



**Direct Interface
Schnittstelle zur
intuitiven Mensch-
Roboter-Interaktion**

Bachelor-Thesis

Tobias Ende



Tobias Ende
Industrial Design
Bachelor-Thesis 2010
Folkwang Universität



SODALIS



Gestaltung einer Schnittstelle zur intuitiven Mensch-Roboter-Interaktion



Bachelor-Thesis
Studiengang Industrial Design
Folkwang Universität der Künste
Sommersemester 2010
Fachbereich Gestaltung

Erster Prüfer: Prof. Dr. Marc Hassenzahl
Zweiter Prüfer: Dipl. Des. Tilo Wüsthoff
In Kooperation mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

Tobias Ende
Mülheimer Strasse 50
45145 Essen
tobiende@aol.com



EINFÜHRUNG	SODALIS	8-9
RECHERCHE	Roboter	10-13
	Roboter am Institut für Robotik und Mechatronik	14-15
	Kommunikation	16-17
	Gestik	18-21
ANALYSE	Observation menschlicher Kommunikation	22-23
	Arbeitsprozess, Einordnung der Gestik	24
	Acting out	25
	Gesten Variantenbildung	26-28
	Topografie der Gesten	29-31
VERSUCHSAUFBAU	Mensch	32-33
	humanoider Roboter	34-35
EVALUIERUNG	Ergebnisse	36-39
KONZEPT, HARDWARE	Gestikgreifer	40-43
	Entwurf	44-47
	Detaillierung	48-53
KONZEPT, SZENARIO	Krankenhaus	54-55
	Spritzen befüllen	56-57
	Tabletten verteilen	58-59
	Systematik der Tätigkeiten	60-61
IMPLEMENTIERUNG	Storyboard	62-63
	Gestenlexikon	64-65
	Detaillierung im Film	66-67
	Programmierung	68-69
	Versuchsaufbau Roboter	70
	Ergebnisse	71
	Interaktionsfilm	72-73
FAZIT		74
AUSBLICK		75
LITERATURVERZEICHNIS		76

Um das Forschungsthema Robotik und das Thema Mensch-Roboter-Interaktion zu verstehen, muss zunächst geklärt werden was sich hinter dem Begriff verbirgt und was der Stand der Technik im Bezug auf einen Roboterassistenten der Zukunft ist.

Die Realisierung eines Roboterassistenten, der es ermöglicht, Mensch und Roboter intensiv kooperieren zu lassen, ist ein wichtiges Ziel der Robotik. Die Zusammenarbeit von Mensch und sogenannten Roboterassistenten (Co-Worker) gilt sowohl in der Wissenschaft als auch in der Industrie als Ziel, das maßgeblich zur Innovation heutiger Produktionstechniken und Arbeitsprozessen beitragen wird. ¹

Hierzu ein Beispiel zum Stand der Forschung:

Mittelständische Unternehmen stellen mit wenigen Mitarbeitern Kleinserien verschiedener Bauteile aus allen möglichen Materialien her. Herkömmliche Industrieroboter die in großen Konzernen bereits zur Montage eingesetzt werden, sind wenig vielseitig und erfordern einen großen Programmierungsaufwand.

Wenn ein Industrieroboter zur Hilfe und präzisen Ausführung von Arbeiten in Kleinbetrieben eingesetzt werden soll, muss dieser leicht, sehr flexibel einsetzbar und einfach zu programmieren sein. Also ein Multifunktionswerkzeug. (Bild.1+2)

Das Programmieren kann zum Beispiel durch das sogenannte "Teachen" vorgenommen werden. Der Roboter wird per Hand in einem Modus bewegt, in dem er sein eigenes Gewicht durch die Kraft in seinen Motoren ausgleicht, also in einem "Schwereeloszustand" (zero gravity mode) ist. In diesem Modus wird dem Roboter durch Führen des Roboterarms z.B. die Position des Werkstücks gezeigt, was er tun oder wo es hin soll. Zur Erfassung komplexer Teile und zur Vereinfachung der Programmierung sind diese Roboter mit einer Kamera oder einem 3-D Sensor ausgestattet. So kann er die exakte Position von Werkstücken erkennen und automatisch Greifen. Durch ein Antikollisionsystem weicht der Roboter bei leichter Berührung zurück, was das direkte Zusammenarbeiten zwischen Mensch und Roboter ohne Risiko ermöglicht.

Die Einrichtung des Roboters erfordert wie bei jeder anderen neuen Maschine eine Einweisung, doch kann der Roboter danach problemlos auch von Menschen ohne Robotererfahrung bedient werden.²

Das Themenfeld der Bachelor-Thesis:

Im Rahmen der Arbeiten zum Thema Mensch-Roboter-Interaktion wird am DLR, Institut für Robotik und Mechatronik, eine multimodale Schnittstelle entwickelt, über die der Benutzer während der Zusammenarbeit mit einem Roboter intuitiv agieren und reagieren kann. Mögliche Modalitäten sind zum Beispiel Sprache, Gestik oder auch klassische Touchscreens.

Die Schnittstelle des Roboters kommuniziert die verschiedenen Modi des Roboters, die Bewegungen und Verhaltensweisen einschließlich ihrer besonderen Eigenschaften. Beispiele hierfür sind, das Arbeiten mit scharfen Werkzeugen, giftigen Substanzen oder anderen gefährlichen Dingen. Beispiele für verschiedene Modi sind die Ruheposition, eine Störung oder ein Modus, in dem der Roboter mit Objekten kollidieren kann. Diese Kommunikation ermöglicht es dem Anwender, den aktuellen Zustand des Roboters zu identifizieren, Bewegungen zu antizipieren und entsprechend zu reagieren.

In dieser Arbeit wird die Mensch-Roboter-Interaktion unter besonderer Berücksichtigung der Möglichkeiten direkter Berührung und Manipulation des Roboters im Sinne einer „direkten Schnittstelle“ behandelt. Eingabemöglichkeiten sind zum Beispiel: einfaches Anstoßen, Drücken oder Drehen, aber auch metaphorische oder symbolische Bewegungen wie zum Beispiel Schütteln des Roboters, um seinen Zustand zurückzusetzen oder eine Bewegung zu initiieren. Die zusätzlichen Möglichkeiten dieser „direkten Schnittstelle“ erweitern die Fähigkeiten klassischer Eingabegeräte. Im Vergleich dazu stehen die „indirekten Schnittstellen“. Dies sind herkömmliche Control Panel, die als separate Einheiten zwischen Benutzer und Roboter stehen. Entsprechend der Idee des „Direct Interface“ liegt der Fokus dieser Arbeit auf physischer und gestischer Kommunikation.

¹ Konzepte für den Roboterassistenten der Zukunft
Towards the Robotic Co-Worker 8/2004
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

² www.smerobot.org

In dieser Bachelor-Thesis mit dem Titel SODALIS werden Möglichkeiten der multimodalen Mensch-Roboter-Interaktion untersucht, prototypisch entwickelt und bewertet.

Der Fokus lag dabei zur roboterseitigen Kommunikation auf Gesten - und direkter Berührung und Manipulation als Eingabe durch den Menschen.

Nach einer Recherche herkömmlicher Benutzerschnittstellen für Roboter wurde mittels verschiedener Observationsmethoden die Kommunikation zwischen Menschen im Alltag und die dabei verwendeten Gesten und Befehle dokumentiert. Die aus der Observation gewonnenen Gesten wurden überarbeitet, und in einem virtuellen Teststand in Form eines Films von einem Menschen einzeln dargestellt und durch eine Umfrage auf ihre Eindeutigkeit überprüft. Die gleichen Gesten wurden dann auf einen anthropomorphen Roboter übertragen und wieder auf ihre Erkennbarkeit ausgewertet.

Zum Schluss wurden die evaluierten Interaktionen in ein aus empirischen Quellen stammendes Krankenhausszenario integriert und mit Industrierobotern des DLR in eine Mensch-Roboter-Interaktion übersetzt. Daraus ergaben sich die Anforderungen an eine neue Hardware in Form eines Greifers der mit minimalem Aufwand Gesten darstellen kann und mit integriertem Touchscreen eine weitere Ein- und Ausgabeschnittstellen bietet.

Die daraus gewonnen Erkenntnisse können verwendet werden, um Anforderungen für Weiterentwicklungen von Hardware und Software abzuleiten.

Roboter

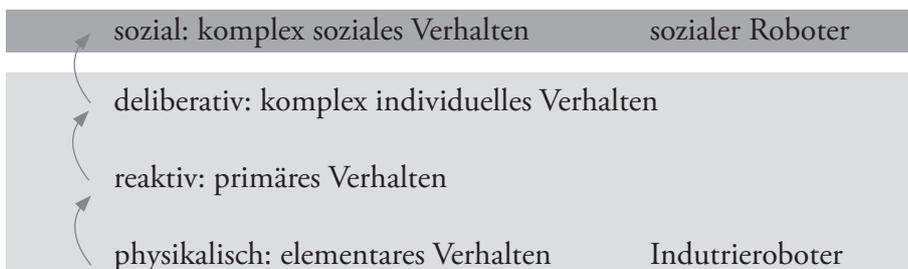
Die aktuelle Roboterforschung kann in zwei große Gruppen eingeteilt werden. Die eine ist die der Industrieroboter, die in vielen meist großen Firmen eingesetzt werden und dort autonom einprogrammierte Arbeiten ausführen. Die zweite ist die der sozialen Roboter. Diese sind in ihrer Entwicklung am Menschen orientiert, um auf natürliche Weise mit ihm zu interagieren und zu reagieren. Die unten stehenden Abbildungen stellen die Unterschiede nochmals dar.

Neuere Entwicklungen in der Robotik stellen Serviceroboter oder Unterhaltungsroboter dar. Diese sind zum Beispiel im Haushalt einsetzbar als Staubsauger-Roboter oder dienen als Unterhaltungsobjekt. Setzt man die Entwicklung dieser Roboterarten weiter fort, gelangt man zu persönlichen, sozial interagierenden Robotern, die ihren Besitzer unterstützen, ihm helfen und sich in seinem Lebensumfeld aufhalten.

Industrieroboter und soziale Roboter

"Ein Roboter ist ein programmierbares Mehrzweck-Handhabungsgerät für das Bewegen von Material und Werkstücken bei verschiedensten Aufgaben." ¹	Industrieroboter
	SODALIS
"Ein sozialer Roboter ist auf eine bestimmte Art und Weise menschlich intelligent - mit ihm zu interagieren ist wie mit einem anderen Menschen zu interagieren." ²	Sozialer Roboter

Funktionale Architektur sozialer Roboter ^{3,4}



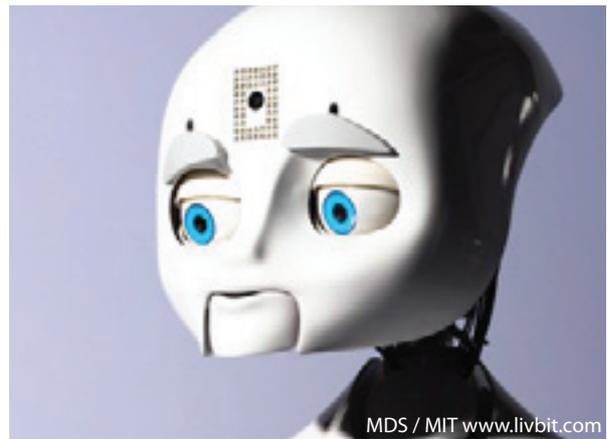
¹ Robot Institute of Amerika (F.I.A)

² Breazeal C, Designing sociable robots (2002)

³ Duffy BR, What is socialrobot? (1999)

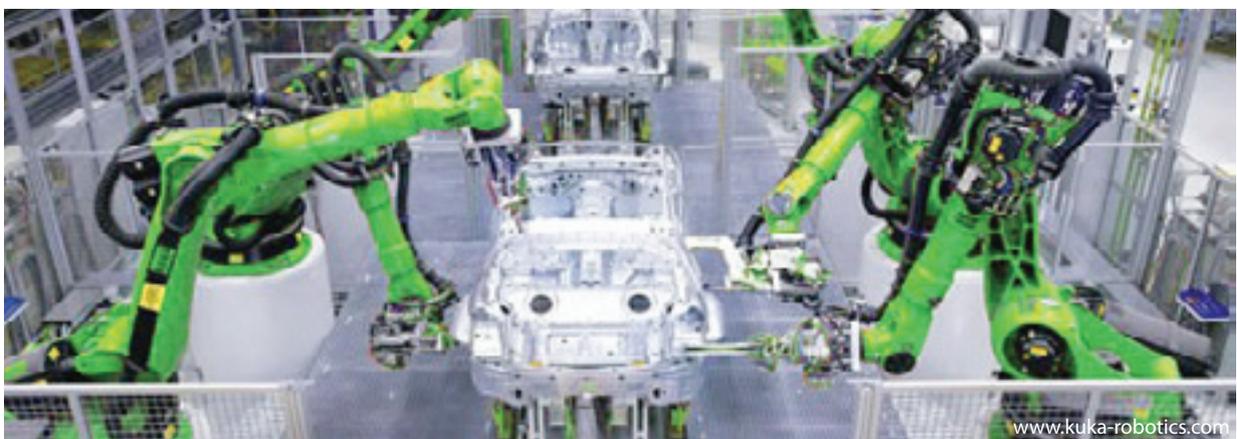
⁴ Duffy BR, The social robot (2000)

Soziale Roboter sind meistens der menschlichen Erscheinung nachempfunden und besitzen Fähigkeiten, über Mimik und Gestik zu kommunizieren. Ein Forschungsgebiet beschäftigt sich damit, die Grenze zwischen menschlichem Aussehen und Abstraktion auszuloten. Je menschlicher ein Roboter erscheint, desto weniger werden ihm Fehler verziehen und können bei menschlich unüblichen Reaktionen oder Bewegungsmustern sogar Erschrecken oder Angst hervorrufen.



Industrieroboter sind eine Vielzahl unterschiedlicher Maschinen; gemein ist ihnen, dass sie eine Aufgabe autonom ausführen. Industrieroboter haben großen wirtschaftlichen Erfolg, sie übernehmen in der Produktion viele Arbeiten und führen diese mit hoher Präzision und Wiederholungsgenauigkeit selbstständig aus. Diese Roboter führen vorprogrammierte Bewegungen aus, sind deshalb nicht vielseitig einsetzbar. Die Roboter können nicht auf ihre Umwelt reagieren, eine Störung ihrer Arbeit bedeutet den

Abbruch des Tasks oder im schlimmeren Fall, ein Weiterführen des programmierten Tasks. Die Roboter sind meist eingezäunt, da ein Kontakt mit einem Menschen zu erheblichen Verletzungen führen kann. Die Steuerung der Roboter erfolgt über klassische mechanische Eingabekonsolen oder Computer und erfordert geschultes Fachpersonal.



Roboter

Die Grenzen zwischen sozialen Robotern und reinen Industrierobotern verschwimmen zunehmend. Roboter für mittelständische Betriebe beispielsweise, müssen Routinearbeiten erledigen, dabei aber flexibel einsetzbar sein und vom Personal einfach zu programmieren sein. Dafür ist eine natürliche Interaktion von Vorteil.



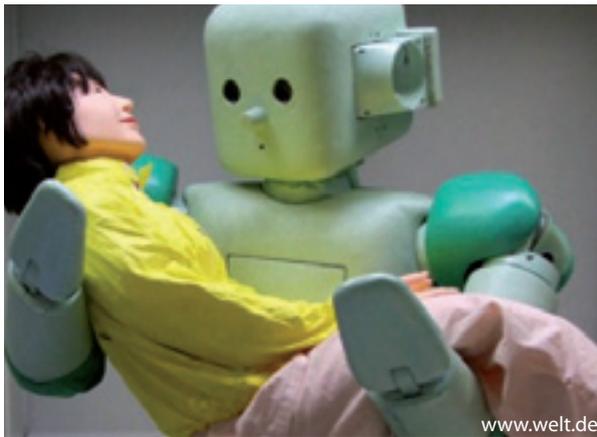
iRobot, **Roomba**: Staubsaugerroboter können sich mittels ihrer Sensorik autonom im Raum bewegen. Sie gibt es seit Ende der 1990er. Sie stellen die erste Form eines Serviceroboters im Alltag dar.



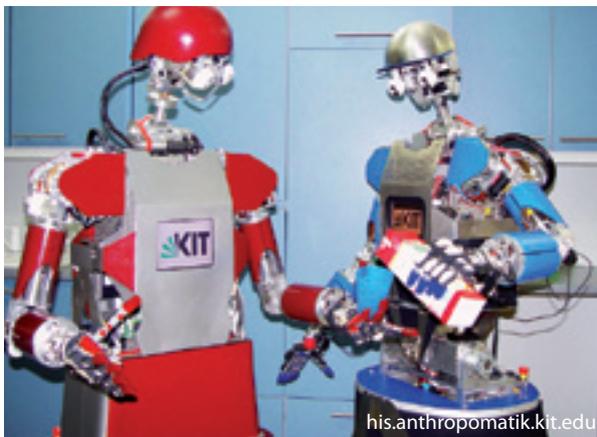
I-CAT: Dieser stationäre Roboter in Katzenform wurde von Philips entwickelt und ist in der Lage verschiedene Gesichtsausdrücke sowie durch LEDs Operationsmodi wie schlafen, beschäftigt und zuhörend auszudrücken und kann auch minimal den Kopf und den Körper bewegen um diese Aussagen zu unterstützen. Ihm stehen akustische und visuelle, sowie Berührungssensoren zur Verfügung. Auf seine Umwelt kann der Roboter aber neben der Mimik auch durch eine Sprachausgabe reagieren.



