

Universität Hamburg
Fakultät für Mathematik,
Informatik und Naturwissenschaften

Bachelorarbeit

**Griffkorrektur
mit SynTouch Sensoren**

Bente Reichardt

9reichar@informatik.uni-hamburg.de

BSc. Informatik

Matr.-Nr. 6137737

Erstbetreuer: Dr. Norman Hendrich

Zweitbetreuer: Prof. Dr. Jianwei Zhang

Zusammenfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Bestimmung von Kräften mithilfe eines Biotac-Sensors. Der Biotac ist eine Kombination verschiedener Sensoren, der der menschlichen Fingerkuppe nachempfunden ist. Es wird die Richtung der Kraft und die Größe der Kraft bestimmt. Diese beiden Informationen sind zum Greifen und festhalten von Objekten unerlässlich.

Danksagung

Ich möchte mich beim Arbeitsbereich TAMS bedanken, die diese Arbeit ermöglicht haben. Besonders bei meinem Betreuer, der mir vieles Erklären und zeigen konnte. Außerdem möchte ich mich aber auch bei den Studenten bedanken, die mich freundlich aufgenommen und durchweg motiviert haben.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Der menschliche Tastsinn	1
1.2	Künstliche Tastsensoren	3
2	Grundlagen	7
2.1	Biotac-Sensoren	7
2.2	Hardware	9
2.3	ROS	10
2.4	Support Vector Machine	10
3	Experimente	13
3.1	Aufbau der Experimente	13
3.2	Beobachtungen	15
3.3	Konsequenzen	16
4	Klassifizierung des Drucks	25
4.1	Aufbereitung der Daten	25
4.2	Klassifikation durch ein Programm	26
5	Kraftbestimmung	29
5.1	Kalibrieren des Force-Torque-Sensors	29
5.2	Bestimmung der Korrelation von Druck und Sensorwerten	30
6	Evaluation	35
6.1	Livetest des Programms	36
6.2	Optimierungen	38
7	Ausblick	41
	Literaturverzeichnis	43

1 Einleitung

Roboter werden immer weiterentwickelt und vielfältiger eingesetzt. Ein Ziel ist zum Beispiel, dass Roboter den Menschen Haushaltsaufgaben abnehmen oder ältere Menschen pflegen. Doch die heute zur Verfügung stehenden Roboter tun sich schwer mit diesen Aufgaben. Bei genauerem Hinsehen auf ihre Konditionellen Fähigkeiten ist dies jedoch kein Wunder. Vielen fehlt es an Freiheitsgraden oder Sensoren, um die gewünschten Aufgaben zu bewerkstelligen.

1.1 Der menschliche Tastsinn

Menschen nehmen ihre Umwelt mit einer Vielzahl an Sinnen wahr. Am wichtigsten sind meistens der Gesichtssinn oder das Hören ein. Der Tastsinn wird im Allgemeinen unterschätzt, wenn man über das Erkennen der Umwelt spricht. Doch die in der Haut verteilten taktilen Sensoren helfen Menschen ungemein, sich zurecht zu finden. Besonders im Bereich der Hände finden sich viele taktile Sensoren, die verschiedene Berührungen wahrnehmen.

Hierbei handelt es sich um drei verschiedene Arten an Sensoren: Themosensoren, die die Temperatur messen, verschiedene Drucksensoren die den direkten Ansatzpunkt und die Stärke des Drucks und Sensoren, die Mikrovibrationen der Haut messen. Diese Funktionalität erhält die Haut durch eine Vielzahl an Sensoren die ein unterschiedlich großes Feld abdecken und unterschiedlich schnell reagieren[JLL82]. In den Händen haben die Menschen im Allgemeinen deutlich mehr Sensoren, die auch sehr dicht bei einander liegen, als beispielsweise im Rücken. Ein sehr wichtiger Nutzen der taktilen Sensoren ist die Erkennung von Objekten[JL06]. Menschen bestimmen Objekte anhand ihrer Oberflächenbeschaffenheit, rau bis glatt oder rutschig, ihrer Festigkeit, nachgeben auf Druck hin, und schließlich der Form, mit Kanten und Flächen. All das lässt sich mit verschiedenen Sensoren in der Haut bestimmen. Menschen machen dazu einige explorative Bewegungen. Aus diesem Grund sind die taktilen Sensoren für Menschen unerlässlich zur Händeln von Objekten.

Ein weiteres wichtiges Anwendungsgebiet für die biologischen taktilen Sensoren ist das Greifen von Objekten mit der benötigten Kraft. Menschen wenden zum Heben von Objekten minimal mehr Druck auf die Objekte an, als diese benöti-

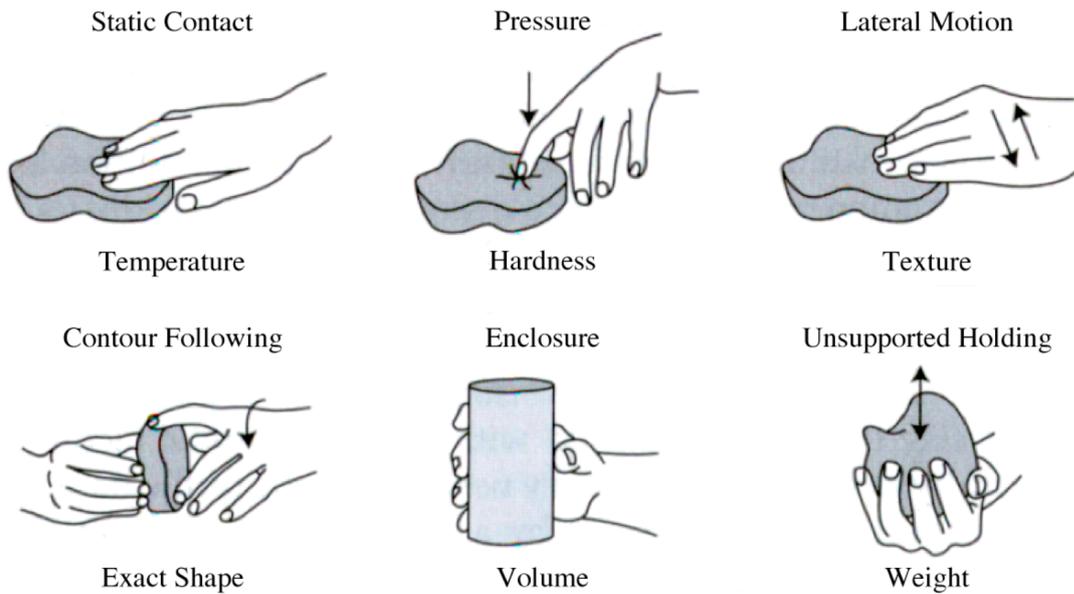


Abbildung 1.1: Menschliches taktiles Erforschen von Objekten [JL06]

gen um in der Hand nicht wegzurutschen. Das ist nur möglich, weil die Menschen die Rutscheigenschaften eines Objektes mit ihren Sensoren spüren. Menschen reagieren innerhalb kürzester Zeit auf das Rutschen und korrigieren ihren Druck[WJ84].

Alle diese Nutzungen der taktilen Sensoren führen dazu, dass das Nutzen von Werkzeugen jeglicher Art sehr schwierig bis unmöglich wird, wenn diese Sensoren fehlen. In einer Studie Anfang der Achtziger Jahre haben einen Menschen untersucht, dessen Nerven im Bereich der Hände soweit beschädigt waren, dass die taktilen Sensoren nicht nutzbar waren. Dieser Mensch war unfähig einfach, alltägliche Dinge, wie das Zuknöpfen eines Hemdes, auszuführen[ea82] Auch das Greifen eines Objektes ist für Menschen unmöglich, wenn die Finger betäubt sind[JW84].

Eine ebensolche Unfähigkeit besteht bei den meisten heutigen Robotern, wenn versucht wird fragile oder unbekannte Gegenstände zu bewegen, einen Schraubverschluss zu öffnen und Ähnliches. Für Fließbandroboter, die eine sehr beschränkte und bekannte Umwelt haben, ist dies oft kein größeres Problem, aber Haushalts- und Pflegeroboter, die mit unterschiedlichsten Gegenständen und Werkzeugen arbeiten sollen, sind taktile Sensoren unerlässlich.

1.2 Künstliche Tastsensoren

Die Wichtigkeit Berührungen und Druck zu erkennen, ist in der Robotik ein bekanntes Problem. Seit den 80er Jahren beschäftigen sich immer wieder Forscher mit der Entwicklung von Sensoren, die Druck messen können. Die Techniken und Größen sind vielfältig. Inzwischen wandeln die meisten Drucksensoren ein mechanisches Signal von Außen in einen messbaren elektronischen Impuls. Zuvor wurden einige andere mögliche Signale, wie optische oder akustische, versucht zum Messen von Druck zu nutzen. Sowohl die Größe als auch die Genauigkeit der Sensoren hat sich seit dem Forschungsbeginn enorm verbessert, sodass diese in vielen Robotern eingebaut werden können und nützlich sind. Sensoren deren Funktionalität an die der menschlichen Hände heranreichen sind jedoch erst relativ neu.

Lange Zeit wurden hauptsächlich Sensoren erstellt, deren Nutzen für grobe Tätigkeiten von Industrie-Robotern ausreichend waren, nicht aber für die Feinmotorik, die der Mensch beispielsweise im Haushalt nutzt, geeignet. Sowohl die Genauigkeit als auch die Menge der Sensoren war zwar ausreichend für das Erkennen von Objekten oder genaue Handling, jedoch reagierten die Sensoren zu langsam auf das mechanische Signal. Ein weiteres Problem der Sensoren, war die Bandbreite. Es war nicht möglich die Signale der Sensoren schnell genug zu erhalten, um auf die Daten zu reagieren. Auch die physikalische Beschaffenheit erlaubte nicht den Umgang mit Werkzeugen, wie es die menschliche Hand tut. Die Sensoren waren empfindlich und unverformbar, weshalb sie sich nicht an das berührte Objekt anpassen konnten.

Im Rahmen seiner Doktorarbeit erarbeitete 2010 Fischel einen neuartigen Sensor, nach dem Vorbild der menschlichen Fingerkuppe. Dies gilt sowohl für Funktion als auch Aussehen. Der hieraus entstandene Biotac-Sensor enthält die selben Sensorfunktionen wie die menschliche Hand, Temperatur, Druck und Mikrovibration. Eine mit Flüssigkeit gefüllte Silikonhülle umschließt und schützt den harten Kern in dem sich die einzelnen Sensoren befinden. Außer der Funktionalität, wurde bei der Entwicklung auch auf Robustheit und einfache Reparierbarkeit geachtet. So kann zum Beispiel die Flüssigkeit nachgefüllt oder die Silikonhülle problemlos ausgetauscht werden. Bei Vergleichstest zwischen Mensch und Sensor schnitt der Sensor sehr gut ab. Er ist weniger belastbar als die menschliche Hand. Im Punkt der Funktionalität ist der Sensor aber durchaus vergleichbar. Der Biotac schnitt beim Erkennen von Vibrationen mit kleinen Amplituden deutlich

besser ab als die Menschen. Ein ähnliches Ergebnis lieferte das Erkennen von kleinen leichten Gegenständen. Eine Lötkegel der Größe 0,45 mm konnte von dem Biotac sehr sicher erkannt werden, bei den Menschen hingegen schafften das nur knapp 50%. Die Biotac haben somit die Möglichkeit, sehr genaue Informationen über die Umwelt zu liefern [FL12].

Fischel selbst hat im Anschluss an die Entwicklung der Sensors vor allem Test mit verschiedenen Texturen gemacht. Viele unterschiedliche Texturen waren beim darüber Streichen unterscheidbar. Weiterhin beschäftigten sich Fishel et al mit einigen Explorativen Bewegungen, wie Druck ausüben oder darüber streichen, wie die Menschen sie zur Erkennung von Objekten benutzen [XLF13]. Wettels et al. haben getestet wie gut sich unterschiedlich große Gegenstände unterscheiden ließen. Dabei wurden Gegenstände verschiedener Größe auf den Biotac gedrückt, und die Verformung der Hülle versucht zu bestimmen [WL11]. Auch hierbei kam es zu guten Ergebnissen. Vettel et al. haben mit Hilfe von einem Neuronalen Netzwerk und Gaussian mixture model Regression 3 Dimensionale Kraftvektoren bestimmt [WFL14]. Des Weiteren sind die Rohdaten der Biotac unterschiedlich veräuscht. Eine Filtermöglichkeit wurde als im Plan einer Preprocessing Pipeline bereits vorgestellt [CPHZ12].

