



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

## **Ausarbeitung - Seminar - WS 12/13**

Nicolas Bänisch

Tactile Sensing Arrays for Assistant Robots

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation . . . . .	1
1.2 Gliederung . . . . .	2
<b>2 Idee der Masterarbeit</b>	<b>3</b>
2.1 Analyse . . . . .	3
2.1.1 Sensorik . . . . .	4
2.1.2 Griff . . . . .	5
2.2 Ziel . . . . .	5
<b>3 Vorarbeiten</b>	<b>7</b>
<b>4 Aktuelles Projekt</b>	<b>9</b>
4.1 Evaluierung des bestehende Sensorsystems . . . . .	9
4.2 Konstruktion eines neuen Sensorsystems . . . . .	9
<b>5 Ausblick und Zusammenfassung</b>	<b>11</b>
5.1 Projekt 2 . . . . .	11
5.2 Masterarbeit . . . . .	11
5.3 Risiken . . . . .	11
5.4 Zusammenfassung . . . . .	12
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>13</b>

# 1 Einleitung

Diese Ausarbeitung beschäftigt sich mit dem Thema des autonomen Greifens eines Assistenzroboters mithilfe von taktilen Sensorarrays und dient zur Motivation und konkreten Themenwahl der Masterarbeit. Dabei wird auf schon vorhandene Arbeiten und Projekte eingegangen und der Fahrplan für weitere erstellt.

Da die beiden vorangegangenen Ausarbeitungen, *Sturzerkennung im intelligentem Raum* [5] und *Ambient Telephony* [3], mit den Schwerpunkten auf der Motivation, Einführung in das Thema und Recherche von verwandte Arbeiten lag, nichts mit diesem Thema gemeinsam haben, werden die genannten Schwerpunkte in der vorliegenden Ausarbeitung in kurzer Form nachgeholt.

## 1.1 Motivation

Die voranschreitende Entwicklung der Assistenzroboter zeigt die Wichtigkeit dieser in unserer Umwelt. Laut [16] schätzt man, dass in 30 Jahren mehr persönliche Roboter produziert werden, als persönliche Computer. Großes Potential liegt dabei besonders auf Roboter im Gesundheitsmarkt. So sollen die Roboter den Senioren bei der Arbeit im Haushalt helfen, wie zum Beispiel Staub saugen, an Medikamente erinnern, aber auch im Notfall den Arzt verständigen. Verdeutlicht wird die Wichtigkeit dieser Szenarien durch die Betrachtung des demografischen Wandels der Bevölkerung. Nach Prognosen des Statistischen Bundesamtes [20] steigt die Zahl der meist hilfsbedürftigen Menschen, ab 65 Jahren von 19% (2005) auf 35% (2050). Hinzu kommt die starke Tendenz zu Ein- und Zweipersonenhaushalten [21]. Von den älteren Personen werden knapp die Hälfte der in Privathaushalten lebenden Personen zwischen 65 bis 70-Jahren, nur von einer Person bewohnt [14].

Damit es den Assistenzrobotern möglich ist, in ihrer Umwelt zu agieren und die Aufgaben bei der Unterstützung in Haushalten durchführen zu können, ist eine Vorrichtung, die das greifen und interagieren in der Umwelt ermöglicht, eine zwingende Voraussetzung. Dabei spielt nicht nur die Motorik eine wichtige Rolle, sondern ganz besonders die taktile Wahrnehmung der Umwelt.

Um sich der Wichtigkeit der taktilen Wahrnehmung vor Auge zu führen, reicht es sich schon vorzustellen wie beeinträchtigt wir Menschen ohne diese Fähigkeit wären. Aber nicht nur wir Menschen besitzen eine ausgeprägte und lebensnotwenige taktile Wahrnehmung, sondern auch für noch so kleinste Lebewesen in der Natur ist es dass wesentlichste Überlebenswerkzeug [7].

Genau diese Aspekte dienen der Motivation für die Masterarbeit und werden bei der Entwicklung eine wichtige Rolle spielen. Konkrete Ansätze und Möglichkeiten zu den zuvor beschriebenen Punkten sollen im Folgenden genauer verdeutlicht und beschrieben werden.

## 1.2 Gliederung

Die vorliegende Ausarbeitung ist in 5 Kapitel gegliedert. Die folgende Gliederung gibt zu jedem dieser Kapitel eine kurze Zusammenfassung der Inhalte wieder.

- 1. Einleitung:** Hier wird mithilfe einer Motivation, eine kurze Einführung in das Thema gegeben. Des Weiteren wird der Zweck dieser Ausarbeit erläutert.
- 2. Idee der Masterarbeit:** In diesem Kapitel geht es um die Idee der Masterarbeit, welche kurz beschrieben wird. Die am Ende aufgeführten Ziele der Arbeit, werden zuvor durch Analysen erarbeitet.
- 3. Vorarbeiten:** Dieses Kapitel beinhaltet die Vorstellung einer schon vorhandenen Arbeit, die kurz vorgestellt wird, um die gewonnen Erfahrungen mit in neue Projekte mit eingehen zu lassen.
- 4. Aktuelles Projekt:** Kapitel 4 befasst sich mit dem aktuellen Projekt und gibt den Fortschritt sowie die Ziele dieses wieder.
- 5. Ausblick und Zusammenfassung:** Das letzte Kapitel gib eine Zusammenfassung dieser Ausarbeitung wieder. Außerdem werden weitere Vorgehen der Arbeit definiert und die Risiken bestimmt.

