**Koppelung einer Bewegungsentwicklung**

**für humanoide Roboter**

**mit der Bewegungserkennung**

**von Personen durch die Kinect**

**Studienarbeit**

für die Prüfung zum

Bachelor of Engineering

des Studienganges Informatik

Studienrichtung Informationstechnik

an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Karlsruhe

von

**Dennis Alles**

und

**Karolin Edigkaufer**

12.05.2014

Matrikelnummer 3934520 (Dennis Alles)

6589515 (Karolin Edigkaufer)

Kurs TINF11B3

Betreuer Prof. Dr. Hans-Jörg Haubner

Michael Schneider

Ehrenwörtliche Erklärung

gemäß § 5 (3) der „Studien- und Prüfungsordnung DHBW Technik“ vom 22. September 2011.

Ich habe die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet.

Ort, Datum Unterschrift

Ort, Datum Unterschrift

Abbildungsverzeichnis

[Abb. 1: Die Sensoren der Kinect [6] 4](#_Toc382422607)

[Abb. 2: Skeleton mit 20 Punkten [7] 5](#_Toc382422608)

[Abb. 3: Die Lage der Motoren beim Nao [10] 7](#_Toc382422609)

[Abb. 4: Die Hardwarekomponenten des Nao [11] 8](#_Toc382422610)

[Abb. 5: Nao Bibliothek nutzen 9](#_Toc382422611)

Tabellenverzeichnis

[Code 1: Installation des Puppetmasters 18](#_Toc366502778)

[Code 2: Installation Foreman 19](#_Toc366502779)

[Code 3: Manifest für den Knoten KASTILXTEST03 22](#_Toc366502780)

Abkürzungsverzeichnis

DHBW Duale Hochschule Baden-Würrtemberg

SDK Software Development Kit

VGA Video Graphics Array

Inhaltsverzeichnis

[Ehrenwörtliche Erklärung II](#_Toc382747435)

[Abbildungsverzeichnis III](#_Toc382747436)

[Tabellenverzeichnis IV](#_Toc382747437)

[Abkürzungsverzeichnis V](#_Toc382747438)

[Inhaltsverzeichnis VI](#_Toc382747439)

[1 Einleitung 1](#_Toc382747440)

[1.1 Motivation 1](#_Toc382747441)

[1.2 Aufgabenumfeld 1](#_Toc382747442)

[1.3 Aufgabenbeschreibung und Ziele 2](#_Toc382747443)

[1.4 Vorgehensweise 2](#_Toc382747444)

[2 Grundlagen 3](#_Toc382747445)

[2.1 Kinect 3](#_Toc382747446)

[2.1.1 Sensoren der Kinect 3](#_Toc382747447)

[2.1.2 SDK 6](#_Toc382747448)

[2.1.3 Direkte Möglichkeit mit der SDK-Nutzung 6](#_Toc382747449)

[2.2 Humanoide Roboter: Nao 6](#_Toc382747450)

[2.2.1 Nao 6](#_Toc382747451)

[2.2.1.1 Hardware 6](#_Toc382747452)

[2.2.1.2 Software 8](#_Toc382747453)

[2.2.1.3 Nao SDK 8](#_Toc382747454)

[2.2.1.4 NaoQi 9](#_Toc382747455)

[2.2.1.5 Webots für Nao 9](#_Toc382747456)

[2.2.1.6 Sensoren 9](#_Toc382747457)

[2.2.1.7 Aktoren 9](#_Toc382747458)

[2.3 Programmiersprache 9](#_Toc382747459)

[2.4 Threads 10](#_Toc382747460)

[3 Konzeption/Planung 11](#_Toc382747461)

[4 Umsetzung 12](#_Toc382747462)

[4.1 Programm 12](#_Toc382747463)

[4.1.1 Schwierigkeitsgrade 12](#_Toc382747464)

[4.2 Nao 12](#_Toc382747465)

[4.3 Kinect 12](#_Toc382747466)

[4.4 GUI 12](#_Toc382747467)

[4.5 Test 13](#_Toc382747468)

[5 Fazit 14](#_Toc382747469)

[Literaturverzeichnis IX](#_Toc382747470)

# Einleitung

Sowohl Roboter als auch die direkte Interaktion zwischen Anwender und Computer liegen voll im Trend in der Informatik. Die starre Programmierung eines Rechners wird es zwar immer geben, aber oftmals rückt das Thema den Anwender selbst mit einzubeziehen mehr und mehr in den Vordergrund. Hierbei liegt die große Herausforderung in der Wahrnehmung und Nachahmung von menschlichen Aktionen [1].

