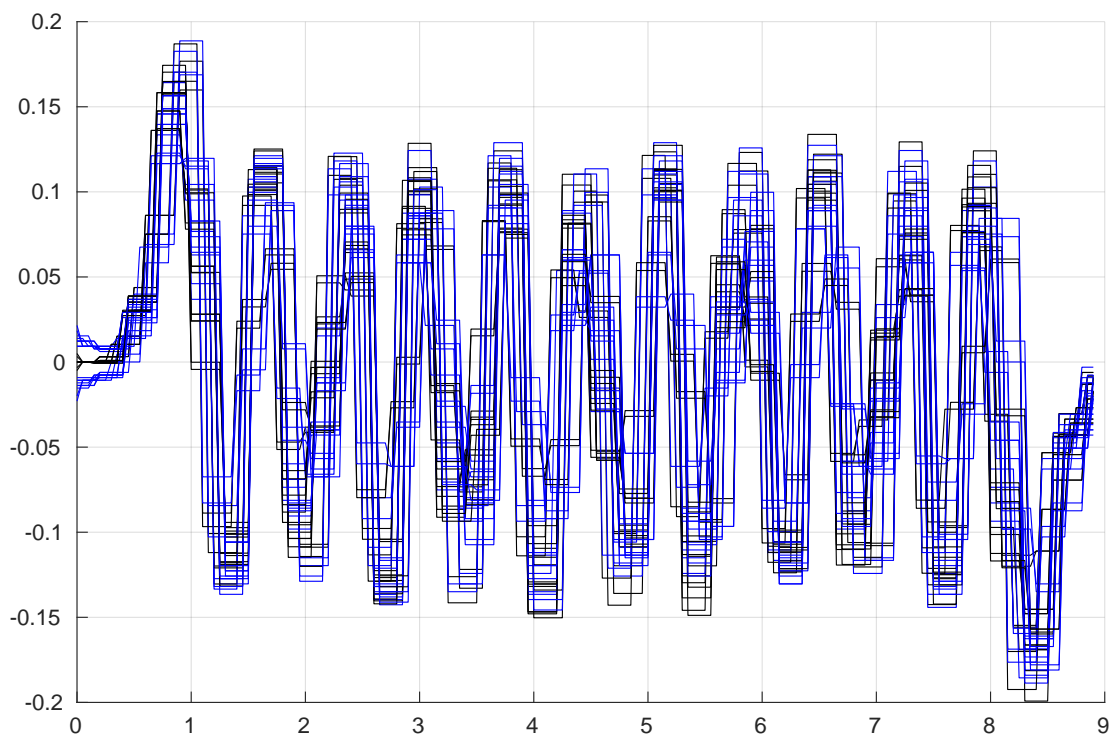
**Abb. 5.** AnkleRoll Messwert Position Actuator des linken Fußes



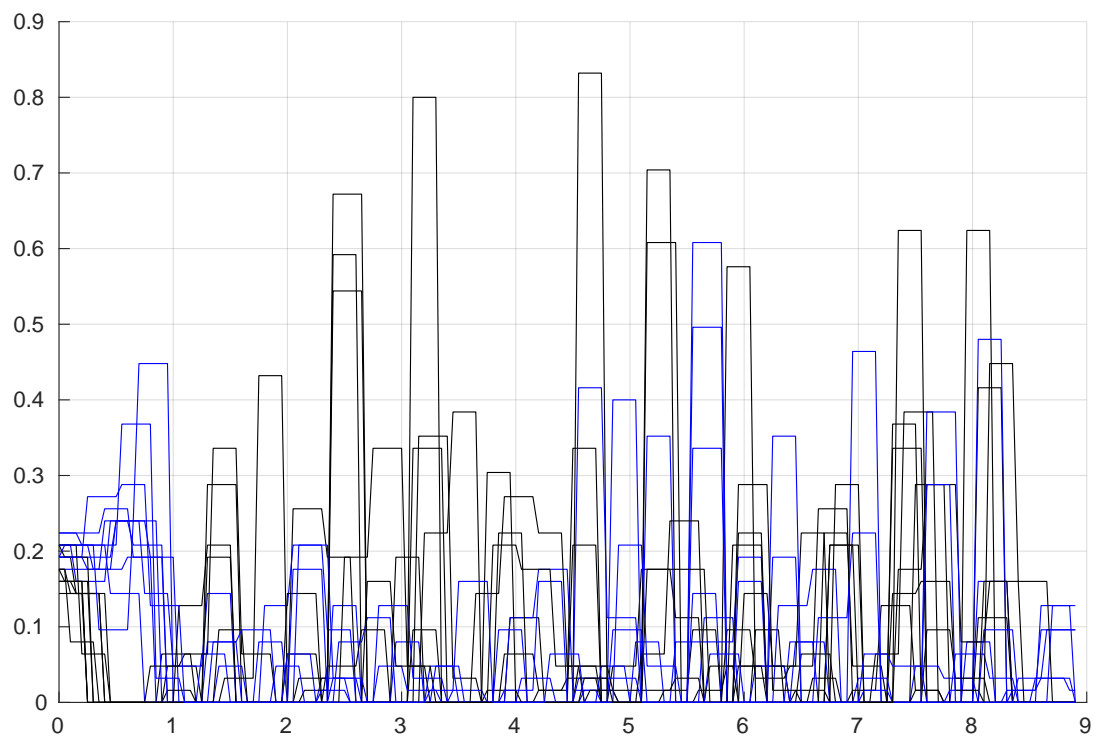
**Abb. 6.** AnkleRoll Messwert Position Actuator des rechten Fußes