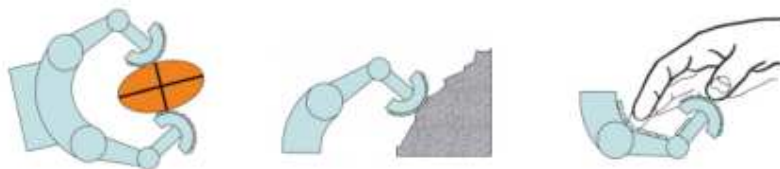
## 2 Idee der Masterarbeit

In der Masterarbeit soll ein taktiler Greifsystem für einen Assistenzroboter entwickelt werden. Dieses soll ihm die autonome Interaktion in einer unstrukturierten, sich ständig ändernden Umwelt ermöglichen.

Wie in der Einführung schon erwähnt, ist das taktiler Empfinden nicht nur für uns Menschen eine unerlässliche Eigenschaft. Welchen Nutzen wir davon tragen und wie wir ihn einsetzen um mit der Umwelt zu interagieren und in ihr zu manipulieren, ist für die Entwicklung eines ähnlichen Systems für einen Roboter sehr aufschlussreich und wird nachfolgend analysiert.

### 2.1 Analyse

Da es sich bei dieser Arbeit um die Erweiterung eines Assistenzroboters im menschlichem Umfeld handelt, wird versucht das Taktile Sensorsystem dem menschlichen Tastsinn nachzubilden, um ihm zu ermöglichen, durch bestimmte technische Elemente mechanische Berührungen wahrzunehmen. Dabei soll es nicht nur möglich sein einzelne Berührungen zu erkennen, sondern auch großflächige Druckverteilungen orts aufgelöst zu erfassen. Um den vielseitigen Nutzen des menschlichen Tastsinnes und Einsatz seiner Hände nachzubilden, werden die drei Grundlegenden Nutzen (siehe Abb. 2.1) von [7] betrachtet, die für ein taktiler Sensorsystem eines Roboters nachzubilden sind. Zum einen wird von der *Manipulation* gesprochen, welche wohl die grundlegendste Funktion darstellt. Der Roboter kann durch greifen von Objekten seine Umwelt verändern. Die beiden weiteren *Exploration* und *Response* beschreiben die Erkundung der Umgebung, wie die Oberflächenbeschaffenheit und die Detektion und Reaktion auf Kontakt mit anderen Agenten in seiner Umwelt.



**Abbildung 2.1:** Hauptaufgaben (*Manipulation, Exploration und Response*) des Tastsinnes von Robotern [7]

Um diese in Abbildung 2.1 dargestellten Funktionen zu ermöglichen, bedarf es meist verschiedenste Sensorik. Hierzu werden im nächsten Abschnitt verschiedenste Sensoren vorgestellt, die teilweise in diversen Arbeiten miteinander kombiniert und zu großen Arrays zusammengefasst werden.

### 2.1.1 Sensorik

Die Sensorik spielt in den meisten Arbeiten die entscheidendste Rolle und bietet eine große Vielfalt an Systemen.

Großen Einsatz finden Pizoresesive Arrays (zum Beispiel [19] [13] [11]), die durch ihre Elastizität in allen nur denkbaren Positionen anwendbar sind. Der Piezoelektrische Effekt der hier ausgenutzt wird, erzeugt durch Verformung des Festkörpers eine Änderung der elektrischen Polarisierung und erzeugt damit elektrische Spannung, die einfach Messbar ist. Somit ist der Sensor nicht nur durch eine leichte Schaltung anwendbar sondern sticht auch durch seine einfache Herstellung und variabler Form hervor. Als Nachteil ist zu erwähnen, dass diese Sensoren sehr fragil und Temperaturempfindlich sind. Des Weiteren sind die Signale, in diesem Fall die Spannungswerte, nicht statisch.

Ähnlich wie die Pizoresesive Arrays, verhalten sich die Kapazitive Arrays (zum Beispiel [10]), wo die Messung der Kraft Zu- und Abnahme durch die Kapazität bestimmt wird. Dabei lassen sich im Gegensatz zu den pizoresesiven, sehr empfindlich Statische Werte messen. Die komplexe Schaltung macht den Einsatz allerdings nicht in allen Lagen möglich.

Ein ganz anderer Ansatz ist das Einsetzen von optischen Sensoren. Hier wird die taktile Erfassung durch die sich ändernde Reflexion von Lichtstrahlen gemessen, die sich durch die Verformung der Oberfläche ergeben (zum Beispiel [2]).

Ein weiteres Verfahren verwendet die Induktivität (zum Beispiel [9]). Dieses eignet sich laut [15] nicht gut für das taktile Wahrnehmung eines Greifers an einem Roboter und finden in dieser Arbeit keine weitere Betrachtung.