In meiner Arbeit beschäftige ich mich mit tangential oder schräg auf den Sensor wirkenden Kräften. Hierbei geht es sowohl darum zwischen den Kräften zu unterscheiden, als auch zu bestimmen wie groß die Kraft ist. Wichtig ist dabei, wie unterscheiden sie die Sensordaten bei verschiedene Kraftrichtung und verschiedenen großer Kraft.

2 Grundlagen

2.1 Biotac-Sensoren

Die Biotac-Sensoren sind Sensoren die nach dem Vorbild der menschlichen Fingerkuppe entwickelt wurden. Hierbei wurde ein Besonderes Augenmerk auf die Robustheit und Verformbarkeit der Sensoroberfläche gelegt, die vielen anderen Touch-Sensoren in der Art fehlt. Dieses wurde mit Hilfe einer Silikonhaut, die mit einer Flüssigkeit gefüllt ist erreicht. Außerdem wurden die wichtigen Sensoren der menschlichen Fingerkuppen in einer mindestens gleich sensiblen Art eingebaut.

2.1.1 Aufbau der Biotac-Sensoren

Die Syntouchsensoren sollen die verschiedenen Sensorfunktionen der menschlichen Fingerkuppen imitieren. Eine Fingerkuppe enthält Sensoren zum Messen des Drucks an verschiedenen Stellen, der Temperatur, von Mikrovibrationen und Rutscheigenschaften. Die Biotac-Sensoren kombinieren mehrere künstliche Sensoren um diese Funktionalität zu erreichen. Jeder einzelne Sensor hat 2 Byte in der Ausgabe des Biotac zur Verfügung.

2.1.2 Unterschiedliche Sensoren

In den Biotac befindet sich ein allgemeiner Drucksensor. Dieser liegt wirklich geschützt im Plastik und ist ein Sensor, der den Gesamtdruck, der auf den Sensor einwirkt, bestimmt. Dazu wird der Druck, der auf die Flüssigkeit im Inneren der Silikonhülle wirkt gemessen.

Außer diesem Gesamtdruck Sensor gibt es noch einige andere Drucksensoren im Biotac. An dem festen Kern der Syntouchsensoren befinden sich 19 kleine Elektroden. Sie haben eine bestimmte Anordnung und sind dazu geeignet, den Ursprung des Drucks zu lokalisieren.

Ein weiterer Drucksensor befindet sich noch im Biotac. Auch dieser Sensor misst Veränderungen der enthaltenen Flüssigkeit, allerdings die Wellen, die durch Erschütterungen am Silikon, auftreten. Es handelt sich hierbei um eine Art Mikrofon, also einen Audiosensor, der die von Mikrovibrationen erzeugten Wellen in

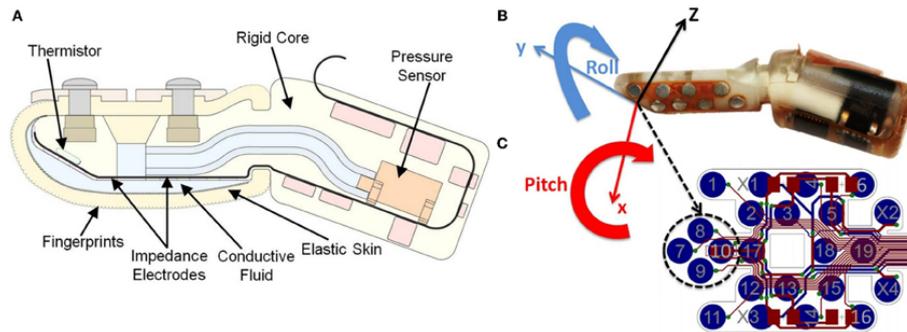


Abbildung 2.1: Die Anordnung der verschiedenen Sensoren im Biotac[SFYL12]

der Flüssigkeit bestimmt.

Um diese Mikrovibrationen im Inneren zu erzeugen hat sie Silikonhülle eine Fingerabdruckähnliche Oberfläche. Fingerabdruckähnliche Haut zum Erzeugen der Mikrovibrationen

Als letzter Sensor befindet sich noch ein Thermosensor im Biotac. Dieser Sensor besteht aus zwei einzelnen Sensoren, die beide die Temperatur bestimmen. Der DC-Termo-Sensor bestimmt die Gesamttemperatur des Biotac. Der AC-Termo-Sensor misst den Wärmeverbreitung innerhalb des Sensors. Diese Beiden Sensoren sind für die Bestimmung von wirkenden Kräften nicht relevant.

2.1.3 Anordnung der Biotac-Sensoren

In den Biotac-Sensoren befinden sich wie oben genannt eine Vielzahl an Sensoren. Die meisten Sensoren sind sehr empfindlich und können leicht kaputt gehen. Aus diesem Grund befinden sich viele Sensoren innerhalb des festen Plastikteils der Biotac. Diese Sensoren sind die beiden Thermo-Sensoren, der DC-Drucksensor und der AC-Drucksensor. Sie können alle nicht von außen, zum Beispiel durch Verformen der Haut getroffen werden. Sie messen nur die Veränderungen in der Flüssigkeit. Diese Konstruktion schützt die Sensor vor vielen Gefahren von Außen.

Das Raster der druckempfindlichen Elektroden liegt außen an dem festen Teil der Biotac. Sie messen zwar im Allgemeinen auch nur den Druck der Flüssigkeit, können bei sehr starkem Druck jedoch auch von der Haut berührt werden. Es ist für ihre Funktion der Bestimmung, wo und wie der Biotac berührt wird notwendig, dass die Elektroden sich sehr nah an der Oberfläche befinden. Diese Sensoren sind bis zu XX N belastbar.

Die menschliche Hand verfügt über die Fähigkeit zu regenerieren, wenn sie be-

schädigt wurde. Das passiert bei der Nutzung von Werkzeugen oder ertasten von Unbekanntem relativ oft und geplant. Eine künstlich hergestellte Haut verfügt nicht über diese Fähigkeit. Darum ist es sehr einfach möglich die Silikonhaut auszutauschen, falls diese beschädigt wurde. Auch die Flüssigkeit in den Sensoren, die bei zu viel Druck austritt, kann problemlos nachgefüllt werden. Diese beiden Funktionen des Biotac sorgen für ausreichende Robustheit. Die Biotac können, laut Hersteller, mit bis zu 50 N belastet werden ohne, dass sie Schaden nehmen.

2.2 Hardware

Außer den Biotac wird noch etwas andere Hardware verwendet. Die Biotac Sensoren sind an der Shadow Dexterous Hand C6 angebracht und über EtherCat mit einem Rechner verbunden. Die Sensoren sind in einem 25° Winkel statt des vordersten Fingergliedes angebracht. Die Sensoren selbst sind nicht beweglich. Die Shadow Hand selbst ist an einem Kuka-Arm montiert. Für die Sensoren bedeutet dies, dass sie sehr frei im Raum beweglich sind.

Um die auf die Sensoren ausgeübte Kraft zu messen, werden andere Messgeräte verwendet. Zum einen gibt es dazu eine einfache Waage mit einem digitalen Ausgang und zum anderen einen Force-Torque-Messgerät, welches Kräfte in allen 3 Dimensionen misst. Das Force-Torque-Messgerät ist genauer und schneller als die Waage, musste für die Nutzung aber noch etwas präpariert und kalibriert werden.

2.3 ROS

Die gesamte Hardware wird über das Robot Operating System(ROS). ROS bietet eine Netzwerk für verschiedene Sensoren und Roboter, die an einem so genannten Roscore angemeldet sind. Außerdem stellt ROS einige implementationen von Algorithmen zur Verfügung. Die Treiber für die Biotacs, die Shadowhand und die beiden Kontrollmessgeräte stehen alle mit Anbindung an ROS zur Verfügung. Von den Biotacs wird eine Nachricht an den Roscore gesendet, die die Sensordaten aller fünf angeschlossenen Biotacs enthält. Diese Nachricht kann mit verschiedenen ROS-Funktionen abgefangen und ausgelesen werden. Eine dieser Möglichkeiten erlaubt es die Daten zu speichern und später weiter zu verwenden. Diese Funktion, rosbag record, habe ich für das aufnehmen der Daten verwen-

det.

Außerdem habe ich einen bereits implementierten Algorithmus aus dem Package `mlclassifier` verwendet. Das Package bietet die Möglichkeit Machine Learning Algorithmen zu verwenden. Außerdem sind bereits drei Algorithmen implementiert: Zero-Classifer, KNN und SVM. Ich habe die SVM davon genutzt.

2.4 Support Vector Machine

Eine Support Vector Machine, zu Deutsch Stützvektormaschine, ist ein Algorithmus aus dem maschinellen Lernen. Bei einer SVM wird versucht, vorhandene bekannte Trainings Daten verschiedener Klassen anhand ihrer Eigenschaften zu klassifizieren. Dazu wird zwischen den verschiedenen Klassen eine Hyperebene eingezogen, die möglichst viel Abstand zu den Klassen hat. Es wird dabei im Allgemeinen versucht, die SVM möglichst wenig an die Trainingsdaten anzupassen, sondern eher an das Gesamte. Dazu werden Ausreißer nicht so stark beachtet. Für eine effektive Teilung der Ebene der SVM ist es also notwendig, dass die Daten weitgehend linear trennbar sind. Ist dies nicht der Fall kann mit Hilfe einer Erhöhung der Dimension die lineare Trennbarkeit erreicht werden. Diese Methode heißt Kernel-Trick[SS01].

Eine SVM kann immer genau zwei Klassen trennen. Gibt es in der Datenmenge mehr als zwei Klassen, müssen mehrere Classifier erstellt und trainiert werden. Es gibt bereits viele Implementationen von SVMs. Die von ROS genutzte SVM heißt LIBSVM. Sie bietet die Möglichkeit verschiedene Parameter anzugeben, doch das wird von dem ROS-Package bereits übernommen.

3 Experimente

Um den Einfluss verschiedener Kräfte auf die Sensoren besser zu verstehen und zu verdeutlichen, wurden einige Experimente gemacht. Die Ergebnisse diese Experimente wurden anschließend zur Klassifizierung und Kraftbestimmung verwendet. Dazu waren einige Vorüberlegungen zu den Auswirkungen der Scherkräfte auf das taktile Sensorrastrer notwendig.

3.1 Aufbau der Experimente

Die Veränderungen ähneln einem direkten Druck, der Schräg von der Seite kommt. Aus diesem Grund teste ich sowohl Scherkräfte in verschiedenen Stärken, als auch Kräfte auf gerade Unterlagen, in verschiedenen Winkeln. Außerdem wird getestet wie Druck von rechts oder links sich auswirkt.

3.1.1 Druck auf eine schräge Ebene

Um die Veränderungen der Sensoren bei Druck auf eine Schräge Fläche zu bestimmen, werden Schrägen mit unterschiedlicher Steigung verwendet und auf einen Kraftsensor, zum Beispiel eine Waage, gestellt, um die Kraft zu messen. Im Anschluss daran wird die Fingerkuppe mit dem Sensor im 90° Winkel zum Boden auf die Schräge Ebene gesenkt. Das geschieht mit verschiedenen großer Kraft, um ein möglichst umfangreiches Bild der Auswirkungen auf die Sensoren zu erhalten. Wichtig ist dabei, dass sich der Winkel so wenig wie möglich ändert, damit der Sensor wie erwartet belastet wird. Um das zu erreichen wurde mit einer Wasserwaage die Ausrichtung des Sensors zum Boden bestimmt. Anschließend wurden verschieden stark auf den Sensor gedrückt und die Werte der Waage sowie der Sensoren gespeichert.

