



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

# Ausarbeitung zum Masterseminar

Christoph Schmiedecke

Entwicklung einer kombinierten inversen  
Kinematik für einen mobilen Roboterarm und  
seine mobile Plattform

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung</b>	<b>3</b>
1.1 Motivation . . . . .	3
1.2 Zielsetzung . . . . .	3
<b>2 Rückblick</b>	<b>4</b>
2.1 Anwendung 1 . . . . .	4
2.2 Projekt 1 . . . . .	5
2.3 Anwendung 2 . . . . .	5
2.4 Projekt 2 . . . . .	6
<b>3 Masterarbeitsthema</b>	<b>7</b>
3.1 Idee . . . . .	7
3.2 Analyse möglicher Problemstellungen und Herausforderungen . . . . .	7
3.2.1 Betrachtung der Problemstellungen . . . . .	7
3.2.2 Herausforderungen bei der Realisierung . . . . .	10
3.3 Erweiterungen und Ausbaumöglichkeiten . . . . .	12
<b>4 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>13</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>14</b>

# 1 Einführung

Mit Servicerobotern verbindet man im Allgemeinen zwei Eigenschaften. Sie bewegen sich im Umfeld des Menschen und sie erledigen für ihn Aufgaben (vgl. Schraft u. a. (2004)). Aus dieser Aufgabenstellung ergeben sich bestimmte Herausforderungen für den Aufbau von Robotern. Um mit seiner Umgebung interagieren zu können benötigt der Roboter einen Effektor, also eine Art Arm und er muss sich bewegen können, also über eine bewegliche Plattform verfügen.

## 1.1 Motivation

Normalerweise verfügen Roboter über eine Steuerungseinheit für die Bewegungsplattform und eine für den Effektor, die die entsprechenden Bewegungen steuern. Es können beliebige Effektoren und mobile Plattformen kombiniert werden. Eine allgemeinere Möglichkeit besteht in der Entwicklung einer kombinierten Steuerungslösung, die nicht auf einen Robotertyp festgelegt ist und leicht erweitert beziehungsweise angepasst werden kann, wenn der verwendete Effektor oder die mobile Plattform geändert wird.

## 1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Ausarbeitung ist die Auseinandersetzung mit der Theorie eines solchen kombinierten Steuerungsansatzes und die Aufzeigung möglicher Problemstellungen und Herausforderungen in Hinblick auf eine mögliche Realisierung in einer Masterarbeit. Hierbei wird auf die bereits erworbenen theoretischen Kenntnisse zur Steuerung eines Effektors (vgl. Abschnitt 2.1) und einer ersten virtuellen Realisierung in Matlab (vgl. Abschnitt 2.2) zurückgegriffen. Begleitend zu den theoretischen Überlegungen dieser Ausarbeitung erfolgt eine stark vereinfachte Realisierung in Matlab im Zuge der Veranstaltung „Projekt 2“. Die Ausarbeitung mit entsprechenden Ergebnissen liegt zu diesem Zeitpunkt noch nicht vor.

## 2 Rückblick

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die bisher im Masterstudiengang angestellten theoretischen Überlegungen und praktischen Umsetzungen aus den Veranstaltungen Anwendung 1, Anwendung 2, sowie Projekt 1 und bildet eine Überleitung auf die im folgenden Kapitel „Masterarbeit“ geführten theoretischen Überlegungen.

### 2.1 Anwendung 1

Die Veranstaltung Anwendung 1 dient zur theoretischen Aufbereitung eines Themas, welches in einem Vortrag und einer abschließenden Ausarbeitung präsentiert wird. Hiermit kann bereits der erste Schritt in Richtung Masterarbeit gesetzt werden. Alle folgenden Veranstaltungen bauen somit hierauf auf.

Das gewählte Themengebiet von Anwendung 1 beschäftigt sich mit der Kinematik von Robotern. Der Arbeitstitel lautet: „Entwicklung einer allgemeine inversen Kinematik“ (Schmiedecke (2010b)). Also einer Kinematik, welche die Steuerung eines beliebigen Roboterarms ermöglichen soll. Bei der inversen Kinematik erfolgt die Eingabe von Daten in Form von gewünschten Zielpositionen, zu denen sich der Endeffektor des Roboterarms bewegen soll. Die inverse Kinematik berechnet dabei die für das Erreichen der Zielposition nötigen Gelenkstellungen des Roboterarms.