Die hier aufgeführten Sensorsysteme umschließen nicht den gesamten Forschungsumfang, sondern geben nur einen kleinen Überblick in welche Richtung die Entwicklungen gehen, um daraus einen Nutzen für diese und fortlaufende Arbeiten zu gewinnen. Weitere Verfahren und Sensorsysteme werden in [8] ausführlich beschrieben.

An dieser Stelle wird auch noch keine endgültige Entscheidung getroffen, welche Sensoren in der Arbeit eingesetzt werden. Allerdings konnte durch die Analyse von verschiedensten Umsetzungen, diverse Anforderungen an die Sensoren gestellt werden. Die für die Umsetzung eingesetzten taktilen Sensoren sollten in die Oberfläche des Greifers integriert werden und den Ort der Krafterwirkung lokalisieren können. Die Sensoren und deren Außenhaut sollten außerdem robust genug sein und eine gewisse Temperaturbeständigkeit vorweisen. Um eine Hohe Dichte, besonders an Stellen wie die Fingerspitzen zu gewährleisten, sollten sie klein und leicht sein (Bei Menschen befinden sich ca. 150 Rezeptoren  $/cm^2$  [18]). Weitere Anforderungen werden sich durch die Umsetzung aus Kapitel 4, Kapitel 5.1 ergeben.

### 2.1.2 Griff

Ein weiterer Aspekt der eine große Rolle beim Greifen eines Objektes darstellt, ist das Verhalten, welches durch eine Greifanalyse mit dem Vorbild Mensch durchgeführt wird. Greift eine menschliche Hand ein ihm unbekanntes Objekt, wobei in diesem Fall die Erfahrung und intuitive Einschätzung vernachlässigt wird, wird zunächst eine Druckkraft auf das Objekt aufgebaut, die so stark sein muss, dass der Reibungskoeffizient des Objektes und die Gewichtskraft ein Rutschen verhindern. Sollte die Kraft nicht ausreichen, erkennen die sogenannten *Meissner-Körperchen*[18], im Falle des Roboters wäre das die taktilen Sensoren, das Rutschen des Objektes und der Druck wird erhöht. Dieses wird so lange wiederholt, bis sich das Objekt sicher in der Hand befindet. Genau dieses Verhalten geht es nachzubilden, um den Roboter das autonome Greifen von unbekanntem Objekten zu ermöglichen. Hierbei geht es im Grunde um die Schlupf Detektion und Griffkontrolle.

Problemlösungen sind zum Beispiel der Einsatz eines optischen Maussensor[1], die Erfassung der reibungsbedingten Vibration mit Hilfe von Beschleunigungssensoren[12] oder durch großes taktiler highspeed Sensorarray [17]. In den ersten beiden Beispielen wird die erwähnte Sensorik durch Druckkraftsensoren unterstützt, es handelt sich also um eine Kombination aus verschiedenen Sensoren. Das letzte Beispiel allerdings schafft die Aufgabe alleine mit einem Sensortyp und ist deshalb für diese Arbeit besonders interessant.

## 2.2 Ziel

Das übergeordnete Ziel ist es dem Roboter zu ermöglichen, den Menschen zu helfen. Konkreter wird versucht, den Roboter durch taktile Sensorik so zu erweitern, dass er im menschlichen Umfeld interagieren und in ihnen manipulieren kann. Um diese große Aufgabe noch etwas einzugrenzen, soll es dem Roboter am Ende der Masterarbeit möglich sein, ihm unbekannte Objekte zu greifen und auf Interaktionen des Menschen zu reagieren.

Eine eindeutige Spezifikation steht zu diesem Zeitpunkt noch nicht fest, es werden aber schon einige Rahmenbedingungen festgelegt. Durch den Einsatz im menschlichen Umfeld, sind eine enorme Feinfühligkeit und das Tragen von schweren Lasten keine Musskriterien. Des Weiteren, wird versucht die Aufgabe mit möglichst wenigen Sensorsystemen zu bewältigen. Hier haben Ansätze wie [17] gezeigt, dass es allein mit einem Array aus Sensoren möglich ist. So soll auch für diese Arbeit die Umsetzung durch eine Vielzahl von einem Sensortype zu einem Sensorarray zusammengefasst werden, welche die Anforderungen erfüllt.

Der Weg zum Ziel wird in mehrere Phasen gegliedert. Dabei geht es in der ersten Phase darum, unter anderem die gewonnenen Erfahrungen aus der Arbeit [4] zu nutzen, um eine Verbesserung der Sensorik herzustellen (siehe Kapitel 4). Nachfolgend wird in einem weiteren Projekt die Sensorik optimal in den Roboter versucht zu integrieren 5.1. Aufbauend auf diesen Schritten, soll der Assistenzroboter die Möglichkeit erhalten autonom, ihm unbekannte Gegenstände zu greifen ohne sie dabei zu beschädigen. Diese Funktionalität lässt sich durch die Erfassung der

relativen Bewegung, das heißt den Schupf zwischen Roboterhand und berührtem Gegenstand, umsetzen und wird Hauptbestandteil der Masterarbeit sein.