Das MIT hat gemeinsam mit Audi den Fahrerassistenz **AIDA** entwickelt, der nicht nur den Fahrstil analysiert, sondern auch die Stimmung des Fahrers anhand dessen Mimik ablesen kann. Der Roboter soll beim Navigieren helfen und den Fahrstil kommentieren. Dabei reagiert der Roboter auch auf die emotionale Verfassung des Fahrers.



Der Humanoid mit dem Namen **RI-MAN** misst 158 Zentimeter und soll künftig im Krankenhaus zum Umbetten bettlägeriger Patienten eingesetzt werden da er in der Lage ist, bis zu 70 Kilogramm schwere Personen hochzuheben.



Armar 3, vom Karlsruher Institut für Technologie, ist in der Lage bestimmte kleinere Gegenstände zu bringen - beispielsweise Tassen, Becher, Reis- oder Saftpackungen. Auch das Holen eines bestimmten Getränks aus dem Kühlschrank ist für Armar 3 kein großes Problem mehr. Welche Sachen er bringen soll, erkennt er anhand des Verpackungsmusters. Neue Gegenstände, die er noch nicht kennt, kann er aber nicht identifizieren. Er beherrscht unter anderem sogar das Ein- und Ausräumen einer Spülmaschine.



Der humanoiden Roboter **Nextage** von Kawa-da ist ein Industrie-Arbeitsroboter. Das Besondere an Nextage ist, dass der Roboter mit Menschen zusammen arbeiten kann, dazu verfügt er über eine Sensorik, die ihn auf umstehende Mitarbeiter reagieren lässt.

Das DLR befasst sich im Rahmen mehrerer EU-Projekte (SME, PHRIENDS) mit dem Thema „Sicherheit in der Mensch- Roboter-Interaktion“. Die feinfühligsten KUKA- Leichtbauroboter sind mit einer zuverlässigen Kollisionserkennung und-reaktion ausgestattet, mit der sie sogar in der Lage sind, Verletzungen durch scharfe Werkzeuge zu verhindern und adäquat auf Störungen zu reagieren.

Die physische Manipulierbarkeit ist eine weitere Besonderheit des Leichtbauroboters (LBR Bild.1). Er kann sich durch seine besondere Konstruktion in einen "schwerelosen" Zustand versetzen, in dem er ganz leicht bewegt werden und sogar so programmiert werden kann. Ausserdem bekommt der LBR bei der Programmierung nur noch einen Startpunkt und ein Ziel genannt. Den Weg dorthin sucht er sich selbst und kann auf Grund seiner Sensorik Hindernissen ausweichen, blitzartig stoppen und dann weiterfahren ohne den Task abzubrechen oder einen Menschen zu verletzen.

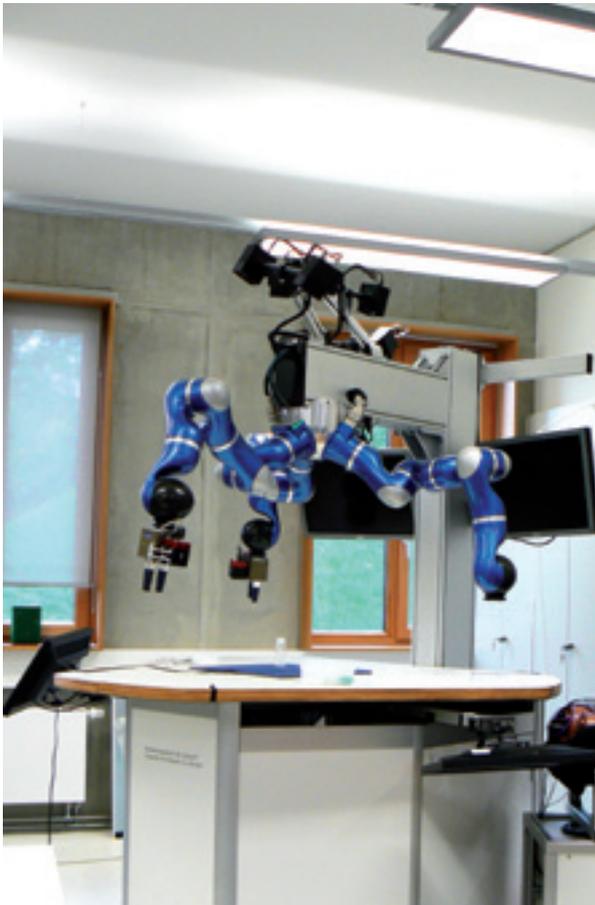


Bild.1: aktueller Aufbau der LBR im DLR

Aktuelle Control Panels zum Teachen und Bedienen des Roboters, wie das KCP von KUKA (Bild.2), bilden eine klassische Mensch-Roboter Schnittstelle. Damit lassen sich von der Inbetriebnahme der Robotersteuerung über die Programmsteuerung und Diagnose alle Steuerungsschritte übernehmen.¹ Die Control Panels sind meist sehr groß und von der Menüstruktur für den Laien unübersichtlich, da eine Fachkenntnis des Anwenders vorausgesetzt wird.

Für einen Branchenübergreifenden Einsatz muss die Benutzerstruktur jedoch vereinfacht und die im Vordergrund ersichtlichen Funktionen verschlankt werden. Ein Ziel ist es, den Roboter im Hintergrund von Fachleuten zu programmieren um dann im Display des Control Panels nur noch Bausteine anzuzeigen, die dann auch Programmierlaien für die jeweilige Arbeit konfigurieren können.



Bild.2: KUKA Control Panel

¹ www.kuka-robotics.com

Große Industrieroboter sind meist von einem Sicherheitszaun umgeben. Der jeweilige Arbeitsstatus - und damit das Gefahrenpotential des Roboters wird über eine Ampel angezeigt. (Bild.3) Mit der Kollisionsdetektion des LBR ist es nun jedoch möglich, sich dem Roboter zu nähern, obwohl er sich im Arbeitsprozess befindet, da er dank seiner Sensorik auf Menschen innerhalb seines Arbeitsfeldes reagieren kann. Auf einen Zaun kann daher verzichtet werden. Eine Statusanzeige ist aber nach wie vor wichtig, um dem Benutzer Informationen über den aktuellen Stand der Tätigkeit des Roboters zu liefern, insbesondere wenn eine Zusammenarbeit zwischen Mensch und Roboter geplant ist. Die Ampel ist dabei nur bedingt nützlich, da sie keinen direkten Bezug zum Objekt, dem Roboter, und der Arbeitssituationen herstellen kann.

Ein gutes Beispiel für solch eine Auflösung der Beziehung von Signal und Objekt ist eine defekte U-Bahntür (Bild.4), in deren Scheibe ein Hinweisschild befestigt ist. Auf Grund des Stresses beim Einsteigen und der minimalen Entfernung des Schildes zum Öffner der Tür wird fast an jeder Station von in Panik geratenden Fahrgästen an der Tür gerüttelt und gezogen.

Ziel ist es daher, Statusanzeigen in den Prozess einzubeziehen und nach dem Vorbild menschlicher Kommunikation intuitiv und direkt zu gestalten, ohne dabei die Vorteile eines präzisen Industrieroboters zu vernachlässigen.



Bild.4: defekte Bahntür



Bild.3: DLR Robocoaster

Sprachsteuerung ist ein häufig verwendeter Weg, mit dem Roboter nach menschlichen Interaktionsformen zu kommunizieren. Die Erfahrung hat jedoch gezeigt, dass Sprachbefehle bei lauten Umgebungsgeräuschen schlecht zu identifizieren sind. Ausserdem wird ein fester, zu erlernender Wortschatz vorausgesetzt, damit die Kommunikation einwandfrei funktioniert.

Ein weiteres, weitestgehend noch ungenutztes Potential der Mensch-Roboter Interaktion ist die Kommunikation über Gesten. Zwar gibt es schon Eingabegeräte die sich des Repertoires der Gesten bedienen, jedoch wurde bisher kaum erforscht, wie eine Maschine über Gesten zu seinem Benutzer kommunizieren kann. **Interessant ist daher zu ermitteln, wie menschlich eine Maschine sein muss, um intuitiv erkennbare Gesten an einen Menschen zu senden und welche Eigenschaften dafür nötig sind.**



Bei der Entwicklung einer Mensch-Roboter-Kommunikation dient die Mensch-Mensch-Kommunikation als Vorbild. Deshalb werden zunächst wichtige Begriffe aus dem Bereich der Kommunikation definiert.

Definition der natürlichen Mensch-Roboter Kommunikation:

Die Modalitäten der natürlichen Kommunikation (Sprache, Gestik, Mimik, etc.) sind dieselben wie die einer Mensch-Mensch-Kommunikation. Der Benutzer muss nicht lernen, mit dem Roboter zu kommunizieren ¹

Charakteristika natürlicher Kommunikation:

- 1) Inhalts- und Beziehungsaspekt ²
- 2) unvermittelte Kommunikation ³
- 3) hohe Sozialität ⁴
- 4) Vermittlung von Signalen und Cues ⁵

Social Interface:

Alle Zeichen (in Form, Funktion und Kontext), die eine natürliche Kommunikation repräsentieren, bzw. eine solche beim Benutzer aktivieren. ⁶

Da wir alle Erfahrungen von uns selbst haben, ist der unmittelbarste Weg zum Verstehen von unserem Gegenüber für uns, eine Abbildung zu finden, in der wir uns durch unser Gegenüber selbst dargestellt sehen können. ^{7,8}

Der Begriff "Kommunikation" wurde durch das Buch "Menschliche Kommunikation" von Watzlawick u. a. mit dem berühmten Axiom: "Man kann nicht nicht kommunizieren" geprägt. "Aus Watzlawicks These kann man schlussfolgern, daß auch Maschinen — zum Beispiel interaktive Roboter — nicht nicht kommunizieren können. Da es das Ziel ist, eine Interaktion zu gestalten, die die zwischenmenschliche Interaktion als Vorbild nimmt, sind die üblichen Schnittstellen Maus, Tastatur und Monitor nur bedingt einsetzbar." ⁹

Eine Aufgabe besteht also darin, die Kommunikation mit Robotern möglichst einfach und natürlich zu gestalten.

Neben der Sprache gibt es weitere Arten der Kommunikation, etwa die nonverbale Kommunikation. Diese "umfasst das Ausdruckspotential des menschlichen Körpers in Zeit und Raum."

"Laut Nöth lassen sich die Teilgebiete Gestik, Mimik, Blick, taktile Kommunikation, Kinesik, Proxemik und Chronemik unterscheiden." ¹⁰

– **Gestik**, Ausdruckspotential der Hände, Arme und des Kopfes

– **Mimik**, sichtbaren Bewegungen der Gesichtsoberfläche

– **Blick**, Ausrichtung der Augen

– **taktile Kommunikation**, Tastsinn, haptische Wahrnehmung, Berührung, Bewegung, Vibration, Temperatur, Druck und Spannung

– **Kinesik**, Bewegungsverhalten

– **Proxemik**, das Einnehmen einer bestimmten Distanz zueinander

– **Chronemik**, bezieht ihr Bedeutungspotenzial allein aus dem 'Timing'

Der für das Projekt genutzte Leichtbauroboter (LBR) besteht aus einem Roboterarm mit ähnlichem Aufbau wie der eines menschlichen Armes. Da ein Kopf nicht vorgesehen ist, muss auf die Kommunikationsmittel der Mimik und des Blickes verzichtet werden. Die Kommunikation über Gestik bietet auf Grund der Geometrie des Roboters viele Ausdrucksmöglichkeiten. Die Teilgebiete der Kinesik und der Proxemik sind Teil der Bewegungsabläufe einer Gestik und müssen beachtet werden, um eine Bewegung als Geste erkennbar zu machen. Die taktile Kommunikation ist eine besondere Fähigkeit des LBR und wird in die Betrachtung einbezogen.

¹ Maas JF, Dynamische Themenerkennung in situierter Mensch-Roboter-Kommunikation (2007)

² Watzlawick P et al., Menschliche Kommunikation (1969)

³ Donath J, Mediated faces (2004)

⁴ Chovil N, Social determinants of facial displays (1991)

⁵ Maynard Smith J und Harper D, Animal signals (2003)

⁶ Hegel F et al., Understanding social robots (2009)

⁷ von Foerster H, Wissen und Gewissen (1993)

⁸ Guthrie SE, Anthropomorphism: A definition and a theory (1997)

⁹ Hofemann, (2007)

¹⁰ Nöth, (2000)

Aus dem zwischenmenschlichen Dialog sind Gesten nicht wegzudenken. Gesten tragen zum Verständnis bei und können sprachliche Äußerungen ersetzen. Das Merkmal bestimmter Gruppen von Gesten ist, daß sie in einem Kontext mit Objekten der Umgebung auftreten und in diesem interpretierbar sind. Das schließt das Gebiet der Zeichensprachen und Bewegungen des ganzen Körpers, die in der Literatur oft als Gesten aufgefasst werden, aus. Aus dieser Betrachtung von Kommunikation und Gestik folgt, daß nonverbale Modalitäten und insbesondere Gesten ein wesentlicher Bestandteil der zwischenmenschlichen Kommunikation sind.¹

Besonderes Augenmerk wird auf Gesten gelegt, die im Kontext zur Situation und den sich darin befindlichen Objekten stehen. Die Gesten müssen auch ohne Sprache eindeutig interpretierbar sein. "Eine Bindung von Deiktika (Zeigegesten) und Manipulationen ist für Roboter relevant, da sie in der Umgebung des Menschen situiert sind." (1) Emblematische Gesten sind geeignet, da sie im westlichen Kulturkreis ausgeprägt und klar definiert sind.

¹ Hofemann, (2007)



Nachdem die Bedeutung von Gesten in der Kommunikation dargestellt wurde, wird erläutert welche Klassen von Gesten für die Mensch-Roboter-Interaktion geeignet sind.

Definition und Taxonomie von Gesten

"Nöth verortet Gesten im Kontext der Sprache, Mimik und der nonverbalen Kommunikation. Allgemeiner können Gesten aber auch als "Körperhandlungen nichtsprachlicher Art, mit der Absicht etwas zum Ausdruck zu bringen" verstanden werden. ¹

Kendon hat eine Hierarchie der Gesten formuliert, genannt "Kontinuum":

*Gestikulation - sprachhafte Gesten - pantomimische Gesten - **Embleme** - Zeichensprache.*

"Von links nach rechts betrachtet, nimmt die Gegenwärtigkeit von Sprache ab." ²

"Entsprechend der unterschiedlichen Definitionen ist auch die Klassifizierung der Gesten in der Forschung nicht eindeutig. Eine grobe Einteilung unterscheidet redebegleitende und von der Sprache autonome Gesten." ³

Eine Klassifikation von Gesten wurde von Erkmann und Friesen erarbeitet. Darin werden Hand- und Armbewegungen in fünf Klassen unterteilt.

_ **Embleme**, mit kulturell festgelegter Bedeutung

_ *Affektäußerungen*, unbewußte Bewegungen

_ *Körpermanipulationen*, Änderungen der Körperhaltung

_ **Illustratoren**, Zeigegesten (Deiktika) Orte, Richtungen, Personen, Gegenstände werden referenziert

_ **Regulatoren**, steuern die Interaktion mit einem Partner: initiieren, synchronisieren, beenden

"Während das Verständnis emblematischer Gesten, z.B. ein Winken, vom situativen und sozialen Kontext abhängt, werden für Illustratoren und Regulatoren Informationen über die Szene und die enthaltenen Objekte benötigt. Diese werden mit dem symbolischen Kontext beschrieben. Sprachliche Aspekte können hingegen eine geringere Bedeutung haben." ⁴

Das System soll auf eine Kommunikation mittels Sprache verzichten, weshalb redebegleitende Gesten wie Gestikulation und sprachhafte Gesten für diese Arbeit nicht relevant sind. Pantomimische Gesten sind ähnlich wie bei der Zeichensprache zu erlernende Kommunikationsformen. Diese sind aber sehr aufwendig in der Ausführung, nicht intuitiv ausführ- und verstehbar, nicht immer eindeutig erkennbar und oft durch andere Kommunikationsmittel effektiver ersetzbar. Deshalb wird diese Gruppe der Gesten nur in Ausnahmefällen zur Anwendung kommen. Die Gruppe der Embleme ist für die einfache Darstellung von Informationen von kurzem, aber prägnantem Inhalt sehr gut geeignet. Diese Gesten besitzen eine ähnliche Aussagekraft wie Symbole oder ein Icon.

Möchte man einen Roboter bauen, der mit einem Menschen in einer sozialen und multimodalen Weise interagiert, müssen die Aspekte des situativen Kontextes und der Informationen über die Szene und die enthaltenen Objekte in einem Szenario gebündelt und modelliert werden.

¹ Nöth, (2000)

² Kendon, (2004)

³ Hofemann, (2007)

⁴ Ein wissensbasiertes Rahmensystem zur Merkmalbasierten Gestenerkennung für multimediale Anwendungen, Fröhlich (1999)

In den Vordergrund der Arbeit rücken also Embleme, Deiktika und Regulatoren, da sie auch ohne Sprache einen hohen Informationsgehalt besitzen. Für Signale, die nicht mit diesen gestischen Mitteln kommuniziert werden können, müssen alternative Kommunikationsformen wie die haptische Manipulation oder die Eingabe über ein Touchpanel genutzt werden.

Die für diese Arbeit relevanten Gesten-Klassen werden nun noch einmal näher betrachtet und detailliert dargestellt.