Die Studienarbeit beschäftigt sich mit dem System Kinect von Microsoft und einem humaoiden Roboter Nao. Die Kinect ist eine Hardware zur Gestik- und Mimik Erkennung.

ROBOTER NAO…

## Motivation

Die Motivation ist es den Roboter in einer spielerischen Umgebung mit dem Menschen zu verknüpfen, um so manche Berührungsängste mit dieser neuartigen Technik zu nehmen. Zudem kann Nutzern auf diese Weise auch gezeigt werden, welche Möglichkeiten es gibt, Roboter zu nutzen, die bisher noch nicht in Betracht gezogen worden sind. So ist es zum Beispiel denkbar, dass gewisse Bewegungsabläufe wie das Erlenen von Schwimmbewegungen, über so ein Verfahren trocken gelernt werden können.

## Aufgabenumfeld

Diese Studienarbeit entsteht an der Dualen Hochschule Baden Württemberg (DHBW) und wird von zwei Studenten gemeinsam geschrieben. Zur Verfügung steht ein Labor mit einem Nao und einem Rechner, auf dem alle relevanten Dokumente und Programme genutzt werden können. Zudem können die Programme auch auf den privaten Rechnern installiert werden, sodass mit Hilfe von Simulationssoftware auch von zu Hause aus gearbeitet werden kann.

## Aufgabenbeschreibung und Ziele

Ziel der Arbeit ist es, ein Spiel zu programmieren, bei dem sowohl ein Roboter als auch das Kamerasystem Kinect zum Einsatz kommt. Dem Roboter Nao werden verschiedene Bewegung beigebracht, die er auf Befehl automatisiert ausführen kann.

Die Kinect ist dafür zuständig, die Bewegungen des davorstehenden Spielers aufzunehmen.

Der Ablauf des programmierten Spiels kann in drei Schritte unterteilt werden. Im ersten Schritt führt Nao eine der programmierten Bewegungen vor. Sobald die Roboterbewegung vollendet ist, beginnt Schritt zwei, in dem die Kinect die Bewegung des Spielers aufnimmt. Gleichzeitig läuft eine festgelegte Zeit herunter. Die Aufgabe des Spielers ist es innerhalb der Zeit vom Roboter durchgeführte Bewegung möglich ähnlich nachzuahmen. Nach dem Ablauf der Zeit beginnt Schritt drei, bei dem die getätigte Benutzerbewegung mit der programmierten Roboterbewegung vom System verglichen wird.

Dieser Ablauf mit anschließender Auswertung wird in einem spielerischen Umfeld dargestellt und auf einem Monitor angezeigt.

## Vorgehensweise

Die geplante Vorgehensweise sieht vor zu Beginn dem Nao verschiedene einfache Bewegungen einzuprogrammieren. Anschließend wird die Kinect mit einem Skeleton Stream programmiert und die Winkel am Ende einer Bewegung berechnet, die bei den Bewegungen entstehen. Diese sollen dann mit den Winkel des Roboters verglichen und gewertet werden. Das Ergebnis soll in einer übersichtlichen grafischen Benutzeroberfläche dem Nutzer gezeigt werden.

Sofern dieses einfache Beispiel reibungslos funktioniert, werden die Bewegungen des Roboters umfangreicher und komplizierter und es sollen Zwischenwerte der Winkel verglichen werden.

# Grundlagen

Dieses Kapitel schildert die für das Verständnis dieser Arbeit notwendigen Grundlagen. Zu diesem Zweck wird in Kapitel 2.1 die „Kinect-Kamera“ und in Kapitel 2.2 der Roboter NAO vorgestellt.