Als schiefe Ebene dienen Blöcke aus Holz die eine Grundfläche von etwa $3\text{cm} * 5\text{cm}$ und bestimmten Winkeln von 45° und 15° . Die Grundfläche muss mindestens $2,5\text{cm}$ breit sein, damit der gesamte Biotac die Ebene berührt. Diese Blöcke wurden mit Hilfe von doppelseitigem Klebeband auf dem Kraftsensor fixiert. Bei dem Versuch den Sensor mit der Shadow Hand direkt herunter zu drücken, änderte sich der Winkel zwischen Sensor und Boden. Selbiges Problem trat ebenso

auf, wenn die Hand überhaupt nicht bewegt wurde, sondern nur der Kuka-Arm. Der Finger der Shadow Hand ließ deutlich mehr Spiel in den Gelenken zu, als vorgesehen. Das lässt sich vermutlich darauf zurück zu führen, dass die Hand schon etwas länger in Benutzung ist, und die Drahtsehnen nicht mehr ganz fest sind. Daraufhin wurde der Druck mit Hilfe der Wasserwaage und manuell auf die Fingerkuppe mit den Sensoren gegeben.

Die Waage verfügt über eine digitale Ausgabe, die mit Hilfe eines Rosnode auslesbar ist. Allerdings liefert die Waage nur einmal pro Sekunde Daten während die Sensoren mit einer sehr viel höheren Frequenz ausgelesen werden können. Wenn beide Geräte beim selben Roscore angemeldet sind, stimmen die Time-stamps überein, sodass eine direkte Verbindung besteht. Die gleichen Messungen wurden auch über den Force-Torque-Sensor erstellt werden. Dieser musste zu erst kalibriert werden.

3.1.2 Tangentialkräfte auf verschiedenem Untergrund

Zur Bestimmung der Scherkräfte wird ein Force-Torque-Sensor eingesetzt. Dieser Sensor kann sowohl Kräfte, als auch Drehmomente entlang aller drei Achsen messen. Die Schwierigkeit bei diesem Messgerät ist die Sensibilität. Der verbaute Sensor ist eigentlich nicht sensibel genug für die Kräfte, die auf die Sensoren und die Gelenke der Shadow Hand wirken sollen. Um die Sensibilität zu erhöhen, wurde das Messgerät verändert. Mit dem Zweck der mechanischen Verstärkung wurde eine quadratische Metallstange entlang der X-Achse angebracht. Da sich eine Stange nicht dazu eignet im 90°-winkel darüber zu streichen, wurde mit Hilfe eines 3D-Druckers eine Ebene geschaffen, die sich am Ende der Metallstange befestigen lässt. Damit existiert eine 7cm lange Ebene die 45cm vom Zentrum des Sensors entfernt ist, über die der Sensor gleiten kann.

Die Strecke, die sich der Sensor bei jedem Test bewegen kann, ist damit über die Ebene bestimmt. Unterschiedliche Geschwindigkeiten haben keinen Einfluss auf die wirkende Kraft, ist aber irrelevant zum bestimmen der Kraft mit den Taktilen Sensoren. Um zu Testen, wie sich unterschiedliche Materialien auf die Scherkräfte auswirken, wurde die Ebene mit unterschiedlichen Materialien versehen. Eines der Materialien ist direkt das gedruckte Plastik. Es ist hart und relativ glatt mit einigen kleinen Unebenheiten. Als nächstes wurde die Ebene mit einem Stofftape beklebt. Der Untergrund ist also immernoch sehr hart aber deutlich rauer als vorher. Als letztes Material wurde Moosgummi zum Basteln aus der Ebene befes-

tigt. Dieses Material ist deutlich weicher als ist anderen. Die Oberfläche ist weder richtig rau noch glatt. Ansonsten wird mit den Daten genauso verfahren, wie bei den Messeungen zu Kräften auf schräge Ebenen.

3.2 Beobachtungen

Bei den Experimenten lassen sich verschiedene Ausschläge der einzelnen Elektroden beobachten. Es lässt sich sowohl unterscheiden welche der 19 Elektroden angeregt werden als auch wie stark die Ausschläge sind. Auf den ersten Blick ist deutlich zu sehen, dass die Elektroden stärkere Veränderungen anzeigen, wenn größere Kräfte wirken. Um die Größe der wirkenden Kraft zu bestimmen, benötigt man jedoch eine genauere Untersuchung.

Es ist deutlich zu erkennen ob eine Kraft von Rechts oder Links auf den Biotac einwirkt. Ob es sich um eine Tangentialkraft oder einen Druck auf eine relativ steile schräge Ebene handelt, ist auf den ersten Blick an den Elektroden nicht gut zu erkennen. Bei tangential wirkenden Kräften scheinen auf den ersten Blick mehr Elektroden auszuschlagen, als beim Druck auf schräge Ebenen, aber auch das benötigt eine genauere Untersuchung.

Etwas, was auch beim genaueren betrachten auffällt ist, dass die Sensoren bei stärkerem Druck kleinere Ausgabewerte haben. Dies ist für Menschen ungewöhnliche Tatsache, für die Messungen allerdings unbedeutend.

3.2.1 Datenaufbereitung

Um die aufgenommenen Rosbags in eine lesbare Form zu bringen, wurden mit Hilfe eines Skripts die Topics in den Rosbags als richtige Zahlenwerte in eine Datei gespeichert. Die einzelnen Topics werden jedoch als getrennte Dateien ausgegeben. Bei den Taktilen Sensoren werden die Werte aller Fingerkuppen im Rosbag gespeichert und liegen damit auch in der Datei vor.

Als nächstes werden die Daten vereint und mit Hilfe von GnuPlot in Diagrammen anschaulich dargestellt. Hierbei werden die Daten der anderen Biotac-Sensoren nicht mitgeplottet, um die Diagramme übersichtlicher zu gestalten. Auch die temperaturesensoren werden nicht im Diagramm dargestellt.

Aus den verschidenen Experimenten ergeben sich die Plots abb. 3.1 - abb.3.6.

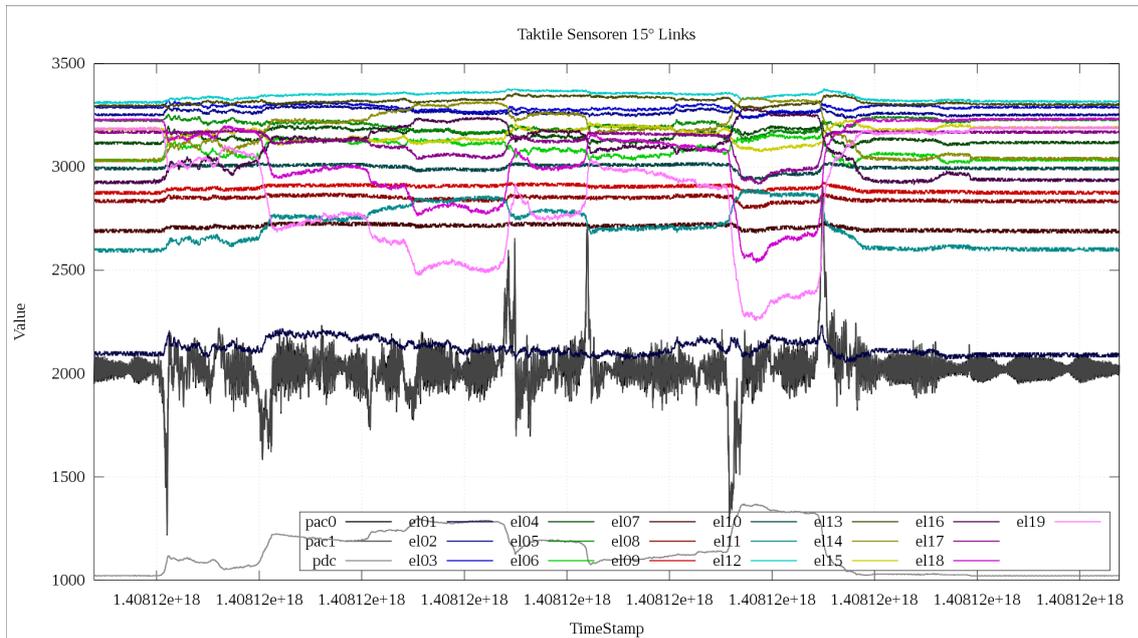


Abbildung 3.1:

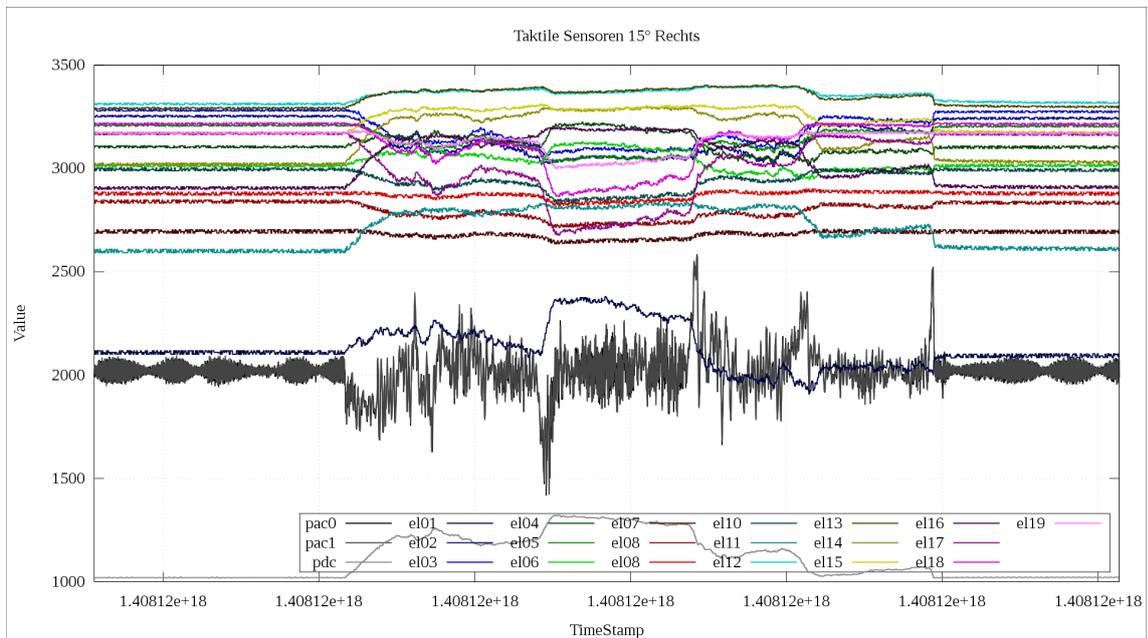


Abbildung 3.2:

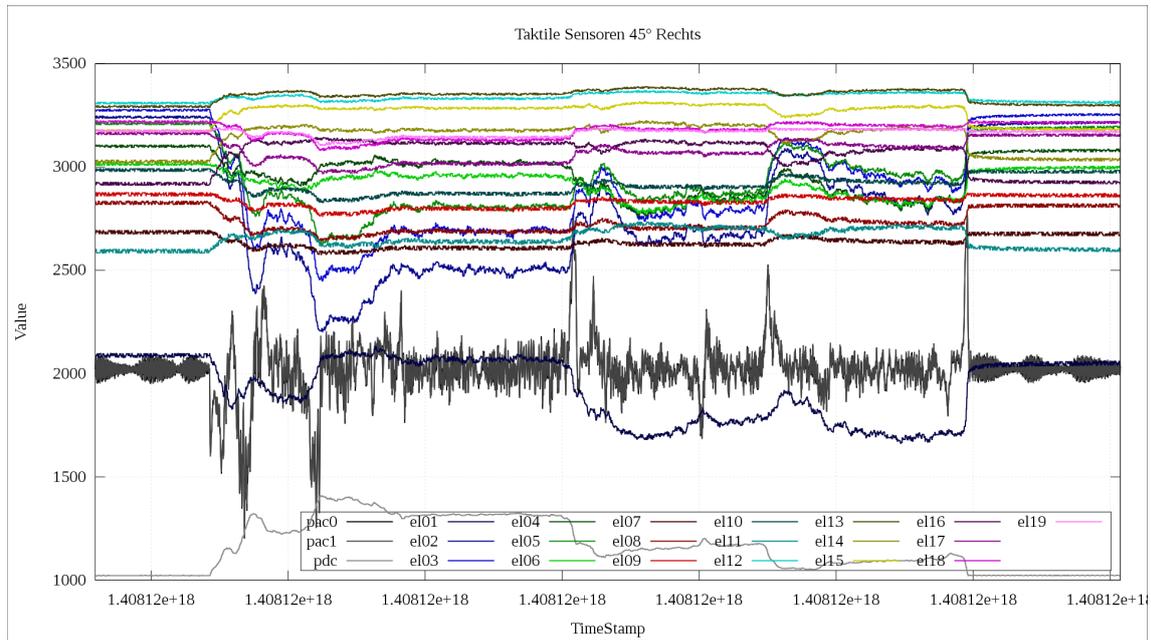


Abbildung 3.3:

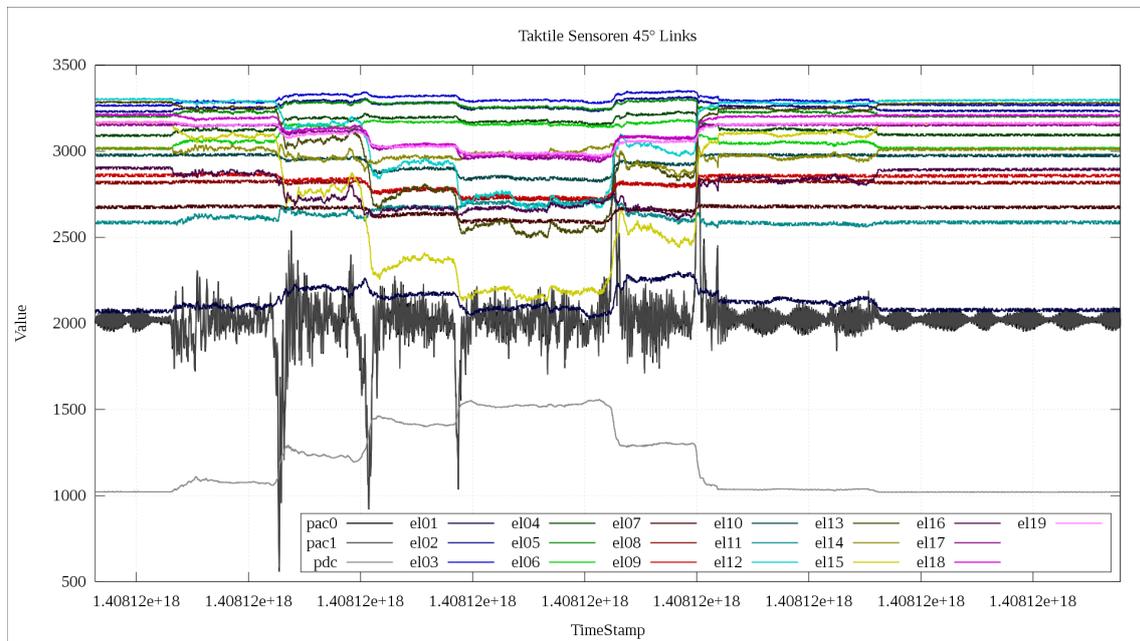


Abbildung 3.4:

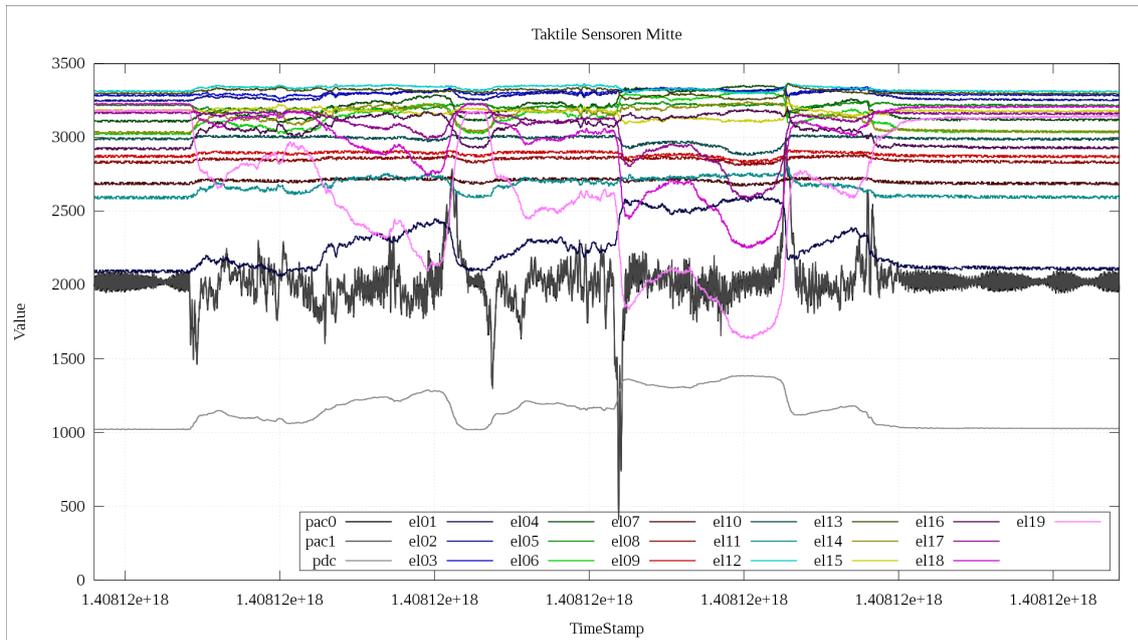


Abbildung 3.5:

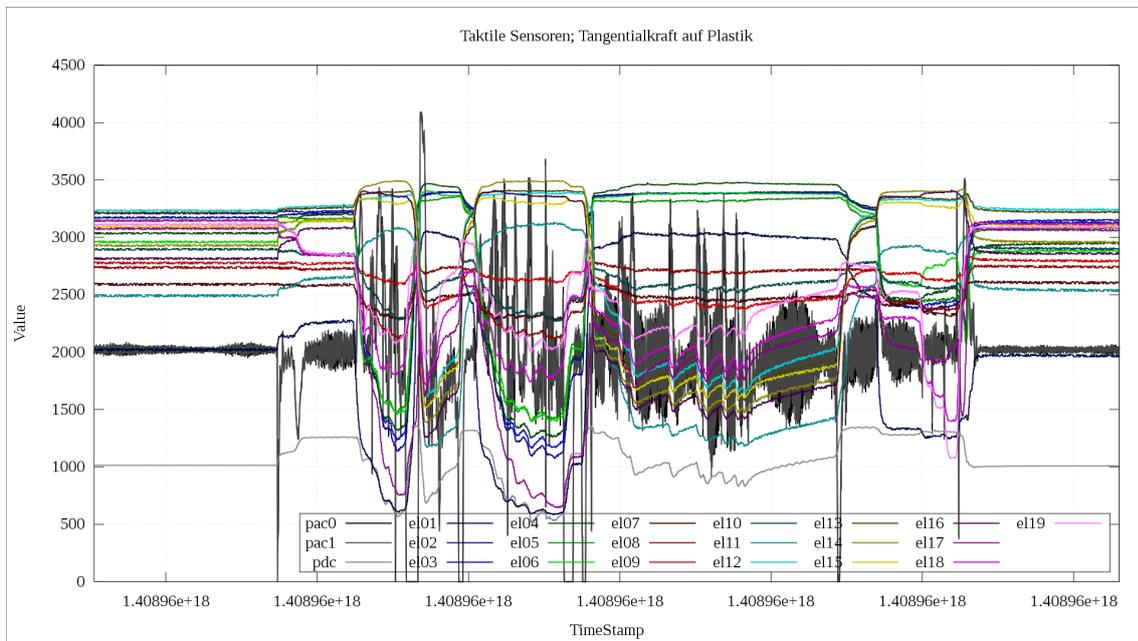


Abbildung 3.6:

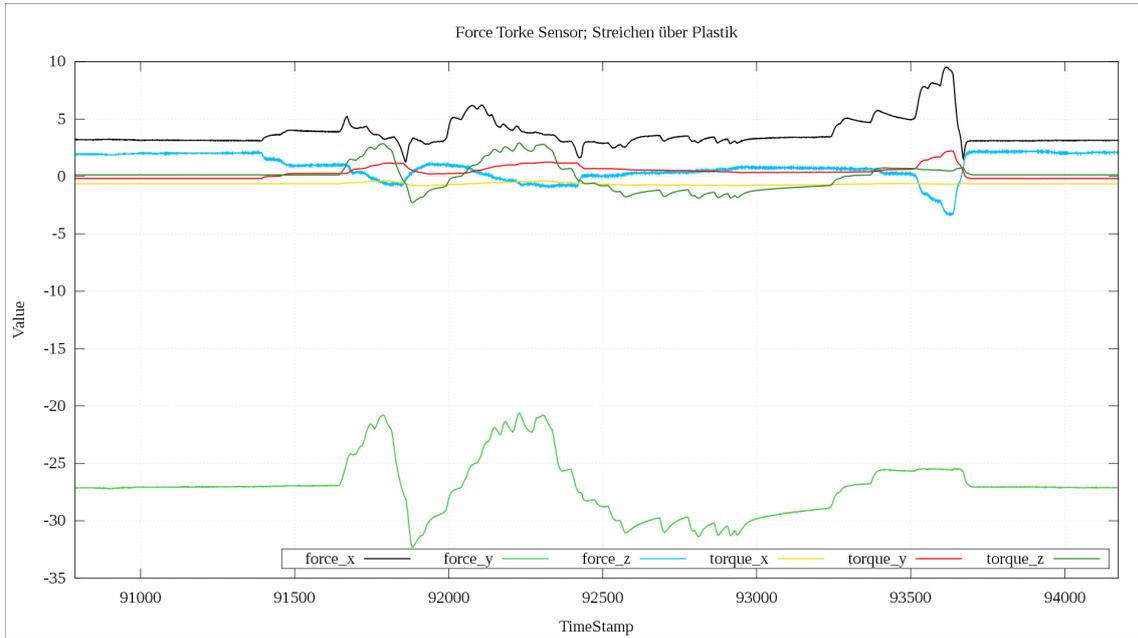


Abbildung 3.7:

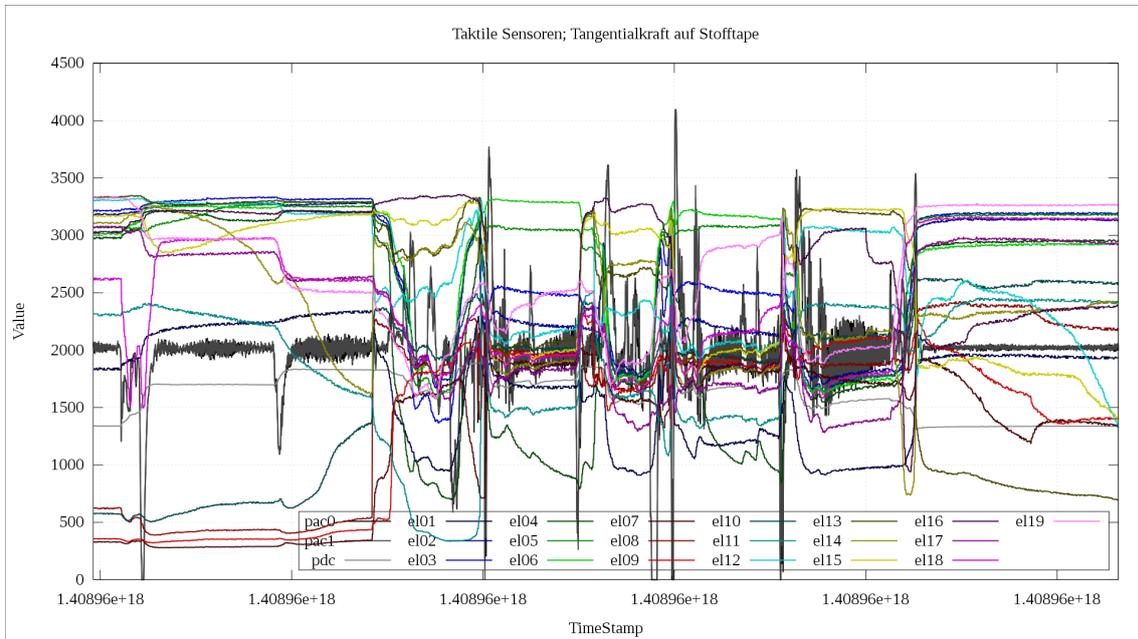


Abbildung 3.8:

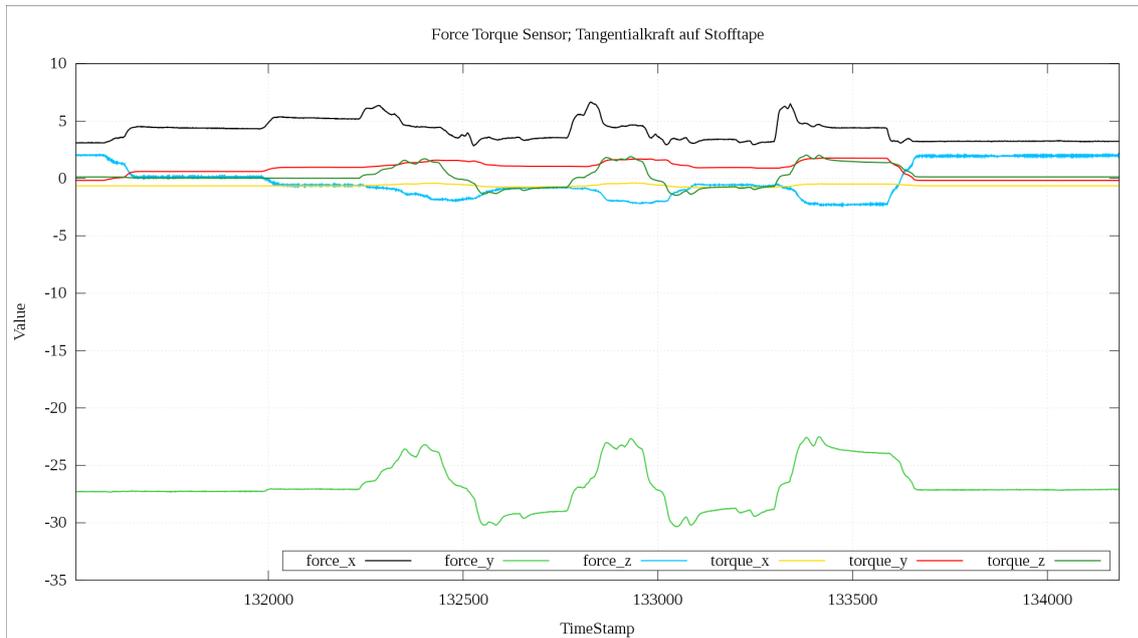


Abbildung 3.9:

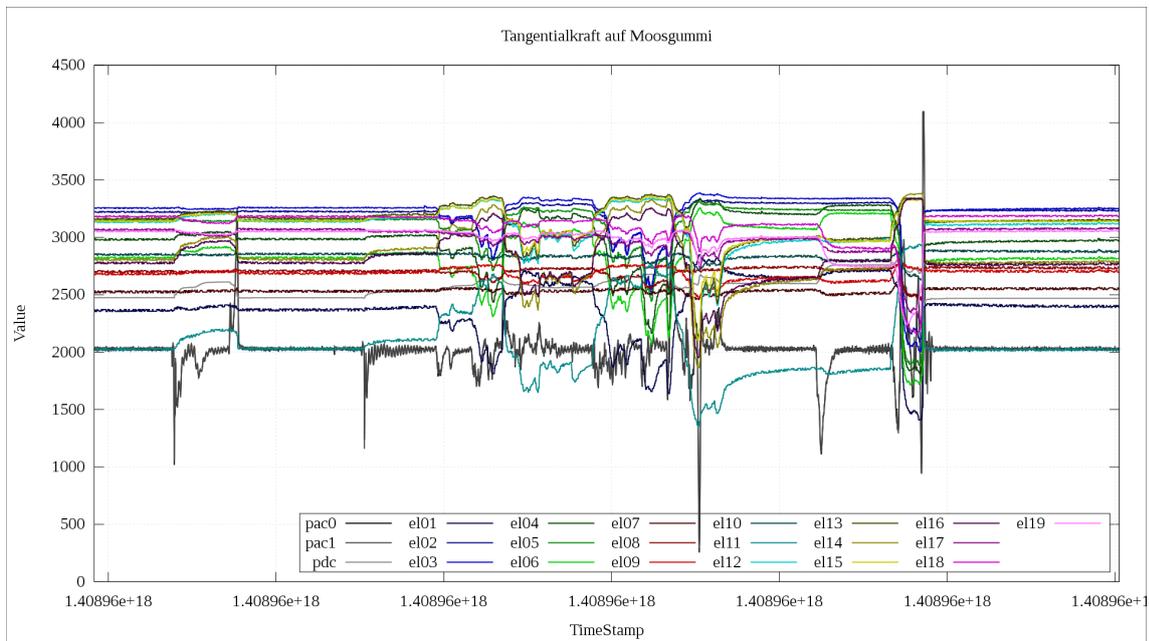


Abbildung 3.10:

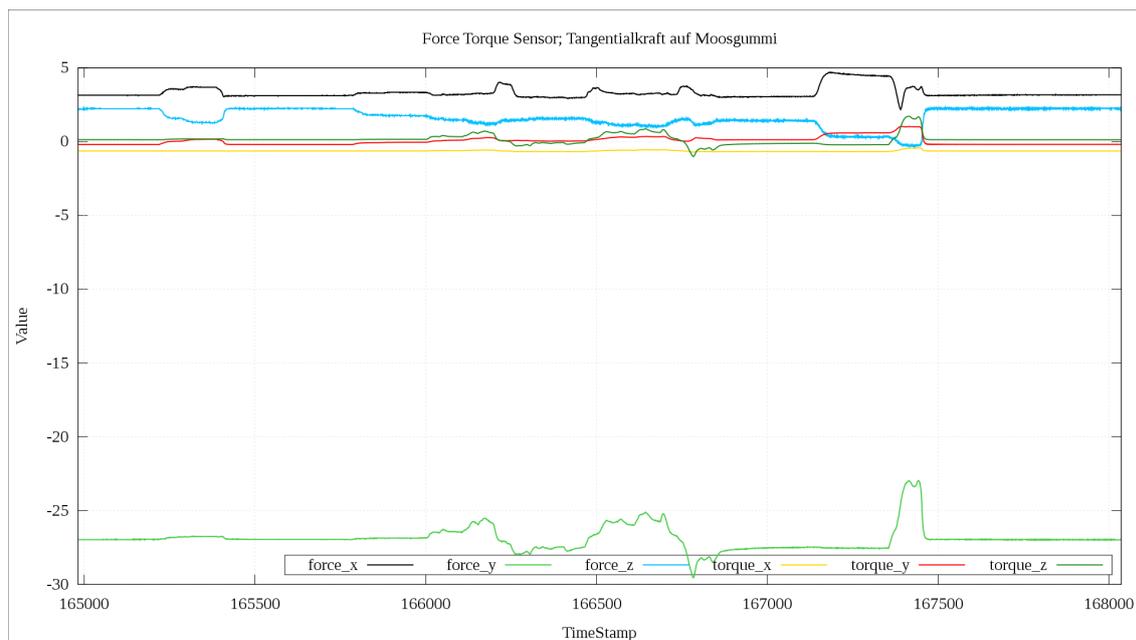


Abbildung 3.11:

3.3 Konsequenzen

In den Plots der aufgenommenen Daten ist deutlich zu sehen, dass die unterschiedlichen Druckarten ein unterschiedliches Bild abliefern. Es ist zu sehen, dass unterschiedlich viele und unterschiedliche Elektroden angeregt werden. Auch gut erkennbar ist, dass Elektroden, je nach wirkender Kraft, unterschiedlich stark ausschlagen.

3.3.1 Unterscheidbarkeit von Arten des Drucks

In den Experimenten wurden verschiedene Arten von Druck getestet. Es gibt grob drei unterschiedliche Kategorien: Seite des Drucks, Scherkräfte oder Normalkraft auf eine Ebene und die Schräge dieser Ebene. Der Unterschied von welcher Seite der Druck wirkt ist gut zu erkennen, daran welche der Elektroden Ausschläge aufweisen. Der Unterschied zwischen den Scher- und Normalkräften lässt sich auch über die angeregten Elektroden bestimmen. Von den Plots her sieht es so aus, als würden beim Auftreten von Scherkräften mehr Elektroden angeregt. Sogar der Winkel der Ebene lässt sich teilweise erkennen. Beim 15° Winkel werden die weiter innen liegenden Elektroden, wie Nummer 17, deutlich stärker angeregt, als beim 45° Winkel. Der Unterschied zwischen 0° und 15° ist allerdings recht gering.

3.3.2 Unterscheidbarkeit der Stärke des Drucks

Es ist deutlich zu sehen, dass es eine Korrelation zwischen der Größe der Kraft, die auf die Sensoren einwirkt und den Ausschlägen der Sensoren. Dies gilt nicht nur für den Gesamtdruck-Sensor, den Pdc, sondern auch für die Elektroden. Wie genau die Korrelation aussieht, ist auf den ersten Blick nicht ersichtlich. Sie muss für die einzelnen Richtungen sicherlich unterschiedlich berechnet werden. Die Bestimmung dieser Korrelation wird in Kapitel 5 näher beleuchtet.

3.3.3 Plan des Programms

Die Bestimmung der Kraft, die auf den Biotac wirkt, sind zwei Schritte nötig: Die Bestimmung der Richtung und die Größe in die verschiedenen Richtungen. Die Aufteilung der Kraft auf die Richtungen hängt von der Richtung ab. Aus diesem Grund, wird zuerst eine Klassifizierung durchgeführt und basierend darauf die Kraft im Raum bestimmt.

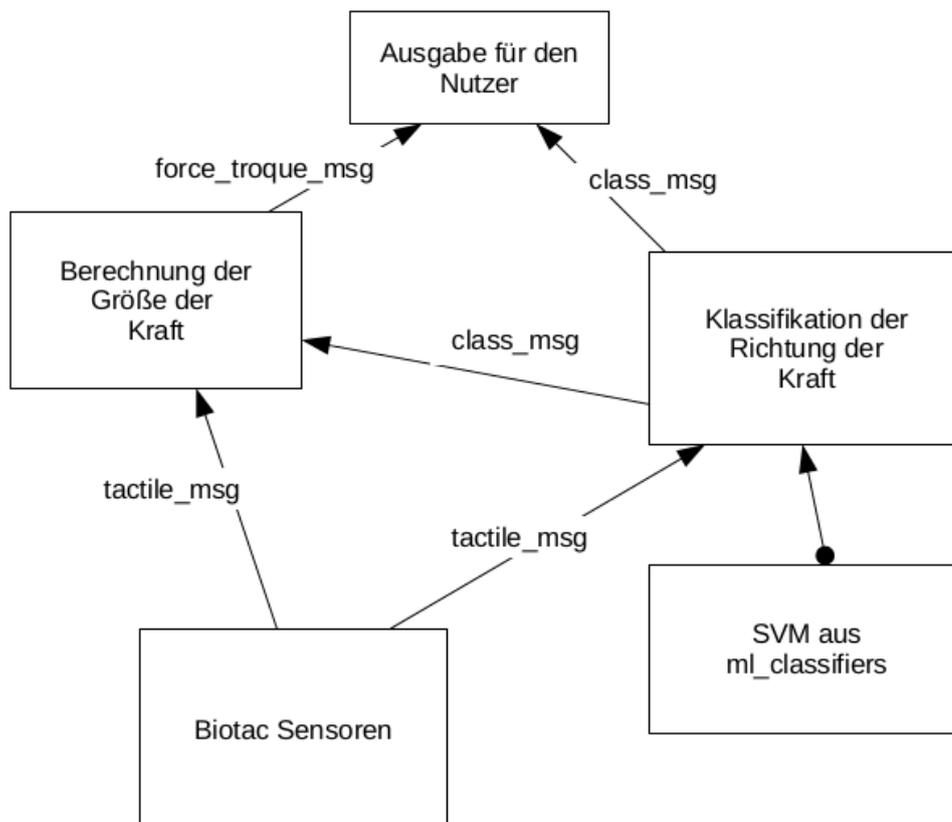


Abbildung 3.12: So kommunizieren die verschiedenen Knoten des Programms.