Im Vordergrund stehen hierbei die Gewinnung eines grundlegenden Verständnisses für Roboter und das Verstehen von grundlegenden theoretischen Kenntnissen zur Steuerung von Robotern. Im Einzelnen bedeutet dies, den Bewegungsapparat, den Bewegungsablauf und die Bestandteile eines Roboters zu verstehen:

- *Steuerung über Vorwärts- / Rückwärtskinematik (inverse Kinematik):* Wie bringt man einen Roboter dazu, an gewünschte Zielkoordinaten zu greifen?
- *Zusammenhang der Gelenkkoordinatensysteme:* Die Berechnung der inversen Kinematik erfolgt mit Hilfe des Denavit-Hartenberg-Verfahrens, welches für jedes vorhandene Gelenk ein eigenes Koordinatensystem vorsieht.
- *Anwendung des Denavit-Hartenberg-Verfahrens:* Das Denavit-Hartenberg-Verfahren rechnet gegebene Weltkoordinaten über Multiplikation von Transformationsmatrizen in Zielkoordinaten des Endeffektors um. Die Transformationsmatrizen entstehen durch die Verknüpfung der Gelenkkoordinatensysteme.
- *Problemstellungen im kinematischen Umfeld:* Für das Erreichen einer Zielposition gibt es häufig mehrere Lösungen. Wie wird mit solchen Situationen umgegangen?

Nachdem entsprechende Grundkenntnisse zum Thema gesammelt worden sind, muss das weitere Vorgehen geplant werden. Es stellt sich die Frage wie eine anwenderfreundliche Robotersteuerung aussehen muss. Dafür werden praktische Erfahrungen im Umgang mit einer inversen Kinematik benötigt.

## 2.2 Projekt 1

Die Veranstaltung Projekt 1 ermöglicht es, die in Anwendung 1 „Erste Schritte zur Entwicklung einer allgemeinen dynamischen inversen Kinematik“ (Schmiedecke (2010c)) erworbenen Kenntnisse praktisch umzusetzen.

Im Mittelpunkt steht die Entwicklung einer einfachen inversen Kinematik eines Gelenkarmroboters mit zwei Freiheitsgraden (2DOF). Dieser ist in seinem Aufbau sehr einfach und erlaubt daher eine leichte manuelle Kontrolle von Berechnungen und Bewegungen. Bei der Entwicklung werden sämtliche Einzelschritte zur Entwicklung der inversen Kinematik, vom Aufstellen der Vorwärtskinematik, der Transformationsmatrizen, der inversen Kinematik und den damit verbundenen partiellen Ableitungen (zur Berechnung der Koordinaten aus der inversen Kinematik wird die Notation über die Jacobi-Matrix verwendet) „manuell“ angewendet. Es gibt verschiedenen Tools (Matlab, Maple, etc.), die bei der Berechnung der inversen Kinematik Aufgaben für den Entwickler übernehmen. „Manuell“ bedeutet im Zuge dieser Ausarbeitung, dass auf den Einsatz solcher Tools verzichtet wird und alle Berechnungen von Hand erfolgen. Letztendlich soll der Roboter über die Eingabe von Zielkoordinaten gesteuert werden. Die Berechnung der benötigten Winkelstellungen erfolgt durch die inverse Kinematik. In der Abbildung 2.1 ist der 2DOF-Roboter in seiner Matlab Implementierung abgebildet.

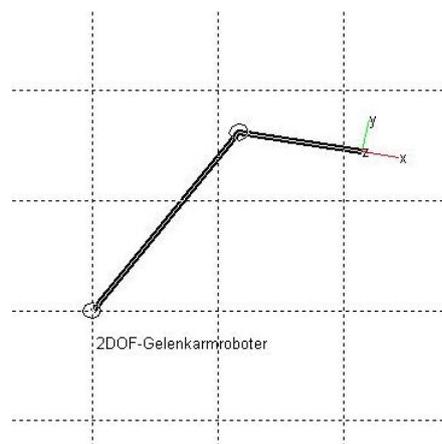


Abbildung 2.1: Implementierung des 2DOF-Roboters in Matlab

In Projekt 1 wird somit eine praktische Grundlage für weitere Überlegungen geschaffen.

## 2.3 Anwendung 2

Im Zuge der Veranstaltung Anwendung 2 werden weitere theoretische Überlegungen zum Thema Robotersteuerung angestellt. Da sich die bisherigen Untersuchungen nur auf eine fixe Steuerung beziehen, sollen nun auch Überlegungen angestellt werden, die einen mobilen Einsatz des Roboters betrachten.

