

# **Fallstudie zur Mechatronik-Forschung im Grundstudium: Beitrag zu einer geschickten Roboterhand**

**Michael A. Saliba\*, David J. Cassar und Maria Axiak**

*Abteilung für Industrie- und Fertigungstechnik*

*Universität Malta*

*Msida MSD2080*

*Malta*

**\*Korrespondierender Autor. E-Mail-Adresse: [michael.saliba@um.edu.mt](mailto:michael.saliba@um.edu.mt)**

## **Abstrakt**

**Die Bedeutung der Umsetzung eines starken projektbasierten Ansatzes für das Grundstudium**

**Mechatronik-Ausbildung und die durch die Einführung erzielte weitere Verbesserung**

**Der Forschungsaspekt dieser Projekte wird in der Literatur hervorgehoben. In dieser Arbeit**

**Wir dokumentieren unsere Erfahrungen in der Vertiefung des Maschinenbaustudiums im letzten Jahr**

**Ingenieurstudenten in das Forschungsprogramm des Department of Industrial and**

**Fertigungsingenieurwesen von der Universität Malta, durch betreutes Bachelorstudium**

**Projekte, die Jahr für Jahr aufeinander aufbauen und schließlich zu gültiger Forschung führen**

**Veröffentlichungen auf internationaler Ebene. Wir konzentrieren uns auf den speziellen Bereich der Roboterhände und**

**später ein spezifisches erweitertes Projekt als Fallstudie. Wir beschreiben zunächst kurz eine Auswahl**

der forschungsorientierten Bachelor-Projekte in diesem Bereich, die in den letzten zwölf Jahren durchgeführt wurden Jahre. Der Artikel konzentriert sich dann auf ein bestimmtes der beschriebenen Projekte, nämlich die Entwicklung einer anthropomorphen Roboterhand mit acht Freiheitsgraden, die darauf basiert über Beobachtungen sowohl der Eigenschaften als auch der Grenzen der menschlichen Hand. Der Roboter Hand soll als teleoperiertes Slave-Gerät verwendet werden, und ein besonderes Ziel besteht darin Reduzieren Sie Größe und Gewicht durch die entfernte Anordnung aller Aktoren und Sensoren. Das Papier gibt eine detaillierte Begründung für das Handdesign, gefolgt von Beschreibungen der Kinematische, mechanische, Betätigungs-, Sensor- und Steuerungssysteme der Konstruktion Prototyp. Anschließend folgt eine Beschreibung der Verfahren und Ergebnisse der Sensorkalibrierung. Der Artikel schließt mit einer kurzen Diskussion über die Bedeutung dieser Arbeit sowohl die Bildungs- und Forschungsaspekte als auch die zukünftige Richtung, die eingeschlagen werden soll.

**Schlüsselwörter:** Mechatronikausbildung, Roboterhände, Teleoperation

## **Einführung**

Die Bedeutung der Implementierung eines starken *projektbasierten Lernaspekts* für das Grundstudium

Die mechatronische Ausbildung wurde von mehreren Autoren hervorgehoben (z. B. [1, 2, 3, 4, 5]).

Typischerweise ist das Projekt Teil eines Mechatronik-Studiengangs bzw. eines Mechatronik-Studiums

Die Studieneinheit umfasst den Entwurf und die Herstellung eines Systems, das mechanische Elemente enthält

Bewegliche Teile, die durch elektronische Schaltkreise gesteuert werden und normalerweise sensorisch beteiligt sind

Rückmeldung und/oder Anbindung an eine computerbasierte Steuerung (z. B. ein mechatronisches System).

Einige Bildungseinrichtungen sind noch einen Schritt weiter gegangen und haben dies auch getan

Auch in die Bachelor-Studentenprojekte wurde ein wesentliches Forschungselement integriert

in einer Laborumgebung (z. B. [6]) oder in einer industriellen Umgebung (z. B. [7]). Tatsächlich ist der Trend zu Auch in anderen Bereichen wird Wert darauf gelegt, Studierende mit einem Forschungsumfeld vertraut zu machen des Maschinenbaus (z. B. [8, 9]) und ist dafür bekannt, das Lernen erheblich zu verbessern Verfahren.

#### Der Bachelor-Ingenieurstudiengang an der Universität Malta

Im Laufe der Jahre hat es viele Veränderungen erfahren und war stets ein umfangreiches Projekt die vom Studierenden im letzten Studienjahr durchgeführt wird. jedes Projekt ist einzigartig, und die verschiedenen abgedeckten Fachgebiete und Projekttitel waren vom Studenten abhängig Interessen, Fachwissen des akademischen Personals und verfügbare Ressourcen. In den letzten fünfzehn Jahren a Ein erheblicher Prozentsatz der Projekte im letzten (vierten) Jahr beinhaltete eine intensive Forschung Element, das oft direkt zu Forschungspublikationen auf internationaler Ebene führt. In diesem In unserer Arbeit dokumentieren wir einige der mit diesem Ansatz erzielten Ergebnisse in den Bereichen Robotik und Industrial Automation Laboratory (RIAL, früher Industrial Automation Laboratory, IAL) der Abteilung für Industrie- und Fertigungstechnik (DIME) der Universität Malta (UM). Wir konzentrieren uns auf einen bestimmten Forschungsbereich innerhalb des Bereichs Mechatronik, und konzentrieren Sie sich später weiter auf ein erweitertes Projekt als konkrete Fallstudie. Unsere Ergebnisse zeigen, dass dieser Ansatz nicht nur der Verbesserung des Bildungserlebnisses dient der Studierenden zu fördern, sondern ihnen auch einen Vorsprung bei der Erbringung sinnvoller Forschungsbeiträge zu verschaffen in ihrem frisch gewählten Interessengebiet.

In den letzten zwölf Jahren eine der wichtigsten laufenden Forschungsaktivitäten innerhalb des RIAL hat Studien zu Roboterhänden durchgeführt. Die Forschung umfasste hauptsächlich die

Identifizierung und Untersuchung neuartiger Konzepte, die auf diese Klasse von angewendet werden können

Geräte. Gleichzeitig wurden eine Reihe von Handprototypen entwickelt

Labor, hauptsächlich um diese Konzepte zu testen. Diese Forschungsprojekte haben den Input einbezogen

von akademischen Mitarbeitern, engagierten Forschern, Doktoranden und oft

auch Ingenieurstudenten im Abschlussjahr. Die Einbeziehung von Studenten

Studierenden hat dazu geführt, dass diese Arbeit, obwohl sie für sich genommen valide Forschungsergebnisse liefert,

ist auch ein Eckpfeiler der Mechatronik-Ausbildung im Grundstudium

Abteilung. Für Senioren haben wir in diesem Bereich eine kleine Anzahl Projekte ausgewählt

Den größten Beitrag leisteten Bachelor-Studenten, und wir beschreiben zunächst diese Projekte

kurz vorzustellen und die erzielten Ergebnisse vorzustellen. Der Artikel konzentriert sich dann detaillierter auf eines

eines dieser Projekte, bei dem es um die Entwicklung einer geschickten Roboterhand mit Fernbedienung geht

lokalisierte Aktoren und Sensoren.

Dieses Papier hat zwei Ziele: Es soll die Ergebnisse der zur Entwicklung geleisteten Arbeit präsentieren

Roboterhand; und den Beitrag dieser und anderer Forschungsaktivitäten hervorzuheben

Projekte zur Mechatronik-Ausbildung innerhalb von DIME.

Eine kurze Einführung in geschickte Roboterhände

Weltweit zielten Forschungsarbeiten auf die Entwicklung einer wirklich geschickten Roboterhand ab.

und insbesondere die Nachahmung der menschlichen Hand, wird seit mehr als einem Jahr betrieben

Vierteljahrhundert. Die bahnbrechenden Arbeiten in dieser Hinsicht gelten weithin als

diejenigen, die an der Stanford University durchgeführt wurden (die „Stanford/JPL-Hand“ [10]) und an der

Die Universität von Utah gipfelte in der Entwicklung der „Utah/MIT geschickten Hand“

(UMDH) [11], Anfang bis Mitte der 1980er Jahre. Sogar in der frühen Entwurfsversion, über die in [11] berichtet wurde, Das UMDH wies bereits einen relativ hohen Grad an geometrischer und funktionaler Ähnlichkeit auf die menschliche Hand (dh Anthropomorphismus) und umfasste drei Finger und entgegengesetzte Daumen mit insgesamt 16 Gelenken sowie Berührungs-, Kraft- und Gelenkpositionssensoren. In Insbesondere wurden die UMDH-Aktuatoren entfernt angeordnet, um Gewicht zu reduzieren und mehr Platz zu schaffen Platz in der Hand selbst.

In den folgenden Jahren wurde an der Entwicklung geschickter Roboterhände geforscht produktiv und eine große Anzahl von Modellen mit unterschiedlichen Merkmalen und Eigenschaften und Unter Verwendung verschiedener Technologien wurde es in zahlreichen Institutionen entwickelt weltweit (z. B. [12, 13, 14]). Das übergeordnete Ziel blieb in den meisten dieser Fälle bestehen Die Reproduktion der Merkmale und Funktionen der menschlichen Hand ist der Hauptgrund dafür Dies ist das Potenzial für eine bessere Kompatibilität mit der Vielzahl von Objekten, die dies ermöglichen würden Ursprünglich war es für die menschliche Manipulation konzipiert und hatte eine Vielzahl von Aufgaben das wäre ursprünglich für die menschliche Umsetzung gedacht gewesen.

