

# Künstliche Haut

eine Zusammenfassung des Vortrages im Rahmen des Seminars

**„Humanoide Roboter“**

im Wintersemester 2004/2005

Veranstalter: Robert Haschke

Jan Mikus

26. März 2005

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Vorwort</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Klassische Sensorik in der Robotik</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Künstliche Haut - Motivation und Anforderungen</b>	<b>3</b>
<b>5</b>	<b>Technische Realisierungen künstlicher Haut</b>	<b>4</b>
5.1	Künstliche Haut, zweischichtig [1] . . . . .	4
5.1.1	Starre Ausführung . . . . .	4
5.1.2	Flexible Ausführung . . . . .	4
5.1.3	Applikationsbeispiele . . . . .	4
5.1.4	Mechanosensorische Eigenschaften . . . . .	5
5.2	Künstliche Haut, dreischichtig [2] . . . . .	9
<b>6</b>	<b>Anforderungen und Realität – ein Vergleich</b>	<b>10</b>
6.1	Vergleich der technischen Daten . . . . .	10
<b>7</b>	<b>Weitere Anwendungsfelder künstlicher Haut</b>	<b>10</b>
<b>8</b>	<b>Literatur</b>	<b>12</b>

# 1 Vorwort

Diese Arbeit ist eine schriftliche Zusammenfassung eines Vortrages, welchen der Autor im Rahmen des Seminars „humanoide Roboter“ im Wintersemester 2004/05 an der Universität Bielefeld gehalten hat; sie möchte den heutigen Stand der Forschung bezüglich künstlicher Haut vorstellen und einen kleinen Einblick in zukünftige Anwendungsmöglichkeiten bieten.

# 2 Einleitung

Haut ist ein universelles und unverzichtbares Organ für höherentwickelte tierische Organismen. Ihr kommen weitreichende Aufgaben zu: Zum einen schützt sie innenliegende Körperteile vor mechanischer, thermischer, osmotischer und biologischer Beeinflussung (Stichwort: pathogene Erreger), zum anderen dient sie als universeller und hochkomplexer Thermo- und Mechanozeptor mit selbständiger Signalvorverarbeitung und einem regionsabhängigen adäquaten Auflösungsvermögen.

Der Natur abgesehen möchte man einige dieser positiven Eigenschaften auch für technische Systeme nutzbar machen.

# 3 Klassische Sensorik in der Robotik

In der klassischen Robotik kommen verschiedene Techniken der Sensorik zum Einsatz, die sich in zwei Kategorien einteilen lassen: *berührungslose* und *berührungssensitive* Sensoren.

Zu den *berührungslosen* Sensoren gehören optische, akustische und teilweise thermosensorische Systeme.

Optische Systeme variieren stark sowohl in ihrer sensorischen Leistung als auch in ihrer Komplexität. Einfache Optische Systeme bestehen lediglich aus einem lichtempfindlichen Halbleiter zur Helligkeitserkennung, komplexere Systeme arbeiten mit Laserscannern und Kameras, um sich eine Repräsentation ihrer Umwelt aufzubauen und somit z. B. eine Kollisionserkennung ermöglichen.

Akustische Systeme orientieren sich wie eine Fledermaus mit Hilfe von Ultraschall, wodurch sie in Medien einsetzbar werden, die für optische Systeme ungeeignet sind.

Zur Temperaturbestimmung von Objekten eignen sich Infrarotaufnahmen; sie ermöglichen eine differenzierte Detektion von Wärmestrahlung.

Zu den *berührungssensitiven* Sensoren gehören eine andere Art der Temperaturmeßtechnik und diverse Mechanorezeptoren.

Spezielle Halbleiter (NTC/PTC) können zur Messung ihrer bzw. zur Bestimmung derjenigen Temperatur des Objektes oder Mediums, mit denen sie in Kontakt stehen, eingesetzt werden. Dabei stellen sie sich auf einen zur

Temperatur korrespondierenden Widerstand ein und ermöglichen somit eine Temperaturbestimmung.