So soll der Assistenzroboter SCITOS G5 am Ende der Masterarbeit in der Lage sein selbstständig, selbst fragilste Objekte, sicher in seiner Umgebung manipulieren können.

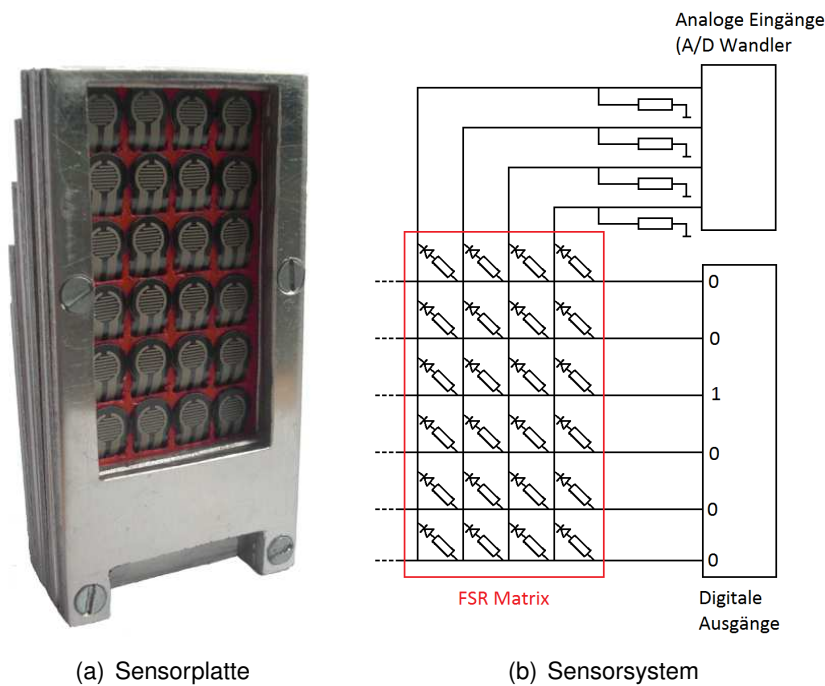


### 3 Vorarbeiten

Als Vorarbeit dient die Bachelor Arbeit [4], in der im großen Umfang Erfahrungen gesammelt wurden, die versucht werden in dieser Arbeit mit einfließen zu lassen.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit war es den Greifer des Assistenzroboter SCITOS G5 zu erweitern, um ihm die Möglichkeit zu geben Kraftabhängig zu greifen. Um diese Fähigkeit umzusetzen wurden zwei neue Finger entworfen (siehe Abbildung 3.1(a)).

Beim Erarbeiten des Konzepts wurde sich bei der Hardwareauswahl für die FSR-Sensoren entschieden. Hier war besonders ihre Größe und eine einfache Handhabung ausschlaggebend. Denn so ließ sich mit einer 6 x 4 Matrix aus FSR-Sensoren eine Fläche schaffen, die nicht nur in der Lage ist die Kraft aufzunehmen, sondern auch eine Positionserfassung und eine grobe Objektwiedererkennung ermöglicht.



**Abbildung 3.1:** Sensorsystem des Zweifingergreifers

Die Messung der Sensordaten erfolgt über einen einfachen Spannungsteiler. So wird wie in Abbildung 3.1(b) Zeilenweise eine Zeile nach der anderen eingeschaltet und über die A/D Wandler

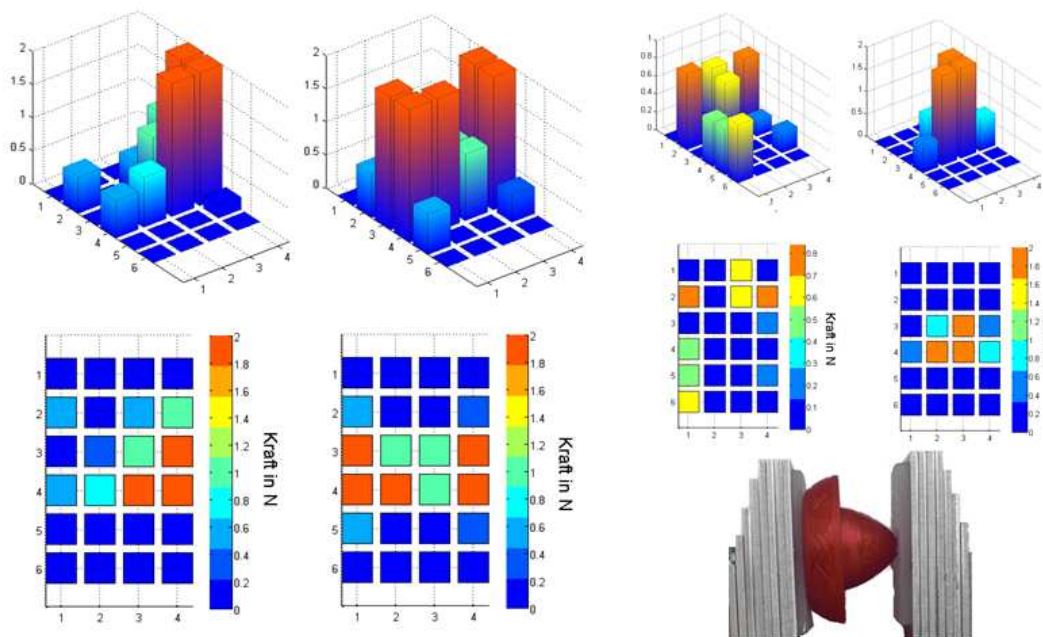
über jeder Spalte die Spannung gemessen. Diese ändert sich abhängig vom Widerstand, der je nachdem wie stark der FSR-Sensor belastet ist, zwischen über  $10M\Omega$  und  $100k\Omega$ , variiert. Die Finger bestehen hauptsächlich aus ihrem robustem Aluminium Gehäuse, welches die Sensoren beinhaltet. Die Größe eines Fingers entspricht dabei die von zwei menschlichen. Damit ist der Assistenzroboter, bezogen auf die Finger, optimal für den Einsatz im menschlicher Umgebung ausgestattet. Zu dem System rund um die Finger gehören auch noch ein Mikrocontroller (Arduino MEGA 2560) und eine Sensorplatine dazu. Diese beiden Komponenten sorgen für die Ansteuerung der Sensoren und Erfassung der Daten. Um eine hohe Reaktionsgeschwindigkeit zu bieten, können die Daten einer kompletten Messung bis zu 80-mal die Sekunde abgefragt werden.