Schaufenster eines Bachelor-Forschungsprojekts: Auf dem Weg zu einer geschickten Roboterhand Im RIAL werden Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet oft schon seit über einem Jahrzehnt durchgeführt In unterschiedlichem Umfang sind auch ältere Ingenieurstudenten daran beteiligt. in vielen Fällen, Spezifische Projekte, die Bachelor-Studenten zugewiesen werden, bauen auf den Ergebnissen früherer Studien auf Projekte, und auf diese Weise haben die Studierenden ein klares Gefühl für ihren Beitrag zu einem Wachstum F&E-Programm im Labor. Immer wenn es Ergebnisse gibt, die einen erreichen Angemessener Standard, die Studierenden werden ermutigt, entweder zu leiten oder aktiv dazu beizutragen,

eine auf dem Projekt basierende Forschungspublication. Diese Projekte kombinieren daher eine wichtiger Bestandteil der Mechatronik-Grundausbildung innerhalb der Fakultät auf theoretischer und praktischer Ebene mit einem wertvollen Beitrag zur produktiven Forschung Aktivität. In diesem Abschnitt besprechen wir einige der dabei erzielten Erfolge Programm.

Im Jahr 2000 wurde ein Greifer mit drei Fingern und neun Gelenken eingeführt, der mit einem kraftempfindlichen Widerstand (FSR) ausgestattet ist. Fingerspitzen-Kraftsensoren und mit einem diffusen fotoelektrischen Handflächennäherungssensor, wurde für den Einsatz in automatisierten Montageabläufen entwickelt [15]. Ein wichtiges Ziel von Diese Arbeit sollte zeigen, dass ein beträchtliches Maß an Vielseitigkeit erreicht werden kann sogar die Verwendung eines einzigen Aktuators für die ganze Hand, durch den Einsatz einer cleveren Konstruktion mechanische, übertragungstechnische und sensorische Systeme. Zwischen 2001 und 2005 war dieser Greifer integriert in ein flexibles, visionäres und roboterbasiertes Materialtransfersystem, das dies könnte Erkennen, lokalisieren und heben Sie verschiedene Gegenstände auf, die zufällig auf einem sich bewegenden Flachband platziert sind Förderband [16]. Abbildung 1 zeigt den vielseitigen Greifer und seinen flexiblen Einsatz Automatisierungssystem.

[Siehe Abbildung 1]

Im Jahr 2001 wurde ein neues, anthropomorphes Roboterhand- und Handgelenkssystem entwickelt und entwickelt gebaut. Die Hand hatte zwei Finger und einen gegenüberliegenden Daumen, wobei jeder Finger aus zwei Fingern bestand Passiv gekoppelte Gelenke und Antrieb durch einen separaten Motor. Das Handgelenk bestand aus separat Betätigte Nick- und Rollgelenke, so dass das System insgesamt fünf Freiheitsgrade hatte. Der

Die Arbeit konzentrierte sich darauf, Form, Größe, natürliche Bewegungen und so genau wie möglich nachzubilden angewandten Kräfte der menschlichen Hand unter Beibehaltung der Komplexität der Roboterhand und Handgelenk auf ein Minimum. Die Anforderungen an die Bemessungskraft wurden durch eine umfangreiche Serie ermittelt Es gab zahlreiche Experimente zur Messung menschlicher Greifkräfte, und die Gelenke jedes Roboters waren digital über einen neuartigen passiven Schaltmechanismus gekoppelt, um sich nacheinander zu bewegen. Das Original Das Modell wurde von fünf entfernt angeordneten Schrittmotoren angetrieben und im offenen Modus teleoperiert Loop-Modus über eine knopf-basierte Eingabekonsol und Verwendung der analogen und digitalen Eingänge Ausgänge einer auf einem PC montierten Datenerfassungskarte. In den Jahren 2002 und 2003 eine ganze Hand Für die Teleoperation der Roboterhand wurde ein Positionseingabegerät (Handschuh) [17] entwickelt. Der Handschuh Integriert eine Reihe neuer Funktionen, die bisher in der Literatur nicht zu finden waren, darunter Messung der Rollposition des menschlichen Unterarms und eine neuartige Einstellmöglichkeit passend für eine Vielzahl menschlicher Handgrößen. Im Jahr 2005 wurde die Handbetätigung auf Servo umgestellt Kontrolle, und die Ergebnisse dieses vollständigen Handprojekts wurden in [18] veröffentlicht. Der Roboter Hand und das Handschuh-Eingabegerät sind in Abbildung 2 dargestellt.

[Siehe Abbildung 2]

In den Jahren 2004 und 2005 wurde ein neuer anthropomorpher Roboterfinger entwickelt, der über eingebaute Sensoren betätigt wird Miniatur-Gleichstrommotoren, wurde entwickelt [19]. Dieser Finger orientierte sich eng am Menschen Gegenstück und umfasste ein Abduktions-/Adduktionsgelenk (Giergelenk) und drei Flexions-/Adduktionsgelenke. Dehnungsfugen (Neigungsfugen). Das Giergelenk und die ersten beiden Nickgelenke wurden mit betätigt unabhängige Motoren, während das äußerste Nickgelenk mechanisch mit dem gekoppelt war Mittelgelenk in einer Weise, die das Bewegungsverhältnis des menschlichen Äquivalents reproduziert. Der

Der Roboterfinger ist in Abbildung 3 dargestellt. Dieses Projekt umfasste auch eine vollständige kinematische Analyse (einschließlich Positions-, Geschwindigkeits- und Kraftanalysen sowie Bewegungspfadplanung) und Simulation des neuen Roboterfingers. Das Papier schlug auch ein ideales Längenverhältnis der Phalangen (Verbindungsglieder) vor. Maximieren Sie mit dieser Gelenkstruktur das Arbeitsraumvolumen für einen anthropomorphen Finger.

[Siehe Abbildung 3]

Im Jahr 2006 wurde eine Reihe von Experimenten durchgeführt, um die manuelle Geschicklichkeit des Menschen selektiv zu messen. Um dies abzuleiten, wurden bestimmte Merkmale der Hand eingeschränkt. Beitrag der ausgewählten Funktionen zur allgemeinen manuellen Geschicklichkeit [20]. Weitere Experimente wurden im Jahr 2008 durchgeführt [21]. Diese Experimente sollten Leitlinien dazu liefern. Priorisierung und Auswahl von Funktionen beim Entwurf anthropomorpher Roboterhände.

Die neueste anthropomorphe Roboterhand von RIAL, die das Hauptthema dieser Arbeit ist, Es wurde zwischen 2006 und 2009 entwickelt. Das Hauptaugenmerk bei diesem Modell lag darauf, alles zu bewegen die Aktoren und Sensoren vom Hauptgerät entfernt, um letztendlich die zu minimieren Gewicht der Hand zu reduzieren und die raumbezogenen Leistungs- und Geschicklichkeitsfunktionen zu maximieren. Der vorläufige Entwurf und die erste Version des Prototyps wurden in [22] vorgestellt. Im Rest dieser Arbeit wird die detaillierte Philosophie hinter dem Handdesign und die Einzelheiten zur neuesten Designversion und zum neuesten Prototyp werden zusammen mit einem Bericht darüber gegeben Kalibrierung der Positions- und Kraftsensoren und des dafür zu verwendenden Regelungsansatzes Hand.



## **Begründung für das Handdesign**

Ein Hauptziel bei der Gestaltung dieses RIAL-Zeigers bestand darin, die Ähnlichkeit zu maximieren

Merkmale der menschlichen Hand bei gleichzeitiger Minimierung der Komplexität und Kosten des Geräts. Das

Ziel wurde durch eine objektive Betrachtung der menschlichen Hand erreicht

nicht nur die Eigenschaften dieses natürlichen Organs verstehen, sondern auch die oft vernachlässigten

Einschränkungen und Einschränkungen in seiner Struktur und Funktionsweise. Diese Einschränkungen gelten eindeutig

Sie wirken sich kaum nachteilig auf die Fingerfertigkeit der menschlichen Hand aus, können aber tiefgreifende Auswirkungen haben

Auswirkungen auf die Designvereinfachung einer Roboterhand.

Einer der ersten zu beachtenden Punkte ist, dass die meisten Muskeln, die den menschlichen Finger betreffen, betroffen sind

Tatsächlich sind die Bewegungsabläufe im Unterarm und nicht in der Hand selbst lokalisiert. Die menschliche Hand

verwendet daher hauptsächlich entfernt angeordnete Aktoren. Also, wo auch immer eine Roboterhand war

Obwohl sie mithilfe eingebauter Aktoren konstruiert wurden, haben ihre Schöpfer tatsächlich versucht, etwas zu erreichen

Das ist nicht einmal der natürlichen Hand gelungen oder hat es nicht geschafft. Im Wesentlichen durch Zulassen

das Zugeständnis, die starken (und großen) Aktoren (Muskeln) im Unterarm zu lokalisieren, die

Der Mensch hat es geschafft, eine kleine und flinke, aber dennoch starke Hand zu entwickeln.

Ein zweiter Hinweis ist, dass die menschliche Hand zwar grob modelliert werden kann, um 21 zu haben

Aufgrund der intrinsischen Freiheitsgrade (z. B. [23]) unterliegen diese Bewegungen tatsächlich einem erheblichen Ausmaß

Anzahl der Einschränkungen. Von besonderem Interesse sind die Einschränkungen der Fingergelenkposition

Flexion und Seitwärtsbewegung (Abduktion/Adduktion) und die gekoppelte Bewegung beider

äußerste Gelenke an jedem Finger [24]. Indem wir einige dieser Anträge zur Kenntnis nehmen

Einschränkungen und deren Umsetzung in Designlockerungen wird darauf hingewiesen, dass die Geschicklichkeit eines

Die Roboterhand darf nicht wesentlich reduziert werden, wenn (i) Fingergelenke nur begrenzt zulässig sind Bewegung wie in der menschlichen Hand; (ii) die äußersten Gelenke sind nicht für eine Bewegung ausgelegt unabhängig und (iii) die seitliche Bewegung der Finger ist begrenzt. Darüber hinaus kann es sein Es ist möglich, den kleinen Finger ganz wegzulassen, ohne dass die Geschicklichkeit beeinträchtigt wird, wie in angegeben [20].