## Kinect

Die Kinect ist eine Hardware aus dem Hause Microsoft in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen PrimeSense. Sie wurde zunächst für die Steuerung der Spielekonsole Xbox360 entwickelt. Die Kinect setzt wie auch die Nintendo Wii oder Sonys Move auf den Körpereinsatz des Benutzers. Der große Unterschied liegt aber darin, dass der Benutzer keinen Controller in der Hand halten muss. Bei der Kinect wird der ganze Körper zum „Controller“. Die Kinect-Kamera ist eine Leiste aus vielen Sensoren (siehe Abbildung XXX) und erkennt so die Bewegungen der davorstehenden Personen [2], [3].

Nachdem die Kinect so erfolgreich für die Spielekonsole verkauft wurde, ist sie seit Februar 2012 auch für Windows erhältlich. Wie Microsoft selbst schreibt, erhält der Windows-Computer durch die Kinect Augen, Ohre und auch ein Gehirn. Bei der Bestellung der Hardware wird zusätzlich ein Software Development Kit (SDK) mitgeliefert, was nichts anderes ist als eine Sammlung von Werkzeugen und Anwendungen, um eine Software zu erstellen. Das Windows-SDK soll also die Software-Entwicklung für Kinect-Anwendungen erleichtern. Des Weiteren befindet sich eine Dokumentation für die Kinect im Windows-Umfeld im Angebot [4], [5].

### Sensoren der Kinect

In der ca. 20 cm breiten Kinect sind ein Infrarot-Projektor, eine Infrarot-Kamera, eine Farb-Kamera sowie vier Mikrofone verbaut. Damit die Sensoren perfekt auf den Benutzer ausgerichtet werden können, befindet sich zwischen der Kameraleiste und dem Standfuß ein Motor. Mithilfe dieses Motors kann die Sensoren-Leiste um 27° geneigt werden.

Das Sehfeld der Kinect-Sensoren beträgt im Horizontalen 57° und im Vertikalen 43°. Aus diesem Grund muss ein Spieler auch einen Mindestabstand haben, sodass der ganze Körper erkannt werden kann. Laut Herstellerangaben können die Sensoren der Kinect bei einem Abstand von 1,2 bis 3,5 Meter zuverlässig arbeiten. Bei der Xbox sollte der Abstand zwischen Spieler und Kameraleiste bei einem Spieler ca. 1,8 Meter und bei zwei Spieler ca. 2,4 Meter betragen. Bei Anwendungen, die nur den Oberkörper des Spielers benötigen ist dann entsprechend ein geringerer Abstand möglich [6], [7].



Abb. : Die Sensoren der Kinect [8]

Durch die beiden Infrarot-Komponenten, den Infrarot-Projektor und die Infrarot-Kamera, werden die Tiefendaten erzeugt. Sie werden also benötigt um die dritte Dimension hinzuzufügen. Die Grundlage für die 3D-Erfassung ist das strukturierte Licht. Zunächst wird von dem Infrarot-Projektor eine definierte Punkt-Matrix in den Raum gesendet. Die Infrarot-Kamera nimmt das Muster des Infrarot-Lichts wieder auf und gibt die Daten an den internen Chip weiter. Von ihm werden dann aus den Kameradaten die räumlichen Koordinaten ausgerechnet.

Bei dem Infrarot-Projektor handelt es sich um einen Klasse 1-Laser mit einer Wellenlänge von 830 nm. Da wir Menschen nur eine Wellenlänge von ca. 380 nm bis ca. 780 nm wahrnehmen können, liegt der Laserstrahl der Kinect im nicht-sichtbaren Spektrum. Außer dass sie nicht sichtbar sind, hat es noch den wichtigen Vorteil, dass sie selbst bei einem Einfall ins Augeninnere des Benutzers nicht schädlich sind.

Die Farbkamera ist für die Aufnahme von 2D-Bildern zuständig. Die Kamera besitzt hierbei eine Video Graphics Array (VGA)-Auflösung von 640x480 Pixeln.

Die vier Mikrofone werden für eine Audioortung benutzt. Somit lässt sich ein Sprachbefehl eines Benutzers genau zuordnen. Die Mikrofone der Kinect ermöglichen bei einem Einsatz mit einer Xbox, das Xbox-Spiel per Sprache zu starten oder von vorne zu beginnen.