Weiterhin gibt es Mechanorezeptoren, die im einfachsten Fall als Schalter ausgeführt sind, und Kraft- bzw. Drehmomentsensoren, die eine differenziertere Information über den detektierten Kontakt liefern. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass es z. T. auch möglich ist, durch sog. Beobachter teure Sensorhardware zur Kraft- bzw. Drehmomentbestimmung durch Software zu ersetzen.

## 4 Künstliche Haut - Motivation und Anforderungen

Die oben genannten mechanosensorischen Methoden stellen für die Interaktion zwischen Menschen und (humanoiden) Robotern ein großes Problem dar, da ein menschlicher Agent ein sehr empfindliches System bezüglich mechanischer Reize und Einwirkungen darstellt.

Gleichzeitig ist es aber gerade die Mechanosensorik, die es dem Menschen ermöglicht, seine Hand als ein äußerst vielseitiges Werkzeug einzusetzen, um z. B. ein sicheres, durch „Fühlen“ bzw. „Tasten“ überwacht Greifen zu gewährleisten.

Diese Umstände legen es nahe, auch diverse Roboter und andere technische Systeme mit einer Art künstlichen Haut auszustatten. Diese erlangen damit, so erhofft man sich, ähnlich gute Tast- und Reaktionseigenschaften, wie sie dem Menschen durch seine evolutionär bedingte und bewährte Entwicklung zur Verfügung stehen.

An eine künstliche Haut werden verschiedene Anforderungen gestellt, die sich aus ihrem natürlichen Vorbild ergeben:

- eine in Orts-, Intensitätsauflösung angemessene Drucksensorik ohne „Dead Spots“,
- Detektion von leichtesten Berührungen bzw. Druckänderungen bis hin zu „schmerzhaften“ Reizen,
- Erkennbarkeit statischer und dynamischer Kontakte,
- Flexibilität, Dehn- und Formbarkeit,
- robuste und kompakte Verdrahtung (evtl. Signalvorverarbeitung),
- Dämpfungsverhalten, um Benutzer im Falle einer Kollision zu schützen,
- evtl. Temperatursensorik.

## 5 Technische Realisierungen künstlicher Haut

In diesem Abschnitt sollen zwei Arten der technischen Realisierung künstlicher Haut aufgezeigt werden. Die erste vorgestellte Variante von K. Weiss ist eine zweischichtige Haut, die zweite von der Universität Tokyo eine dreischichtige.

### 5.1 Künstliche Haut, zweischichtig [1]

#### 5.1.1 Starre Ausführung

Eine Elektrodenmatrix ist wie in Abb. 1 mit einem elektrisch leitfähigen Elastomer, welches aus einem mit Graphit angereicherten Schaumstoff besteht, bedeckt. Das Funktionsprinzip ist folgendes: Wenn Druck auf das Elastomer ausgeübt wird, dann ändert sich der el. Widerstand zwischen den Elektroden, was sich durch einen geänderten Spannungsabfall an den Elektroden selbst bzw. an einem Meßwiderstand meßtechnisch erfassen läßt. Die Informationen über Druckintensitäten werden gemäß Abb. 2 über einen Multiplexer an einen Sensorcontroller weitergeleitet, in dem eine Signalvorverarbeitung stattfindet und von welchem die Sensorinformationen via RS232, USB oder CAN-Bus an einen übergeordneten Rechner weitergeleitet werden können. Gemäß Abb. 3 ist es möglich, mehrere Sensormodule über den CAN-Bus miteinander zu verbinden, so daß diese Sensoren lediglich über ein CAN-Interface kontrolliert werden. Auf den Rückseiten der Sensormatrizen sind die Matrixcontroller und die Verdrahtungen untergebracht, was einen gewissen Grad an Modularität gewährleistet.