Embleme, "Ein Grund, einfache befehlsartige Gesten wie das "Winken" zu betrachten, liegt in dem Ziel einer intuitiven und natürlichen Interaktion zwischen dem Mensch und dem Roboter. Unvoreingenommene Benutzer winken einem sozialen, interaktiven Roboter beispielsweise zu, auch wenn sie über die Fähigkeiten des Roboters wenig wissen. Das "Winken" erregt, das hat uns die eigene Erfahrung gelehrt, die Aufmerksamkeit des Interaktionspartners. Eine weitere Anweisung, die auf ihre Interpretierbarkeit in einem Szenario mit Mensch und Roboter sehr gut untersucht werden kann, ist die an den Roboter gerichtete "Stop"-Geste. Also das Nach-vorn-Führen der Hand, mit der offenen Handfläche zum Interaktionspartner. Diese Geste kann besonders im Umgang mit einem Roboter eine wichtige Rolle spielen, da mit dieser Geste effektiv vor Gefahren gewarnt werden kann oder Tätigkeiten abgebrochen bzw. unterbrochen werden können." ¹

Das Victory-Zeichen (Victory = engl. Sieg) ist eine Handgeste, bei der der Zeige- und Mittelfinger zu einem „V“ ausgestreckt werden, während der Ringfinger und der kleine Finger eingezogen bleiben. In den meisten westlichen Ländern wird es als Zeichen für einen Sieg verstanden. Dem entspricht die Deutung, dass das von Zeige- und Mittelfinger geformte „V“ für „Victory“ steht. Besonders populär gemacht wurde das Victory-Zeichen während des Zweiten Weltkrieges durch den britischen Premierminister Winston Churchill. ²

Deiktika

Clark betrachtet in "Pointing and Placing" die Bedeutung von Deiktika und Objektplatzierungen in der zwischenmenschlichen Kommunikation.¹

– Die Kommunikation ist mit den Objekten der materiellen Umgebung verankert
Es gibt mindestens zwei Methoden, um die Aufmerksamkeit des Gegenübers auf ein Objekt zu lenken:

- mit referenzierenden Zeigegesten
- durch bewußtes Platzieren von Objekten

In der Interaktion mit einem Roboter, der wie in diesem Fall für die Cooperation in einem Arbeitsprozess konzipiert wird, spielen Objekte, die bearbeitet, verarbeitet, sortiert oder anderweitig Teil der Tätigkeiten sind, eine tragende Rolle. Mit den gestischen Mitteln der Deiktika können diese Objekte in die Interaktion mit einbezogen werden.

Regulatoren

Mit dieser Gestik gibt der Akteur ein Feedback oder initiiert sein Gegenüber. Die Geste des "Heranwinkens" kann jemandem signalisieren, daß er näher kommen kann. Eine bewertende Gestik wie das "mit dem Zeigefinger winken" hat eine Kontrollfunktion. ³

¹ Hofemann (2007)

² www.wikipedia.de

³ www.absolventa.de



- _Filmen bei eigenen Tätigkeiten*
- _Zuhören und Notieren von Befehlen bei interaktionsreichen Tätigkeiten*
- _Sammeln aus Bereichen wo Gestik eine starke Rolle spielt*
- _Beobachten und Filmen angeleiteter Tätigkeiten bspw. 'ohne sprechen'*

insitu observation Wie im Kapitel *Kommunikation* beschrieben, kann sich eine Mensch-Roboter-Interaktion, wenn sie für den Menschen intuitiv sein soll, nur an der Interaktion orientieren, wie sie auch zwischen Menschen stattfindet. Um einen Überblick über mögliche Befehle, Interaktionen und natürliche Kommunikation unter Menschen zu bekommen, wurden unterschiedliche Möglichkeiten genutzt, diese zu beobachten und zu dokumentieren. Ein erster Schritt bestand darin, eigene Tätigkeiten zu filmen und bewußt nach Interaktionen zu untersuchen. Ein weiterer, das filmerische Dokumentieren von Interaktionen von Freunden, Mitstudenten, Familienangehörigen oder fremden Personen in der Umgebung. Einige Befehle und damit Interaktionen, die in Gesten umgesetzt werden können, ließen sich durch Zuhören und Notieren bei gemeinsamen Tätigkeiten zweier Menschen generieren. In der zweiten Stufe, sollten die gefilmten Personen angeleitete Tätigkeiten ausführen. So sollte beispielsweise, um die Interaktion über Gesten zu forcieren, ein Möbelstück von drei Personen aufgebaut werden, ohne dabei miteinander zu sprechen.

Methodisches Grundmodell: Arbeitsprozess
 Zielgerichtetes Handeln vollzieht sich in bestimmten Arbeitsschritten. Als erstes kommt ein Kontakt zustande. Entweder verläuft dieser positiv und führt zur Analyse und Realisierung, oder aber negativ, sodass kein Arbeitsprozess zustande kommt. Ein wichtiger Unterschied besteht zwischen bereits bekannten und noch unbekanntem Arbeiten. Da der Fokus meiner Arbeit auf einem Szenario mit bekannten Tätigkeiten liegt, ist eine vorherige Analyse nicht nötig, es kommt sofort zur Realisierung.

Im Arbeitsprozess den zwei Menschen gemeinsam ausführen, werden in der Realisierungsphase die Tätigkeiten untereinander aufgeteilt. Diese sind wiederum durch Handlungen gegliedert, die jeder einzelne ausführt. Die einzelnen Operationen innerhalb der Handlung sind in Bewegungen unterteilt. Einige dieser Bewegungen sind in meinem Fall die Gesten und physischen Interaktionen, die es zu untersuchen gilt.

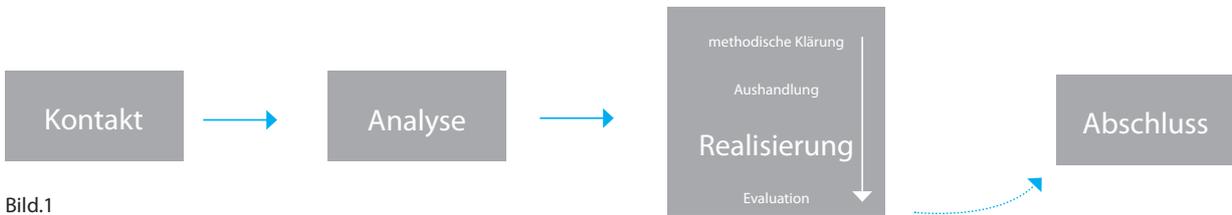


Bild.1

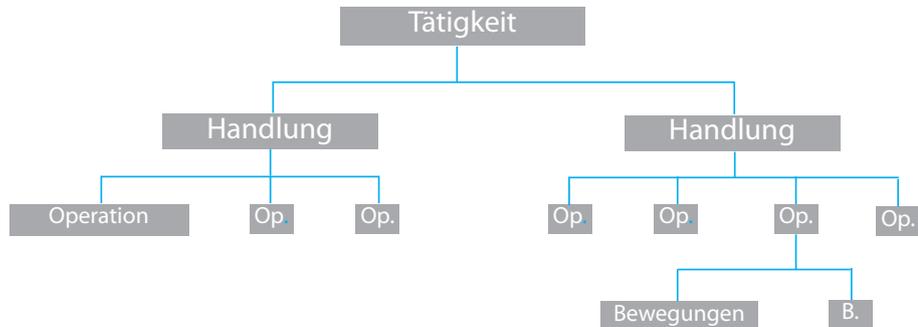


Bild.2

Bild.1: Methodisches Grundmodell der Arbeit: Prof. Dr. Peter Ulrich Wendt
 Bild.2: Makrostruktur der Tätigkeit (nach Frieling/Sommer 1999)



Acting out Die aus den Observationen dokumentierten Interaktionen und Befehle wurden in Gesten übersetzt, nachgestellt und optimiert. Gleichzeitig wurden die Gesten in Beziehung zum methodischen Grundmodell des Arbeitsprozesses; also *Aktion initierende*, *Tätigkeit synchronisierende* und *Tätigkeit beendende* Gesten erarbeitet.

Eine Person hatte die Aufgabe, Gesten darzustellen, die zweite Person musste die jeweilige Situation erkennen und benennen.

Eine andere Methode war, die andere Person über Gesten anzuleiten und zu führen. Dadurch ließen sich schnell eine ganze Reihe von relevanten Gesten für eine Kommunikation im Arbeitsprozess finden.



stop!



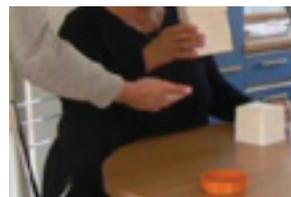
runter!



nein!



hier hin!



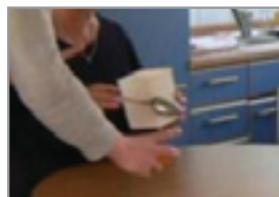
Kontakt



Realisierung

Abschluss

t



Gesten werden nicht von jedem Menschen genau gleich dargestellt. Das individuelle 'Gestendesign' kann von kulturellen Einflüssen, der Persönlichkeit, momentaner emotionaler Verfassung oder körperlichen Bedingungen abhängen. Um Varianten zu generieren und gleichzeitig deren Erkennungsrate zu identifizieren, wurde ein Versuchsaufbau aufgebaut und die 20 wichtigsten Befehle ausgewählt.

Versuchsablauf:

Person 1 stellt den nur ihr bekannten Begriff durch eine typische Geste dar. Person 2 soll die Geste erkennen und benennen. Die eindeutige Begriffszuordnung wird durch Nummerierung der Gesten gewährleistet.



Darstellung +
erkannt 0



Darstellung 0
erkannt 0



Darstellung +
erkannt +

Auswertung der Gesten am Beispiel 'tiefer'. Die grau unterlegten Varianten wurden als geeignet ausgewählt, da diese prägnant und einfach darstellbar und am besten erkannt wurden.

Auswertung der Gestenvarianten

- 1_Gegenstand zeigen
- 2_das da!
- 3_diese hier!
- 4_vorsichtig!
- 5_gib mal!
- 6_hier hin!
- 7_geh!
- 8_aus dem weg!
- 9_höher!
- 10_tiefer!
- 11_drehen!
- 12_drunter!
- 13_etwas geben
- 14_etwas anfordern
- 15_mach weiter!
- 16_komm her!
- 17_Tschüss!
- 18_stop!
- 19_Achtung!
- 20_nein

Bewertung:

Bewertet wird einerseits die Darstellbarkeit des Begriffs und wie gut die Geste erkannt wurde. Danach werden die Ergebnisse der Gruppen untereinander verglichen. Wurde die Geste gleich dargestellt oder unterschiedlich? Traten bei den gleichen Begriffen Probleme auf?

Ergebnis:

Es werden Gestikvarianten entwickelt, die sich im Versuchsablauf als eindeutig herausgestellt haben.

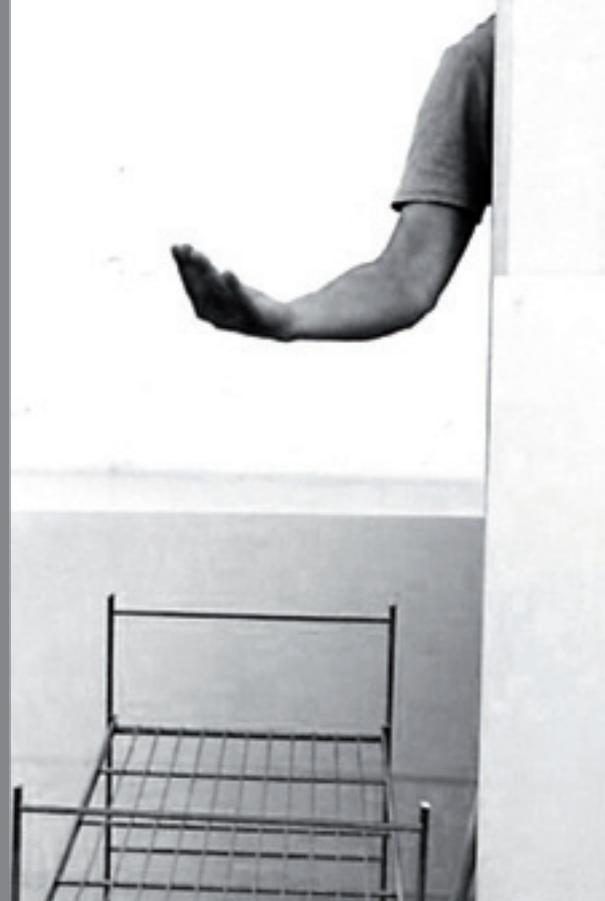
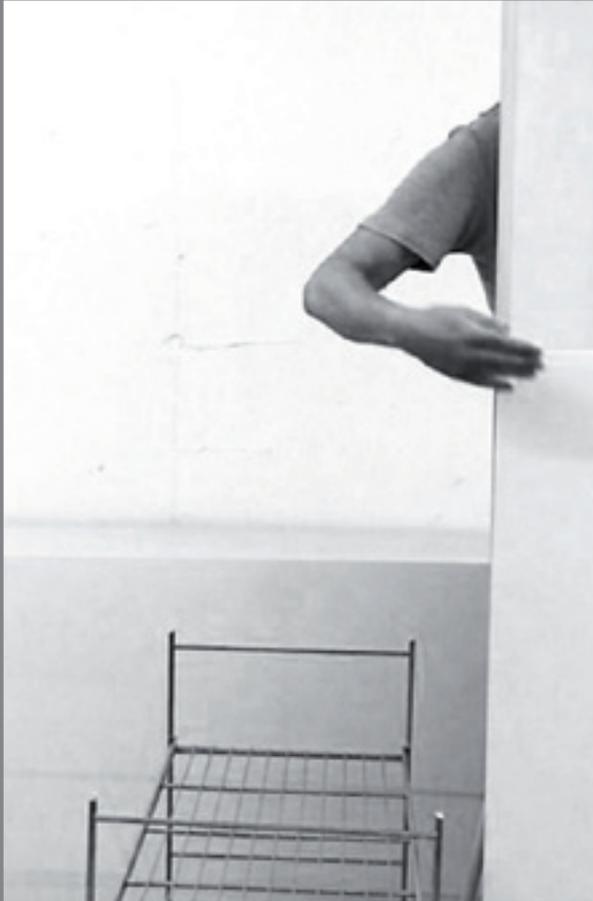
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	Darstellung	+	+	+	+	+	+	+		0	-	0	+	+			+	+	+	+		+	+	
	erkannt	+	0	+	+	+	+	+		0	-	-	+	+			+	+	+	+		+	+	
2	Darstellung	-	+	+	0	+	+	+	0	+	0	-	+	+	+	0	+	0	+	+	+	+	0	0
	erkannt	0	0	+	+	+	+	+	+	+	0	+	+	+	+	0	+	+	+	+	+	+	0	-
3	Darstellung	-	+	+	0	+	+	+	0	0	+	+	-	+	0	-	+	+	+	+	+	+	0	0
	erkannt	-	+	+	0	+	+	+	+	0	0	0	0	+	0	-	+	+	+	+	+	+	+	0
4	Darstellung	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
	erkannt	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	0	0



Die Tabelle unten zeigt, welche Bewegungen den Gesten zugeordnet werden können. Für die getesteten Gesten ist die Stellung der Handfläche und des Zeigefingers von zentraler Bedeutung.

_nein	Handfläche nach vorn, Zeigefinger nach oben	+ Bewegung
_dieses, dahin!	Handfläche unten, Finger und Arm ausgestreckt auf Objekt	•
_geh weg !	Handfläche innen, waagrecht	•
_höher	Handfläche nach oben	•
_langsam	Handfläche schräg nach unten	•
_aus dem Weg!	Handfläche zur Seite, Zeigefinger nach unten	•
_drehen	Handfläche nach unten	•
_darunter	Handfläche nach oben, Gegenstand in der Hand	•
_Gegenstand geben	Handfläche nach vorn, Gegenstand in der Hand	•
_mach weiter	Zeigefinger seitlich ausgestreckt, Handfläche nach vorn	•
_komm her	Handfläche innen, waagrecht	•
_winken	Handfläche nach vorn, Hand nach oben	•
_Stop!	Handfläche nach vorn, Hand nach oben	•
_dieses hier!	Zeigefinger, Hand und Arm auf Objekt gerichtet	•
_gib mal!	Handfläche nach oben, Arm nach vorn	•
_tiefer	Handfläche nach unten	•
_Achtung!	Zeigefinger nach oben, Handfläche nach vorn	•
_keine Ahnung	Handfläche nach oben, Arm angewinkelt	•
_komm näher!	Handfläche nach hinten, Arm angewinkelt vor dem Körper	•
_Gegenstand zeigen	Handrücken nach vorn, Gegenstand in der Hand	•

Versuchsaufbau Gesten, Mensch



Die im vorangegangenen Versuch am besten erkannten Gestenvarianten wurden nun nacheinander dargestellt und abgefilmt.

Der Oberkörper wurde hinter einer weißen Wand versteckt, um den Fokus auf den Arm zu lenken und den Einfluss von Kopfbewegung oder Mimik auszuschließen.