Das Kamerasystem ist mithilfe des Infrarot-Sensors in der Lage Menschen von leblosen Objekten zu unterscheiden. Für jeden erkannten Spieler, der vor der Kinect steht, wird ein Skelett mit 20 Gelenken erstellt.



Abb. : Skeleton mit 20 Punkten [9]

Mithilfe dieser 20 Punkte können die Körperteile eines Spielers unterschieden und so Bewegungen verarbeitet werden. Außerdem ist es möglich die Gesichter von verschiedenen Personen zu unterscheiden und Aussage über die Mimik zu treffen [5], [10].

### SDK

Zunächst erschien die Kinect im November 2010 als zusätzliche Xbox-Hardware ohne Pläne für PC-Treiber. Viele Leuten wollten die Kinect aber in Verbindung mit einem PC bedienen können, worauf das Unternehmen Adafruit Industries eine Prämie von 1000 US-Dollar für den ersten funktionieren PC-Treiber anbot. Microsoft dachte, dass es sich bei den Programmierungen um Hacking-Versuche im Sinne von Raubkopien oder Cheaten handelt und kündigte an dagegen gerichtlich vorzugehen. Später bemerkte Microsoft, dass die meisten Entwickler das System nicht hacken wollen, sondern nur den Zugriff auf die Sensordaten.

Das Resultat aus dieser Entwicklung ist, dass es nun zwei verschiedene SDKs gibt. Eins davon ist das offizielle SDK von Microsoft, was im Juni 2011 ausgeliefert wurde und das andere ist ein quelloffenes SDK. Diese beiden SDKs stehen in Konkurrenz zueinander und die Anwendungen des einen SDKs sind inkompatibel mit dem andern SDK [11].

### Direkte Möglichkeit mit der SDK-Nutzung

Skeleton-Tracking…

Mit Bilder

## Humanoide Roboter: Nao

Ein humanoider Roboter ist ein Roboter, der dem Mensch nachempfunden ist und dessen Bewegungen die eines Menschen ähneln. Genutzt werden humanoide Roboter zumeist in der Servicerobotik, zum Beispiel als Haushaltshilfe für häufig anfallende Aufgaben. Staubsaugen, Spülmaschine ausräumen oder Toilette putzen sind Aufgaben, die in Zukunft von Robotern ausgeführt werden könnten. Zahlreiche Unternehmen und Einrichtungen befassen sich derzeit mit der Entwicklung und dem Testen von humanoiden Robotern. Darunter sind auch namenhafte Firmen und Universitäten, wie das Karlsruher Institut für Technologie, das Frauenhofer Institut, Toyota und Google [11] [12] [13].

### Nao

Nao ist ein 58cm großer humanoider Roboter der Firma Aldeberan Robotics aus Frankreich. Die erste Version des Nao erschien .... to be continued.

#### Hardware

Der humanoide Roboter Nao hat einen integrierten Akku, welcher ca. eine Stunde genutzt werden kann und etwa fünf Stunden zum vollen Aufladen benötigt.

Er ist außerdem mit einem Intel „ATOM Z530“ Prozessor ausgestattet mit 512 KB Cache Speicher und 1 GB RAM. Der eingebaute Flashspeicher hat Platz für 2 GB Daten.

Zur Kommunikation zwischen Computer und Roboter verfügt Nao über Ethernet und WIFI.

Wie in Abbildung XXX zu sehen, hat Nao 14 eingebaute Motoren, um die Bewegungen so humanoid als nur möglich aussehen zu lassen. Sechs davon sind für Armbewegungen, sechs für Hüft- und Beinbewegungen und zwei für den Kopf zuständig. Dabei gibt es drei unterschiedliche Arten von Motoren.



Abb. : Die Lage der Motoren beim Nao [14]

Zudem hat er mehrere Kameras, Mikrofone und sogar einen Lautsprecher, sodass er mit seiner Umwelt interagieren kann.

Neben den Aktoren hat der Nao auch einige Sensoren, die es ihm ermöglichen Hindernisse zu erkennen, die Winkeleinstellungen zu messen und vieles mehr.