Um eine umfassenden Aufgabenbetrachtung zu gewährleisten, findet eine „Differenzierung von Robotern in Industrie und Service“ (Schmiedecke (2010a)) statt.

Es werden Problemstellungen ermittelt, die bei der Steuerung von Robotern in verschiedenen Aufgabebereichen auftreten können und mögliche Lösungsansätze aufgezeigt. Hierbei sind vor allem die Problemstellungen von Interesse, die über die reine Steuerung des Arms hinausgehen.

Zur Ermittlung der Problemstellungen findet zunächst eine Analyse verschiedenster Aufgabenbereiche statt (z.B. Pick-and-Place, Bin-Picking, etc.). Dann erfolgt die Betrachtung der unterschiedlichen Herausforderungen und Problemstellungen die sich hieraus ergeben (Objekterkennung, Positionsbestimmung, Objektverfolgung in dynamischen Umgebungen, etc.).

## 2.4 Projekt 2

Die Veranstaltung Projekt 2 ist wie Projekt 1 praktisch ausgelegt und knüpft an diese an.

Der einfache 2DOF-Gelenkarmroboter aus Projekt 1 verfügt über eine feste Position im Raum und kann deshalb nur Ziele erreichen, die sich in Reichweite seines Arms befinden. Nun wird der 2DOF-Roboter um Schubachsen erweitert, wodurch er sich entlang der x- und y-Koordinatenachsen bewegen kann. Damit soll die Bewegung im Raum modelliert werden. Weitere Informationen zu diesen Überlegungen folgen im nächsten Kapitel. Dieses setzt sich mit den theoretischen Inhalten einer Kombination von Armsteuerung und Bewegung im Raum auseinander.

Die Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, wie sich die inverse Kinematik bei der Integration einer mobilen Plattform verändert. Wie erfolgt die mathematische Realisierung der Schubachsen im Zuge des Denavit-Hartenberg-Verfahrens, ergeben die Berechnungen sinnvolle Werte zur Steuerung des Roboters und wie verhält sich der Roboter in der Simulation (z.B. gleichmäßige Bewegung der Plattform bis in Armreichweite mit anschließender Greifbewegung; stockender Bewegungsablauf mit ständigem Wechsel zwischen Plattformbewegung und Greifversuch)? Welche Probleme können beobachtet werden, die einer Realisierung im Wege stehen?

Die gewonnen Erkenntnisse sollen helfen das Thema für die Masterarbeit entsprechend einzugrenzen bzw. zu erweitern oder ggf. zu ändern, wenn eine Realisierung auf diesem Wege nicht sinnvoll erscheint.

Nach der Durchführung von Projekt 2 sollen alle Informationen vorliegen, die für den Start in die Masterarbeit benötigt werden. Theoretische Problemstellungen wie die Steuerung und Einschränkung der Roboterbewegung, die Erstellung einer Trajektorienplanung, Hinderniserkennung und Kombination mit Sensoren, werden im nächsten Kapitel erörtert.

# 3 Masterarbeitsthema

Wie bereits im einleitenden Teil dieser Ausarbeitung beschrieben, dient diese Ausarbeitung zur Planung und Betrachtung eines möglichen Themas für die anstehende Masterarbeit und der damit verbundenen Problemanalyse und Aufgabeneinschätzung. Die aktuell untersuchte Thematik beschäftigt sich mit der Entwicklung einer kombinierten inversen Kinematik für einen Roboterarm und seiner mobilen Plattform. In Folgenden wird ein Einblick in die Idee des Themas gegeben und Problemstellungen und Herausforderungen betrachtet, die bei der Entwicklung eines solchen Ansatzes zu beachten sind.

## 3.1 Idee

Die Idee einer kombinierten inversen Kinematik besteht darin, die Trennung der Steuerung zwischen der Bewegung des Arms und der Bewegung der Plattform durch eine einzige kombinierte Steuerung zu ersetzen. Um die Steuerung allgemeingültig zu gestalten und nicht von vornherein auf einen Robotertyp oder eine mobile Plattform zu beschränken, erfolgt die Realisierung der räumlichen Bewegung durch Schubachsen. Ein solcher Ansatz beinhaltet keine physikalischen Begrenzungen der Bewegungsmöglichkeiten. Reale mobile Plattformen sind jedoch durch ihren Aufbau begrenzt. Die Einschränkung der Bewegungsmöglichkeiten innerhalb der Steuerung erfolgt im späteren Verlauf der kinematischen Berechnungen (z.B. durch fixe Werte im Denavit-Hartenberg-Verfahren), angepasst an die tatsächlichen physikalischen Eigenschaften des eingesetzten Roboters. Als mögliches Testsystem kann der Roboter des Robot Vision Labs der HAW Hamburg, Scitos G5 (MetraLabs GmbH (2011)), verwendet werden.