Die Kommunikation und Inbetriebnahme ist sehr einfach gehalten. Der Benutzer muss lediglich eine Verbindung über den USB-Port herstellen und kann dann über die serielle Schnittstelle die zur Verfügung stehenden Ausgabemodi wählen.

Des Weiteren umfasst die Arbeit noch eine MATLAB Visualisierung, womit sich die auf die Finger wirkenden Kräfte veranschaulichen lassen (siehe Abbildung 3.2).

Zusammenfassend wurde der Greifer um zwei Finger erweitert, die ihm ermöglichen sollen kraftabhängig und intelligenter zu greifen.

Nun geht es die gewonnen Informationen in Folge Projekte mit einzubringen und zu analysieren, in wie weit der hier entwickelte Zweifingergreifen genutzt werden kann.



**Abbildung 3.2:** Visualisierung der Messwerte mit Matlab

## 4 Aktuelles Projekt

Dieses Kapitel beschreibt den aktuellen Fortschritt der Arbeit, sowie die Ziele dieses Projekts. Es wird, dass unter Kapitel 3 beschriebenen System analysiert und evaluiert. Anhand der Ergebnisse und den Gewinn aus den Erfahrungen, wird im zweiten Teil dieses Kapitels, ein neues Sensorsystem beschrieben und umgesetzt, welches als Grundlage für fortlaufende Projekte und die Masterarbeit dienen soll.

### 4.1 Evaluierung des bestehende Sensorsystems

In dem aktuellen Projekt wird zunächst versucht den Zweifingergreifer aus der Arbeit (siehe Kapitel 3) möglichst stark einzubinden, um erste Erkenntnisse zu sammeln. Dazu wird dieser zunächst in Betrieb genommen. Bei der Integration in das Roboter System wird dabei so vorgegangen, dass die Integration des möglichen Nachfolgers möglichst wenig Zusatzaufwand benötigt. So wird sich jetzt schon ein geeignetes Übertragungsmedium und -verfahren überlegt und eine offen gehaltene Softwareschnittstelle realisiert. Dadurch kann sich die Sensorik komplett ändern, aber die Software auf dem Roboter ist schlimmstenfalls anzupassen.

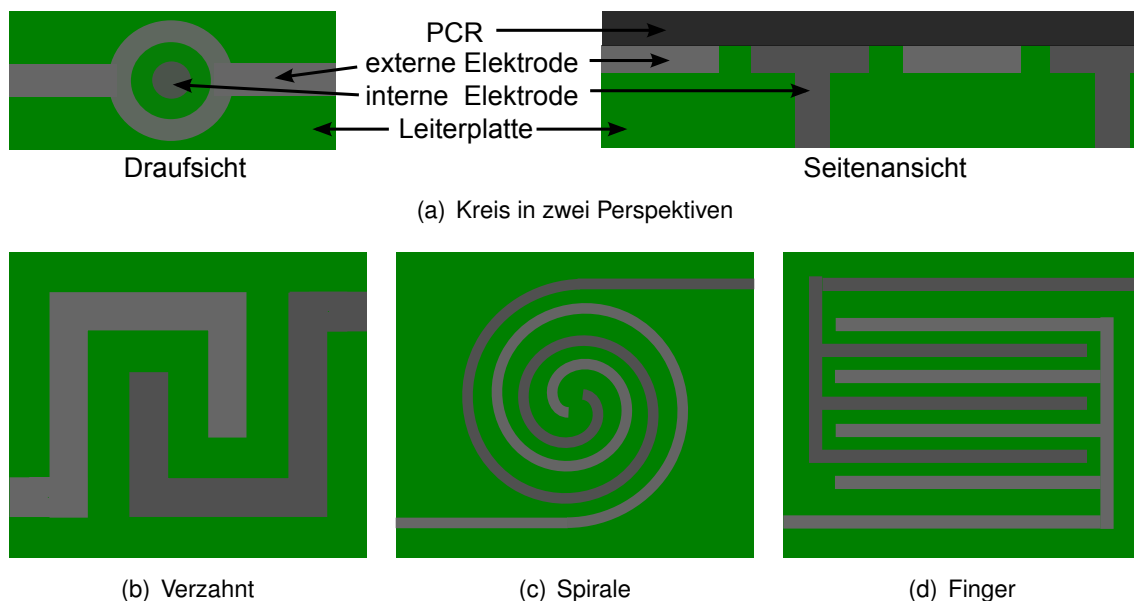
Der integrierte Greifer wird nun in seinen Eigenschaften und verwendeten Verfahren evaluiert. Im Fokus stehen die schon eben angesprochene Datenübertragung und Softwareschnittstelle. Es wird aber auch überprüft, ob die Mechanik des Roboters die nötige Kraft und Reaktionszeit besitzt, um das autonome Greifen zu ermöglichen. Diverse Greifteste, sollen auch Aufschluss darauf geben, wie die Finger des Roboters zu konstruieren sind und welche Auflösung an Sensoren benötigt wird.