#### 5.1.2 Flexible Ausführung

In Abb. 4 ist eine flexible Ausführung einer künstlichen Haut abgebildet. Im Gegensatz zur starren Ausführung ist der Matrixcontroller nun nicht mehr auf der Rückseite der Elektrodenmatrix angebracht, sondern er befindet sich an deren Seite. Damit der Controller beim Einsatz nicht stört, ist er im Roboterarm-Beispiel in einer speziell angefertigten Roboterarm-Ummantelung untergebracht. Auf dieser Ummantelung liegt die Matrix, die von einem zylindrischen Elastomer umgeben ist. Somit ist ein nichtplanares Sensorsystem geschaffen worden.

#### 5.1.3 Applikationsbeispiele

In Abb. 5 ist ein 7-DOF-Roboterarm mit „humanoider“ Konfiguration zu sehen. Er wurde mit planaren Sensoren an Schulter, Oberarm, Ellenbogen und Handrücken ausgestattet, sein Unterarm durch einen flexiblen Sensor, der um einen Zylinder gewickelt ist.

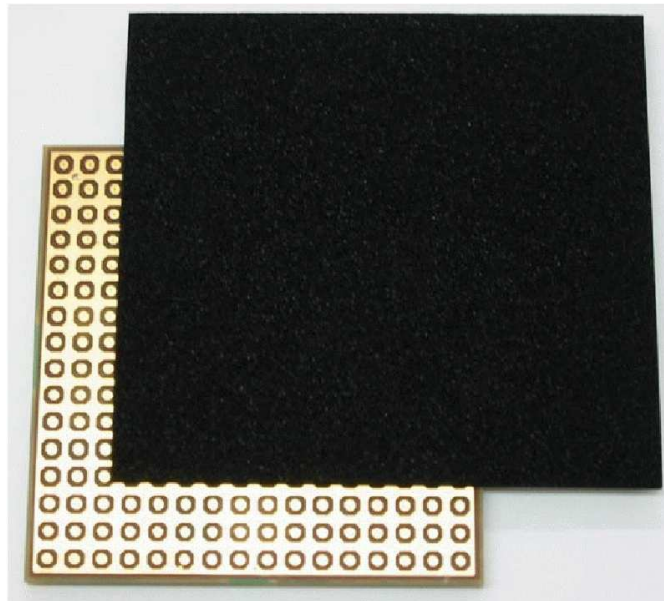


Abbildung 1: Elektrodenmatrix bedeckt mit leitfähigem Elastomer – eine starre künstliche Haut

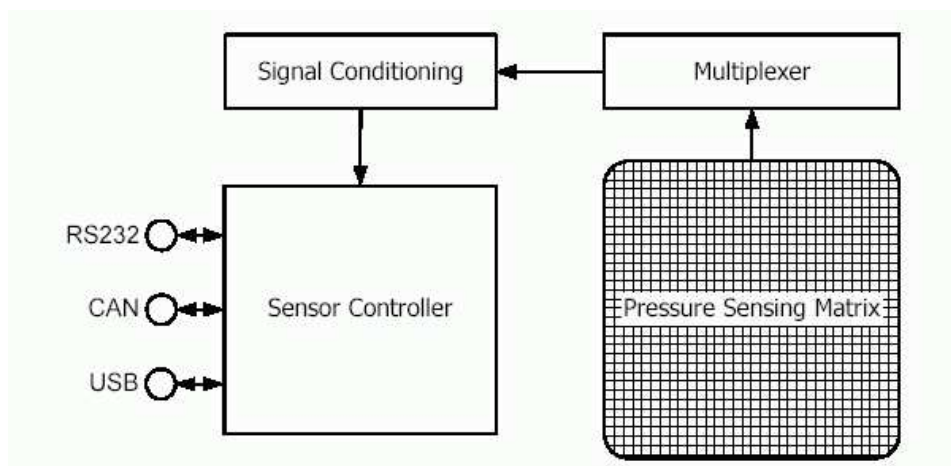


Abbildung 2: Drucksensor-Matrix mit Multiplexer und Controller

#### 5.1.4 Mechanosensorische Eigenschaften

Zur Bestimmung der mechanosensorischen Eigenschaften wurde eine Testumgebung gemäß Abb. 6 aufgebaut. Sie ermöglicht es, die Kompression des Elastomers und den gemessenen Widerstand in Abhängigkeit des einwirkenden Drucks aufzuzeichnen. Das Diagramm in Abb. 7 zeigt das Ergebnis