## 3.2 Analyse möglicher Problemstellungen und Herausforderungen

Im Zuge der Themenanalyse werden die Problemstellungen und Herausforderungen eines kombinierten Steuerungsansatzes untersucht.

### 3.2.1 Betrachtung der Problemstellungen

Der gewählte Ansatz vernachlässigt die physikalischen Begrenzungen des Roboterarms und seiner Plattform. In der Realität müssen diese Beschränkungen aber beachtet werden, um Schäden am Gerät und seiner Umgebung zu vermeiden. Dieser Abschnitt beschäftigt sich nun mit der Frage, welche Einschränkungen beachtet und entsprechend in die Steuerung integriert werden müssen. Hierbei handelt es sich zum Einen um die Realisierung der Kinematik und zum Anderen um die spätere Steuerung über eine zu entwickelnde Trajektorienplanung.

## Problemstellungen bei der Roboterbewegung

Im Folgenden werden Problemstellungen beschrieben die sich auf die Bewegung des Arms, die Bewegung des Roboters im Raum und die Bewegungsmöglichkeiten der mobilen Plattform beziehen.

### Armbewegung

Durch den physikalischen Aufbau der Gelenke des Roboterarms ist dieser in seiner Bewegungsfreiheit begrenzt. Die folgenden Betrachtungen beziehen sich also auf den Gelenkraum des Roboters. Jedes Gelenk hat nur einen bestimmten Bereich, in dem es Bewegungen durchführen kann. Auf der linken Seite der Abbildung 3.1 ist beispielhaft die Einschränkung von Robotergelenken dargestellt. Die Wand, auf Höhe der Achse von  $\theta_2$ , bildet die physikalische Grenzen des Bewegungsraums des Gelenks  $\theta_1$ . Somit kann das Gelenk  $\theta_1$  nur positive Winkel einnehmen. Die übrigen Gelenke sind in ihrer Bewegung nicht beschränkt. Wenn Bewegungen ausgeführt werden sollen, bei dem das Gelenk  $\theta_1$  eine Position in seinem negativen Gelenkwinkelbereich einnehmen soll, jenseits der der Achse von  $\theta_2$ , so muss diese Position über eine weite Bewegung in seinem positiven Gelenkwinkelbereich erfolgen. In der Realität verfügt fast jedes Gelenk über mehrere Einschränkungen, die bei der Entwicklung der Armtrajektorien beachtet werden müssen.