Mithilfe der durch die Evaluierung gewonnen Resultate, wird auf Basis des alten Greifers nachfolgend eine neue Sensorik entwickelt.

### 4.2 Konstruktion eines neuen Sensorsystems

Die Konstruktion erfolgt ähnlich wie bei dem Zweifingergreifer und wird sich auch vorerst auf nur zwei Finger beschränken. Allerdings wird die Verwendung der FSR-Sensoren nicht fortgesetzt, da diese eine kleine Fläche mit einer hohen Dichte an Sensoren nicht ermöglichen. Um dieses zu erreichen, wird ähnlich wie in [6], mit Hilfe einer Leiterplatte, welche mit aufgedruckten Elektroden versehen ist, und einem Leitendem Polymer, in diesem Fall *Pressure-Sensitive Electric Conductive Rubber* (PCR), ein Hochauflösendes taktiles Sensorarray realisiert.

Die Abbildungen 4.1 zeigen einen Ausschnitt des eben angesprochenen Sensorsystems. Dargestellt ist die Leiterplatte, mit den bedruckten Elektroden (hier interne und externe Elektrode). Durch das PCR, welches im unbelasteten Zustand einen hohen Widerstand von über  $30M\Omega$  besitzt, liegt kaum Spannung zwischen den beiden Elektroden an. Durch Ausübung von Druck auf das PCR, sinkt der Widerstand, abhängig vom Druck, bis auf  $0.1\Omega$ . Durch den Druck ändernden Widerstand, kann äquivalent zu dem Verfahren aus Kapitel 3 die Spannung gemessen werden. Der Aufbau der Matrix erfolgt ähnlich dem in der Abbildung 3.1(b) dargestellten System, nur durch die maschinelle Bedruckung der Elektroden, in einer deutlich höheren Auflösung.



**Abbildung 4.1:** Taktile Sensoren auf einem PCB realisiert mit verschiedenen Anordnungen der Elektroden

Die Abbildungen in 4.1 zeigen Beispiele von verschiedenen Anordnungen der Elektroden. Dabei gibt es einfache Formen, wie 4.1(a) und 4.1(b), und durchaus komplexere, wie 4.1(c) und 4.1(d). Welcher dieser am Ende realisiert werden, hängt von den Ergebnissen der, ähnlich wie unter 4.1 schon beschrieben, diverse Tests ab. Ein weiterer Punkt, der zu diesem Zeitpunkt noch nicht feststeht und eine Analyse erfordert, ist das PCR Material. Dieses gibt es in verschiedenen Ausführungen, mit unterschiedlicher Leitfähigkeit und Materialstärken. Berücksichtigt werden muss hierbei auch die Abhängigkeit zu den Elektroden, die sich je nach Form anders zu der Polymerschicht verhalten.

Dieses taktile Sensorarray ist nicht nur wieder einfach und kostengünstig herzustellen, sondern ermöglicht auch eine hohe Dichte an Sensoren und individuelle Form des Sensorsystems. Somit eignet es sich gut für die in Kapitel 2 angesetzten Ziele.

# 5 Ausblick und Zusammenfassung

Dieses Kapitel beschreibt das weitere Vorgehen der Arbeit, welches in Projekt 2 und Masterarbeit gegliedert ist. Außerdem werden die potentiellen Gefahren und Risiken, die durch die beschriebenen Vorgehensweise in Kapitel 4 auftreten können, benannt. Abschließend gibt es eine kurze Zusammenfassung.

## 5.1 Projekt 2

In dem zweiten Projekt soll das Sensorsystem, das in dem ersten Projekt entwickelt wurde, vollständig in das Robotersystem integriert werden. Dazu ist es auch nötig, die Finger z.B. mit einem 3D-Drucker, zu konstruieren und gegeben falls die Software anzupassen. Am Ende des Projektes soll die Hardware, sowie die Ansteuerung im Roboter Operating System (ROS) zur Verfügung stehen.