Die Hardwarekomponenten sind wie folgt verteilt:

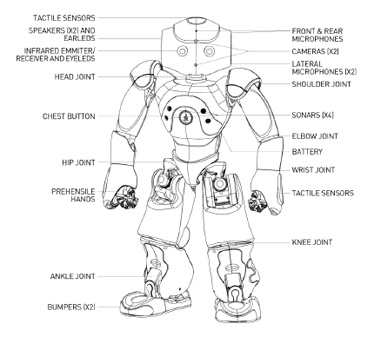


Abb. : Die Hardwarekomponenten des Nao [15]

#### Software

Auf dem Nao selbst läuft ein Linux Embedded Betriebssystem, welches auf Gentoo basiert. Nao ist ein 32-Bit System und kann direkt mit Python und C++ angesprochen werden. Über eine Programmierschnittstelle versteht Nao aber auch Java, MathLab und .NET Sprachen, wie C#. Choreographe ist die Software, die vom Hersteller mitgeliefert wird. Im Choreographen ist es möglich, vorgespeicherte Bewegungen auszuführen, Nao Texte sprechen zu lassen und gewisse Abläufe auf ihm zu speichern, die auch nach einem Neustart des Roboters noch verfügbar sind.

#### Nao SDK

Der Roboter bringt seine eigene Bibliothek für andere Programmiersprachen mit, sodass der Roboter auch mit Hilfe der Programmiersprache C# angesteuert werden kann. Dies funktioniert in Visual Studio wie in Abb. 5 zu sehen ist. In diesem Beispiel wird der Nao den Text „Hello World from c sharp“ sprechen.



Abb. : Nao Bibliothek nutzen

#### NaoQi

#### Webots für Nao

Webots ist die Simulation von einem Nao. Bevor ein Stück Programmcode auf dem Nao ausgeführt wird, kann man sich so vergewissern, dass das Programm das tut, von dem man ausgeht und ob dies eventuell zu Problemen auf dem Nao führen kann. So kann verhindert werden, dass der Roboter versucht Bewegungen auszuführen, für die seine Motoren nicht geeignet sind oder ob der Roboter eventuell schaden nimmt, zum Beispiel durch Umfallen.

In der Simulationswelt ist es dabei auch möglich Hindernisse einzubauen, um so nicht nur die Motoren, sondern auch die Sensoren zu testen.

#### Sensoren

#### Aktoren

.

## Programmiersprache

Microsoft empfiehlt die Nutzung von C++, C# oder Visual Basic für die Kinect, da es für diese Programmiersprachen vorgefertigte Klassen im SDK gibt, auf welche man zurückgreifen kann. Für den Roboter Nao kann man wie bereits beschrieben ebenfalls C# nutzen.

Da sowohl die Kinect, als auch der Nao mit C# arbeiten (können), ist auch die Anwendung in C# programmiert. So ist es möglich, dem Nao Daten zur Ausführung zu senden und hat diese dann im gleichen Format vorliegen, wie sie später von der Kinect aufgezeichnet und an die Anwendung gesendet werden. Es ist also keine Konventierung der Daten im Programm mehr nötig.

## Threads

# Konzeption/Planung

Zu Beginn wird die Entwicklungsumgebung eingerichtet, inklusive der SDKs von Kinect und Nao. Dann werden dem Nao einige Bewegungen einprogrammiert, wobei es sich zu Beginn um einfache Bewegungen handelt, damit alle Komponenten auf ihre Funktionstüchtigkeit getestet werden können. Außerdem sollen die entsprechenden Winkel der durchgeführten Bewegung ausgelesen und an eine Klasse übermittelt werden. Diese Klasse ist dann auch dafür zuständig, dass die Winkel der Nao-Bewegung mit den Winkel, welche die Kinect aufgezeichnet hat, verglichen werden.

Die Kinect bringt einige fertige Programmierungen mit, unter anderem eine Programmierung, in der die Skelette von Personen sowie deren Entfernung erkannt wird. Dieses Programm soll als Grundlage dienen, mit dem der Nutzer seine Bewegungen selbst sieht und das Programm die Winkel der Nutzer errechnen kann.