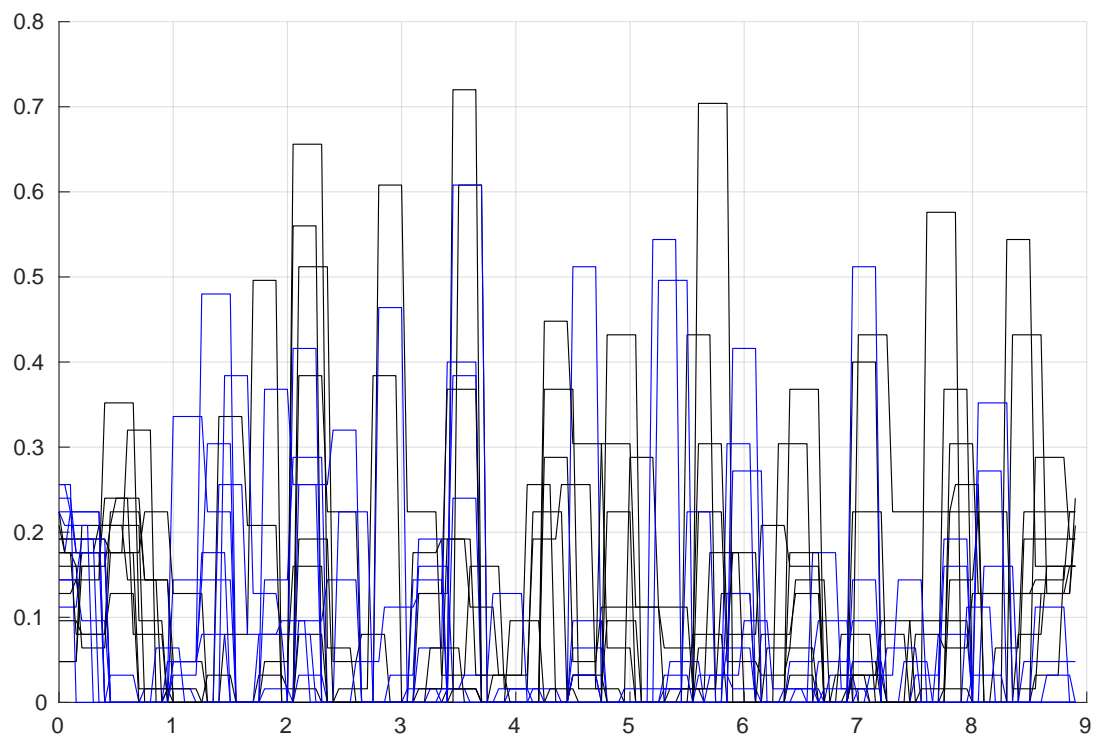
**Abb. 7.** AnkleRoll Aktoren beider Seiten mit dem Position/Actuator Messwert in schwarz und dem Position/Sensor Messwert in blau. Nao macht hier den ersten Schritt mit Links.



**Abb. 8.** AnkleRoll Aktoren beider Seiten mit dem Position/Actuator Messwert in schwarz und dem Position/Sensor Messwert in blau. Nao macht hier den ersten Schritt mit Rechts.



**Abb. 9.** AnkleRoll Aktoren beider Seiten mit dem Current Messwert. Messwert Links ist in Schwarz, Messwert Rechts ist in Blau. Nao macht hier den ersten Schritt mit Links.



**Abb. 10.** AnkleRoll Aktoren beider Seiten mit dem Current Messwert. Messwert Links ist in Schwarz, Messwert Rechts ist in Blau. Nao macht hier den ersten Schritt mit Rechts.

## 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] SoftBank Robotics. *NAO - Documentation*. URL: <https://developer.softbankrobotics.com/nao6/nao-documentation> (besucht am 21. 12. 2020).
- [3] 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).
- [4] 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).
- [5] 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).
- [6] 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).
- [7] 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).
- [8] 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).