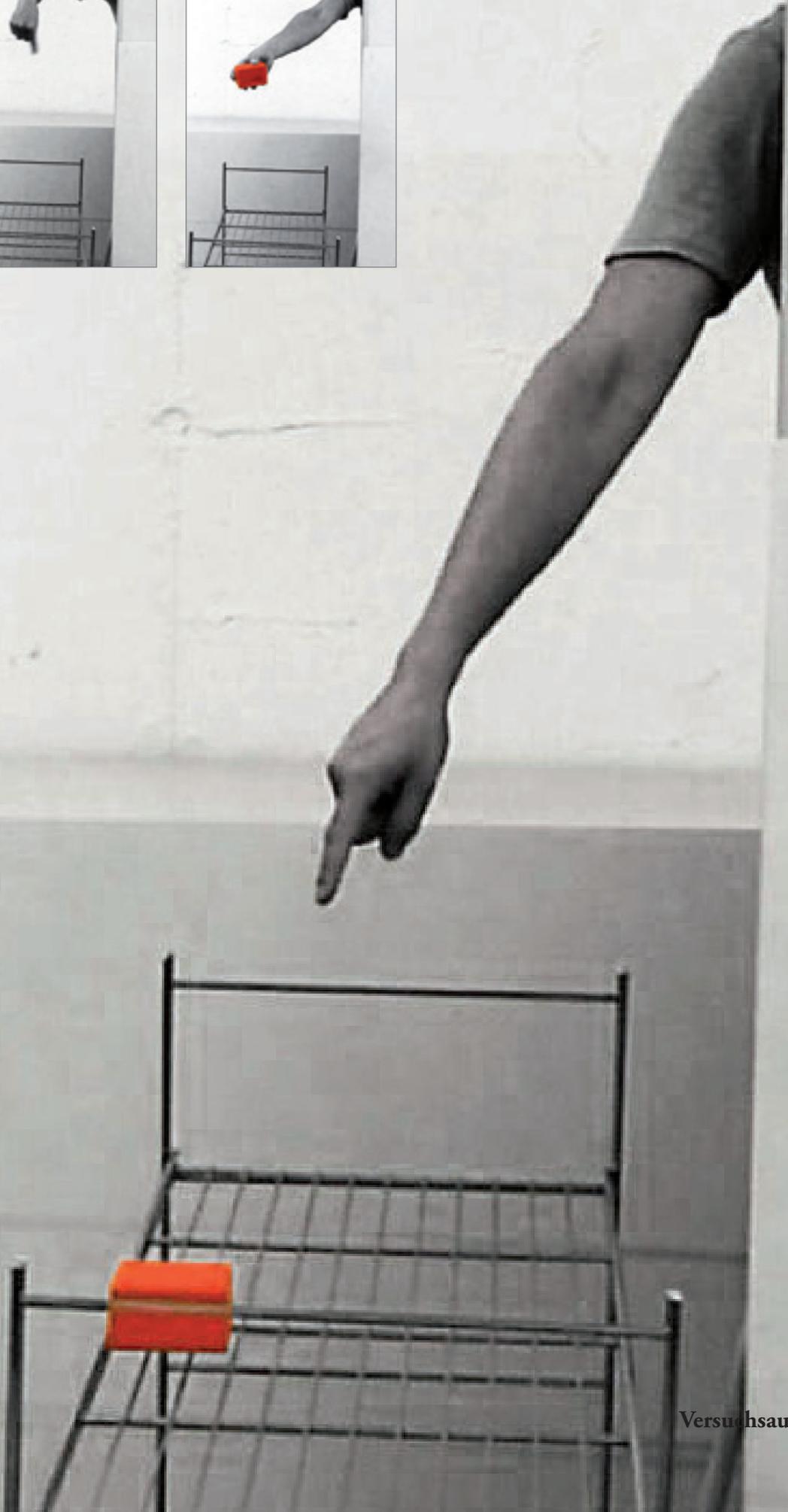
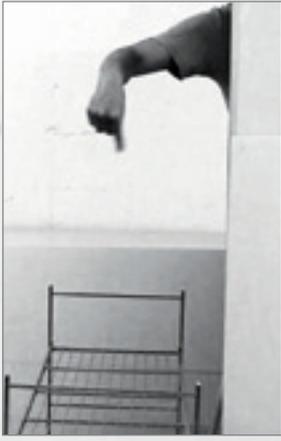
Die meisten Gesten definieren sich zum Einen durch die Stellung der Handfläche, also, ob diese nach unten, oben, nach innen oder schräg gerichtet ist. Zum anderen, durch die Geschwindigkeit und die Richtung der Geste zum Betrachter. Wichtig für die Erkennbarkeit einer einzelnen Geste ist außerdem, dass eine mindestens eine Sekunde anhaltende Pause zwischen der einen und der nächsten Geste existiert.

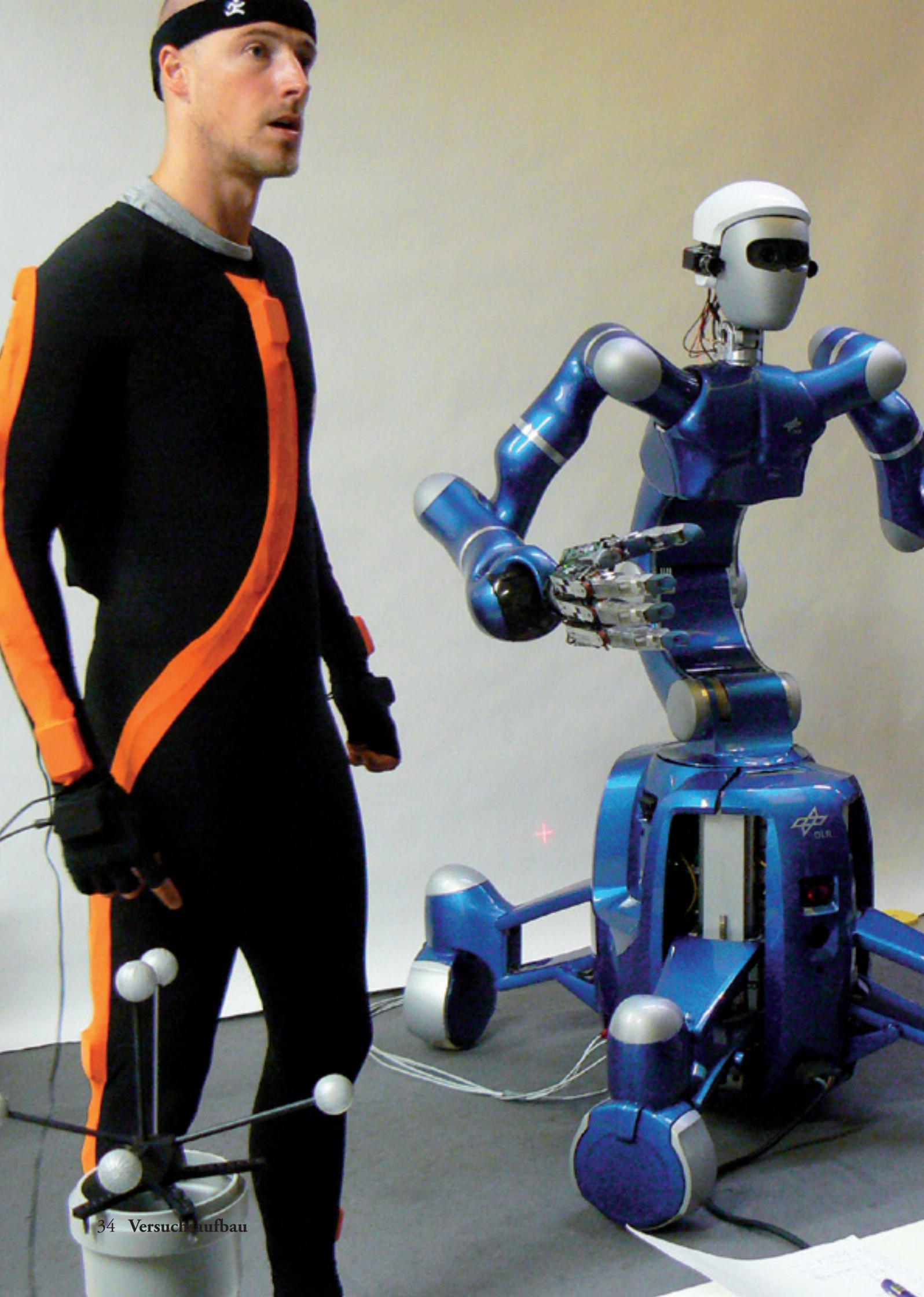
Für Deiktika, also Zeigegesten und Gesten die Bezug zu einem Gegenstand nehmen, ist der Zeigefinger ein wichtiges Element. Der ausgestreckte Finger referenziert eine Sache durch die Richtung, in die er weist.

"So unterschiedlich die Ausführung einer Zeigegeste auch sein können, weisen sie doch ein gewisses charakteristisches Bewegungsmuster auf." ¹

- _ zumindest der letzte Teil der Bewegungsdynamik verläuft linear
- _ bei größter Entfernung verharrt der Körperteil für einen kurzen Moment
- _ die Bewegung verläuft zielgerichtet

¹ Kendon, (2004)





Der zweiarmige "Torso" JUSTIN, entwickelt am Institut für Robotik und Mechatronik des DLR, hat mit seinen insgesamt 43 drehmomentgeregelten Gelenken neue Maßstäbe in der humanoiden Robotik gesetzt und ist einer der weltweit fortgeschrittensten "Oberkörper" der Robotik.

Die beiden Arme mit ihren vierfingrigen Händen wie auch die Brustpartie mit Hals und Kopf reagieren feinfühlig auf Berührungen mit der Umgebung. Dies ermöglicht insbesondere eine direkte, gefahrlose Interaktion zwischen Mensch und Roboter.

Mit dieser Technologiestudie soll vor allem das beidhändige Manipulieren von Objekten demonstriert und weiterentwickelt werden. Mit seinem multisensoriellen Kopf, der mit Stereokameras, Laserscanner und Lichtschnittprojektor ausgestattet ist, kann er sogar durchsichtige Gläser erkennen und greifen, Flaschen öffnen, Getränke einschenken oder schwere Wasserkästen heben.

In diesem Fall wurde Justin dafür genutzt, die vom Menschen produzierten Gesten wiederzugeben und die Bewegungsmuster einzuspeichern. Das Einspielen der Gesten konnte auf einfachste Weise über einen "Track-suite" verwirklicht werden. Die darin befindlichen Marker liefern einem Computer die Bewegungsmuster des Anzugträgers. Diese werden dann auf Justin gemapt. Somit führt der Roboter menschliche Bewegungen in Echtzeit aus und ist ein ideales Mittel, die menschlichen Gesten durch einen Roboter darzustellen.



Versuchsanordnung

Mensch - Roboter Interaktion

Die Bearbeitung dieser Umfrage wird nicht mehr als 5 Minuten Ihrer Zeit in Anspruch nehmen.

Stellen Sie sich eine Situation vor, in der Sie mit einem Roboter in einer sehr lauten Umgebung zusammen arbeiten. Es muss auf Gesten zurück gegriffen und Körperbewegungen interpretiert werden.

Angehängt ist ein Film mit kurzen Gestensequenzen. Die Gesten stellen Interaktionen dar, die in einer Arbeitssituation auftreten können und sollen von Ihnen erkannt und notiert werden. Es handelt sich dabei um kurze einfache Aktionen.

Möglicherweise muss zwischen den Sequenzen Pause gedrückt werden, um genug Zeit für die Notizen zu haben.

Wichtig ist, dass immer nur EINE einzelne Aktion notiert wird.

Also z.B.: hier hin! und nicht: von hier aufgenommen, nach dort.

Bei Unsicherheiten einfach das Naheliegendste hinschreiben, wenn etwas nicht richtig gedeutet wird, ist das auch ein Ergebnis.

Vielen Dank. Viel Spass.

Edit Question Move Copy Delete

***1. Welcher Befehl oder welche Aktion wird dargestellt?**

Add Question Here Split Page Here

Edit Question Move Copy Delete

***2. Welcher Befehl oder welche Aktion wird dargestellt?**

Die Gesten von Mensch und Roboter wurden abgefilmt und von etwa 50 Personen mit einem Fragebogen im Onlineumfrageportal Survey Monkey ausgewertet.

Anschließend wurden diese Aufnahmen der Gesten nummeriert und zusammen mit einem Fragebogen an den Verteiler des DLR und der Folkwang Universität geschickt. Dort sollte der Film ausgewertet und die erkannten Gesten in die Lücken des Fragebogens eingetragen werden.

Es wurde ermittelt, welche Gesten eindeutig sind und gut erkannt werden und bei welchen es Unsicherheiten gibt.

Zum Anderen wurde überprüft, ob bei identischer Darstellung der Geste mit einem Roboter die Erkennungsrate sinkt. Trotz dem Umstand, dass der Roboter eine etwas abweichende Geometrie zu den normalen Maßen eines Menschen hat, also etwas größere Hände mit nur vier Fingern, einem überlangen Handgelenk und Drehachsen mitten im Arm, weichen die

Ergebnisse im Vergleich zu den vom Menschen dargestellten Gesten kaum ab.

Fazit:

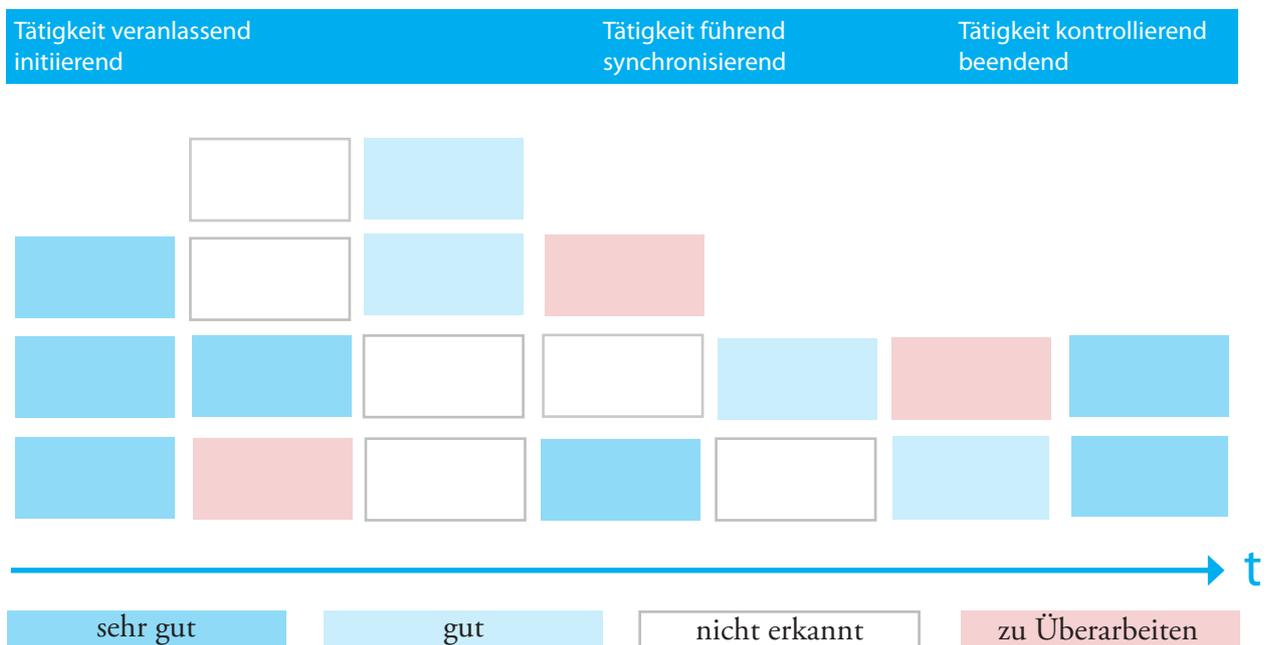
Die beim Menschen eindeutig erkannten Gesten werden also auch beim Roboter erkannt. Hingegen die Gesten, die beim Roboter nicht erkannt wurden, sind zumeist auch beim Menschen nicht erkannt worden. Das lässt darauf schließen, dass sich diese Begriffe nicht zur Darstellung ausschließlich durch Gestik eignen.

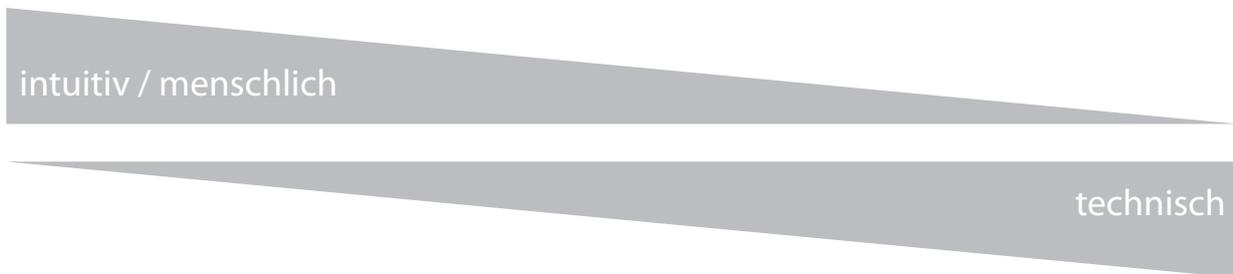
Befehl / Geste	Erkennungsrate	
	Mensch	humanoider Roboter
_Nein	98 %	85 %
_hier hin	88 %	100 %
_geh weg !	93 %	48 %
_höher	60 %	43 %
_vorsichtig/langsam	97 %	72 %
_aus dem Weg!	40 %	26 %
_drehen	72 %	39 %
_darunter	13 %	22 %
_Gegenstand geben	28 %	52 %
_ mach weiter	30 %	26 %
_komm her	97 %	96 %
_winken	80 %	74 %
_Stop!	93 %	98 %
_dieses hier!	93 %	94 %
_gib mal!	23 %	80 %
_tiefer	43 %	09 %
_Achtung!	97 %	94 %
_keine Ahnung	72 %	83 %
_komm näher!	98 %	98 %
_Gegenstand zeigen	80 %	70 %

sehr gut	gut	nicht erkannt	zu Überarbeiten
----------	-----	---------------	-----------------

Wenn man nochmals das Modell des Arbeitsprozesses heranzieht, fällt auf, dass besonders viele Gesten aus der Realisierungsphase bzw. aus den tätigkeitführenden Interaktionen nicht gut erkannt werden.