Ein dritter Punkt ist, dass eine erhebliche Kraftmessung im menschlichen Körper möglich ist durch spezielle Sensoren (Golgi-Sehnenorgane), die sich an der Schnittstelle zwischen den befinden Muskeln und Sehnen [25]. Wenn also ein Mensch einen Gegenstand mit der Hand ergreift, Ein Teil der Wahrnehmung und Bewertung der ausgeübten Kraft beruht auf der Wahrnehmung von Sehnenspannung im Unterarm. Die menschliche Hand ist also ferngesteuert lokalisierte spannungsbasierte Kraftsensoren, und dieses Konzept kann auch auf künstliche Weise angewendet werden Hand und trägt so zu einer leichteren und einfacheren Handstruktur bei. Darüber hinaus ist der Gerechte Der spürbare Unterschied (JND) der Erfassung der Greifkraft durch die menschliche Hand beträgt etwa 7 %. [26], d. h. die Auflösung der Greifkraft ist deutlich gering.

Ein vierter Punkt hängt mit der Wahrnehmung der Gelenkposition in der menschlichen Hand zusammen, sofern diese nicht vorhanden ist visuelles Feedback. Die Autoren stellen fest, dass es schwierig ist, das Auge mit geschlossenen Augen zu bewegen Fingerverbindungen in kleinen Winkelschritten oder zur genauen Rückkehr zur vorherigen Einstellung Positionen. Außerdem nach einigen Sekunden ohne Bewegung das Gefühl des Fingers Die Position geht verloren und es kann sogar schwierig werden festzustellen, ob der Finger gebeugt ist oder nicht. Die Ungenauigkeiten bei der Erfassung der Fingerposition bei fehlender Sicht waren gut in der Literatur dokumentiert (z. B. [27, 28]). Somit scheint die menschliche Hand sehr abhängig zu sein

Es wird stark auf die visuelle Wahrnehmung zur Rückmeldung der Gelenkposition gesetzt. Der JND für die Positionen der

Es wurde festgestellt, dass zwei innerste Gelenke des menschlichen Fingers etwa  $2,5^\circ$  lang sind [26].

Abgesehen davon, dass sie für die visuelle Rückmeldung auf das menschliche Auge angewiesen ist, ist auch die menschliche Hand darauf angewiesen

fast ausschließlich auf das menschliche Gehirn zur Kontrolle. Im Kontext dieser beiden Hauptfächer

Abhängigkeiten, die menschliche Hand kann daher als sehr funktionsfähig angesehen werden

Teleoperiert statt autonomes Gerät! So gibt Roboter die Literatur weiter

Konzentrieren Sie sich auf die autonome Steuerung durch die Installation hochauflösender Sensoren und

Fortgeschrittene Controller, die an der Hand selbst angebracht sind, können tatsächlich Ziele setzen, die weit darüber hinausgehen

Die Designvorgaben der anatomischen menschlichen Hand.

Die oben genannten Fakten wurden als Leitprinzipien bei der Gestaltung des RIAL verwendet

geschickte Hand. Die Hand ist ausschließlich für die Verwendung als ferngesteuertes Slave-Gerät vorgesehen.

Geleitet von einem Menschen, der ein Eingabe-/Ausgabegerät mit Master-Handschuh trägt und dies tun würde

Mit Hilfe von Vision und Force-Feedback fungieren sie als Controller. Positionssensoren auf der

Das Handschuhgerät liefert die Referenzsignale für die grobe Positionssteuerung des Roboters

Hand, wobei die Feinpositionskontrolle durch das visuelle Feedback erfolgt. Das

Die Strategie reduziert die Anforderungen an das inhärente Positionserfassungssystem des Roboters erheblich

Hand. Es ist vorgesehen, dass die Kraftrückmeldung am Handschuhgerät durch eine beeinflusst wird

Aktuator- und Kabelsystem, das der menschlichen Fingerbewegung Widerstand leistet

Durch die Anwendung einer geeigneten Seilspannung, wie in [29] und [30] beschrieben, und

wie es auch bei anderen haptischen Handschuhen häufig der Fall ist (z. B. [31, 32]). So im RIAL

Roboterhand reicht es aus, nur die Seilspannungen zu erfassen, um beim Greifen eine Kraftrückmeldung zu erhalten,

mit dem Ziel, diese Messwerte zur Steuerung der analogen Kabelspannungen im zu verwenden

Feedback-Betätigungssystem des Haupthandschuhs. Es ist vorgesehen, dass beim Tragen des

Mit einem haptischen Handschuh lernt der menschliche Controller schnell, den Widerstand des Fingers zu interpretieren

Bewegung als ergreifende Kraft.

Kinematische und mechanische Struktur der Hand

Die RIAL-Roboterhand basiert auf einem Exoskelett-Design mit internem Kabel und Riemenscheibe

Systeme und hat drei Finger und einen opponierbaren Daumen. Die Gelenke befinden sich an Positionen

ähnlich denen, die man in der menschlichen Hand findet. Jeder Finger hat drei Beugegelenke,

wobei die beiden inneren unabhängig voneinander betätigt werden und das äußere Gelenk passiv gekoppelt ist

das Mittelgelenk unter Verwendung einer verbesserten Version der in [19] eingeführten Kupplung mit a

Kopplungsverhältnis von 1:2 (siehe Abbildung 4). Der Daumen verfügt über zwei auf die gleiche Weise gekoppelte Beugegelenke

wie oben beschrieben und von einem Aktuator angetrieben, sowie einem Drehgelenk, um es in diese Richtung zu bewegen

und zum Widerstand gegen die Finger, angetrieben durch einen separaten Aktuator (Abbildung 5).

[Siehe Abbildung 4]

[Siehe Abbildung 5]

Der vorliegende Prototyp der Roboterhand, gedacht für Vorversuche und

Konzepttests, verwendet eine Edelstahlstruktur und wiegt 1,48 kg. Es ist für konzipiert

Gelenkgeschwindigkeiten von etwa 900 /s und Fingerspitzen-Greifkräfte von 15 N. Es ist etwas größer als

die durchschnittliche Größe der Hand eines menschlichen Mannes, mit einer Gesamtlänge (Handfläche plus Mitte).  
Finger) von 210 mm. Eine CAD-Zeichnung und ein Foto der Hand sind in Abbildung 6 dargestellt.

[Siehe Abbildung 6]

**Ein ferngesteuertes und integriertes Betätigungs- und Sensorsystem**

Das Betätigungssystem der Hand besteht aus acht entfernt angeordneten Gleichstrommotoren, einem  
für jeden DOF. Jeder Motor ist mit einem Untersetzungsgetriebe und einer Leitspindel verbunden  
über ein doppelt wirkendes ummanteltes Kabelübertragungssystem mit einem Fingergelenk verbunden.  
Dieses Kabelübertragungssystem ähnelt dem Sehnensystem des Menschen  
Hand.

Die Hand ist außerdem mit Positions- und Kraftsensoren ausgestattet, die auch ferngesteuert werden können  
angeordnet und in das Kabelübertragungssystem integriert sind. Es gibt eine Position  
und ein Kraftsensor für jeden der acht DOFs. Beide Sensortypen basieren auf Linearität  
Potentiometer, wie in Abbildung 7 dargestellt. Eine schematische Darstellung der integrierten Betätigungs- und  
Das Sensorsystem ist in der Abbildung enthalten. Gelenkbewegung wird durch die Position erreicht  
Steuerung der Gleichstrommotoren.

[Siehe Abbildung 7]

## Computerschnittstelle

Das System verwendet zwei NI USB-6009 DAQs mit jeweils acht analogen Eingangskanälen und

Die erforderliche Software und grafische Benutzeroberfläche wurden mit LabVIEW Ver. entwickelt. 7.1

[33]. Abbildung 8 zeigt die Vorderseite der Positionserkennungssoftware. Das Eckige

Die Positionen der Gelenke werden aus den Eingangsspannungen unter Verwendung verschiedener Gleichungen berechnet wurden durch die individuelle und separate Kalibrierung jedes Positionssensors erhalten.

Die berechneten Ergebnisse werden auf Zählern ausgegeben und diese Werte stellen die Schätzwerte dar

Winkelposition jedes Gelenks. Das Krafterfassungssystem verwendet ein ähnliches Softwaredesign.

Dabei wird die Kabelspannung aus der Ausgangsspannung der Kraftsensorschaltung berechnet.

[Siehe Abbildung 8]

Das Demonstrationsprogramm ermöglicht es dem Benutzer auch, alle Fingergelenke zu bewegen

Positionen nach Bedarf spezifiziert. Der Benutzer gibt die gewünschten Gelenkpositionen ein und drei

LEDs für jedes Gelenk auf der Frontplatte zeigen dem Benutzer an, ob sich die Gelenke schließen bzw

Öffnung, oder dass sich die Gelenke innerhalb von zwei Grad von der gewünschten Position befinden.

## Kalibrierung der Positions- und Kraftsensoren

Um die Spannungsmesswerte von der Positionssensorschaltung in die entsprechenden umzuwandeln

Winkeln war es wichtig, für jede Verbindung eine Beziehung zwischen den Spannungsmesswerten zu finden

und die tatsächliche Winkelposition des Gelenks. Diese Beziehungen wurden durch Kurve ermittelt

Anpassung an umfangreiche experimentelle Kalibrierungsdaten, die mithilfe speziell angefertigter Gelenkwinkel ermittelt wurden

Messgeräte (siehe Abbildung 9). Die Gleichungen für alle Gelenke wurden dann in verwendet

Entwicklung des in der beschriebenen computergestützten Positionsmesssystems

Vorherige Sektion.