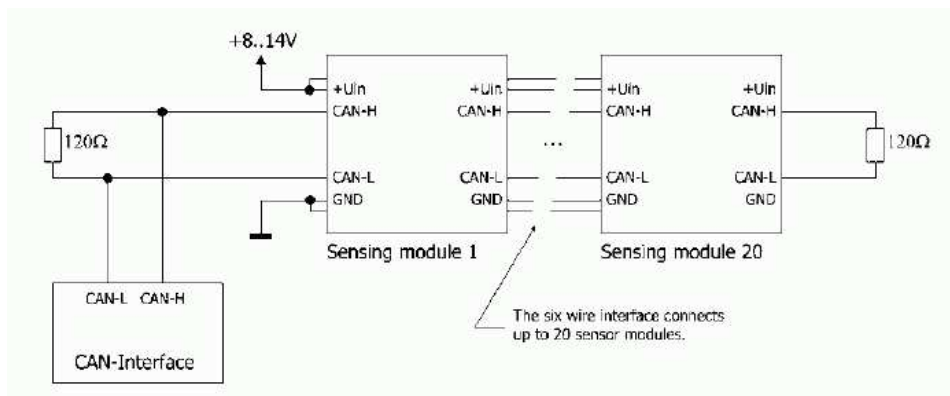


Abbildung 3: Mehrere Sensoreinheiten verbunden mittels CAN-Bus



Abbildung 4: Flexible künstliche Haut

dieser Messung. Aus ihr wird ersichtlich, daß in einem Druckbereich zwischen 0 kPa und 10 kPa eine äußerst feine Sensoraufösung besteht. Höhere Drücke werden weniger differenziert detektiert.

Von weiterer Bedeutung sind die dynamischen Sensoreigenschaften, die die Einsetzbarkeit des Sensors in großem Maße mitbestimmen. Aus dem Diagramm in Abb. 8 ist zu entnehmen, daß eine halbwegs präzise Druckmessung erst nach einer Einstellzeit von 20 Sekunden stattfinden kann. Für den alltäglichen Umgang mit solch einer künstlichen Haut wird daher eher eine „gewichtete Kontaktdetektion“ als eine genaue Druckmessung erfolgen.



Abbildung 5: Roboterarm mit planaren Sensoren an Schulter, Oberarm, Ellenbogen und Handrücken und einem flexiblen Sensor, der um den Unterarm gewickelt ist