## 5.2 Masterarbeit

Die Masterarbeit baut auf den zuvor Vorgestellten Projekten und Arbeiten auf. Das definierte Ziel das unter Kapitel 2 definiert wurde, soll hier erreicht werden. Der Schwerpunkt liegt hier in der Entwicklung der Software zur Schlupfdetektion, die das autonome rutschsiche Greifen ermöglichen soll. Des Weiteren besteht der Wunsch über die neu entworfenen taktilen Sensoren eine Interaktion zwischen Mensch und Roboter herzustellen. Dabei sind verschiedene Szenarien möglich, wie zum Beispiel das durch den Roboter gegriffene Objekte durch kräftiges ziehen durch den Menschen losgelassen werden. Welche Risiken bei der Masterarbeit auftreten können, wird nachfolgend beschrieben.

## 5.3 Risiken

Das erste Risiko ist die Verwendung des falschen Sensorsystems. In dem Fall besteht die Gefahr, dass ein Greifvorgang mit Schlupferkennung nicht durchgeführt werden kann. Beispielsweise könnte der Greifer des Roboters bei einer zu ungenauen Schlupferkennung den Gegenstand beschädigen oder ihn nicht stabil halten. Eine mögliche Lösung wäre hier, die Erhöhung der Dichte oder die Anpassung der Fingerform.

Ein weiteres Risiko ist die Genauigkeit der Sensoren. Vergleichbare Arbeiten haben gezeigt, dass eine mehrstufige Kraftunterscheidung mit dieser Technik nur bedingt möglich ist. Als Lösung könnte man einen zusätzlichen Kraftsensor pro Finger realisieren, der nur die Aufgabe besitzt die Kraft zu messen.

Als letzten Ausweg, kann man auf industrielle Produkte zurückgreifen. Es stehen einige funktionsfähige taktile Sensoren zur Verfügung (z.B. [22]), mit denen wie z.B. in [1] gezeigt wurde, dass ein schlupfsicheres Greifen Möglich ist. Diese Produkte sind allerdings sehr teuer und es ist schwer eine individuelle Form zu erstellen, um sie dem gewünschten Szenarium anzupassen.

## 5.4 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden vergleichbare Arbeiten, die angestrebte Vorgehensweise und deren Risiken für ein taktiles Sensor Array, zum rutschsicherem Greifen und zum manipulieren von Objekten in einem menschlichem Umfeld, beschrieben und untersucht.

Anhand der Erfahrungen aus der Arbeit aus Kapitel 3, die zunächst in Kapitel 4 erarbeitet wurden, ist ein neues verbessertes Sensor Array vorgestellt wurden. Bei diesem handelt es sich um eine mit Elektroden bedruckte Leiterplatine, die mit einem leitfähigen Polymer beschichtet ist, welches eine variable Spannung zwischen den Elektroden aufbaut. Die Variabilität der Spannung hängt vom Widerstand, der sich je nach Belastung zwischen  $30M\Omega$ (unbelastet) und  $0.1\Omega$  (Vollast) befindet.

Mit Hilfe dieses neuen taktilen Arrays, welches nicht nur einfach und kostengünstig herstellbar ist, sondern auch individuell den Fingern angepasst werden kann, wird versucht das angestrebte Ziel, die Erkennung des Schlupfes zum sicherem autonomem Greifen unbekannter Gegenstände, in Folgearbeiten umzusetzen.

# Literaturverzeichnis

- [1] BÄCHLIN, Marc ; MILIGHETTI, Giulio ; BEYERER, Jürgen ; KUNTZE, Helge-Björn: *Vorrichtung zum schlupf-überwachten, kraftschlüssigen Ergreifen, Halten und Manipulieren eines Objektes mittels einer Greiferanordnung*. 10 2006. – URL <http://www.patent-de.com/20061026/DE102005032502B3.html>
- [2] BEGEJ, S.: Planar and finger-shaped optical tactile sensors for robotic applications. In: *Robotics and Automation, IEEE Journal of* 4 (1988), oct, Nr. 5, S. 472 –484. – ISSN 0882-4967
- [3] BÄNISCH, Nicolas: *Ambient Telephony*, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Seminararbeit, September 2012
- [4] BÄNISCH, Nicolas: *Druckmessung für den Zweifingergreifer eines Assistenzroboters*, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Bachelorarbeit, February 2012
- [5] BÄNISCH, Nicolas: *Sturzerkennung im intelligentem Raum*, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Seminararbeit, February 2012
- [6] CASTELLANOS-RAMOS, Julián ; NAVAS-GONZÁLEZ, Rafael ; MACICIOR, Haritz ; SIKORA, Tomasz ; OCHOTECO, Estíbalitz ; VIDAL-VERDÚ, Fernando: Tactile sensors based on conductive polymers. In: *Microsystem Technologies* 16 (2010), S. 765–776. – URL <http://dx.doi.org/10.1007/s00542-009-0958-3>. – ISSN 0946-7076
- [7] CUTKOSKY, Mark R. ; HOWE, Robert D. ; PROVANCHER, William R.: Force and Tactile Sensors. In: *Handbook of Robotics*. Springer, 2008, S. 455–476
- [8] DAHIYA, RavinderS. ; VALLE, Maurizio: Tactile Sensing Technologies. In: *Robotic Tactile Sensing*. Springer Netherlands, 2013, S. 79–136. – URL [http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-0579-1\\_5](http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-0579-1_5). – ISBN 978-94-007-0578-4
- [9] FUTAI, N. ; MATSUMOTO, K. ; SHIMOYAMA, I.: Simulation, fabrication and evaluation of microinductor-based artificial tactile mechanoreceptor embedded in PDMS. In: *Micro Electro Mechanical Systems, 2003. MEMS-03 Kyoto. IEEE The Sixteenth Annual International Conference on*, jan. 2003, S. 206 – 209. – ISSN 1084-6999