[Siehe Abbildung 9]

Ein typisches Gelenkpositionskalibrierungsdiagramm, basierend auf drei Messwertsätzen mit fünfzehn Werten

jeweils ist in Abbildung 10 dargestellt. Im nächsten Schritt erfolgte eine Genauigkeitsmessung für jedes Gelenk

durchgeführt. Hier wurden für jedes Gelenk fünfzehn Messungen zufälliger Positionen vorgenommen und die

Der wahre (physikalisch gemessene) Winkel wurde mit dem von der Software angezeigten verglichen

berechnet durch die durch Kalibrierung erhaltenen Gleichungen. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse von

Diese Experimente sind in Tabelle 1 zu sehen.

[Siehe Abbildung 10]

[In Tabelle 1 übernehmen]

Wie man sieht, sind die erzielten Ergebnisse durchaus zufriedenstellend. Ein globaler durchschnittlicher Fehler von nur

Es wurden  $1,85^\circ$  und ein durchschnittlicher maximaler Fehler von  $3,9^\circ$  ermittelt. Man kann auch sehen, dass die

Das Daumenbeugegelenk hat einen durchschnittlichen Fehler von nur  $0,6^\circ$  und einen maximalen Fehler von  $2^\circ$ . Diese

Fehler können durch höherwertige lineare Positionserfassungsgeräte verbessert werden. Im Kontext

In Bezug auf die oben beschriebene Begründung für das Handdesign deuten diese Ergebnisse darauf hin

Tatsächlich kann mit der verwendeten Methode eine Positionserfassung durchgeführt werden.

Das Krafteffassungs- oder Kabelspannungsmesssystem wurde für jedes dieser Systeme kalibriert

Acht Freiheitsgrade der Roboterhand. Dies wurde erreicht, indem jeder Sensor geladen wurde

in Schritten von 0,91 kg auf einem Kalibrierstand bis zu einer Maximalmasse von etwa 20 kg. Fünf

Für jeden Sensor wurden solche Zyklen durchgeführt, von denen einige das Entladen beinhalteten

Gewichte und nicht die Belastung, um die Hysterese zu prüfen. Das positive Ergebnis davon

Das Stadium ist in Abbildung 11 zu sehen, wo alle Punkte im Diagramm in guter Nähe zu liegen

die Kurve der besten Passform. Die Ausgänge der Kraftsensor-Potentiometerschaltungen werden umgewandelt

um Messwerte mit LabVIEW zu erzwingen, ähnlich wie bei der Positionserfassung

System.

[Siehe Abbildung 11]

#### Integrativer Bildungsaspekt dieses Projekts

Der in diesem Projekt verfolgte Ansatz bestand darin, zwei Studenten erfolgreich einzubinden

Studierende im Abschlussjahr. Der erste Student (MA) arbeitete an der Entwicklung der Grundlagen

mechatronisches System und am ersten Prototypen. Anschließend der zweite Student (DJC)

arbeitete an der Systemaktualisierung und -verfeinerung sowie an der Akquisition,

Interpretation und Umsetzung der Kalibrierungsergebnisse. Beide Studenten arbeiteten unter

die enge und detaillierte Betreuung ihres Betreuers (MAS) als Berater und für die

detaillierte Formulierung der Begründung und Ziele. Ein Gerät so komplex wie ein

Eine anthropomorphe Roboterhand würde für jeden Forscher eine große Herausforderung darstellen, aber noch mehr

Wenn also Bachelor-Studenten beteiligt sind, stellen wir fest, dass dies eine große Herausforderung darstellt

bietet diesen Studierenden eine einzigartige Gelegenheit, ihre vielfältigen pädagogischen Fähigkeiten anzuwenden



erworbene Fähigkeiten integriert und gleichzeitig erheblich vermittelt

Anforderungen an ihre Kreativität und ihren Einfallsreichtum. Tatsächlich wurde der zusammenfassende Bericht vorgelegt

Hierin wird dem Aufwand, den diese Studierenden ins Umfangs betrieben haben, kaum gerecht

Brainstorming; Literarische Rezension; Forschungsdiskussion; Erstellung von Designkonzepten,

Bewertung und Auswahl; Verkörperung und detaillierte Designentwicklung des Integrierten

mechatronisches System; und die Konstruktion, Prüfung, Bewertung und Kalibrierung des Endprodukts

System. Diese Herausforderungen stellen eine hervorragende Vorbereitung für die Studierenden dar, sei es für

eine gewerbliche oder wissenschaftliche Laufbahn, insbesondere wenn der Schwerpunkt auf der Forschung liegen soll

und Entwicklung.

## Abschluss

Wie oben im Abschnitt über die Gründe für das Handedesign besprochen, ist die Hauptanliegen

Der Zweck dieser Arbeit bestand darin, dies zu demonstrieren, indem man sich sowohl auf die Einschränkungen als auch auf die Grenzen konzentrierte

Um die Eigenschaften der menschlichen Hand zu nutzen, könnte eine künstliche Hand entwickelt werden

Möglicherweise in der Lage sein, die Leistung des natürlichen Organs in erheblichem Maße zu erreichen,

Solange die künstlichen und natürlichen Hände auf ähnliche Weise angewendet und miteinander verglichen wurden

gleiche Wettbewerbsbedingungen. In dieser Arbeit wurde argumentiert, dass die menschliche Hand distal betrachtet wird

am Handgelenk angebracht ist, hat die Eigenschaften eines ferngesteuerten Geräts, da es sehr stark darauf angewiesen ist

auf das menschliche Gehirn und auf visuelles Feedback zur Kontrolle. Dies und andere gemachte Beobachtungen

Im Begründungsabschnitt dieses Dokuments werden weniger strenge Anforderungen an die Anforderungen gestellt

Positions- und Kräftefassungssysteme einer Roboterhand, sofern diese bestimmungsgemäß verwendet werden

nur im teleoperierten Modus und umso mehr, wenn das Master-Gerät aus einer Hand bestehen soll

Ein-/Ausgabotyp.

Eine notwendige Voraussetzung für die Gestaltung einer unter diesen einzusetzenden künstlichen Hand Bedingungen, bleibt die Nachbildung der mechanischen Struktur und Kinematik des menschliche Hand so weit wie möglich zu nutzen, um die Ausführung des Vorhabens besser zu ermöglichen viele komplexe Aufgaben, die manuell von Menschen ausgeführt werden können. Darin kann es sein geben Abkürzung. Allerdings wird die Mechanik der menschlichen Hand, das Physische, nachgebildet Mit dem Ziel sollten auch die Einschränkungen des natürlichen Organs berücksichtigt und nachgeahmt werden eine Überkonstruktion der Roboterhand zu vermeiden.

Dem aktuellen Modell des RIAL-Zeigers fehlen noch einige Schlüsselemente, die mit ihm zusammenhängen Potenzial, menschliche Leistung in einer entfernten Umgebung durch Teleoperation zu reproduzieren. Eines davon ist das Berührungsfeedback, ein sensorisches Element, das für den Erfolg entscheidend ist Leistung durch teleoperierte Hände. Ein zweites fehlendes Element ist die Abduktion/Adduktion Funktion, die trotz der im obigen Begründungsabschnitt gemachten Beobachtung möglicherweise immer noch vorhanden ist für bestimmte Aufgaben von entscheidender Bedeutung sein. Drittens die Anzahl der unabhängigen Freiheitsgrade des Der Daumen der Roboterhand ist kleiner als der des menschlichen Gegenstücks. Ein vierter fehlt Das Element ist die weiche und dehbare Außenseite der Fingerspitzen, die sich in der menschlichen Hand befindet kann einen großen Beitrag zur allgemeinen Compliance, Konformität und Manipulation leisten Leistungsfähigkeit der Orgel. Darüber hinaus kann der Einsatz fortschrittlicherer Materialien hilfreich sein Reduzieren Sie das Gesamtgewicht der Hand deutlich weiter und verbessern Sie gleichzeitig die Das ummantelte Kabelübertragungssystem kann auf die Reduzierung des Reibungswiderstands im ... abzielen Betätigungssystem.

Viele dieser spezifischen Probleme im Zusammenhang mit der RIAL-Hand müssen angegangen werden hauptsächlich von Doktoranden/Postdoktoranden im Labor. Allerdings am

Gleichzeitig wird dieser Forschungszweig weiterhin viele Möglichkeiten bieten

Studenten im Grundstudium die Möglichkeit zu bieten, an spannenden, herausfordernden und hochlehrreichen Aktivitäten teilzunehmen

Nischenprojekte, die die Lernerfahrung bereichern und gleichzeitig einen gültigen Wert bieten

Beitrag zur F&E-Tätigkeit der Abteilung.

## Wissen

Diese Arbeit wurde teilweise von der Universität Malta im Rahmen eines Forschungsstipendiums finanziert Nummern 73-528 und 31-353.

## Verweise

[1] CF Bergh, A. Kita und IC Ume, „Development of Mechatronics course in the

School of Mechanical Engineering an der Georgia Tech“, *Proceedings of the*

*Internationale Konferenz für fortgeschrittene intelligente Mechatronik (AIM'99)*, Atlanta,

Georgia, September 1999, S. 459–465.

[2] WR Murray und JL Garbini, „Mechatronics Capstone Design Projects at the

University of Washington“, *Proceedings of the International Conference on*

*Advanced Intelligent Mechatronics (AIM'99)*, Atlanta, Georgia, September 1999, S.

598–604.

[3] Y. Altintas und E.A. Croft, „Electro-mechanical design engineering: A progress

Bericht und zukünftige Richtungen für die Mechatronikausbildung“, *International Journal of*

*Maschinenbauausbildung*, 30/4 (2002), 325–339.