4 Klassifizierung des Drucks

In den Experimenten wurden viele Arten von Druck auf die Biotac Sensoren ausgeübt. In den Plots war gut zu sehen, dass sich einige Arten anhand der Ausschläge der Elektroden klassifizieren lassen müssten. Diese Klassifikation ließe sich von Hand explizit durchführen. Ich habe mich jedoch für die Variante eines Klassifikationsalgorithmus entschieden. Die meisten Klassifizierungsalgorithmen stammen aus dem maschinellen Lernen. Ich habe mich für eine SVM, Support Vector Machine, entschieden, da dieser Algorithmus auch bei komplexen Daten und mehreren Klassen gut Ergebnisse liefert. Wie bereits erwähnt existiert ein Ros-Package, welches unter anderem eine SVM enthält.

Die Klassen, denen die Punkte zugeordnet werden sollen entsprechen den getesteten Winkeln und Tangentialkräften. Es gibt als Klassen, die durch die Winkel der Ebene charakterisiert werden, die Klassen der Tangentialkräfte in eine bestimmte Richtung und eine Referenzklasse mit den Daten, bei denen keine Kraft auf den Biotac wirkt.

4.1 Aufbereitung der Daten

Um die Daten der Biotac-Sensoren zu klassifizieren mussten diese etwas vorbearbeitet werden. Damit nicht falsche Eigenschaften gelernt werden mussten jegliche überflüssige Eigenschaften der aufgenommenen Daten entfernt werden. Dabei handelt es sich vor allem um die Daten, die von ROS zusätzlich aufgenommen wurden, wie zum Beispiel die Time-Stamped. Würden die Time-Stamped in den Daten verbleiben, könnte die SVM lernen, welche Arten von Druck zu welcher Zeit aufgenommen wurden. Dies ist nicht das gewünschte Ergebnis.

Des Weiteren befinden sich die Daten bis dahin in einzelnen Dateien vor, wobei in jeder Datei mindestens 2 Klassen zu finden sind. Diese Dateien habe ich unter Berücksichtigung der Beobachtungen aus Kapitel 3 sortiert und in einzelne Dateien sortiert. Es liegen nun einige csv-Dateien vor, die jeweils nur eine Klasse enthalten. Für diese Klassen ist es irrelevant wie groß, die wirkende Kraft ist, da die Richtung der Kraft ausschlaggebend für die Klasse sein soll. Passend zu diesen Dateien, die zur Klassifikation eingelesen werden, werden vor der Klassifikation Arrays mit den Klassenbezeichnungen der selben Größe erstellt.

Die Größen der Klassen sind nach den Experimenten relativ unterschiedlich. Das hat jedoch kaum einen Einfluss auf das Ergebniss der SVM. Bei einigen anderen Klassifikationsalgorithmen, zum Beispiel K-Nearest-Neighbours, müssten die Klassen noch auf ungefähr die selbe Größe gestutzt werden.

4.2 Klassifikation durch ein Programm

Der eigentliche Klassifizierungs Algorithmus ist bereits in ROS implementiert. Dieser Algorithmus steht zur Verfügung und wird von meinem Programm lediglich genutzt. Zu erst wird dabei allgemein ein Klassifizierer, Classifier erstellt. Anschließend wird der Classifier als SVM mit den zuvor beschriebenen Daten aufgerufen und trainiert. In diesem Abschnitt des Programms wird bestimmt, als was, welche Punkte klassifiziert werden. Allerdings wird hierbei nur auf bekannten Daten gearbeitet.

Im Anschluss an das Trainieren eines neuen Classifiers, wird dieser Classifier genutzt um Testdaten zu testen. In diesem Schritt werden unbekannte Daten des Biotac dem Classifier übergeben und eingeordnet. Die Daten des Biotac werden über einen Subscriber bei jedem Update empfangen und anschließend klassifiziert. Während das Programm läuft wird die gesammte Zeit der selbe Classifier genutzt.

Dieses Programm übernimmt zwei unterschiedliche Aufgaben: Erstellen eines Classifiers und Klassifizierung von Daten. Eigentlich sollten diese Aufgaben geteilt werden. In diesem Fall sollte das erste Programm einen Classifier anhand von Trainingsdaten erstellen und speichern. Das Zweite Programm sollte dann die Testpunkte mit Hilfe des erstellten Classifiers klassifizieren. Diese Aufteilung gibt die Möglichkeit, Klassifizierungen durchzuführen ohne erst einen Classifier zu erstellen. Da sich die Trainingsdaten nicht bei jedem Programmaufruf deutlich geändert haben werden, spart dies Zeit. Außerdem ermöglicht es, die Klassifikation zu portieren ohne die Testdaten mitportieren zu müssen. Stattdessen kann der fertige Classifier übernommen werden.

5 Kraftbestimmung

Die Sensoren der Biotac liefern Zahlenwerte einer relativ unbekanntem Skala zurück. Die Werte sind strikt geordnet und entsprechen der Genauigkeit des Sensors. Es ist jedoch, anhand der Sensorwerte nicht bekannt, wie viel Kraft auf den Sensor wirkt. Um das zu bestimmen ist es notwendig die Korrelation der gemessenen Kraft am Referenzsensor und am Biotac zu bestimmen.

5.1 Kalibrieren des Force-Torque-Sensors

Wie in Kapitel 3 bereits erwähnt wurde der verwendete Force-Torque-Sensor zur besseren Nutzung mechanisch verändert. Aus diesem Grund, stimmen die vom Hersteller angegebenen Werte nicht mehr. Die beiden runden Metallplatten zur Befestigung des Sensors verschieben alle Werte um den selben Wert ein wenig vom Nullpunkt. Die Metallstange, die entlang der X-Achse angebracht wurde hat nur einen Einfluss auf einen Teil der Werte.

Zur Bestimmung der Kraft am Ende der Metallstange wurde der Sensor parallel zum Boden eingespannt. Im Anschluss wurden verschieden schwere Gegenstände, von denen das Gewicht bekannt ist, auf die Platte am Ende der Metallstange gelegt. Um den wirklichen Ausschlag der Kraft zu berechnen muss ein wenig gewartet werden, damit die Metallstange wieder zur Ruhe kommt. Aus dem Gewicht der Gegenstände und der Ausschläge des Force-Sensors in Z-Richtung ergibt sich dieser Plot.

Um mehr Werte zur Berechnung des Drehmoments am Ende der Metallstange, wurde der Sensor um 90° gedreht, sodass die Gegenstände an die Platte gehängt werden können und von der Schwerkraft beeinflusst werden. Daraus ergibt sich dieser Plot.

Die Force-Werte des Sensors werden durch die Konstruktion nicht besonders viel verstärkt. Die Ausschläge in die verschiedenen Richtungen stimmen mit den Gewichten überein. Jedoch sind Anfangswerte durch die mechanischen Veränderungen nicht bei Null, sondern verschoben. Ähnliche Verschiebungen sind bei den Drehmomenten zu beobachten. Auch von diesen liegt keiner ohne wirkendes Drehmoment auf 0. Die Position des Force-Torque-Messgeräts im Raum hat einen Einfluss auf die Verschiebungen der Werte. Die Grundverschiebung lässt

sich zu Beginn der Messungen messen und von den folgenden Werten abziehen. Das Drehmoment, das auf den Sensor wirkt wird durch die Metallstange verstärkt. Es entspricht $F * 0,45$.

5.2 Bestimmung der Korrelation von Druck und Sensorwerten

Anhand der Sensordaten des Biotac soll nicht nur die Richtung, sondern auch die Größe der wirkenden Kraft bestimmt werden. Um die Größe der Kraft zu bestimmen, wird das Verhältnis der Biotac-Daten zu den wirkenden Kräften berechnet. Dazu vergleiche ich den Daten der Biotac mit den Daten des Force-Torque-Sensors zur selben Zeit.

5.2.1 Bestimmung der Gesamtkraft anhand des Pdc

In den Biotac befindet sich ein Sensor, der den Gesamtdruck auf die Flüssigkeit misst. Dieser Sensor gibt die Werte als "Pdc" in der Biotac Message aus. Mit diesem Wert lässt sich die insgesamt wirkende Kraft, unabhängig von der Richtung bestimmen. Dazu habe ich die relativen Veränderungen des Pdc-Wertes und der wirkenden Kraft gemessen. Hierzu wurde Druck von lediglich einer Richtung auf den Biotac eingewirkt, um diese Kraft einfacher zu messen. Anhand des Plots war bereits gut erkennbar, dass es sich um einen linearen Zusammenhang handelt. Außerdem ist bekannt, dass die Gerade durch den Ursprung geht, da bei keiner wirkenden Kraft auch keine relativen Ausschläge des Pdc-Wertes zu beobachten sind.

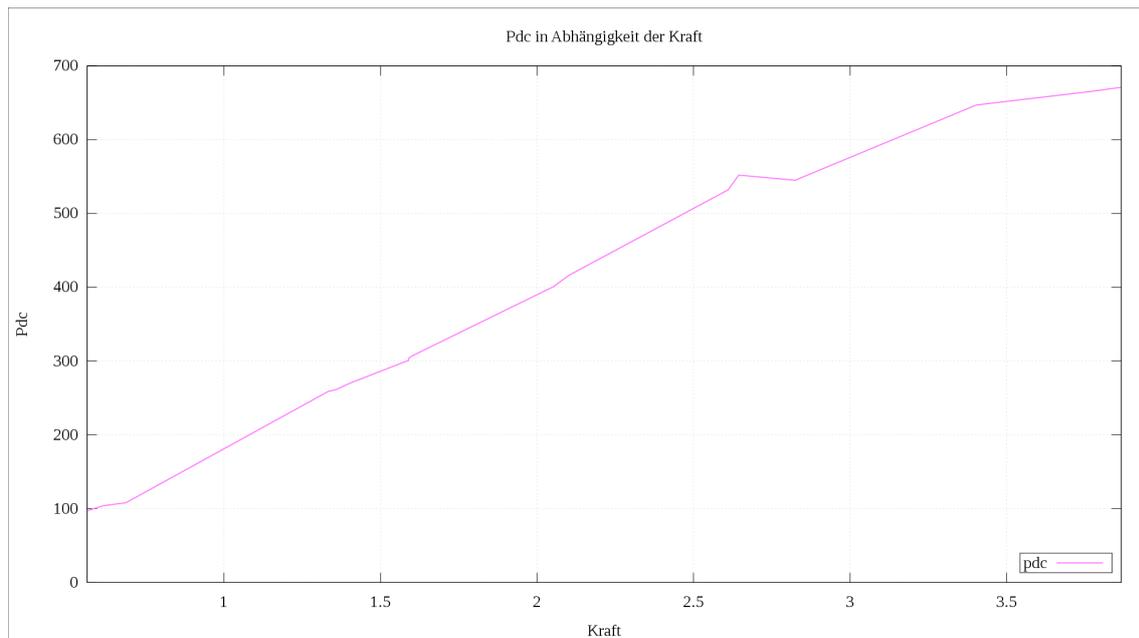
Mit Hilfe von Linearer Regression wurde aus den unterschiedlichen Punkten die passendste Gerade bestimmt. Für die Berechnung der Kraft bei gegebenen Pdc-Wert, ist die Umkehrfunktion notwendig.

$$F_{ges} = Pdc / 188,4517$$

centering

5.2.2 Aufteilung der Kraft bei bestimmten Winkel

Eine Kraft deren Größe und Richtung bekannt ist lässt sich in ihre einzelnen Komponenten unterteilen. Wenn Druck auf eine schräge Ebene, deren Winkel bekannt



ist, ausgeübt wird, ist dies der Fall. Mit Hilfe der Klassifikation ist der Winkel der berührten Ebene bekannt. Des Weiteren ist bekannt, dass keine Kraft in Richtung der X-Achse der Biotac wirkt. Für die beiden anderen Achsen ergibt sich die Aufteilung in der einzelnen Komponenten.