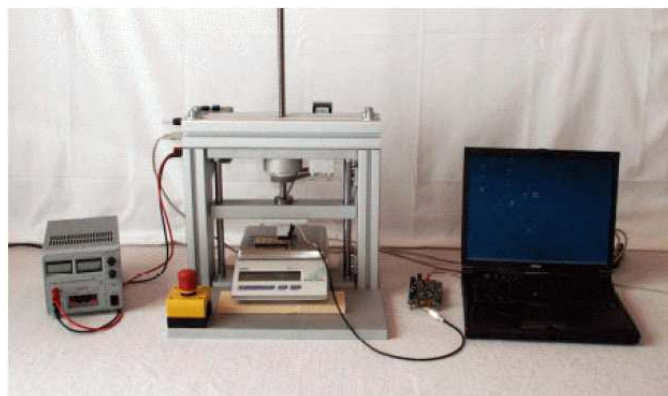


Abbildung 6: Testumgebung

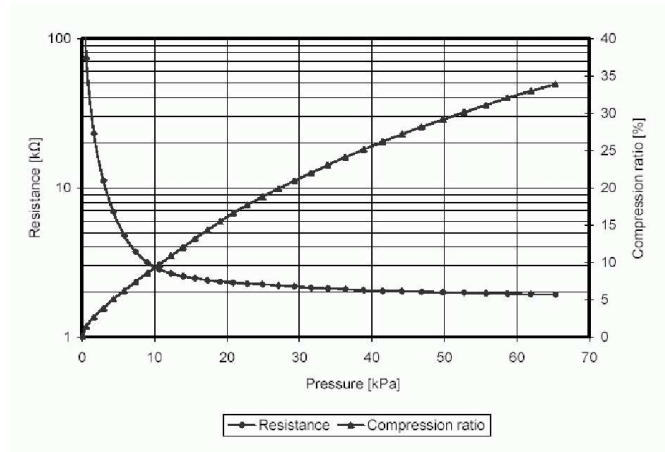


Abbildung 7: Charakteristik des Cover-Materials

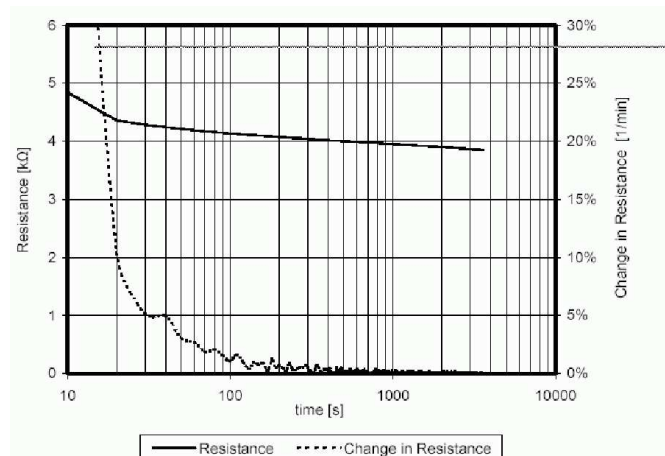


Abbildung 8: Widerstands-Zeit-Diagramm



## 5.2 Künstliche Haut, dreischichtig [2]

Im Gegensatz zur bereits diskutierten künstlichen 2-Schicht-Haut nach Weiss gibt es noch einen weiteren Ansatz: die 3-Schicht-Haut. Abb. 9 zeigt eine solche Haut; sie besteht aus zwei flexiblen Schichten, die über Kreuz mit Leiterbahnen versehen sind und einer innenliegenden, leitfähigen Elastomerschicht. Durch gemultiplexte Konfigurationen können so alle Druckwerte auf der Matrix ermittelt werden, wobei man sich wiederum zu Nutze macht, daß der el. Widerstand zwischen den Leiterbahnen der äußeren Schichten druckabhängig ist.

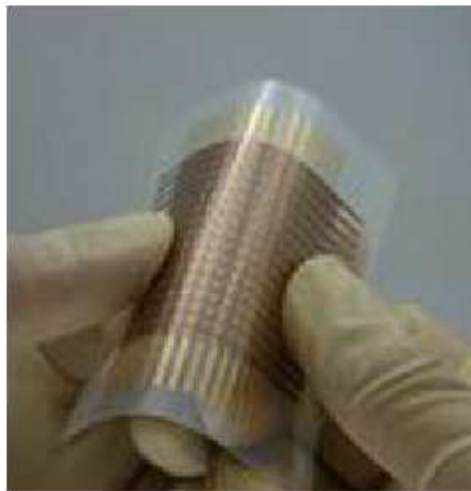


Abbildung 9: Dreischichtige flexible Haut der University of Tokyo

## 6 Anforderungen und Realität – ein Vergleich

Mit der künstlichen Haut nach Weiss ist es möglich, Drücke und deren Änderungen jederorts zu erkennen und ihre Intensität bei Kurzzeit-Kontakten mit einer Berührungsdauer von weniger als 20 Sekunden durch eine „gewichtete Kontaktdetektion“ zu ermitteln.

Die flexible Ausführung ist in gewissem Maße formbar, man kann sie um runde Gegenstände wickeln. Jedoch fehlt ihr im Vergleich zur natürlichen Haut die erweiterte Dehn- und Formbarkeit; mit ihr ist es nicht ohne weiteres möglich, z. B. einen Ellenbogen zu umspannen oder sie als Tastsensor an einer Fingerspitze einzusetzen.