Dies ist schon in der Frühphase des Projektes, beim acting out des Arbeitsprozesses, aufgefallen. Emblematische Gesten wie "Stop!", "Achtung", oder "Tschüss" treten besonders in der die Tätigkeit initiierenden und beendenden Phase auf. Gerade diese Gesten werden aber durch ihre klare Abgrenzung zu anderen Gesten sehr gut erkannt. Zeigegesten sind auch im Prozess wichtig und finden deshalb in der tätigkeitführenden Phase statt. Diese Objekt referenzierenden Gesten sind im Versuch auch sehr gut erkannt worden und können daher neben den Emblemen im weiteren Projektverlauf genutzt werden.





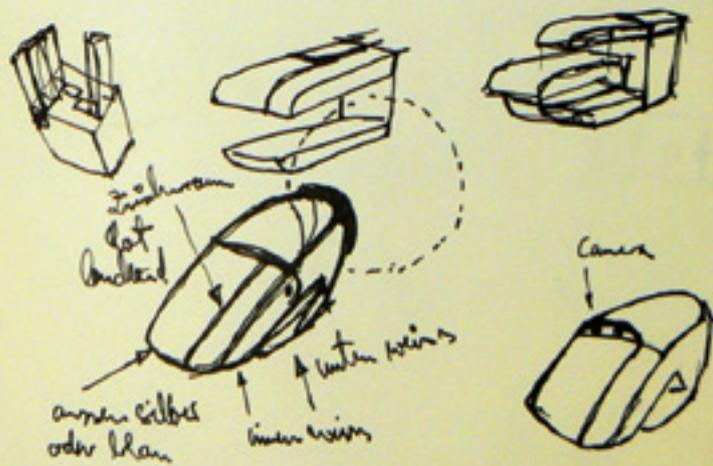
Gestik	physische Manipulation	Touchscreen
Embleme, Deiktika, Regulatoren	führen, antippen, drücken	numerische Eingabe, Schnellprogrammierung



Gefahrensituationen oder Fehlverhalten des Benutzers können durch Gesten effektiv angezeigt werden. Die Information stellt sich auf unvermittelte Art und Weise am Bezugsobjekt dar. Auch ein Fachfremder versteht die Information intuitiv. Durch Zeigegesten können Objekte und Arbeitsräume referenziert werden.

Der Roboter kann durch eine Vielzahl haptischer Signale gesteuert und manipuliert werden. So hat der Roboter auf oberer Greifhöhe ein Feld, in dem er in den Ruhezustand versetzt wird, sobald der Greifer hinein geschoben wird. Genauso kann der Roboter durch Herausziehen des Greifers aktiviert werden. Um ihm Gegenstände zu zeigen oder Tätigkeiten zu teachen, kann der Arm angefasst und frei bewegt werden.

Per Knopfdruck kann der Roboter in einen Status für eine neue Tätigkeit gebracht werden oder zusätzliche Einstellungen vorgenommen werden. Numerische Werte wie, 37°, 12 cm, 30 mm, oder eine Stufe schneller, in 15 Minuten oder 30 mal sind mit diesem Eingabegerät sehr schnell ausführbar. Durch die Position direkt am Greifer wird die direkte Interaktion nicht unterbrochen. Dabei stehen sämtliche Vorteile einer variablen Touchoberfläche zur Verfügung.



Bei den Gesten, die in den vorangegangenen Versuchen als Eindeutig erkennbar extrahiert wurden, spielte die Handfläche und der Zeigefinger eine bedeutenden Rolle. So verändert sich die Aussage einer Geste entscheidend, wenn eine gleiche Bewegung ausgeführt wird, sich jedoch einmal die Handinnenfläche und einmal die Handausßenfläche zum Betrachter richtet. Eine Stop!-Geste wird nicht als solche wargenommen, wenn die Handausßenfläche zum Gegenüber gestreckt wird.

Genauso ist der Zeigefinger von großer Bedeutung, wenn durch eine Zeigegeste Gegenstände referenziert werden sollen. Gleiches gilt für Embleme wie Achtung, die sich im Versuch als sehr gut erkennbar erwiesen hat und zur Verwendung im Szenario als äußerst nützlich.

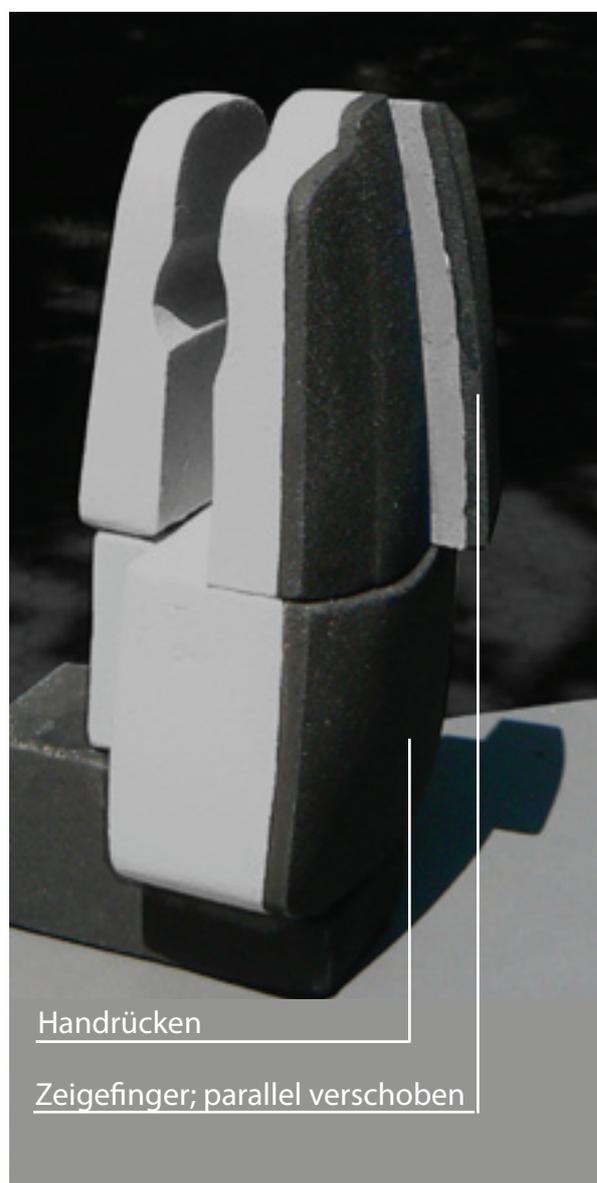
"Betrachtet man einmal nur das objektreferenzierende Zeigen mit der Hand oder dem Finger, lässt sich feststellen, dass die Richtung dieser Zeigegeste sich nicht aus dem Finger, der Hand und dem Unterarm alleine ergibt, sondern meistens eine Kombination dieser Zeigevektoren ist." ¹

Die bisher vom DLR entwickelten Hände können diese Gesten darstellen, eignen sich jedoch nicht für die angestrebten Arbeiten auf Grund ihrer Größe, ihrer Fehleranfälligkeit, Wartungsintensität und ihres benötigten Rechenvolumens.

Eine Alternative sind daher die Greifer, die bisher am Roboter für dieses Projekt zum Einsatz kommen. Diese Greifer haben allerdings den Nachteil, dass eine Handinnen-, oder Außenfläche nicht erkennbar ist und somit beispielsweise die Stop!-Geste nicht eindeutig erkannt wird. Ausserdem sind zwei identische, sich parallel verschiebende Greiferbacken verbaut. Diese eignen sich nur bedingt zum Referenzieren von Objekten, da kaum ein Unterschied zwischen sich "zum Objekt bewegen" und "auf das Objekt zeigen" erkennbar ist.

Daher soll ein neuer Greifer entstehen, der einerseits den technischen Anforderungen des bisherigen Greifers entspricht, aber trotzdem durch seine Gestaltung in der Lage ist, sowohl eine Handstellung als auch eine Zeigegeste identifizierbar darzustellen.

Bei untenstehendem ersten schematischen Entwurf ist bereits eine durch die Farbgebung zu unterscheidende Handinnen- (grau) und Außenfläche (schwarz) erkennbar. Ein Teil der oberen Greiferbacke kann seine Position verändern und tritt dadurch als Zeigefinger in Erscheinung.



¹ Kendon, (2004)



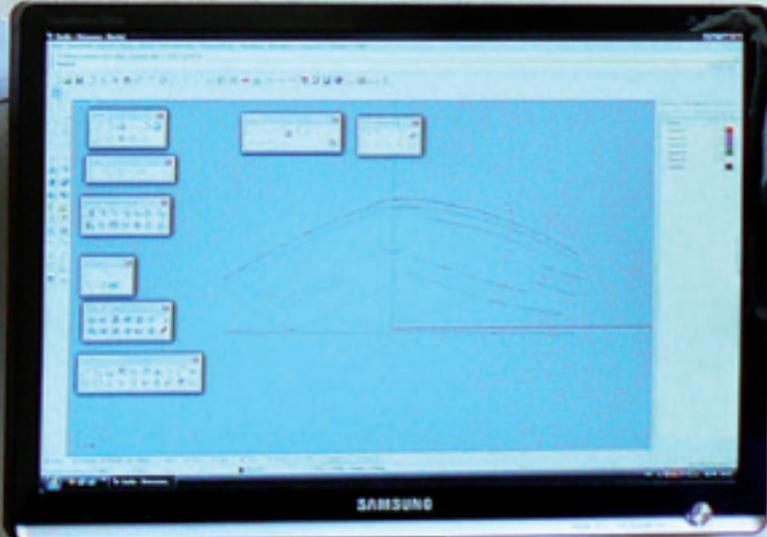
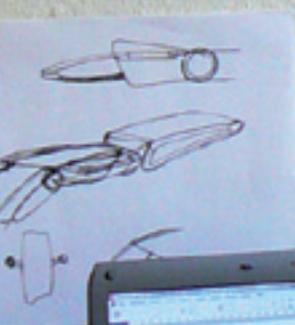
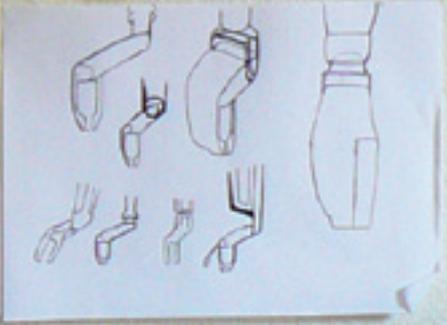
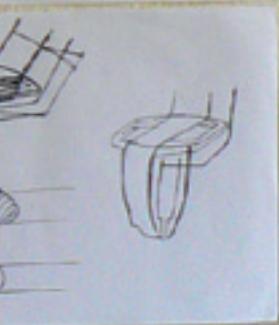
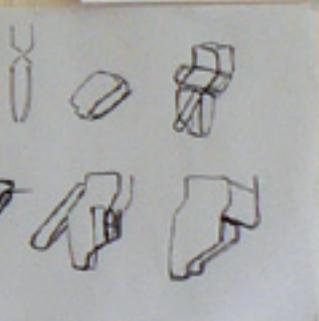
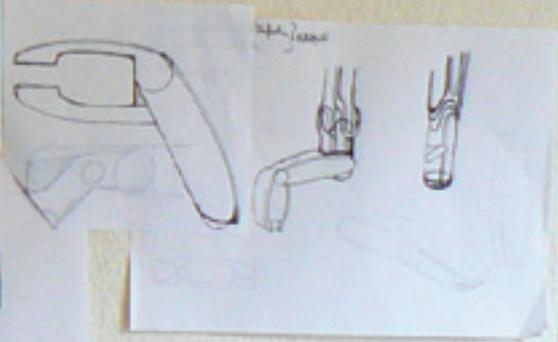
Bild.1 Schunk Greifer



Bild.2 DLR HASY Hand

Der Entwurf des Greifers orientiert sich an den technischen Eigenschaften des bisher verwendeten Greifers der Firma Schunk (1). Er besitzt aber die nötigen Voraussetzungen für das Erkennen von Gesten ähnlich einer Robotikhand.(2)

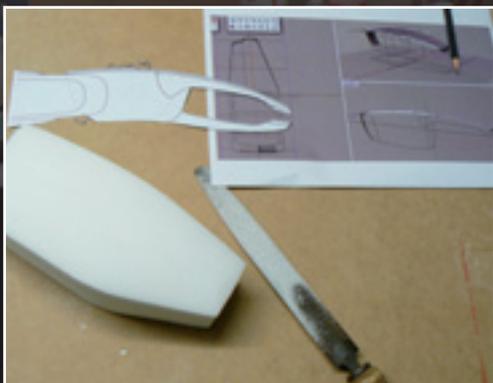
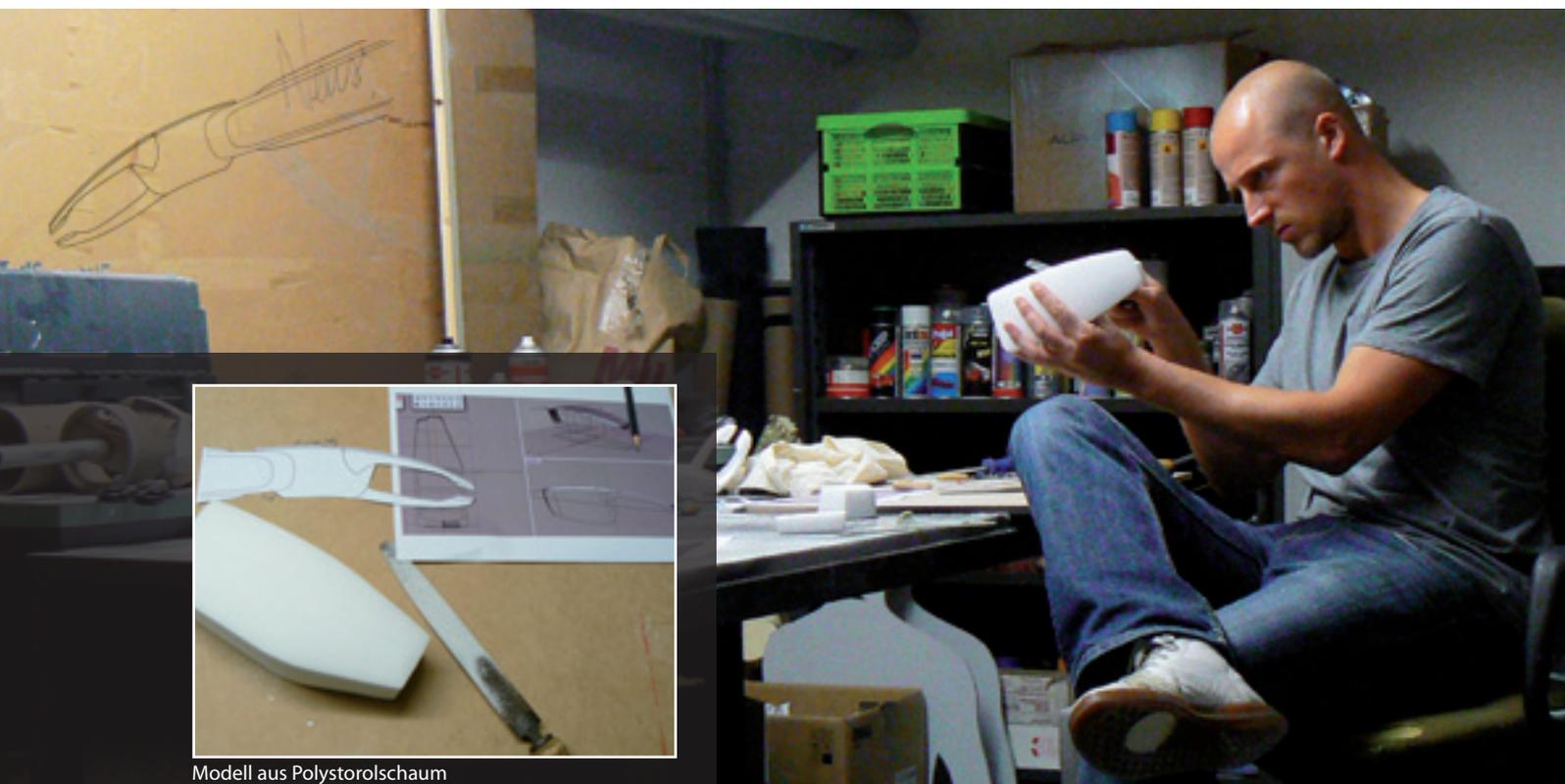
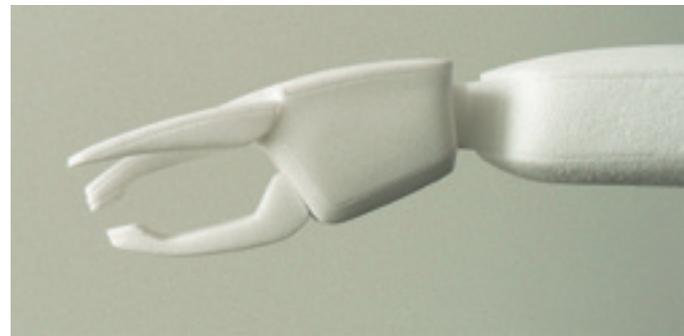






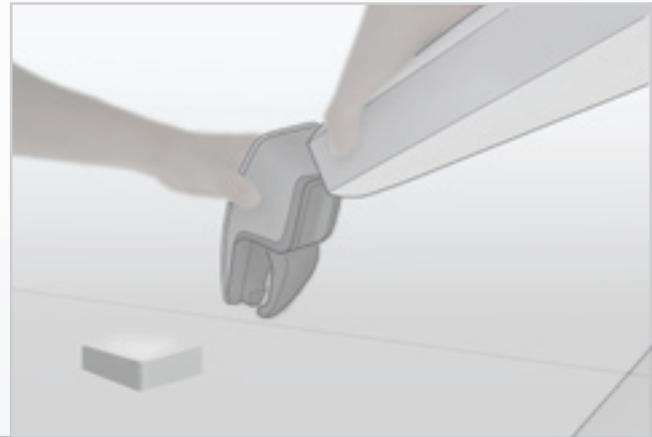
Noch deutlicher als ein sich parallel zu den Backen verschiebender Zeigefinger, ist die Version in den Bildern oben (1). Ein Finger, der durch ein einfaches Scharnier nach oben klappt. Durch die starke Veränderung der Silhouette tritt der Zeigefinger verstärkt in Erscheinung. Ein leichtes Anklicken des "Handrückens" im selben Winkel wie der des Zeigefingers in ausgeklapptem Zustand verstärkt die Zeigegeste in ihrer Wirkung. Zusätzlich bietet sich an dieser schrägen Fläche die Integration des Touchscreens an, das durch die Schrägstellung ergonomisch zu bedienen ist (2).