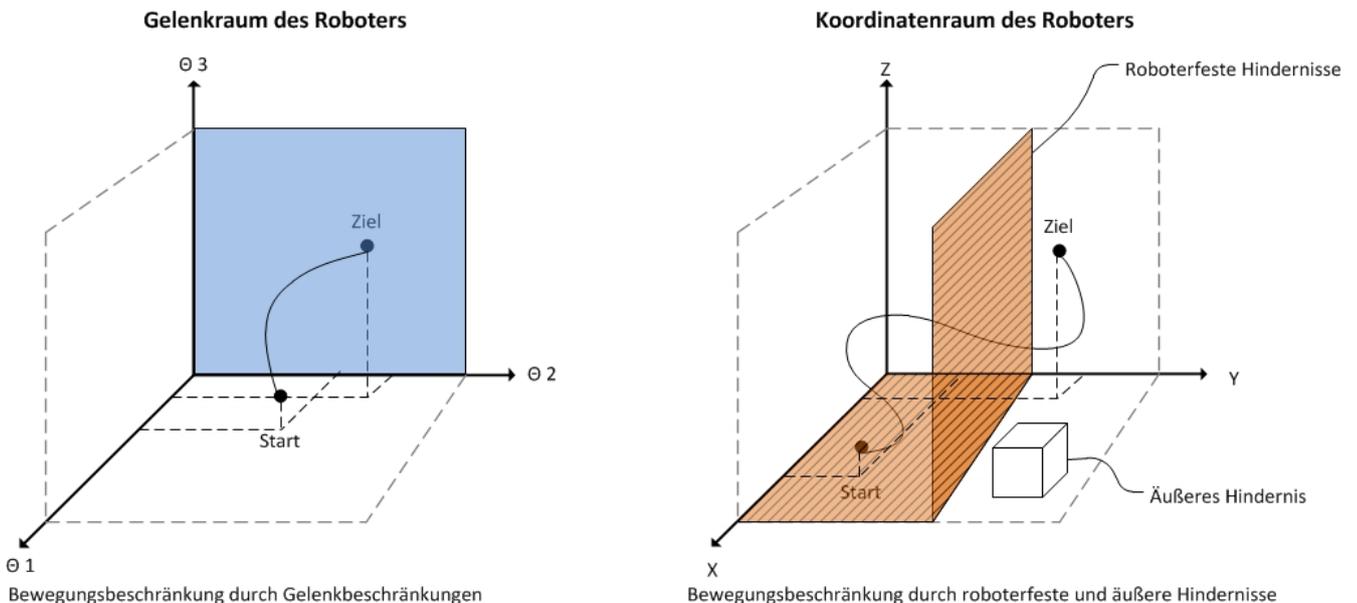


Abbildung 3.1: Einschränkung der Roboterbewegung durch die Gelenke des Roboters (links) und durch Hindernisse (rechts).

### Bewegung im Raum

Neben den Bewegungseinschränkungen im Gelenkraum des Roboters, müssen auch Einschränkungen im Koordinatenraum des Roboters beachtet werden. Dies wird wichtig, wenn nicht mehr die reine Armbewegung sondern auch die Bewegung des Roboters im Raum mit Hilfe der mobilen Plattform betrachtet wird. Hierbei ist zwischen roboterfesten und äußeren Hindernissen zu unterscheiden (vgl. rechte Seite der Abbildung 3.1). Bei roboterfesten Hindernissen handelt es sich um Hindernisse, die durch den physikalischen Aufbau des Roboters entstehen. Diese können Armteile, Gehäuseteile oder Sensoren sein, die für den Roboterarm virtuelle Wände darstellen. Es entsteht also ein Koordinatenraum, in dem der Roboter keine Bewegungen ausführen darf. Eine Trajektorie muss so geplant werden, dass sie diese Ausnahmereiche berücksichtigt. Unter äußeren Hindernissen versteht man Hindernisse im Raum, die nicht mit dem Roboter zusammenhängen. Hierbei kann es sich um feste Einbauten, bewegbare

Hindernisse oder um Menschen handeln, die in der Trajektorienplanung ebenfalls berücksichtigt werden müssen.

### Bewegungsmöglichkeiten der mobilen Plattform

Zusätzlich zu den Bewegungseinschränkungen im Raum durch Hindernisse, werden die Bewegungsmöglichkeiten auch durch die Bewegungseinschränkungen der mobilen Plattform begrenzt. Diese resultieren aus dem physikalischen Aufbau der Plattform. Es können nicht beliebige Trajektorien gewählt werden. Im Falle des Fahrgestells des Scitos G5 (vgl. Abbildung 3.2 links) heißt das, dass keine Drehungen auf der Stelle, also um den Mittelpunkt der Plattform, möglich sind, da sich die Drehachse nicht im Mittelpunkt der Plattform befindet. Diese Tatsache führt auch dazu, dass jegliche Art von Trajektorie auf einer Art Kreisbewegung hinausläuft (hierzu wurden bereits Überlegungen angestellt, die jedoch nicht Teil dieser Ausarbeitung sind). Die kinematische Realisierung erfolgt im Denavit-Hartenberg-Modell durch zwei Schubachsen und eine Drehachse (vgl. Abbildung 3.2 rechts). Hiermit können sämtliche Bewegungen im Raum realisiert werden. Eine Anpassung an die tatsächlichen Möglichkeiten der jeweils verwendeten mobilen Plattform erfolgt über die Einstellungen der Denavit-Hartenberg-Parameter innerhalb der kinematischen Berechnungen.