Die starre Version des Tastsensors ist relativ kompakt gehalten. Auf seiner Rückseite befinden sich Controller mit A/D-Wandler und die zugehörige Verdrahtung. Die flexible Haut benötigt einen externen Controller.

Durch die Schaumstoffauflage (Elastomer) wird eine gewisse Dämpfungseigenschaft erzielt.

Eine Temperatursensorik ist nicht vorhanden.

Die dreischichtige Haut hat vermutlich ähnliche Eigenschaften wie die 2-Schicht-Haut; lediglich ein Dämpfungsverhalten ist von der Haut selbst nicht zu erwarten.

Zum Vergleich sei an dieser Stelle auf die Tastsensorik der Shadow-Hand [3] verwiesen. Sie beruht nicht auf der Änderung eines el. Widerstands sondern auf einem Quanten-Tunneleffekt. In einer Fingerspitze befindet sich ebenfalls ein Controller, der die Daten in digitalisierter Form an einen Master weiterleiten kann.

Im Vergleich zur menschlichen Fingerspitze tritt noch ein bedeutender Unterschied auf; sie ist viel stärker mit Sensoren durchsetzt, als es technische Systeme bislang aufweisen können (s. u.).

### 6.1 Vergleich der technischen Daten

Weiss-Sensor, starr	2,56 Sensoren/cm <sup>2</sup>	40 - 1200 g/cm <sup>2</sup>
Weiss-Sensor, flexibel	0,35 Sensoren/cm <sup>2</sup>	
3-Schicht-Sensor	16 Sensoren/cm <sup>2</sup>	
Shadow-Fingerspitze	34 Sensorbereiche	3 - 400 g/cm <sup>2</sup>
<i>menschliche Fingerspitze</i>	<i>ca. 1500 Sensoren/cm<sup>2</sup></i>	

## 7 Weitere Anwendungsfelder künstlicher Haut

Künstliche Haut ist nicht nur dort einsetzbar, wo man es von einer Haut erwarten würde. Weiss z. B. hat ein Gerät, die sog. „DigiKuh“ – eine künstliche Zitze – mit seiner flexiblen Haut konstruiert, das es ermöglicht, die Funktionalität von Melkmaschinen zu überprüfen.

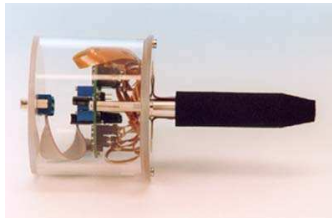


Abbildung 10: DigiKuh, die künstliche Zitze, um Melkmaschinen zu überprüfen

Ein weiteres Anwendungsfeld stellt die Überwachung von Räumen dar; wenn ein Fußboden mit der Sensorik einer künstlichen Haut ausgestattet ist, kann man eine Überwachung des Raumes realisieren. Durch die relativ genaue Sensorik könnte man z. B. in Krankenhäusern und Altenheimen eine Gesundheitsüberwachung der Patienten erreichen – hat sich die betreffende Person zu Gymnastikübungen auf den Boden gelegt, oder ist sie vielleicht hingefallen? Eventuell könnte man gleichzeitig den Herzschlag der betreffenden Person über ihren Bodenkontakt überwachen.

Natürlich kann eine solche Technik – wie andere auch – mißbraucht werden. Offenheit für neuartige Entwicklungen und eine kritische Betrachtungsweise sind gefordert.

## 8 Literatur

- 1 „Development of a Flexible Tactile Sensor System for a Humanoid Robot“; O. Kerpa, K. Weiss, H. Wörn; Universität Karlsruhe
- 2 „Flexible sensors make robot skin“; TRN-Magazin;  
[http://www.trnmag.com/Stories/2004/092204/Flexible\\_sensors\\_make\\_robot\\_skin\\_092204.html](http://www.trnmag.com/Stories/2004/092204/Flexible_sensors_make_robot_skin_092204.html)
- 3 Shadow-Dokumentation zur Fingerspitze