Es bleibt zu überlegen ob verschiedene Schwierigkeitsstufen darüber abgebildet werden, dass es unterschiedlich schwere Bewegungen zum Nachmachen gibt, die stetig komplizierter und/oder länger werden oder über die prozentuale Übereinstimmung der beiden Bewegungen bzw. derer Winkel.

Da für den Menschen kleinere Unterschiede in den Winkeln nicht sichtbar sind, wird beim Vergleich dieser ein Filter eingesetzt werden. Dieser Filter rundet die empfangenen Werte und schließt so Unterschiede im nicht wahrnehmbaren Bereich aus.

Zunächst werden lediglich die Winkel des Starts und Endes der Benutzer-Bewegung gemessen und mit den gespeicherten Werten des Naos verglichen. Sofern dieser Mechanismus funktioniert sollen die Winkel der Bewegungen an weiteren Zwischenpunkten verglichen werden. Dies verhindert, dass der Spieler Bewegungen abkürzen und somit schummeln kann.

Um die Applikation auf ihre Funktionsfähigkeit zu testen, wird jede der Bewegungen zehn mal hintereinander durchgeführt und die Rate ermitteln, wie viele Bewegungen anerkannt werden. Auf diesen Ergebnissen aufbauen werden die entsprechenden Filter angepasst.

# Umsetzung

## Programm

Das Spiel KINECTNAO wird mit der in Abb X gezeigten CodeMap beschrieben. Dabei ist der Einstiegspunkt in der Klasse MainWindow.xaml.cs zu finden. Von dort aus wird der Nao gestartet und initialisiert. Anschließend kann man hier auch die Methode „Bewegen“ ausführen, bei der der Roboter eine neue Bewegung vormacht oder eine bereits gemachte Bewegung wiederholt.

Außerdem wird die Methode „Winkel“ aufgerufen, welche die Winkel wiedergibt, die eine Bewegung beim Nao verursacht. Diese wird dann in der Klasse Vergleich.cs mit den Daten der Kinect verglichen und bewertet. So gilt eine Bewegung als sehr gut nachgemacht, wenn….

Das Programm basiert auf einer Threadstruktur, damit die Teile von Nao und Kinect gleichzeitig genutzt werden können und nicht die Kamera still steht, weil der Roboter gerade eine Bewegung ausführt.

Die Threadstruktur

### Schwierigkeitsgrade

Die Schwierigkeitsgrade werden mit der prozentualen Übereinstimmung realisiert.

## Nao

## Kinect

## GUI

Die GUI wie in XXX zu sehen besteht aus der Ansicht von der Kincet, in der zu sehen ist, wie der Nutzer die Bewegung nachmacht. Dabei wird sein Skelett schematisch dargestellt. Auf der rechten Seite befinden sind drei Buttons:

* „Neue Bewegung“
* „Bewegung wdh“
* „Neuer Spieler“

Die Buttons „Bewegung wdh“ und „Neuer Spieler“ sind ausgegraut, bis die erste Bewegung abgeschlossen ist.

Während eine neue Bewegung vom Nao ausgeführt wird oder die letzte Bewegung wiederholt wird, ist in der GUI der Text „Der Roboter macht eine Bewegung vor“. Dieser wechselt nach Abschluss der Bewegung auf „Bitte mache die Bewegung des Roboters so gut wie möglich nach, falls du sie noch einmal sehen möchtest klicke auf ‚Bewegung wdh‘“.

Während der Spieler die Bewegung nachmacht, geht der Roboter in die Ausgangsposition zurück und in der rechten oberen Ecke des Bildes läuft ein Timer von 10 Sekunden ab. In dieser Zeit hat der Spieler die Möglichkeit die Bewegung nachzumachen. Je nach Korrektheit der nachgemachten Bewegung erhält der Spieler Punkte, welche oberhalb der Buttons zu sehen sind.

Durch Klicken auf „Neuer Spieler“ werden die bisher gesammelten Punkte auf Null gesetzt und der gleiche oder ein anderer Spieler kann versuchen, eine höhere Punktzahl zu erreichen.

## Test

Jede Bewegung wurde 20 mal vor der Kinect durchgeführt. Die beste Bewegung war das Heben der rechten Hand, wobei die Bewegung 18 mal als erfolgreich anerkannt wurde. Am schlechtesten wurde die Bewegung … mit 8 Bewegungen erkannt.