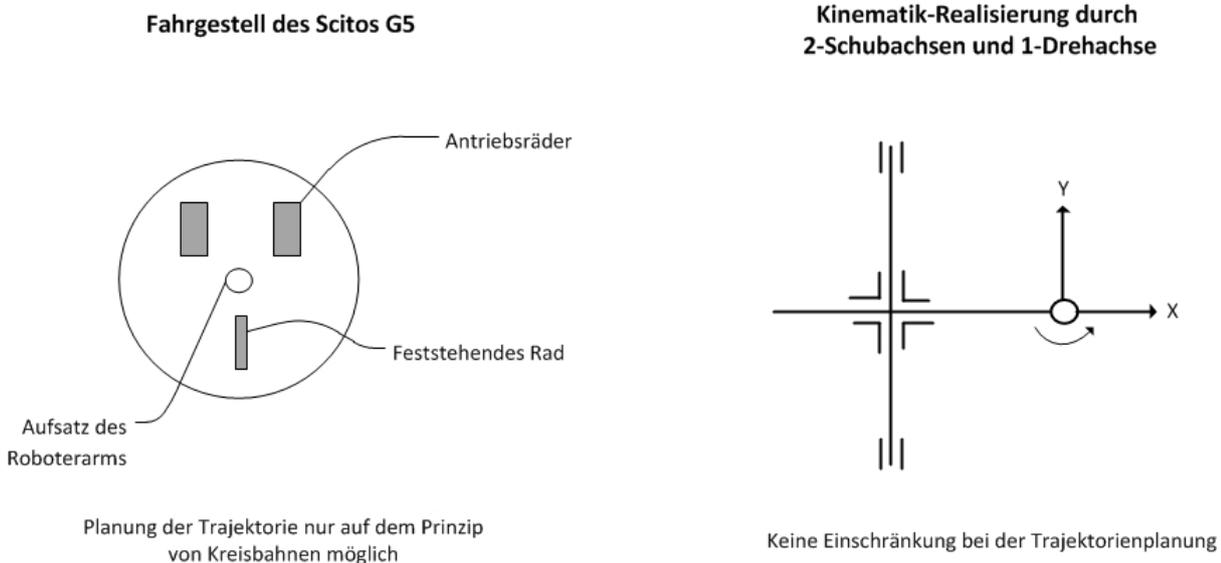


Abbildung 3.2: Einschränkung der Trajektorie der mobilen Plattform. Links: Die mobile Plattform des Scitos G5 aus dem Robot Vision Lab der HAW Hamburg. Rechts: Die geplante kinematische Realisierung der mobilen Plattform in der kombinierten Steuerung.

**Schlussfolgerung:** Die betrachteten Einschränkungen verdeutlichen, dass zwei kombinierte Trajektorienplanungen benötigt werden. Die Eine betrachtet die Einschränkungen im Gelenkraum des Roboters, die Andere die übrigen Einschränkungen bei der Bewegung im Raum. Wird eine Trajektorie berechnet, auf der sich Hindernisse befinden, muss diese verworfen und eine neue Trajektorie berechnet werden. Die entsprechenden Berechnungen erfolgen über die kombinierte Kinematik.

### **Armverhalten während der Fahrt**

Das Armverhalten während der Fahrt stellt zunächst nur ein kleineres Problem dar. Es muss überlegt werden, was mit dem Arm während der Bewegung im Raum oder der Anfahrt an ein Objekt geschehen soll. Naheliegender ist eine zusammengeklappte Position, bei der sich der Arm innerhalb des Radius der mobilen Plattform befindet und somit nicht an Hindernissen hängenbleiben oder Menschen verletzen bzw. Gegenstände im Umfeld beschädigen kann.

### **Zeitliche Bewegung des Roboters**

Bei der Bewegung des Roboters muss zum Einen die Bewegungsgeschwindigkeit des Roboters der Umgebung und den durchzuführenden Operationen (Greifvorgang, Bewegung im Raum, etc.) angepasst werden. Dies gilt besonders in hochdynamischen Umgebungen (vgl. Woesch und Neubauer (2001)). Zum Anderen müssen die mechanischen Begrenzungen der Roboterjelenke, also deren mögliche Gelenkgeschwindigkeiten, beachtet werden, um diese nicht zu beschädigen .

### **Mechanische Eigenschaften des Roboters**

Bei einem Roboter können verschiedene Gelenkeinstellungen zum selben Resultat führen. Beim Scitos G5 verfügen sowohl der Roboterarm als auch die mobile Plattform über eine Drehachse. Somit verfügt der Roboter über zwei mehr oder weniger redundante Drehachsen. Es muss also für verschiedene Szenarien festgelegt werden, welche Achse wann verwendet wird bzw. Vorrang hat.