- [10] HOSHI, T. ; SHINODA, H.: A Sensitive Skin Based on Touch-Area-Evaluating Tactile Elements. In: *Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, 2006 14th Symposium on*, march 2006, S. 89 – 94
- [11] KRISHNA, G.M. ; RAJANNA, K.: Tactile sensor based on piezoelectric resonance. In: *Sensors, 2002. Proceedings of IEEE Bd. 2, 2002*, S. 1643 – 1647 vol.2
- [12] KYBERD, P J. ; CHAPPELL, P H.: Characterization of an optical and acoustic touch and slip sensor for autonomous manipulation. In: *Measurement Science and Technology* 3 (1992), Nr. 10, S. 969. – URL <http://stacks.iop.org/0957-0233/3/i=10/a=005>
- [13] PAPAKOSTAS, T.V. ; LIMA, J. ; LOWE, M.: A large area force sensor for smart skin applications. In: *Sensors, 2002. Proceedings of IEEE Bd. 2, 2002*, S. 1620 – 1624 vol.2
- [14] R. WICHERT, T. Norgall M. B.: *Individuelle Gestaltung und Anpassung bestehender Wohnkonzepte*. January 2009. – URL [http://www.aal.fraunhofer.de/publications/AAL\\_Individuelle-Gestaltung\\_Wohnkonzepte\\_final.pdf](http://www.aal.fraunhofer.de/publications/AAL_Individuelle-Gestaltung_Wohnkonzepte_final.pdf)
- [15] SCHMIDT, Peer A. ; MAËL, Eric ; WÜRTZ, Rolf P.: A sensor for dynamic tactile information with applications in human-robot interaction and object exploration. In: *Robot. Auton. Syst.* 54 (2006), Dezember, Nr. 12, S. 1005–1014. – URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.robot.2006.05.013>. – ISSN 0921-8890
- [16] SCHRAFT, Rolf D. (Hrsg.): *Handbuch Robotik: Programmieren und Einsatz intelligenter Roboter (VDI-Buch)*. 1. Springer Berlin Heidelberg, 2 2007. – ISBN 9783540255086
- [17] SCHÜRMAN, Carsten ; SCHÖPFER, Matthias ; HASCHKE, Robert ; RITTER, Helge: A High-Speed Tactile Sensor for Slip Detection. In: PRASSLER, Erwin (Hrsg.) ; ZÖLLNER, Marius (Hrsg.) ; BISCHOFF, Rainer (Hrsg.) ; BURGARD, Wolfram (Hrsg.) ; HASCHKE, Robert (Hrsg.) ; HÄGELE, Martin (Hrsg.) ; LAWITZKY, Gisbert (Hrsg.) ; NEBEL, Bernhard (Hrsg.) ; PLÖGER, Paul (Hrsg.) ; REISER, Ulrich (Hrsg.): *Towards Service Robots for Everyday Environments* Bd. 76. Springer Berlin Heidelberg, 2012, S. 403–415. – URL [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-25116-0\\_27](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-25116-0_27). – ISBN 978-3-642-25115-3
- [18] SCHWEGLER, Johann S. ; LUCIUS, Runhild: *Der Mensch - Anatomie und Physiologie: Schritt für Schritt Zusammenhänge verstehen*. 5., überarbeitete Auflage. Thieme, Stuttgart, 7 2011. – ISBN 9783131001559
- [19] SHIMOJO, M. ; NAMIKI, A. ; ISHIKAWA, M. ; MAKINO, R. ; MABUCHI, K.: A tactile sensor sheet using pressure conductive rubber with electrical-wires stitched method. In: *Sensors Journal, IEEE* 4 (2004), oct., Nr. 5, S. 589 – 596. – ISSN 1530-437X



- 
- [20] Statistisches Bundesamt: (Veranst.): *11. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung*. Wiesbaden, 2006. – URL <http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Presse/pk/2006/Bevoelkerungsentwicklung/AnnahmenundErgebnisse,property=file.pdf>
- [21] Statistisches Bundesamt (Veranst.): *statistisches Jahrbuch 2007, Bevölkerung und Erwerbstätigkeit, Entwicklung der Privathaushalte bis 2025*. Wiesbaden, Germany, 2008
- [22] WEISS, Karsten: <http://www.weiss-robotics.de/de/produkte/taktile-sensorik/taktile-aufnehmer.html>. – zuletzt abgerufen am 2011.08.17