Der Greiferrücken ist eine dreidimensional leicht überspannte Fläche, um im ausgestreckten Zustand weiterhin eine Linie zwischen Unterarm und Hand bis vor zur "Fingerspitze" zu bilden. Die Hand bewegt sich nur leicht nach unten, wenn der "Zeigefinger" zur Zeigegeste hochgeklappt wird. Der Finger bildet nun eine Linie mit der Mittelachse des Unterarms, was die Zeigegeste in ihrer Erkennbarkeit verstärkt.



Modell aus Polystyrolschaum

Die Eingabe erfolgt über haptisches Manipulieren, wofür der Greifer durch seine ergonomische Gestaltung eine Vielzahl an Griffmöglichkeiten bietet, um den Roboterarm zu bewegen. Für weitere Befehle steht ein Touchdisplay zur Verfügung, das in die Greiferoberfläche eingelassen ist und somit eine direkte Interaktion am Gerät ermöglicht.



physische Manipulation

Touchpadeingabe



Zeigegeste



Stop!-Geste

Der Roboter kann in der Zusammenarbeit mit einem Menschen über einfache Gesten kommunizieren und seinen Arbeitsstatus ausdrücken. Besonders wichtig ist dabei die Unterscheidung zwischen Greiferrücken und Innenseite, was durch konvexe und konkave Flächen und die abgestufte Farbgebung erreicht wurde. Zeigegesten werden durch das Ausklappen eines "Zeigefingers" verstärkt.

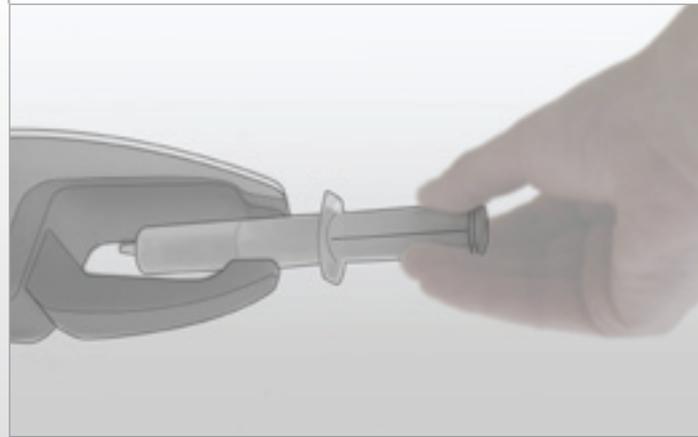
aufnehmen



greifen



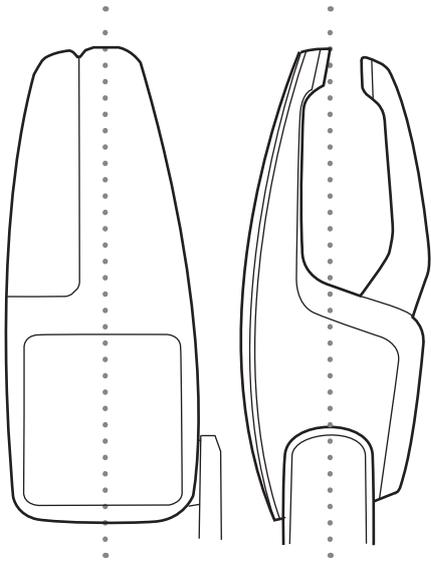
übergeben



Mit den Spitz zulaufenden Greiferbacken können sowohl kleine Teile, wie Tabletten, als auch größere, wie Dosen, Flaschen, oder Spritzen gegriffen werden.

Gestikgreifer

Ein- und Ausgabegerät zur intuitiven Mensch-Roboter Kommunikation



Die Oberfläche aus weiss unterlackiertem Plexiglas mit integriertem Display bildet den Rücken. Die Flanken sind aus Weissaluminium lackiertem Kunststoff. Die Greiferinnenseite ist anthrazit, um im weitestgehend hellen Krankenhausumfeld einen starken Kontrast zu bilden und die Unterscheidung zwischen Greiferrücken und Greiferinnenseite zu erleichtern. Die Mittelachsen verlaufen jeweils von der Mitte des Roboterarmes bis zur Greiferspitze. Das ist für die Roboterprogrammierung von Vorteil. Die obere Greiferbacke steht fest und bildet Rücken, während sich die untere Backe parallel verschoben öffnen und schließen lässt.

Greifer kippt nach unten
Finger klappt hoch



Parallelverschiebung
der Backen

Der Greifer verändert leicht den Winkel, der "Finger" klappt aus und bildet eine Linie mit dem Roboterarm. Der "Finger" unterbricht die Kontur des Greifers bewusst, um die Veränderung bei der Zeigegeste deutlich hervorzuheben.



Der Touchscreen wird erst durch Berührung sichtbar und enthält eine einfache Menüstruktur zur Programmierung der wichtigsten Roboteraufgaben. Mengenangaben oder andere numerische Eingaben können so schnell direkt am Gerät vorgenommen werden. Das Gerät kann dabei bequem in der Hand gehalten und mit dem Daumen, oder dem Zeigefinger der anderen Hand bedient werden.

Krankenhaus



Laut Berichten aus Magazinen wie Frontal 21 oder Report Mainz, wird in Krankenhäusern bei zunehmender Patientenzahl Pflegepersonal abgebaut. Die Folge ist, dass die Pflegekräfte Prioritäten in der Pflege der Patienten setzen müssen und dadurch viele ebenso wichtige Betreuungsleistungen zu kurz kommen.

Frontal 21, Mai 2008

"Die meisten der befragten Pfleger würden sich im eigenen Krankenhaus als Patient nicht behandeln lassen. Sie halten die Pflege für Mangelhaft."

Report Mainz, Juli 2007

"Experten schlagen Alarm: Der Personalabbau an deutschen Krankenhäusern gefährdet das Leben von Patienten."

Pflege Thermometer: bisher größte Bundesweite Umfrage unter Pflegekräften.

Die Gesundheitsreform hat die Krankenhäuser gezwungen Pflegepersonal einzusparen. Von 1995 bis 2005 wurde das Pflegepersonal um 13,5 Prozent reduziert. (Quelle:DIP)

50000 Stellen wurden in den vergangenen Jahren eingespart. Gleichzeitig wächst die Zahl der Patienten. Das bedeutet, überarbeitete Pfleger arbeiten am Rande ihrer Kräfte.

Pflegebedürftige können nicht mehr ausreichend betreut werden.

Frisch operierte können nicht mehr angemessen versorgt werden.

Pflegethermometer 2009

Einschätzung zur allgemeinen Versorgung

Sind in jeder Schicht eine ausreichende Anzahl examinierter Pfleger anwesend, um die Patientenversorgung pflegefachlich abzusichern?



Pflegerische Prophylaxen können in angemessener Art und Weise erbracht werden?



Wie oft ist es in den letzten Tagen vorgekommen, dass Sie in der Eile einen Fehler beim Medikamentenstellen oder Verabreichen gemacht haben?



Entspricht es der Realität, dass mehr Patienten betreut bzw. versorgt worden als im Jahr davor?



Sind mehr Personalstellen im Pflegebereich abgebaut worden?



0 20,0 40,0 60,0 80,0 100,0

■ trifft voll zu ■ trifft eher zu ■ trifft eher nicht zu ■ trifft gar nicht zu ■ keine Angabe



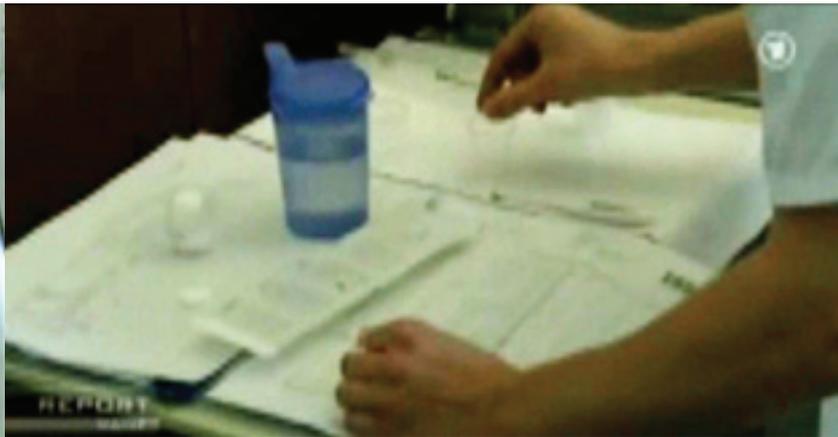
Beim Medikamentieren im Zimmer eines Patienten:

Report Mainz: "Haben Sie keine Angst, dass Sie in der ganzen Hektik irgendwann mal einen Fehler machen?"

Schwester: "Doch, jeden Tag den ich hier bin."

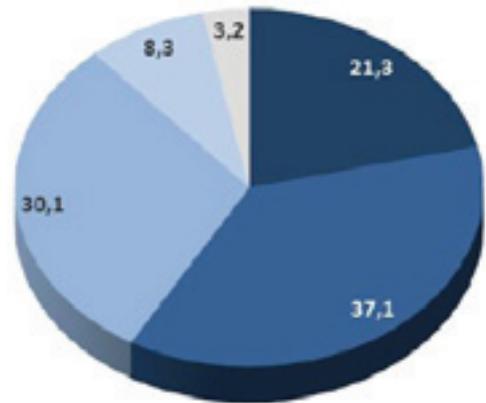
Report Mainz: "Was wäre wenn Sie jetzt ein Medikament verwechseln würden?"

Schwester: "Das wär gefährlich, sehr gefährlich."

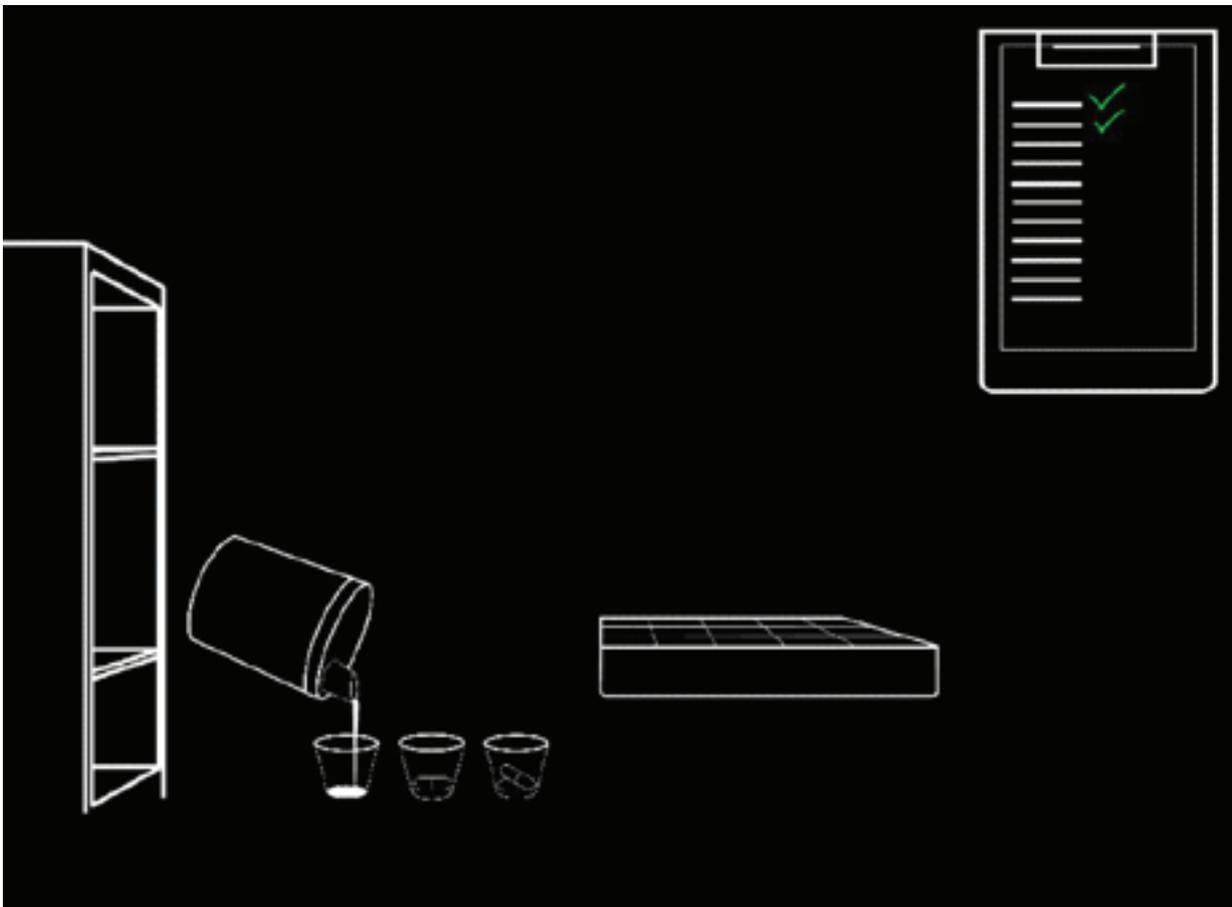
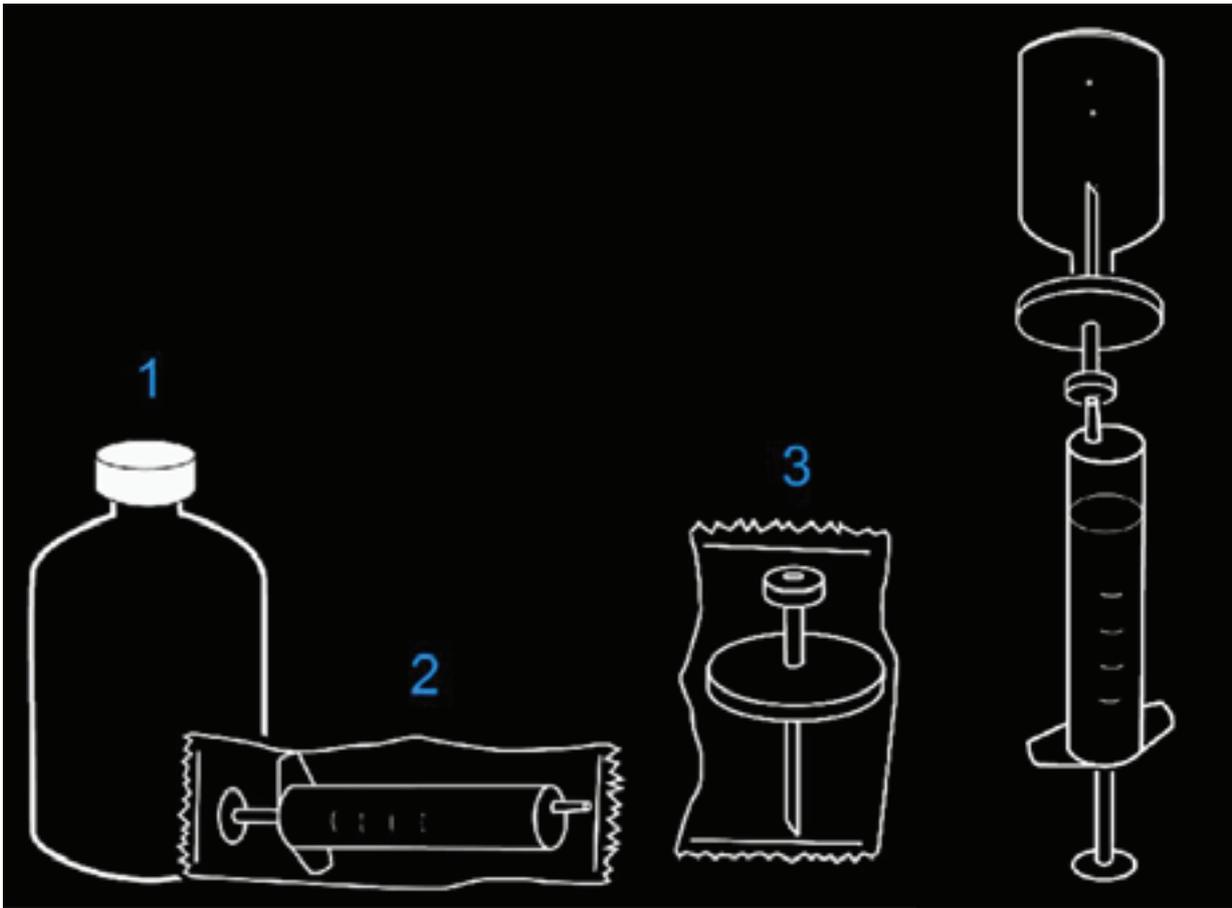