### **Mathematische Probleme während der kinematischen Berechnungen**

Auch bei den ständig benötigten kinematischen Berechnungen können sich Probleme ergeben. Wie wird mit Situationen umgegangen, in der es beispielsweise keine oder mehrere Lösungen für das Erreichen einer Armposition gibt oder wenn eine Positionsänderung zu extremen Gelenkgeschwindigkeiten führt (vgl. Krasnych (2004))? Diese Problematik wirkt sich um so stärker aus, je komplexer die durchzuführende Bewegung ist. Da der kombinierte Steuerungsansatz häufig die komplette Trajektorie (Anfahrt und Greifbewegung) betrachtet, gibt es praktisch unendlich viele Bewegungsmöglichkeiten. Eine Möglichkeit zur Kontrolle der Bewegung könnte in der Anwendung von Näherungsverfahren liegen. Als Beispiel soll eine Bewegung des Roboters im Living Place Hamburg (Weg vom Wohnzimmer zur Küche) dienen. Anstatt die komplette und komplexe Trajektorie vom Start (Wohnzimmer) bis zum Ziel (Küche) zu planen, wird bspw. ein Punkt in der Nähe der Wohnzimmertür als erste Zwischenstation gewählt. Wird die Position erreicht, kann der nächste Streckenabschnitt (z.B. Durchfahrt durch den Flur) geplant werden. Dieser Vorgang kann beliebig häufig wiederholt und die Zwischenabschnitte beliebig klein gewählt werden. Somit wird das Auftreten von Fehlern verringert. Für eine solche Umsetzung werden jedoch noch weitere Überlegungen benötigt.

## **3.2.2 Herausforderungen bei der Realisierung**

Der folgende Teil beschäftigt sich mit den Herausforderungen bei der Realisierung einer kombinierten inversen Kinematik.

### **Einschränkung der kinematischen Berechnungen**

Wichtig für die kinematischen Berechnungen sind zum Einen die physikalischen Eigenschaften des Roboters, dieser kann nicht sämtliche Bewegungen durchführen, zum Anderen planerische Eigenschaften der Steuerung. So soll sich z.B. bei der Bewegung im Raum der Arm nicht bewegen oder die mobile Plattform während eines Greifvorgangs stillstehen. Die Einschränkungen müssen beim Aufstellen der inversen Kinematik berücksichtigt und fest einprogrammiert werden bzw. entsprechend den verschiedenen Phasen, Bewegung und Greifen, gesetzt oder gelöscht werden. Der Umfang der zu setzenden Parameter hängt auch vom jeweiligen Robotermodell und seinen mechanischen Fähigkeiten ab.

## **Eigene Trajektorienplanung**

Für die kombinierte Steuerung wird, wie bereits angedeutet, eine eigene Trajektorienplanung benötigt. Diese muss entsprechend der Roboterspezifikation überprüfen welche Roboter-, Arm- und Plattformbewegungen möglich sind und welche nicht. Zusätzlich spielt die räumlichen Situation eine wichtige Rolle. Es muss geprüft werden wie diese am besten analysiert, gespeichert oder aktualisiert wird. Die Probleme der Trajektorienplanung wurden bereits im vorherigen Abschnitt (3.2.1) näher betrachtet.

## **Objektanfahrt**

Bei der Problemstellung der Objektanfahrt handelt es sich nicht um ein direktes Problem der Trajektorienplanung. Vielmehr stellt sich die Frage nach optimalen Bewegungsstrategien. Wie erfolgt die Näherung an ein Objekt am besten? Soll eine möglichst geringe Armbewegung durchgeführt werden, um ein Objekt zu greifen oder lieber eine möglichst geringe Plattformbewegung erreicht werden?

## **Performance**

In welchem Zeitraum liegen die Berechnungen vor? Die Berechnungen müssen in einem vernünftigen Zeitrahmen vorliegen, um eine sinnvolle Steuerung des Roboters zu ermöglichen. Probleme werden vermutlich eher im Bereich der Trajektorienplanung auftreten als bei den kinematischen Berechnungen, da diese durchaus komplex werden kann. Des Weiteren ist zu Überprüfen, wie der Aufwand für die Anpassung an neue Robotertypen ist.

## **Implementierungsansätze**

Die aktuelle Entwicklung findet in der Robotics Toolbox von Matlab statt. Diese Entscheidung wurde im Bereich des Robot Vision Labs getroffen. Wenn die Steuerung virtuell entwickelt und getestet worden ist, kann sie für ein reales System übernommen werden. Zu diesem Zeitpunkt kann auch eine Aufwandsabschätzung für eine Portierung erfolgen.

## **Test verschiedener Entwicklungsstufen**

Da nicht sichergestellt ist, dass sich der geplante Ansatz auch realisieren lässt bzw. überhaupt sinnvoll ist, erfolgt die Realisierung stufenweise von einem Ansatz ohne Einschränkungen, über die Einbindung von Gelenkbeschränkungen bis hin zur Entwicklung der Gesamtsteuerung.