# Fazit

Das folgt am Ende.

Literaturverzeichnis

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | Karlsruher Institut für Technologie, „Imitationslernen in der Robotik,“ 2012. [Online]. Available: http://www.hyperraum.tv/tag/autonome-roboter/. [Zugriff am 15 01 2014]. |
| [2] | Wikipedia, „Kinect,“ 10 01 2014. [Online]. Available: http://de.wikipedia.org/wiki/Kinect. [Zugriff am 15 01 2014]. |
| [3] | Microsoft, „Kinect für Windows,“ [Online]. Available: http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindows/. [Zugriff am 15 01 2014]. |
| [4] | Golem, „SDK - Software Development Kit,“ [Online]. Available: http://www.golem.de/specials/sdk/. [Zugriff am 15 01 2014]. |
| [5] | J. Roßberg, „Alle Informationen zur neuen Bewegungssteuerung,“ 01 11 2010. [Online]. Available: http://www.gamepro.de/xbox/spiele/xbox-360/kinect-adventures/artikel/kinect,46324,1967600.html. [Zugriff am 15 01 2014]. |
| [6] | Computer Bild, „Technische Details zur Bewegungserkennung,“ Computer Bild, 30 06 2010. [Online]. Available: http://www.computerbild.de/artikel/cbs-News-Xbox-360-Kinect-3D-Kamera-technische-Details-5405436.html. [Zugriff am 01 04 2014]. |
| [7] | Microsoft, „Problembehebung bei der Bewegungserkennung,“ Microsoft, [Online]. Available: http://support.xbox.com/de-DE/xbox-360/kinect/body-tracking-troubleshoot. [Zugriff am 01 04 2014]. |
| [8] | ifixit.com, „Kinect ohne Gehäuse,“ 05 01 2012. [Online]. Available: http://wiki.zimt.uni-siegen.de/fertigungsautomatisierung/index.php/Datei:S910310\_abb2.png. [Zugriff am 10 03 2014]. |
| [9] | Microsoft, „Tracking Users with Kinect Skeletal Tracking,“ [Online]. Available: http://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj131025.aspx. [Zugriff am 10 03 2014]. |
| [10] | Steffen, „ Einsatzmöglichkeiten einer 3D-Kamera in der Produktionstechnik am Beispiel der Kinect-Kamera,“ 13 02 2013. [Online]. Available: http://wiki.zimt.uni-siegen.de/fertigungsautomatisierung/index.php/Einsatzm%C3%B6glichkeiten\_einer\_3D-Kamera\_in\_der\_Produktionstechnik\_am\_Beispiel\_der\_Kinect-Kamera. [Zugriff am 01 04 2014]. |
| [11] | N. Demuth, „Die Welt,“ 27 08 2013. [Online]. Available: http://www.welt.de/wissenschaft/article119430009/Mit-solchen-Maschinen-werden-wir-alleine-sein.html. [Zugriff am 05 03 2014]. |
| [12] | Die Zeit, „zeit.de,“ 04 12 2013. [Online]. Available: http://www.zeit.de/wirtschaft/unternehmen/2013-12/google-roboter-android-erfinder-andy-rubin. [Zugriff am 05 03 2014]. |
| [13] | Frauenhofer Institut, „Frauenhofer Institut - Humaniode Roboter,“ [Online]. Available: https://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/5093/. [Zugriff am 05 03 2014]. |
| [14] | Aldebaran Robotics, „Aldebaran Robotics Nao Software Documentation,“ [Online]. Available: https://community.aldebaran-robotics.com/doc/1-14/family/robots/motors\_robot.html. [Zugriff am 06 03 2014]. |
| [15] | Aldebaran Robotics, „Aldebaran Robotics,“ [Online]. Available: http://www.aldebaran-robotics.com/en/Discover-NAO/Key-Features/hardware-platform.html. [Zugriff am 06 03 2014]. |

Alle Abbildungen, Tabellen, o.ä., die keine Literaturangabe enthalten, sind eigene oder firmenintern verwendete Darstellungen.