- [4] RM Parkin, „Ein projektbasiertes Paradigma für das Lernen in der Mechatronik“, *Tagungsband der IEEE International Conference on Industrial Technology*, Maribor, Slowenien, Dezember 2003, S. 808–812.
- [5] A. Price, R. Rimington, MT Chew und S. Demidenko, „Projektbasiertes Lernen in Robotik und Elektronik im Bachelor-Ingenieurstudiengang“, *Vorträge des IEEE International Symposium on Electronic Design, Testing and Bewerbungen*, Ho-Chi-Minh-Stadt, Vietnam, Januar 2010, S. 188–193.
- [6] M. Acar und RM Parkin, „Ingenieurausbildung für Mechatronik“, *IEEE Transaktionen der Industrieelektronik* 43/1 (1996), 106–112.
- [7] DJ Cox und A. Schönning, „Ingenieurausbildung durch Robotik, Mechatronik, und Automatisierungsprojekte“, *World Automation Congress (WAC)*, Budapest, Ungarn, Juli 2006.
- [8] D. Schaefer und J. H. Panchal, „Einbeziehung der Forschung in das Bachelor-Design Kurse: Ein patentzentrierter Ansatz“, *International Journal of Mechanical Ingenieurausbildung*, 37/2 (2009), 98–110.
- [9] B. Stappenbelt, „Forschungsprojekt im Bachelor-Studiengang Maschinenbau in einem Action-Learning-Umgebung“, *International Journal of Mechanical Engineering Bildung*, 37/4 (2009), 326–340.
- [10] K. S. Salisbury und B. Roth, „Kinematik und Kraftanalyse von Gelenken.“ *mechanische Hände*“, *Journal of Mechanisms, Transmissions and Actuation in Design*, 105 (1983), 35–41.

- [11] SC Jacobsen, JE Wood, DF Knutti und KB Biggers, „The Utah-MIT geschickte Hand: Work in progress“, *International Journal of Robotics Research*, **3/4** (1984), 21–50.
- [12] T. Mouri, H. Kawasaki, K. Yoshikawa, J. Takai und S. Ito, „Anthropomorphic Roboterhand: Gifu Hand III“, *Proceedings of the International Conference on Control, Automatisierung und Systeme (ICCAS2002)*, Jeonbuk, Südkorea, 2002, S. 1288–1293.
- [13] Shadow Robot Company, „Entwurf einer geschickten Hand für fortgeschrittene CLAWAR Anwendungen“, *Tagungsband der 6. internationalen Konferenz zum Thema Klettern und Laufroboter und die Unterstützungstechnologien für mobile Maschinen (CLAWAR 2003)*, Catania, Italien, 17.-19. September 2003.
- [14] H. Liu, P. Meusel, N. Seitz, B. Willberg, G. Hirzinger, MH Jin, YW Liu, R. Wei und ZW Xie, „Die modulare multisensorische HIT-DLR-Hand“, *Mechanismus und Maschinentheorie*, **42/5** (2007), 612–625.
- [15] CM Seguna und MA Saliba, „The Mechanical and Control System Design of a geschickter Robotergreifer“, *Proceedings of the IEEE International Conference on Elektronik, Schaltkreise und Systeme (ICECS 2001)*, Malta, September 2001.
- [16] MA Saliba, G. Spiteri, B. Grech Sollars und K. Farrugia, „Ein hochflexibles, automatisiertes Teilesortier- und Transfersystem“, *Proceedings of the 18th I.Mech.E. Internationale Konferenz über flexible Automatisierung und intelligente Fertigung (FAIM 2008)*, Skövde, Schweden, Juni 2008, S. 428–435.
- [17] MA Saliba, F. Farrugia und A. Giordmaina, „Ein kompaktes Handschuheingabegerät für Messen Sie die Gelenkpositionen menschlicher Hände, Handgelenke und Unterarme für die Teleoperation

**Anwendungen“, *Proceedings of the IEEE / APS International Conference on Mechatronik und Robotik (MechRob 2004)*, Aachen, Deutschland, September 2004.**

[18] MA Saliba, D. Camilleri und MJ Farrugia, „Development of an anthropomorphe Roboterhand und -handgelenk für Teleoperationsanwendungen“, *Proceedings der IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA 2005)*, Colombo, Sri Lanka, Dezember 2005.

[19] N. Mifsud, AM Grech, MA Saliba und SG Fabri, „Development of an Anthropomorpher Roboterfinger: mechanische und kinematische Aspekte“, *Proceedings of das 37. IFR International Symposium of Robotics (ISR 2006)*, München, Deutschland, Mai 2006.

[20] MJ Farrugia und MA Saliba, „Optimierung der anthropomorphen Roboterhand.“ **Design durch Tests der menschlichen manuellen Geschicklichkeit“, *Proceedings of the 37th IFR Internationales Symposium für Robotik (ISR 2006)*, München, Deutschland, Mai 2006.**

[21] MA Saliba, A. Chetcuti und MJ Farrugia, unveröffentlicht.

[22] MA Saliba und M. Axiak, „Design einer kompakten, geschickten Roboterhand mit Remotely lokalisierte Aktoren und Sensoren“, *Proceedings of the 15th IEEE Mittelmeerkonferenz für Steuerung und Automatisierung (MED'07)*, Athen, Griechenland, Juni 2007.

[23] WB Griffin, RP Findley, ML Turner und MR Cutkosky, „Calibration and Kartierung einer menschlichen Hand für geschickte Telemanipulation“, *Proceedings of the ASME Internationaler Kongress und Ausstellung für Maschinenbau; Dynamik Systeme und Kontrollen*, **69, 1145–1152.**

- [24] J. Lin, Y. Wu und TS Huang, „Modellierung der Einschränkungen der menschlichen Handbewegung“, *Vorträge des Workshops zu menschlicher Bewegung (HUMO2000)*, Austin, Texas, Dezember 2000.
- [25] B. Abernethy, S. Hanrahan, V. Kippers und LT Mackinnon, „The biophysical Grundlagen der menschlichen Bewegung“, 2. Auflage, Human Kinetics Europe Ltd., 2004.
- [26] HZ Tan, B. Eberman, MA Srinivasan und B. Cheng, „Menschliche Faktoren für die Design kraftreflektierender haptischer Schnittstellen“, *Proceedings of the Third International Symposium zu haptischen Schnittstellen für virtuelle Umgebungen und Teleoperatorsysteme; ASME-Abteilung für dynamische Systeme und Steuerung*, DSC-Vol. 55-1 (1994), 353–359.
- [27] JP Wann und SF Ibrahim, „Does limb proprioception drift?“, *Experimentell Brain Research*, 91 (1992), 162–166.
- [28] FJ Clark, KJ Larwood, ME Davis und KA Deffenbacher, „A metric for Beurteilung der Schärfe bei der Positionierung von Gelenken und Gliedmaßen“, *Experimental Brain Research*, 107 (1995), 73–79.
- [29] DJ Cassar und MA Saliba, „Ein Force-Feedback-Handschuh basierend auf Magnetorheologische Flüssigkeit: Vorläufige Designprobleme“, *Proceedings of the 15th IEEE Mittelmeer-Elektrotechnische Konferenz (MELECON 2010)*, Valletta, Malta, April 2010.
- [30] DJ Cassar und MA Saliba, „Ein Force-Feedback-Handschuh basierend auf Magnetorheologische Flüssigkeit: Prototypenentwicklung und -bewertung“, *Proceedings of die 1. Internationale IEEE-Konferenz für Angewandte Bionik und Biomechanik (ICABB-2010)*, Venedig, Italien, Oktober 2010.

[31] VR Logic, Cybergrasp, <http://www.vrlogic.com/html/immersion/cybergrasp.html>,  
abgerufen am 15. Juli 2011.

[32] S. Nakagawara, H. Kajimoto, N. Kawakami, S. Tachi und I. Kawabuchi, „An  
Begegnungsartige mehrfingrige Meisterhand mit umlaufenden Gelenken“, *Proceedings of  
Internationale IEEE-Konferenz für Robotik und Automatisierung, Barcelona, Spanien*,  
April 2005, S. 2667–2672.

[33] NI Labview-Webseite, <http://www.ni.com/labview/>, abgerufen am 15. Juli 2011.



**Tabelle 1.** Zusammenfassung der Ergebnisse der Messung der Gelenkpositionsgenauigkeit

| Gemeinsam                    | Durchschnittlicher Fehler | Maximaler Fehler |
|------------------------------|---------------------------|------------------|
| Daumenrotation               | 0,9°                      | 2°               |
| Daumenbeugung                | 0,6°                      | 2°               |
| Zeigefingergelenk 1 („MCP“)  | 3,1°                      | 6°               |
| Zeigefingergelenk 2 („PIP“)  | 1,4°                      | 3°               |
| Mittelfingergelenk 1 („MCP“) | 2,4°                      | 4°               |
| Mittelfingergelenk 2 („PIP“) | 3,0°                      | 5°               |
| Ringfingergelenk 1 („MCP“)   | 1,7°                      | 4°               |
| Ringfingergelenk 2 („PIP“)   | 1,6°                      | 5°               |

## **Bildunterschriften**

**Abbildung 1. Das flexible Automatisierungssystem; Einschub: der vielseitige Greifer.**

**Abbildung 2. Die teleoperierte Hand und das Handschuheingabegerät; Einschub: Messung von menschliche Greifkräfte.**

**Abbildung 3. Der anthropomorphe Roboterfinger. Links: gestreckt, mit Gierbewegung; Rechts: vollständig gebeugt.**

**Abbildung 4. Der Kabel- und Riemenscheiben-Kupplungsmechanismus zwischen Gelenk 2 und Gelenk 3 des Kabels Roboterfinger, dargestellt in gestreckter und teilweise gebeugter Konfiguration.**