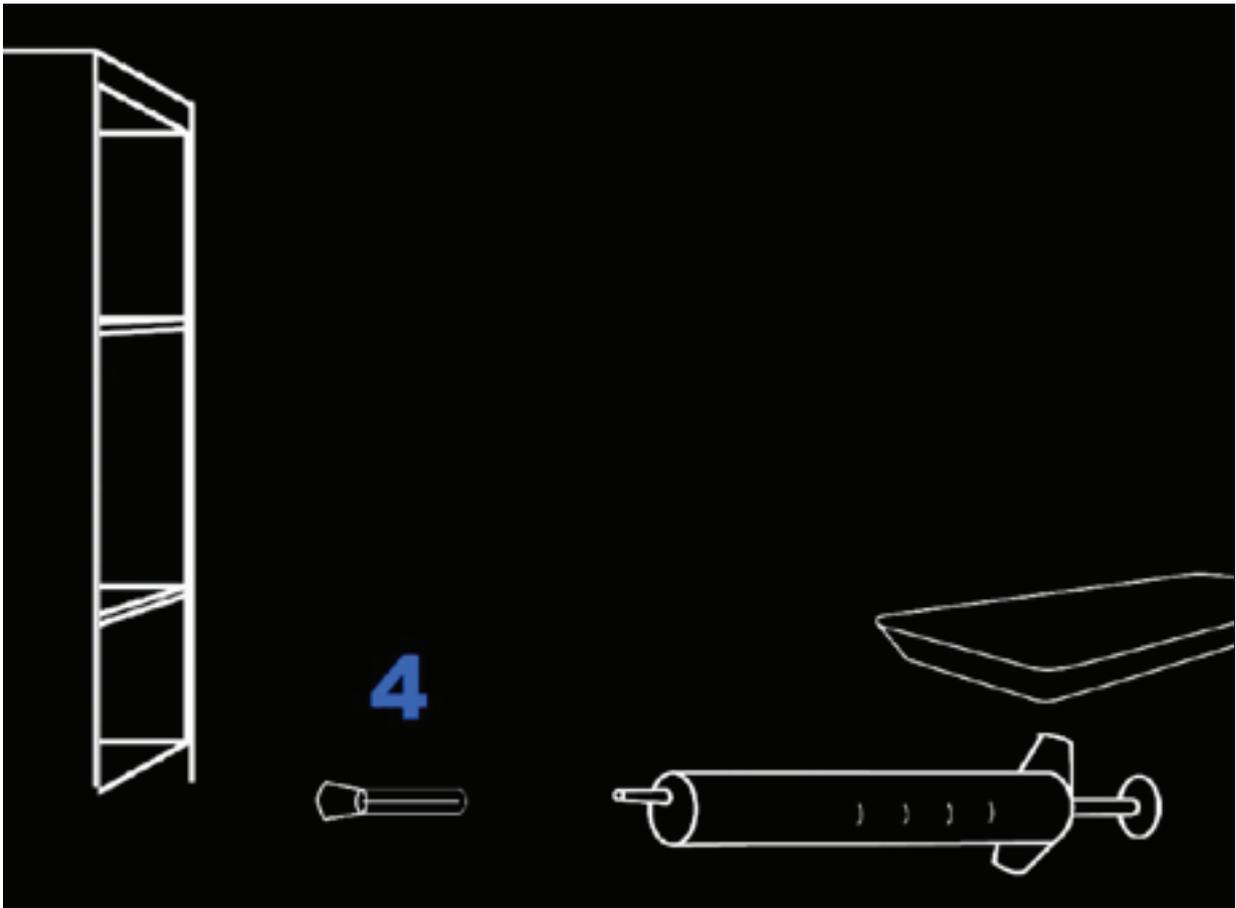
Durch verbesserte Arbeitsabläufe könnten Zeitressourcen eingespart werden, die für die Patientenversorgung eingesetzt werden könnten? (Pflegethermometer 2009)

- trifft voll zu
- trifft eher zu
- trifft eher nicht zu
- trifft gar nicht zu
- keine Angabe



Durch den Einsatz des Roboters SODALIS bekommt die Pflegekraft mehr Zeit, sich mit den Patienten zu beschäftigen. Die einerseits wiederholungsintensive, andererseits wegen ihrer möglichen Auswirkungen sehr verantwortungsvolle Aufgabe der Medikamentierung, die zudem oft noch mit hoch giftigen Chemikalien verbunden ist, kann von einem Roboter zuverlässig erledigt werden.



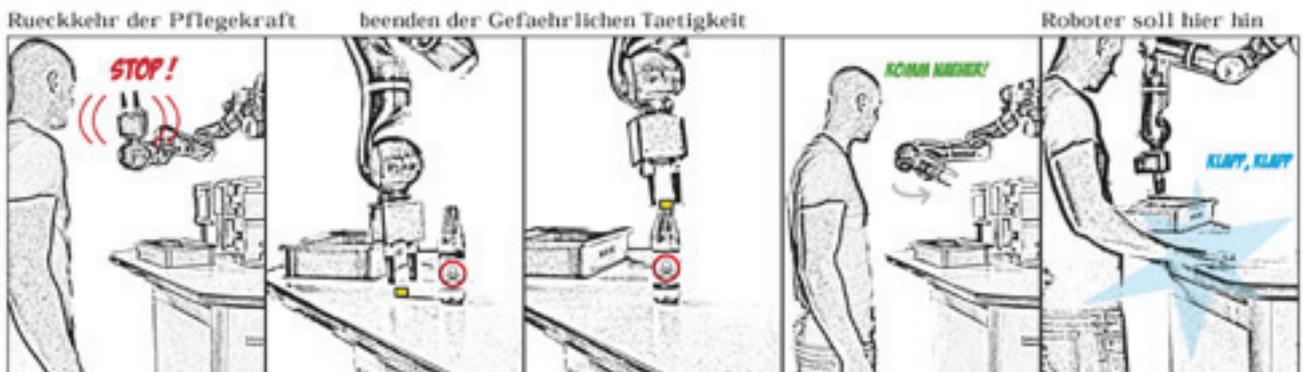
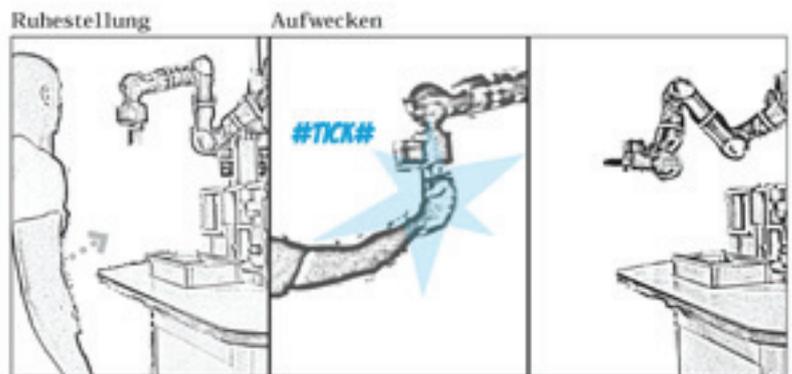
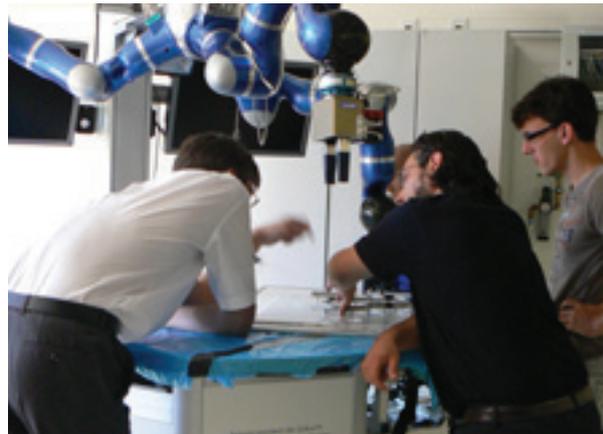


Die Arbeitsschritte einer Pflegekraft bei der Medikamentierung konnten aus Dokumentationen wie, "3sat: Pflegekräfte unter Dauerstress" sehr gut abgelesen werden. Das Szenario aus dem Film setzt sich aus zwei Tätigkeiten zusammen. Die erste, mit den Ziffern eins bis vier gekennzeichnet, ist die Vorbereitung von Spritzen, die später verschiedenen Patienten verabreicht werden. Die zweite Tätigkeit, besteht aus dem Medikamente verteilen.

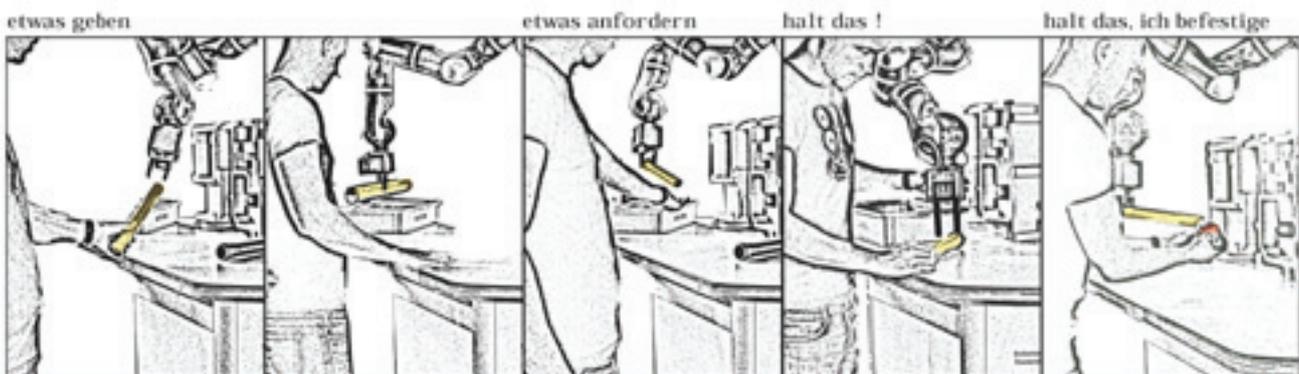
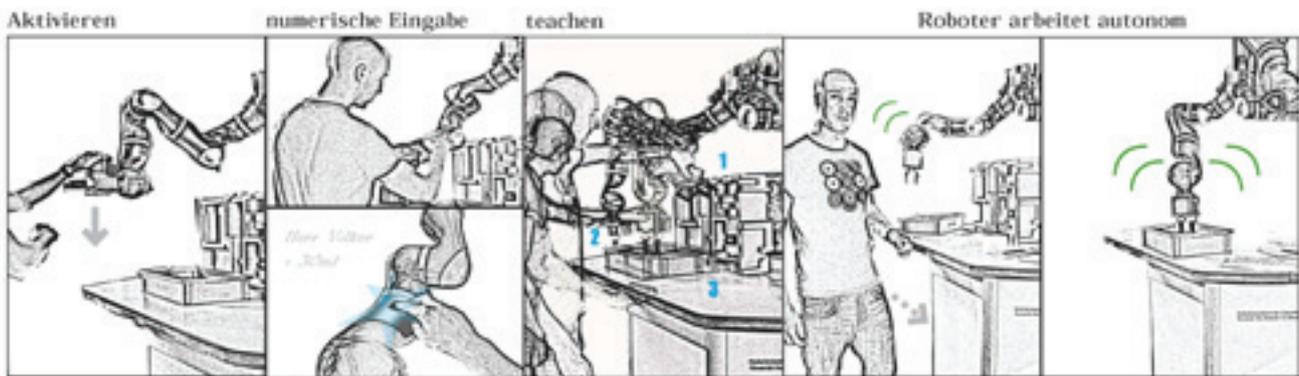
Da zwar die Tätigkeiten, aber nicht jede einzelne Handlung komplett in dem Film zu sehen sind, habe ich die Lücken mit Flash Animationen gefüllt, um die Objekte noch einmal genauer zu zeigen und den Handlungsstrang zu verdeutlichen.

Storyboard

Mittels dieses Storyboards (Auszug) wurden die Gesten und Interaktionen aus den Versuchen in das Krankenhaus Szenario integriert. Außerdem wurde visualisiert, wie die vorhandenen besonderen Fähigkeiten des Roboters im Szenario genutzt werden können. Das Storyboard bildete eine Gesprächsgrundlage, welche Interaktionen wie realisiert werden können, und welche noch hinzugefügt oder geändert werden.



Die Tätigkeiten der Pflegekraft wurden teilweise durch Arbeiten des Roboters ersetzt. Trotzdem sind Arbeitssituationen unvermeidlich, in denen eine Pflegekraft mit dem Roboter zusammen trifft, während dieser mit sensiblen oder gefährlichen Tätigkeiten beschäftigt ist. Für diese Situationen steht das Repertoire der Gesten zur Verfügung. Der Roboter reagiert und zeigt "Stop!", um die Pflegekraft zu warnen. Der Roboter kann darüberhinaus als "dritter Arm" genutzt werden, oder beim Erkennen von Fehlern Hilfestellung geben.



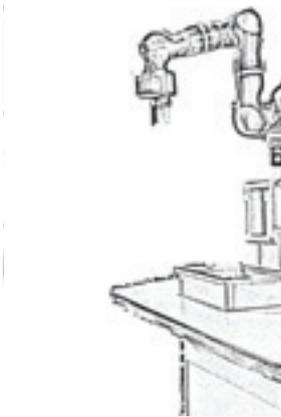
Statusanzeige_passiv_visuelle Gesten

Der Roboter kann durch seine verschiedenen Gesten in der Ruhestellung auf eindeutige Art und Weise Auskunft über seinen derzeitigen Modus geben. Steht der Roboter im Sleep Modus, im virtuellen Ruhefeld das sich in oberer Greifhöhe befindet, ist für den Anwender sofort klar, dass der Roboter vom vorherigen Benutzer bewußt in diesen Zustand zurück gebracht wurde und nun bereit für neue Tätigkeiten ist. Steht der Roboter in Standby-Stellung, hat er

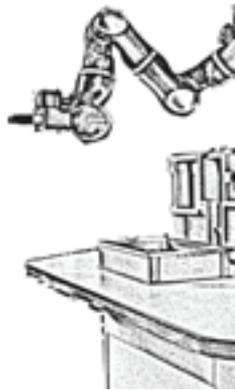
eine Aufgabe beendet und ist selbstständig in die Standby-Position zurückgefahren. Der Roboter kann jetzt entweder zum endgültigen abschließen der Aktion in den Sleep Modus zurück gehoben werden oder mit neuen Aufgaben betraut werden.

Steht der Roboter in keiner der ersten Modi, sondern in einer anderen, meist willkürlichen Stellung, ist ein Fehler aufgetreten und muss behoben werden.

Sleep



Standby



Fehlermeldung

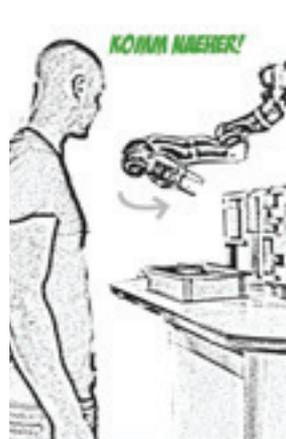
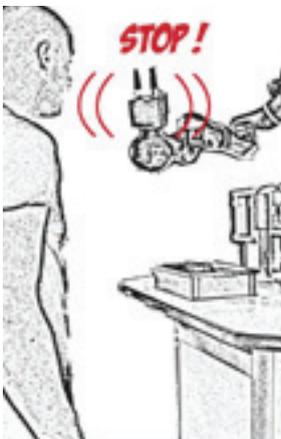


Statusanzeige_aktiv_visuelle Gesten

Der Roboter kann während einer Tätigkeit über Gesten Auskunft über mögliche Gefahren, Fehler des Anwenders, Aufforderungen oder Aktionsabschlüsse geben. Diese Unterteilung des passiven und aktiven Status ist von der menschlichen Kommunikation abgeleitet. So kann an der jeweiligen Stellung des Körpers eines Menschen intuitiv dessen Situation erkannt werden.

Während einer Tätigkeit kann durch Aktionitierende, synchronisierende und bendende Gesten kommuniziert werden.

Da der vom DLR verwendete Roboter drei Arme hat, ist auch während einer Tätigkeit stets ein Arm zur Verfügung um die Geste anzuzeigen.



physische Manipulation_haptische Gesten

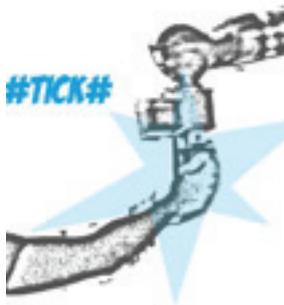
Unter die haptischen Manipulationsgesten fallen Aktionen zum Aktivieren des Roboters wie das Anticken des Greifers, um den Roboter aus dem Sleep Modus zu wecken. Das Herunterdrücken des waagerechten Greifers, um den Roboter aus dem Standby zu bewegen, um ihm neue Tätigkeiten zu teachen, oder einfach näher an sich heranzuziehen, um ihn per Touchpanel zu bedienen ist eine weitere.

An dieser Stelle ist die besondere Fähigkeit des Schwereloszustandes diese Roboters von Vorteil.

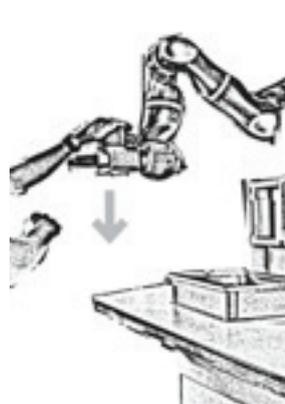
Touch Display

Über das Touchdisplay kann direkt am Roboter, über eine vereinfachte Bedienstruktur umprogrammiert, oder genaue numerische Werte eingegeben werden.