Daraus ergibt sich für den Anteil der Kraft in Richtung der y- und z-Achse:

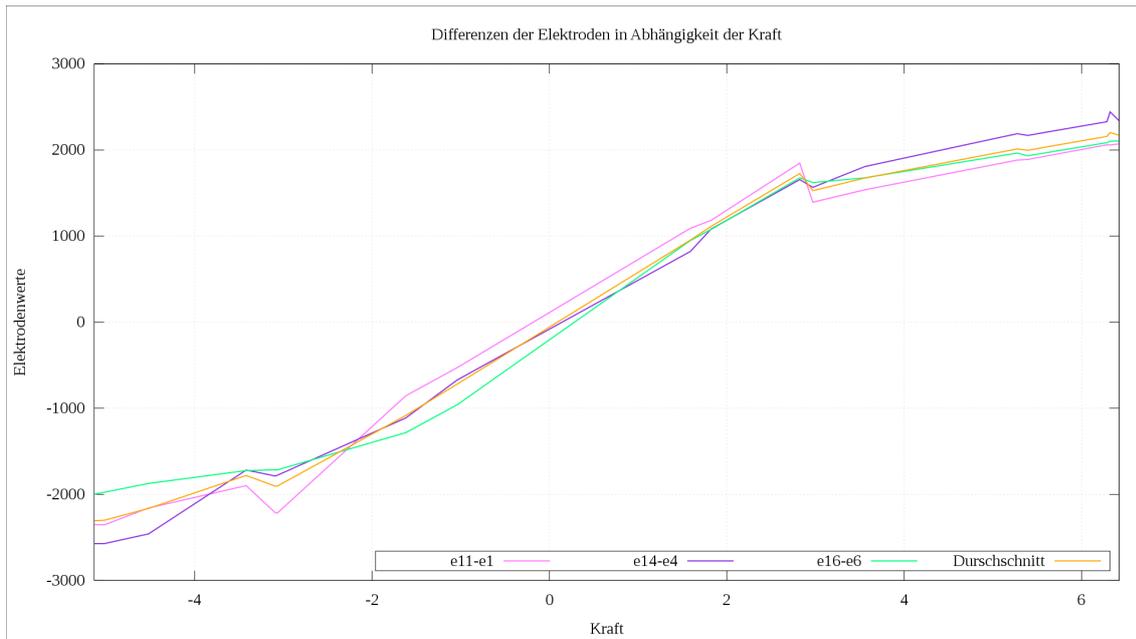
$$F_y = \sin(\alpha) \quad F_z = \cos(\alpha)$$

Anschließend müssen diese Kräfteanteile mit der insgesamt wirkenden Kraft multipliziert werden. Diese ist durch den Pdc-Wert der Biotac bestimmbar.

5.2.3 Bestimmung der Kraft bei tangential wirkenden Kräften

Bei tangential wirkenden Kräften habe ich einen ähnlichen Ansatz gewählt wie bei den Kräften auf schräge Ebenen. Die Gesamtkraft wird über den Pdc bestimmt und anschließend in ihre einzelnen Komponenten aufgeteilt. Allerdings ist bei den tangential wirkenden Kräften das Verhältniss der beiden Kräfte nicht bekannt, da die Kraft in y-Richtung und z-Richtung vollkommen unabhängig voneinander verstärkt oder abgeschwächt werden können. Es ist nur bekannt, dass beide Werte zusammen der Gesamtkraft entsprechen.

Hier beginne ich mit der Berechnung des tangential wirkenden Anteils. Aufgrund der bekannten Werte des Elektrodenrasters ist diese Kraft bestimmbar. Bei einer tangential wirkenden Kraft, steigt der Wert aller Elektroden auf der einen Seite, während sich die auf der anderen deutlich verringern. Die Äußersten Elek-



troten sind Links 11, 14 und 16 und Rechts eins, vier und sechs. Zuerst wird die Differenz der jeweils zusammen gehörenden Elektroden gebildet. Zudem habe ich noch den durchschnitt der Abweichung bei der jeweiligen wirkenden Kraft berechnet. Anschließend wird, wie bei der Berechnung der Gesamtkraft aus dem Pdc-Wert, das Verhältnis anhand mehrere Punkte bestimmt. Auch hier was bereits nach einem ersten Plot ein linearer Zusammenhang zu erkennen.

$$F_t = ((e_{11} - e_1 + e_{14} - e_4 + e_{16} - e_6)/3)/563,1424$$

Damit ist die tangentialwirkende Kraft bestimmt. Nun lässt sich die Kraft auf die Ebene durch eine simple Differenz bestimmen:

$$F_z = F_{ges} - F_t$$

Bei dieser Berechnung viel auf, dass die Werte bei einer tangential wirkenden Kraft über etwa 7N in beide Richtungen keine sinnvollen Werte mehr anzeigten. Ein Grund hierfür ist der Verlust von Flüssigkeit aus dem Biotac. Es ist aber auch gut möglich, dass die Sensorren in diesem Bereich ungenauer werden. Für die Regression habe ich sogar nur die Werte zwischen -3,5 und +3,5 verwendet.

6 Evaluation

Insgesamt lässt sich bestätigen, dass sowohl die Richtung der Kraft, als auch die Größe mit Hilfe der Biotac bestimmbar sind. Der Gesamtdruck Sensor liefert sehr gute Ergebnisse im Vergleich zur Insgesamt wirkenden Kraft. Ebenso lässt sich anhand der Elektroden gut die Richtung der Kraft und der Ansatzpunkt der Kraft bestimmen.

Die Bestimmung der Kraft hat jedoch einige Schwierigkeiten. Die Anfangswerte der einzelnen Sensoren sind sehr unterschiedlich. Das ist sowohl abhängig von dem verwendeten Biotac, als auch dem Sensor darin. Zum Beispiel gibt es Unterschiede zwischen Elektroden, die an der Mitte des Biotac gespiegelte Position, wenn der Biotac mit der Mitte direkt zum Boden zeigt. Ob diese Unterschiede nicht nur in den Anfangswerten, sondern auch in der Skalierung bestehen, habe ich nicht weiter untersucht.

Die Unterschiede Anfangswerte und zwischen den Biotac erschwert vor allem das Portieren auf andere Systeme. In wie weit andere Faktoren, wie die Außentemperatur, einen Einfluss auf die Sensorwerte hat, wurde auch nicht untersucht. Falls dies hinzukommt, wird das Portieren entsprechend schwieriger.

Ein weiteres Problem besteht darin, dass auch der selbe Sensor Unterschiede in den Daten aufweist. Beim Streichen über eine Ebene mit einem Biotac, trat oft Flüssigkeit aus. Dies veränderte natürlich die Startwerte. Nachdem einmal viel Flüssigkeit ausgetreten war, schien sich in der Silikonhülle Unterdruck gebildet zu haben, da sich die Hülle beim bewegen leicht verformte. Zudem stieg der Druck an manchen Elektroden nur durch Bewegung des Sensors stark an. Nach dem erneuten Befüllen mit ausreichend Flüssigkeit, waren die Werte wieder im normalen Bereich. Des weiteren wird die Silikonhülle bei Gebrauch der Biotac auch etwas verbraucht. Bei dem Sensor mit dem ich die Aufnahmen für die Berechnungen Tangentialkräfte gemacht habe, wurden der künstliche Fingerabdruck ein Stück weiter abgerieben. Für die Berechnung der Kraft spielt dies allerdings keine Rolle, weshalb ich die Haut nicht ausgetauscht habe.

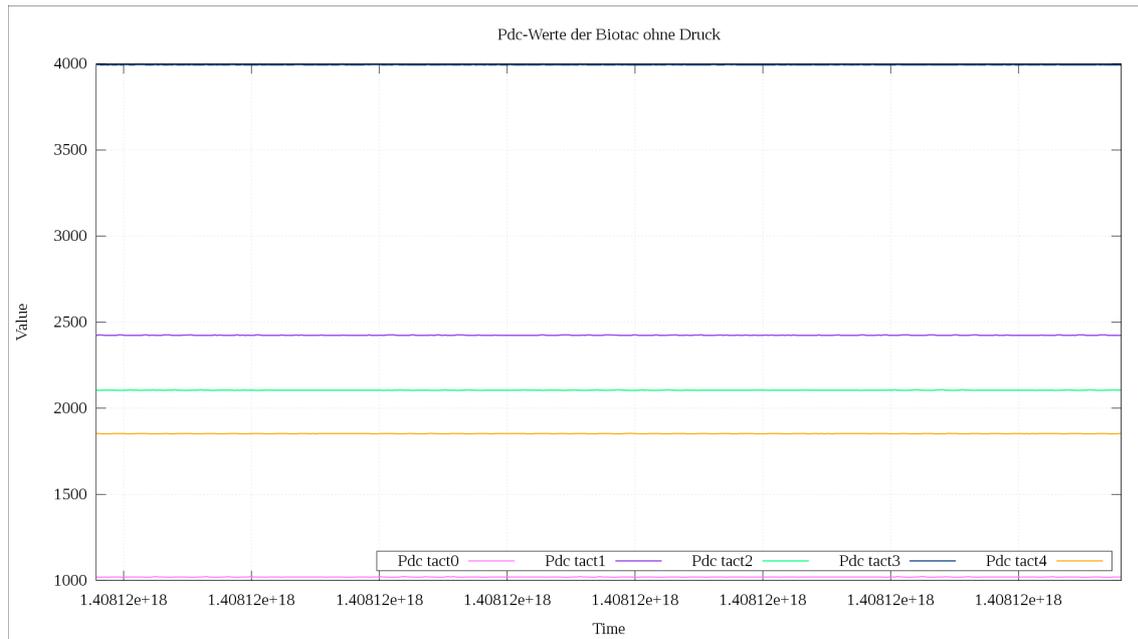


Abbildung 6.1:

6.1 Livetest des Programms

Um zu testen, wie gut die Bestimmung der Kraft funktioniert, wurden Tests mit dem Programm und Kontrollwerten durchgeführt. Die Klassifizierung der Richtung der Kraft funktioniert bei dem genutzten Biotac ganz ordentlich, aber nicht perfekt. Bei anderen Biotac ist es sehr unterschiedlich, wie gut die Klassifizierung ist. Beim Biotac des kleinen Fingers der Shadowhand zum Beispiel, stimmte kaum ein Wert.

Beim Testen, ob die auf den Sensor wirkende Kraft, sinnvoll berechnet wird, habe ich sowohl die Ausgabe des Programms, als auch die des Kontrollensors aufgenommen. Es zeigt sich, dass das Programm nur relativ langsam reagiert und darum nicht alle Werte beachtet. Ansonsten ist zu sehen, dass die Kraft bei 0° gut berechnet wird, wenn sie berechnet wird. Bei den Tangentialkräften lässt sich das selbe über den tangential wirkenden Teil sagen. Die Berechnungen der Normalkraft hingegen scheint noch fehlerhaft zu sein. Das müsste noch verbessert werden.