**Abbildung 5. Oben: natürlicher Drehwinkel des menschlichen Daumens (ungefähr); Unten links: Daumenbefestigungslasche und Drehmechanismus in der Roboterhand; Unten rechts: Befestigung des Daumens an der Klappe, die 20° -Drehung des Daumens zeigt Bezogen auf die Daumendrehachse.**

**Abbildung 6. Die neue anthropomorphe Hand von RIAL. Links: CAD-Zeichnung; Rechte Hand Prototyp.**

**Abbildung 7. Schematische Darstellung der Betätigungs- und Sensorsysteme für einen Finger der Hand.**

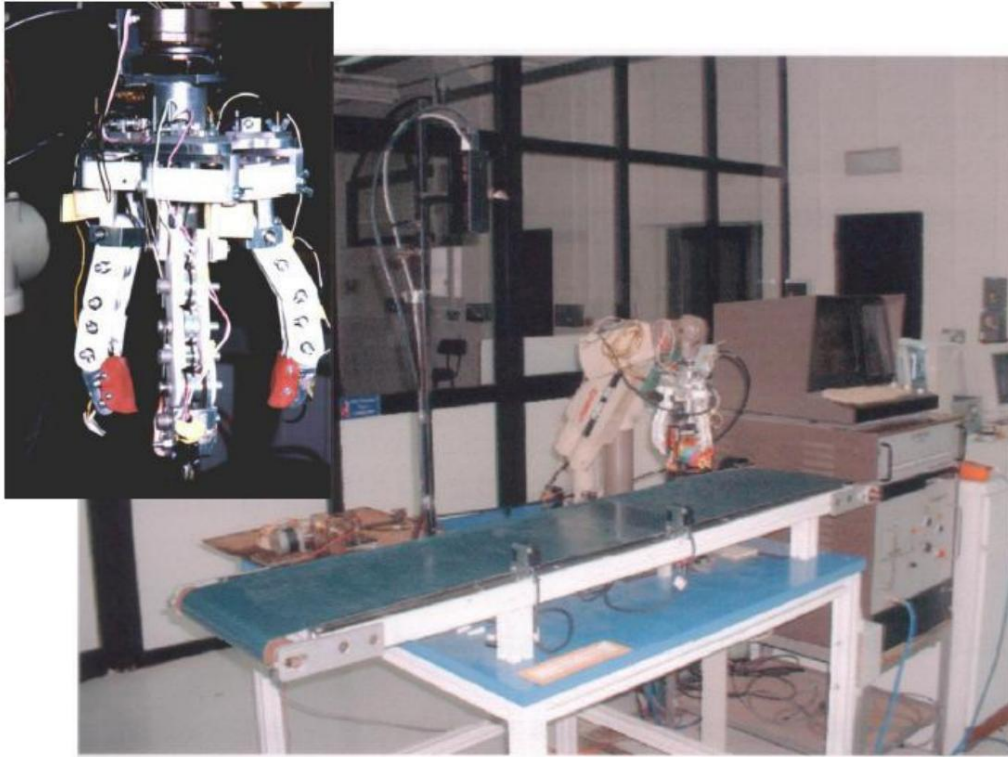
**Oben links: Kabelpositionssensor; Oben rechts: Seilkraftsensor; Unten: doppelt Doppeltwirkendes Betätigungssystem, das Position und Kraft anzeigt Sensoren. Das Betätigungs-/Sensorsystem befindet sich entfernt von der Hand und Die Übertragung erfolgt über flexible Mantelkabel.**

**Abbildung 8. LabVIEW-Positionserkennungsprogramm – Frontplattenanzeige.**

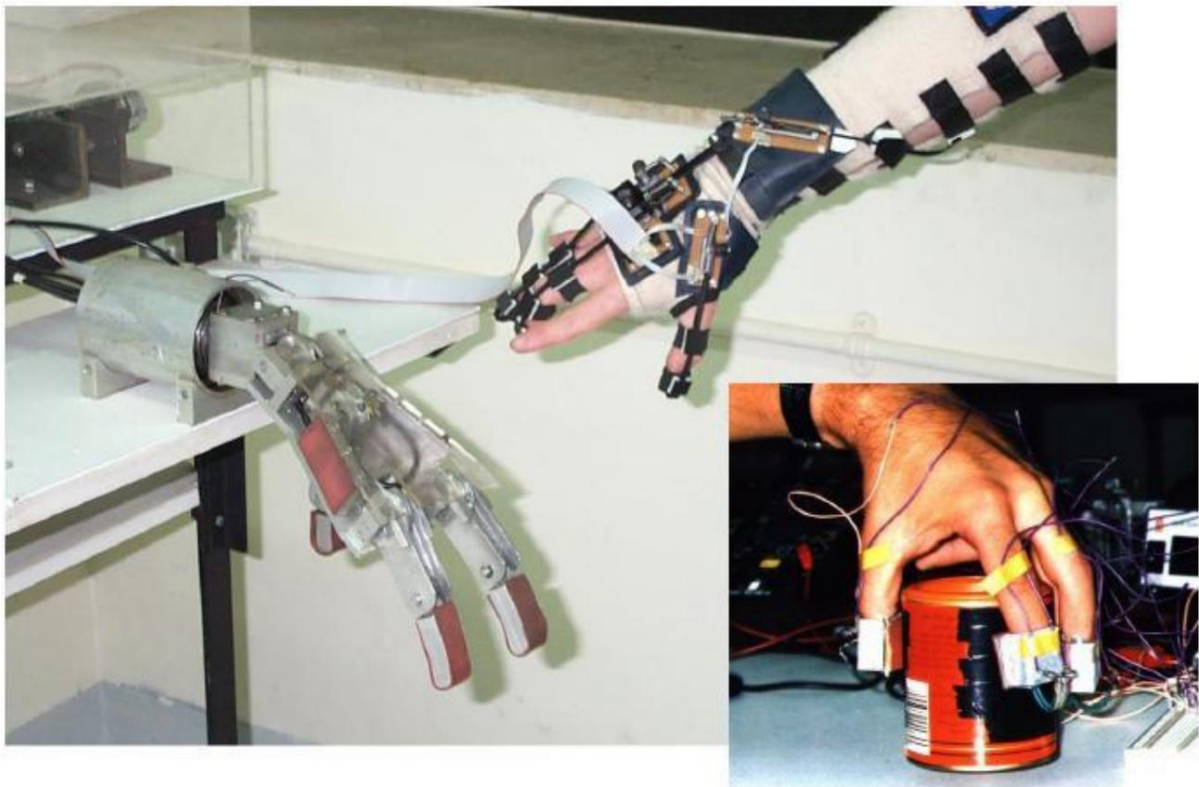
**Abbildung 9. Gelenkpositionsmessgeräte zur Kalibrierung. Links: Innerstes und mittlere Beugegelenke des Fingers; Rechts: Daumenrotationsgelenk.**

**Abbildung 10. Positionskalibrierungskurve für das mittlere Beugegelenk des Mittelfingers.**

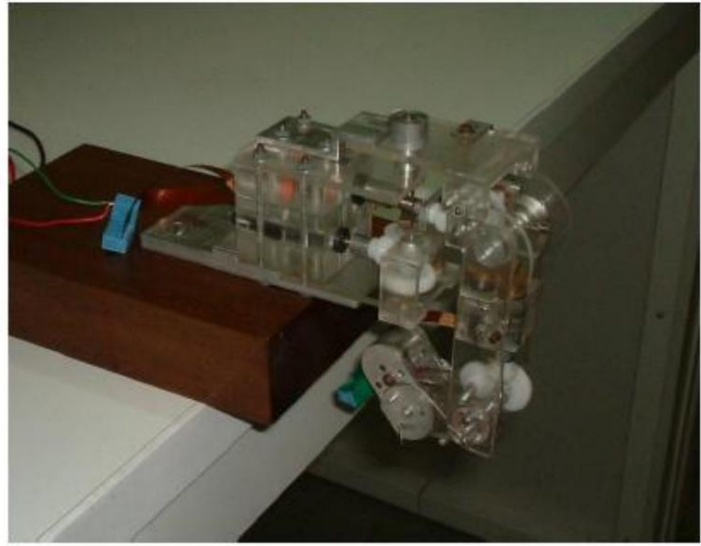
**Abbildung 11. Kalibrierungskurve für den Kraftsensor des mittleren Beugegelenks der Mitte Finger.**



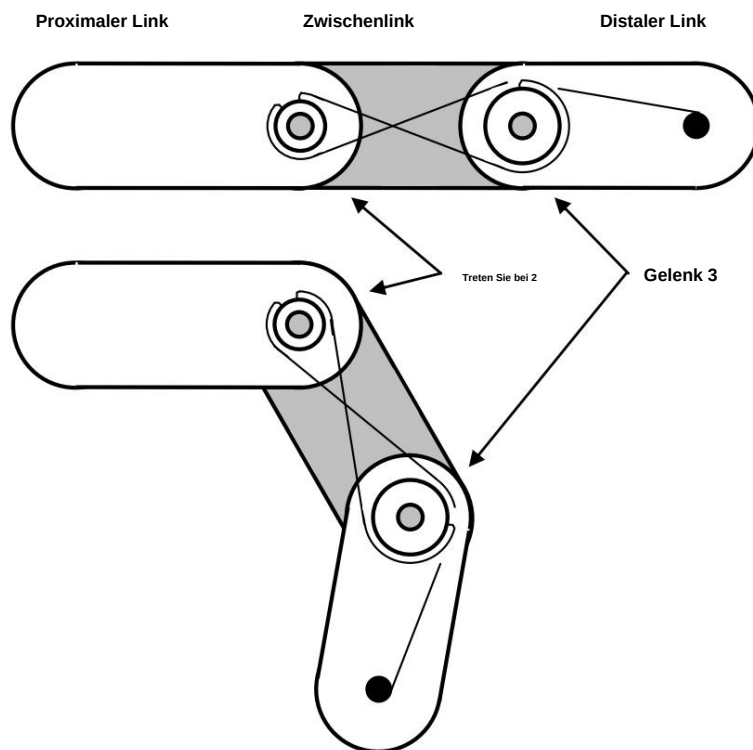
Feige. 1.