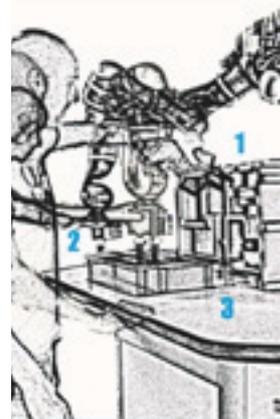
aufwecken



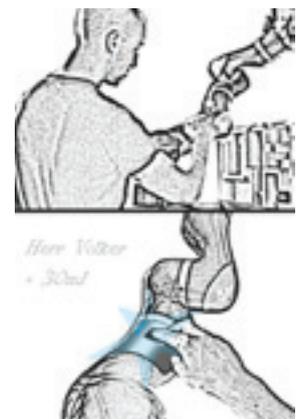
heranziehen



teachen



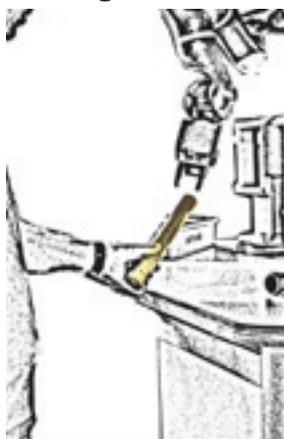
Eingabe



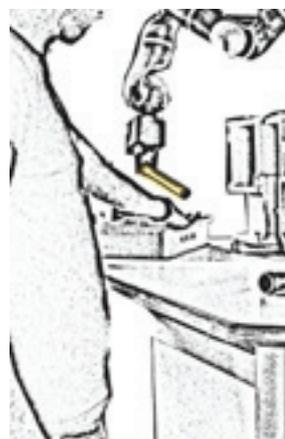
Kooperation_geben / nehmen

Durch Anreichen von Gegenständen registriert sowohl die Sensorik des Roboters das sich Nähern eines Gegenstandes, als auch der Mensch versteht intuitiv dass er einen Gegenstand nehmen soll, wenn ihm dieser gereicht wird. Durch eine Handgeste können auch Gegenstände angefordert werden.

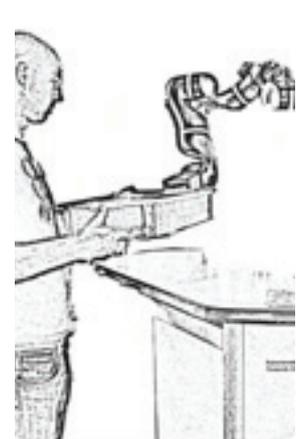
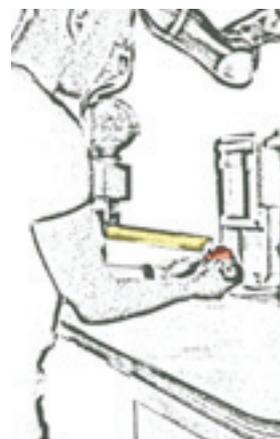
etwas geben



etwas anfordern



etwas zusammenführen etwas anreichen





Philipp Becker, Medizinstudent

Mit diesem Film im Gepäck wurde das Gespräch mit dem Medizinstudent Philipp gesucht, um das Szenario so wirklichkeitsnah wie möglich zu gestalten. Er konnte einige nützliche Hinweise geben, wie der Arbeitsablauf aus Sicht des Personals logischer und effizienter gestaltet werden kann.

So kann z.B. die Änderung von Dosierungen direkt vom Arzt per PC vorgenommen werden, oder der Roboter holt sich die Medizin selbst aus dem vorsortierten Schrank. Das spart Zeit, Energie und schaltet weitere Fehlerquellen aus.



Bild.1: Programmiersystematik am PC

Der detaillierte Film diente den Wissenschaftlern nun als Vorlage zur Implementierung der Gesten und Interaktionen. Außerdem wurden Aktionen wie Spritze aufziehen, Tabletten sortieren und Box übergeben, mit den medizinischen Utensilien umgesetzt. Es mussten Lösungen gefunden werden, diese Arbeitsschritte und

Interaktionen mit den Mitteln der Technik zu verwirklichen, da der Anspruch darin bestand, diese Problemstellungen nicht nur einmalig für den Film zu lösen, sondern endgültig auch für weitere Anwendungen.



Bild.2: medizinische Utensilien

Die Gesten der vorangegangenen Versuche wurden dem Industrieroboter durch abfahren der Bewegungen im Zero Gravity Mode ge-teached.

Nun konnte getestet werden ob die Gesten auch erkannt werden, wenn sie von einem Industrieroboter ausgeführt werden, der optisch kaum mehr Assoziationsmöglichkeiten zu einem Menschen bietet. Der neu gestaltete Greifer ist dafür als Modell an den Roboterarm gekoppelt und soll die Gesten erkennbar machen.

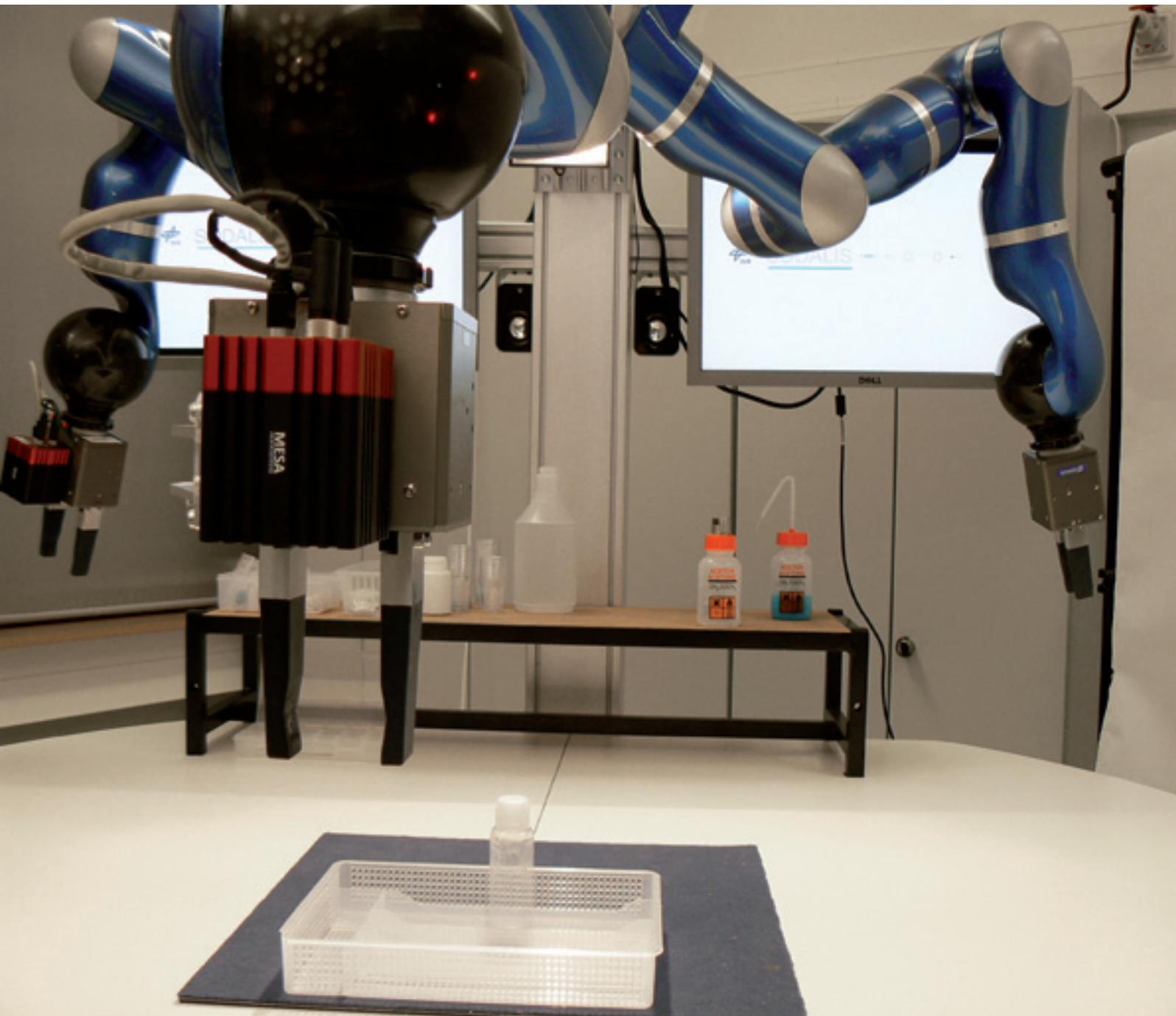
Im Gegensatz zur Abstraktion der Gesten vom Menschen zum athropomorphen Roboter, mussten die Gesten auf dem Industrieroboter teilweise recht stark verändert werden, um der neuen Position der Roboterarme über einem Tisch gerecht zu werden und die Ästhetik der Bewegungen auf ein technisches Gerät zu übertragen.

Befehl / Geste	Erkennungsrate		
	<i>Mensch</i>	<i>anthropomorpher Roboter</i>	<i>Leichtbauroboter</i>
_nein	98 %	85 %	58 %
_dieses, dahin!	88 %	100 %	90 %
_geh weg !	93 %	48 %	84 %
_höher	60 %	43 %	
_langsam	97 %	72 %	4 %
_aus dem Weg!	40 %	26 %	
_drehen	72 %	39 %	
_darunter	13 %	22 %	
_Gegenstand geben	28 %	52 %	71 %
_mach weiter	30 %	26 %	
_komm her	97 %	96 %	47 %
_winken	80 %	74 %	30 %
_Stop!	93 %	98 %	92 %
_dieses hier!	93 %	94 %	84 %
_gib mal!	23 %	80 %	39 %
_tiefer	43 %	09 %	
_Achtung!	97 %	94 %	68 %
_keine Ahnung	72 %	83 %	17 %
_komm näher!	98 %	98 %	26 %
_Gegenstand zeigen	80 %	70 %	63 %

sehr gut
gut
nicht erkannt
zu Überarbeiten

Mit den beim Industrieroboter als erkennbar getesteten Gesten wurde nun ein Film mit Interaktionen zwischen einem Menschen und dem Leichtbauroboter umgesetzt. Die Handlung orientieren sich weiterhin, an den aus dem Krankenhausalltag abgeleiteten Tätigkeiten einer Pflegekraft. Der Roboter hat jetzt alle Funktionen die er für eine nonverbale Interaktion und eine erfolgreiche Zusammenarbeit mit einem Menschen für dieses Arbeitsszenario braucht.





In der Recherche hat sich gezeigt, dass die Forschung zur roboterseitigen Interpretation von Gesten und Mimik des Menschen ein viel behandeltes Thema ist. Das Interpretieren von Gestik des Roboters durch den Menschen innerhalb einer Arbeitstätigkeit wird aber noch wenig erforscht. Um eine intuitive Kommunikation zwischen Mensch und Roboter zu gewährleisten, wurden Interaktionen zwischen Menschen während alltäglichen Arbeiten dokumentiert und über Tests abstrahiert, sodass die Gesten schließlich erkennbar auf einem Industrieroboter ausgeführt werden können. Aus Recherchen über die Eigenschaften von Gesten, den Tests und Versuchen am Roboter haben sich Anforderungen ergeben, die in das Design einer neuen Hardware eingeflossen sind.

Das Ergebnis ist das Design für einen Greifer der für das Darstellen von Gesten geeignet ist und ein Repertoire von Interaktionen und Gesten, die ein Industrieroboter am Institut für Robotik und Mechatronik innerhalb eines realistischen Arbeitsszenarios in Zusammenarbeit mit einem Menschen ausführen kann.

Gesten kommen im Alltag zwischen Menschen sehr häufig vor, jedoch meist in der Form von Redebegleitenden Gesten, also zur Unterstützung des gesprochenen Wortes. Wenn auf die Sprache als Verständigungsmittel verzichtet wird, müssen Gesten ungleich mehr Inhalt vermitteln als in Kombination mit Worten. Der Kontext, in der die Geste interpretiert werden muss, gewinnt zunehmend an Bedeutung für das Verstehen der Information, je weniger eindeutig die Geste ist. Das führt dazu, dass bei den Tests unter Laborbedingungen bestimmte Gesten nicht erkannt werden weil eine Verbindung zu einem Objekt oder zu einem Kontext fehlt. Deshalb kann es sein, dass Gesten frühzeitig aus der weiteren Betrachtung fallen da sie in den Tests schlecht abgeschnitten haben, obwohl sie später in Verbindung mit anderen Arbeitsabläufen in diesem Szenario funktionieren würden.

Eine weitere Schwierigkeit ist das Übertragen des Gestendesigns von Mensch und humanoidem Roboter auf den Industrieroboter. Durch die Position des Roboterarmes und dessen Geometrie, ist ein 1:1 Übertrag der Geste nicht möglich. Der Abstraktionsgrad des Gestendesigns vom humanoiden Roboter zum Industrieroboter ist also höher, als von der menschlichen Geste zu der des humanoiden Roboters. Die Theoretischen Grundlagen der Gestenforschung spielen in diesem Teil des Prozesses eine besondere Rolle, da in diesem Abstraktionsgrad einer Geste das richtige Gleichgewicht aus Geschwindigkeit, Beschleunigung, Handstellung und Bezug zum Umfeld wie zum Beispiel das richtige Arbeitsszenario, die Erkennbarkeit der Geste entscheidend beeinflusst. Für die Darstellung des Industrieroboters mussten Gesten teilweise verändert und neu festgelegt werden. Das kann dazu führen, dass Gesten die in den vorangegangenen Versuchen gut erkannt wurden, am Industrieroboter weniger gut erkannt werden.



Aus den Ergebnissen der Bachelor-Thesis ergibt sich die Möglichkeit, die Mensch-Roboter-Interaktion innerhalb eines realen Kontexts zu diskutieren.

Zunächst muss die Integration eines robotischen Co-Workers in das erarbeitete Arbeitsszenario unter Hinzuziehen von Fachpersonal aus einem Krankenhaus geprüft und wenn nötig angepasst, beziehungsweise genauer spezifiziert werden. Daher kann eine folgende Aufgabe darin bestehen, die erarbeiteten Gesten im Kontext dieser klar definierten Arbeitstätigkeit auf Erkennbarkeit zu testen. Aus diesen genauen Tätigkeiten können wiederum spezifische Anforderungen für eine Evaluierung des neuen Greifers bezogen werden. Die Relevanz des bisher getesteten Gestenrepertoires kann dann erneut überprüft und gegebenenfalls erweitert werden. Eine Erweiterung des Gestenrepertoires kann über weitere Arbeitsszenarien aus anderen Kontexten, mit eigenen Anforderungen an die Interaktion stattfinden.

- Andreas Wege**, Mechanical Design and Motion Control of a HandExoskeleton for Rehabilitation
- Batu Akan, Baran Cürüklü, Giacomo Spampinato, Lars Asplund**, Towards Robust Human Robot Collaboration in Industrial Environments (2006)
- Breazeal, C.**, Tutelage and Collaboration for Humanoid Robots. In: Int. J. of Humanoid Robotics (2004)
- Breazeal C.**, Towards sociable robots (2003)
- Breazeal C.**, Designing sociable robots (2002)
- Charles Rich, Brett Ponsler, Aaron Holroyd and Candace L. Sidner**, Recognizing Engagement in Human-Robot Interaction, Computer Science Department, Worcester Polytechnic Institute
- Chen, Tiffany u. Kemp, Charles**, Lead Me by the Hand: Evaluation of a Direct Physical Interface for Nursing Assistant Robots (2008)
- Clark, E.V.**, Pointing: where language, culture, and cognition meet: Pointing and Placing (2003)
- Chovil N.**, Social determinants of facial displays (1991)
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)**, Konzepte für den Roboterassistenten der Zukunft Towards the Robotic Co-Worker, (8/2004)
- Donath J.**, Mediated faces (2004)
- Duffy BR**, The social robot (2000)
- Duffy BR**, What is socialrobot? (1999)
- Ekman u. Friesen**, The repertoire of nonverbal behavior : categories, origins, usage and coding (1969)
- von Foerster H.**, Wissen und Gewissen (1993)
- Guthrie S.E.**, Anthropomorphism: A definition and a theory (1997)
- Hegel, Frank**, Aspekte zur Gestalt bei sozialen Robotern (2009)
- Hegel, Frank**, Understanding social robots (2009)
- Hofmann, Nils**, Videobasierte Handlungserkennung für die natürliche Mensch-Maschine-Interaktion (2007)
- Kendon, A.**, Gesture: Visible Action as Utterance. Cambridge (2004)
- <http://www.kuka-robotics.com/germany/de/products/controllers/kcp/start.htm>
- Laurel D. Riek**, Cooperative Gestures: Effective Signaling for Humanoid Robots, University of Cambridge, UK (2009)
- Maas, JF**, Dynamische Themenerkennung in situierter Mensch-Roboter-Kommunikation (2007)
- Maynard Smith J. und Harper D.**, Animal signals (2003) **Robot Institute of Amerika (F.I.A)**
- Nöth, Winfried**, Handbuch der Semiotik. 2. (2000)
- Paepcke, Steffi & Leila Takayama**, Judging a Bot By Its Cover: An Experiment on Expectation Setting for Personal Robots (2009)
- Saerbeck, Martin**, Perception of Affect Elicited by Robot Motion, Philips Research High Tech Campus Eindhoven, The Netherland (2008)
- http://www.smerobot.org/14_automatica/download/SMErobot_DataSheet_WorkersThird-Hand.pdf
- Watzlawick, Paul**, Menschliche Kommunikation (1971)



Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt zu haben. Alle Quellen und Zitate wurden von mir gekennzeichnet.

München, den 26.09.2010



Tobias Ende
Mülheimer Strasse 50
45145 Essen

tobiende@aol.com
0176 203 90 664