6.2 Optimierungen

Die derzeitige Klassifizierung der Richtung der Kraft, wurde mit den Absoluten Daten zweier Biotac-Sensoren trainiert. Diese beiden Biotac hatten zudem sehr

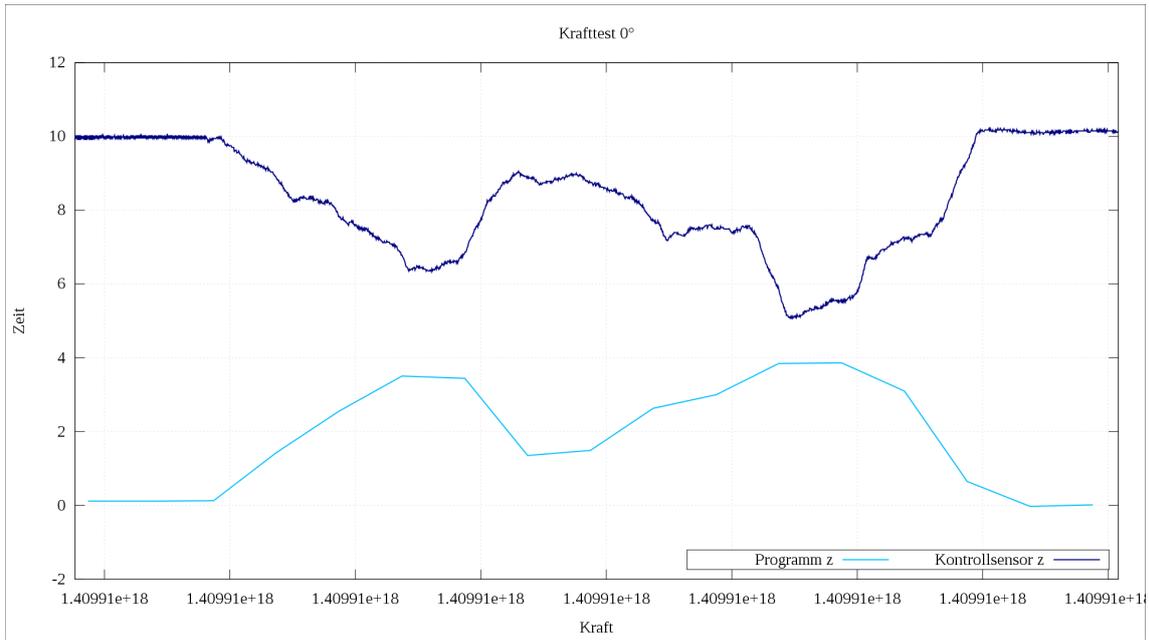


Abbildung 6.2: Die beiden Graphen sind gespiegelt, da die Kraft in unterschiedliche Richtungen wirkt.

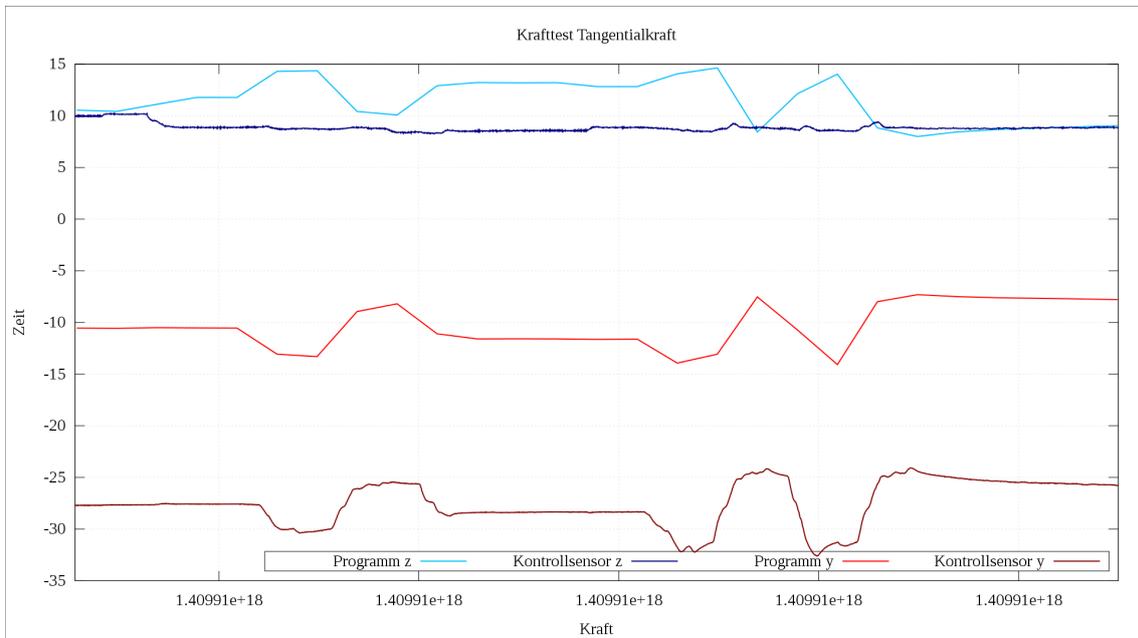


Abbildung 6.3:

ähnliche Werte bei den einzelnen Sensoren. Der Ergebniss dieser Klassifizierung zeigt sich in den Tests mit anderen Sensoren. Bei den beiden Sensoren, die zur Aufnahme der Daten verwendet wurden, wird die Richtung überwiegend richtig bestimmt. Bei einem anderen Biotac Sensor, dessen Elektroden deutlich andere Anfangswerte aufweisen, wird hingegen vieles falsch klassifiziert. Ein klassifizieren mit relativen Daten, die die Änderung der Werte betrachtet, könnte dem vermutlich abhilfe schaffen. Falls die Skalierung der einzelnen Elektroden sehr unterschiedlich sein sollten, müsste die Klassifizierung für jeden Biotac mit eigenen Trainingsdaten erneut durchgeführt werden.

Das in ROS integrierte Package, welches Machine Learning Algorithmen zur Verfügung stellt ist sinnvoll. Jedoch braucht es sehr lange einen Classifier zu erstellen und mit Daten zu trainieren. Das liegt in erste Linie daran, dass das der Classifier nur auf einem Kern berechnet wird. Das ist zu einem Zeitpunkt, wo bereichts Handychips mehrere Kerne haben, nicht angebracht. Das Package mlclassifiers benutzt die Bibliothek LIBSVM zur Berechnung der SVM. Diese Bibliothek verfügt bereits über die Möglichkeit, mehrere Kerne zum Trainieren des Classifiers zu nutzen. Diese Möglichkeit sollte in Zukunft auch in dem ROS Package übernommen werden. Für die Klassifikation von kleinen Datenmengen, mit wenigen Dimensionen ist das Package natürlich auch ohne Parallelisierung gut zu nutzen. Im Bereich der Robotik, wo anhand von vielen Sensordaten gelernt wird und ausreichend Rechenleistung, sogar auf den Robotern, zur Verfügung steht, sollte es die Möglichkeit zur Parallelisierung geben.

Wie bereits oben erwähnt sind die Sensordaten relativ unterschiedlich auch nicht zu Hundert Prozent verlässlich. Bei der Berechnung der Gesamtkraft wird zur Zeit nur der Wert des Pdc-Sensors beachtet. Die Gesamtkraft ließe sich auch durch die Werte aller Elektroden bestimmen. Es ist möglich beide Werte zu Bestimmen. Dieses Verfahren hätte den Vorteil, dass die Berechnung nicht ausschließlich von einem Sensor abhängt. Das verringert die Varianz, da die Werte miteinander abgeglichen werden kann. Zudem könnte ein Programm bei konstant zu großer Abweichung der beiden Berechnungen, einen Fehler melden, woraufhin die Sensoren kontrolliert werden sollten.

Viele der Daten, die in der Tactile-Message von den Sensoren verschickt werden sind im Allgemeinen etwas verrauscht. Wenn kein Druck auf den Biotac einwirkt schwanken die Werte des Pdc um zwischen 5 Werten hin und her, was bei einem Wert von 1022 etwas 0,5 und einer Kraftänderung von 0,0265N entspricht. Bei den Elektroden schwanken die Werte je nach Elektrode unterschiedlich stark. Einige

schwanken nur im Bereich von 5 andere eher im Bereich von 20. Um verlässlichere Daten zu erhalten ist es sinnvoll die Daten der Sensoren vorher zu glätten. Dies ist hier nicht der Fall.

7 Ausblick

Zum einen lässt sich das erstellte Programm noch in einigen Punkten verbessern. In der Evaluation wurde bereits angemerkt, dass das Lernen der Klassen auf absoluten Datenwerten, ein Portieren auf andere Biotac erschwert. Es wäre sicherlich interessant mit relativen Werten zu lernen und zu testen wie gut sich die Ergebnisse portieren lassen. Ebenso lässt sich die Benutzerfreundlichkeit des Programmes noch verbessern. Ausgaben als Rostopics auf einer Konsole sind nicht komfortabel. Diese Punkte sind Optimierungen des bestehenden Programms.

Außer den offensichtlichen Optimierungen können auch weitere Verbesserungen dem Programm hinzugefügt werden. Zum Einen kann die Erkennung der Winkel verfeinert werden um einen kontinuierlichen Verlauf zu erhalten. Dies Erhöht indirekt auch die Genauigkeit der Kraftberechnungen.

Des Weiteren lässt sich dieses Programm mit bereits bestehende Programmen kombinieren. Mit einem Datenpreprocessing sollten bessere Sensorwerte erreicht werden können. Die bereinigten Daten, die die Preprocessing Pipeline durchlaufen haben, sollen um einiges fehlerfreier sein als Rohdaten[CPHZ12].

Aufbauend auf diesem Programm gibt es einige Möglichkeiten die Funktionalität zu verbessern oder zu erweitern. Die Erkennung von Berührwinkel und Berührkraft können zur Objektmanipulation eingesetzt werden. Beim Anheben von Objekten lässt sich die Ausrichtung der Finger verbessern, wenn der Berührwinkel bekannt ist. Über die Berechnung der tangentialwirkenden Kräfte lassen sich beim Heben von Objekten auch Aussagen über das Gewicht des Objekts treffen und gegebenenfalls der Griff etwas lockern.

Literaturverzeichnis

- [CPHZ12] Vlad Ciobanu, Adrian Petrescu, Norman Hendrich, and Jianwei Zhang. Tactile sensor value preprocessing pipeline. 2012.
- [ea82] J.C. Rothwell et al. Manual motor performance in a deafferented man. *Brain*, 1982.
- [FL12] Jeremy A. Fishel and Gerald E. Loeb. Sensing tactile microvibrations with the biotac – comparison with human sensitivity. 2012.
- [JL06] L.A. Jones and Lederman. *Human hand function*. New York: Oxford University Press, 2006.
- [JLL82] R.S. Johansson, U. Landström, and R. Lundström. Responses of mechanoreceptive afferent units in the glabrous skin of the human hand to sinusoidal skin sinusoidal skin displacements. 1982.
- [JW84] R.S. Johansson and R. Westling. Factors influencing the force control during precision grip. pages 71: 72–86, 1984.
- [SFYL12] Zhe Su, Jeremy A. Fishel, Tomonori Yamamoto, and Gerald E. Loeb. Use of tactile feedback to control exploratory movements to characterize object compliance. *frontiers*, 2012.
- [SS01] Bernhard Schölkopf and Alexander J. Smola. *Learning with Kernels*. The MIT Press, 2001.
- [WFL14] Nicholas Wettels, Jeremy A. Fishel, and Gerald E. Loeb. Multimodal tactile sensor. 2014.
- [WJ84] R. Westling and R.S. Johansson. Factors influencing the force control during precision grip. pages 53: 277–284, 1984.
- [WL11] Nicholas Wettels and Gerald E. Loeb. Haptic feature extraction from a biomimetic tactile sensor: Force, contact location and curvature. 2011.
- [XLF13] Danfei Xu, Gerald E. Loeb, and Jeremy A. Fishel. Tactile identification of objects using bayesian exploration. 2013.
-

Ich versichere, dass ich die Bachelorarbeit im Studiengang Informatik selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel – insbesondere keine im Quellenverzeichnis nicht benannten Internet-Quellen – benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Ich versichere weiterhin, dass ich die Arbeit vorher nicht in einem anderen Prüfungsverfahren eingereicht habe und die eingereichte schriftliche Fassung der auf dem elektronischen Speichermedium entspricht.

Darüber hinaus erkläre ich mich mit der Einstellung meiner Arbeit in die Bibliothek einverstanden.

Hamburg, den 7. September 2014

Bente Reichardt