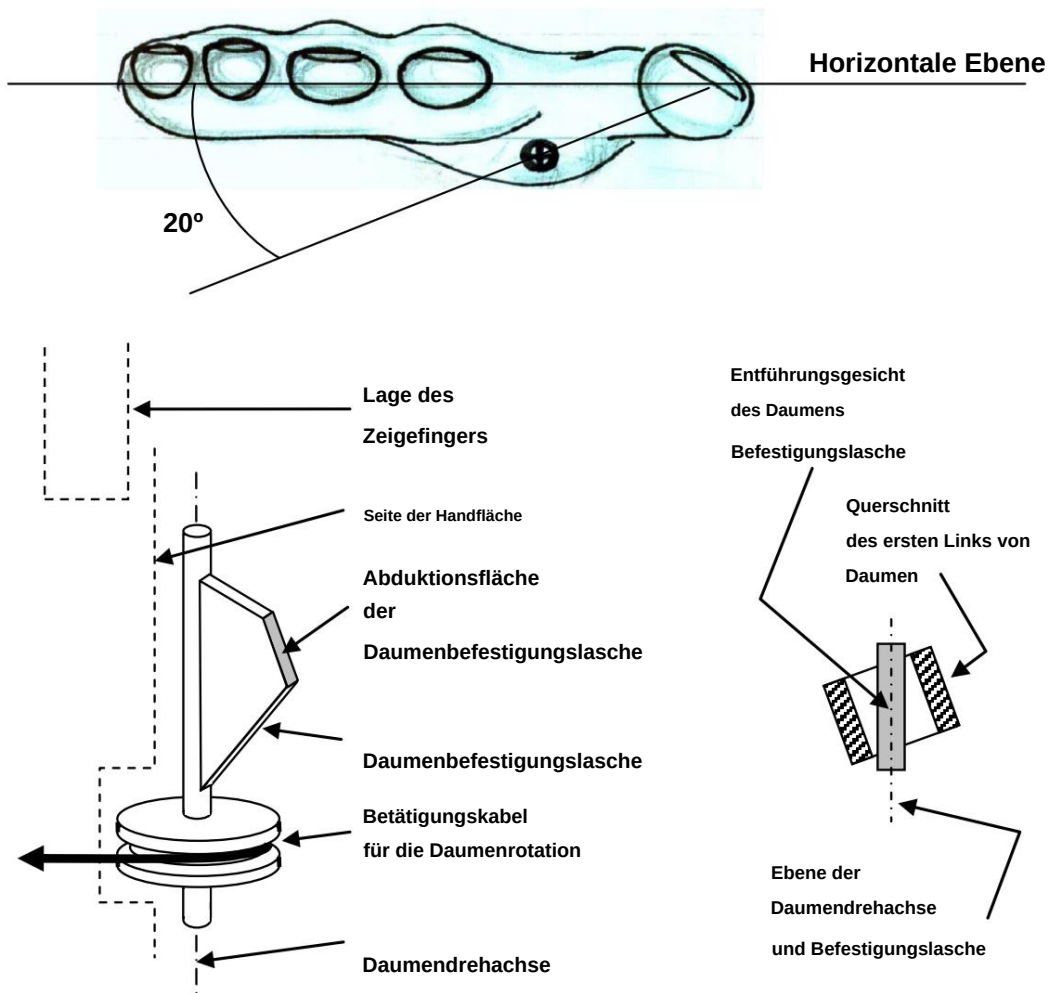
Feige. 2.



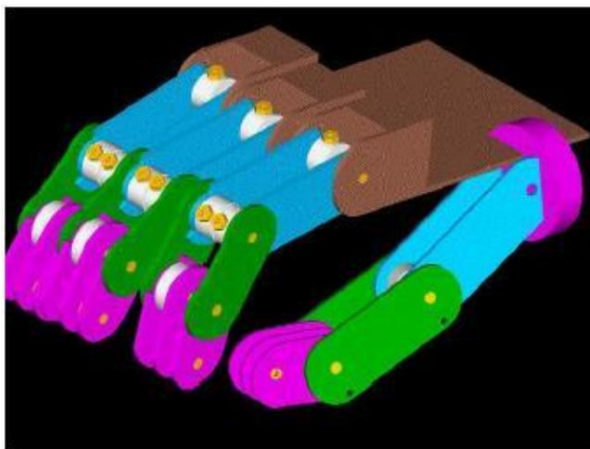
Feige. 3.



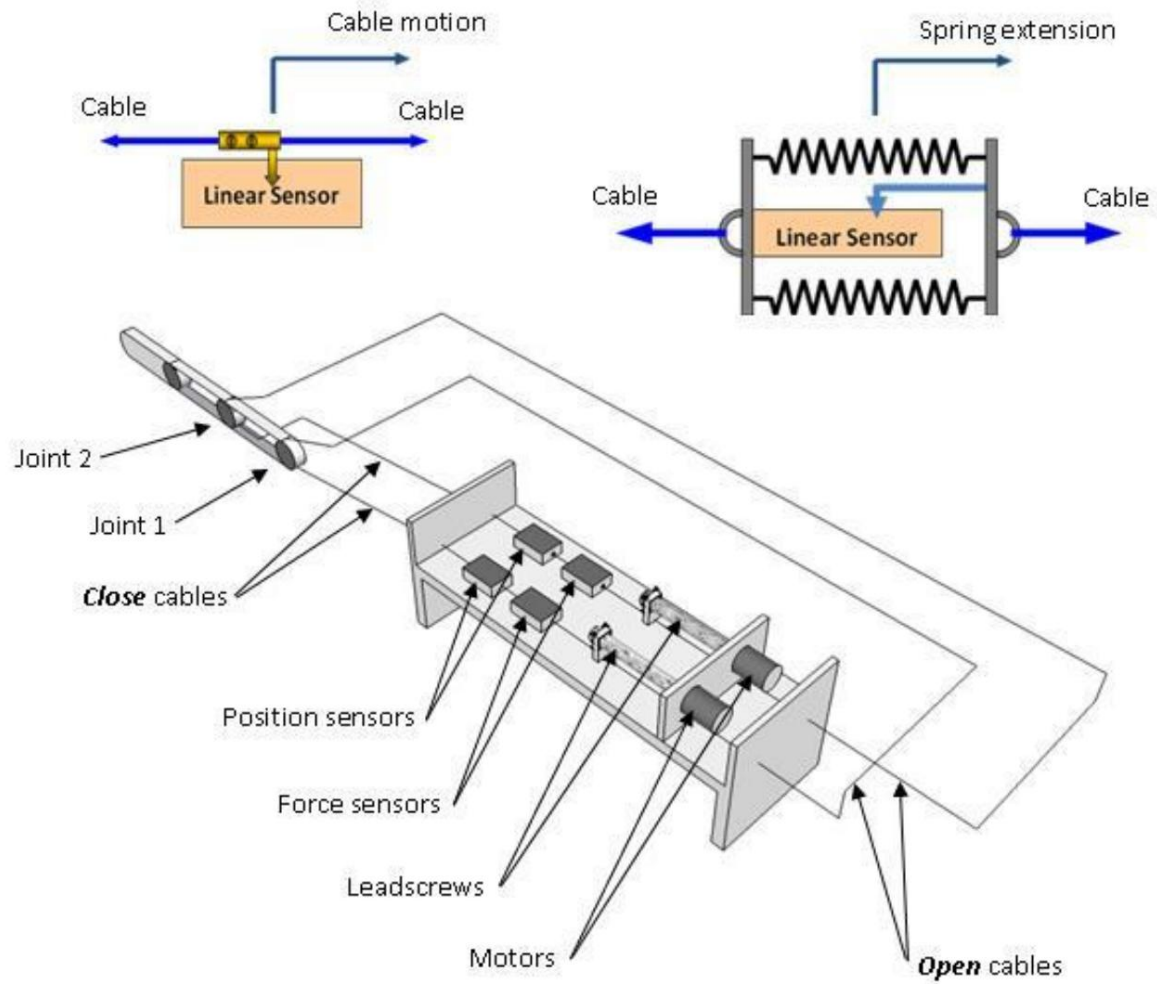
Feige. 4.



Feige. 5.

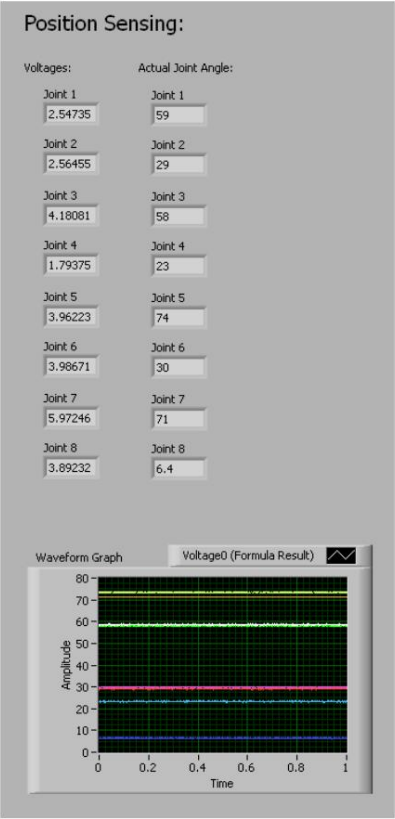


Feige. 6.

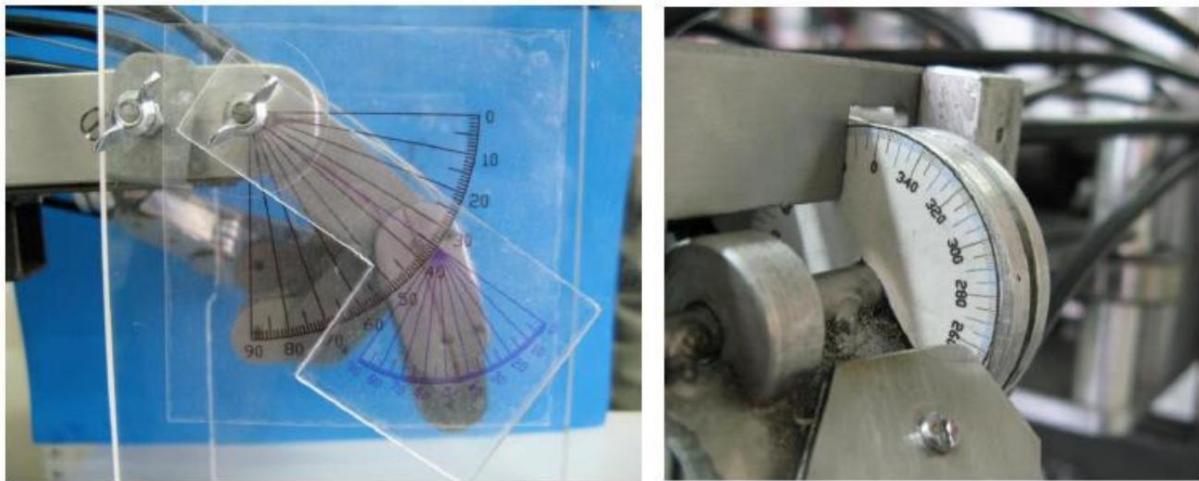


Feige. 7.



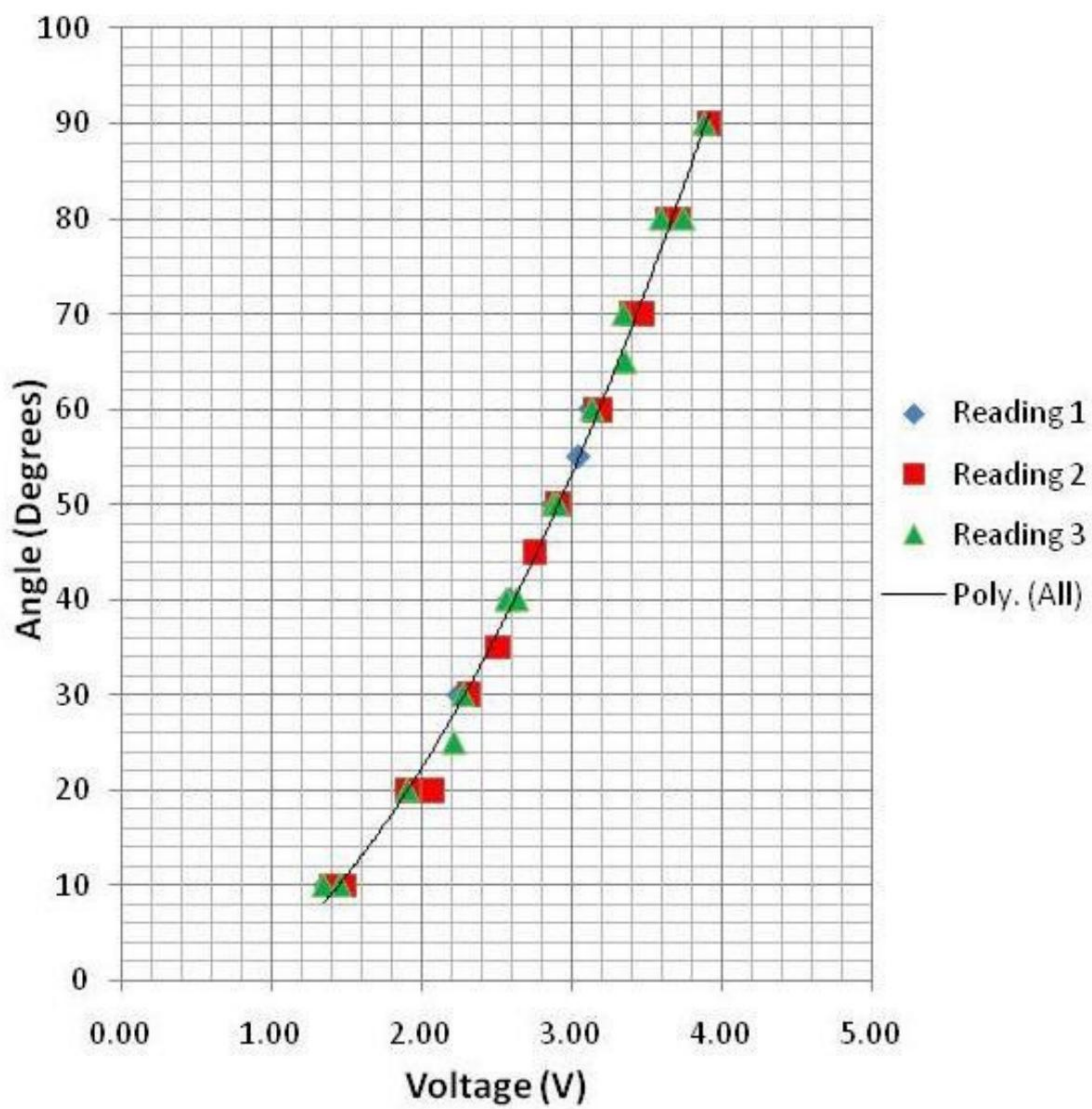


Feige. 8.

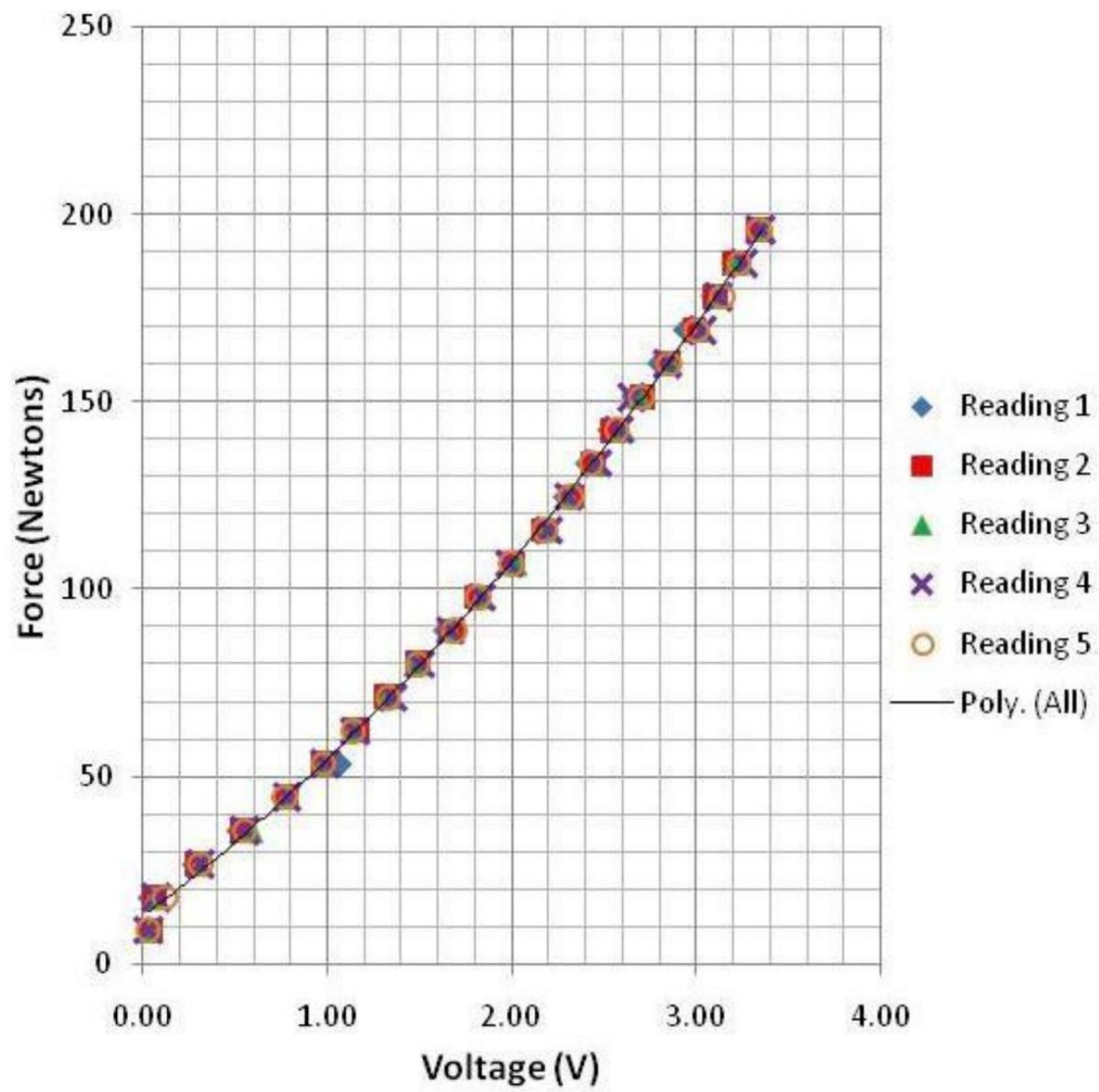


Feige. 9.





Feige. 10.



Feige. 11