## **Praxistauglichkeit**

Es wird davon ausgegangen, dass die Steuerung im virtuellen Modell erfolgreich getestet worden ist. Nun soll diese auf einen realen Roboter angewendet und überprüft werden, ob sich der Roboter wie gewünscht verhält oder ob es Abweichungen gibt, so dass notwendige Korrekturen in der Steuerung vorgenommen werden können.

### 3.3 Erweiterungen und Ausbaumöglichkeiten

Die ersten Entwicklungsschritte bei der Entwicklung der Kinematik und der Trajektorienplanung basieren auf der manuellen Eingabe von Daten, Zielkoordinaten, Hindernissen, Zwischenpunkten auf der Trajektorie etc.. Zunächst wird nur ein einziger Robotertyp verwendet. Dieser Abschnitt befasst sich mit möglichen Erweiterungen und Automatisierungen der Kinematik und Trajektorienplanung durch die Verwendung von Sensoren, sowie Überlegungen, die für die Anwendung der Steuerung auf andere Robotertypen beachtet werden müssen.

#### Verwendung von Sensoren

Es gibt verschiedene Arten von Sensoren, die es dem Roboter ermöglichen sich in seiner Umgebung zu orientieren und zu bewegen. Hierbei kann zwischen robotereigenen (internen) und roboterfremden (externen) Sensoren unterschieden werden.

##### Robotereigene Sensoren

Bei robotereigenen Sensoren handelt es sich um Sensoren die direkt am Gehäuse oder Effektor des Roboters montiert sind. Der Scitos G5 verfügt beispielsweise über Sonar- und Lasersensoren, mit Hilfe derer er unter anderem Hindernisse erkennen oder Entfernungen zu Objekten bestimmen kann. Des Weiteren ist die Montage einer Kamera am Effektor des Roboters geplant mit der konkrete Objekte erkannt und aufgespürt werden können. In einem ersten Schritt könnten so Teile der manuellen Trajektorienplanung und die Bewegungen des Roboters mit Hilfe dieser Sensoren automatisiert werden. So kann z.B. ein konkretes Zielobjekte aufgespürt und dessen Position bestimmt werden. Die Trajektorie zum Zielobjekt würde weiterhin manuell erfolgen. Hindernisse auf dem Weg könnten jetzt aber bereits umgangen werden, da die vorhandenen Sensoren diese erkennen und eine Kollision vermeiden würden.

##### Roboterfremde Sensoren

Bei roboterfremden Sensoren handelt es sich um Sensoren die in der Umgebung des Roboters montiert sind. Dies könnten beispielsweise Raumkamas oder ein zentrales Raumsystem einer Wohnung, wie im Living Place Hamburg (HAW Hamburg Department Informatik (2011)), sein. Diese Systeme könnten dem Roboter z.B. das Auffinden von Objekten und die Bestimmung von Zielkoordinaten erleichtern bzw. abnehmen. Zusätzlich verfügt der Roboter über eine Karte der Umgebung (z.B. des Raumkarte des Living Place Hamburg, welche vom zentralen Raumsystem zur Verfügung gestellt wird) mit den sich darin befindlichen fixen Hindernissen.

#### Verwendung verschiedener Robotertypen und Endeffektoren

Abhängig vom Verlauf der Entwicklung ist es wünschenswert, die Steuerung auch auf verschiedene Robotertypen zu übertragen und zu testen. Hierbei können sich die Änderungen sowohl auf die mobile Plattform als auch auf den Effektor beziehen. Vermutlich treten bereits beim Austausch des Endeffektors umfangreiche Änderungen auf, die bei der Steuerung beachtet und ggf. integriert werden müssen. Möglicherweise bedarf es auch einer komplett anderen Greifstrategie (vgl. Zadel Ramos (2004)).

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Zu Beginn dieser Ausarbeitung wird ein Rückblick über die Veranstaltungen „Anwendung 1“, „Anwendung 2“ und „Projekt 1“ gegeben, im Zuge derer theoretische Überlegungen und praktische Implementationen stattfanden, die die Grundlage für die Überlegungen zu einem möglichen Masterarbeitsthema bilden.

Den Hauptteil dieser Ausarbeitung bildet die theoretische Betrachtung eines möglichen Masterarbeitsthemas, das sich mit der Entwicklung einer kombinierten inversen Kinematik für die Steuerung eines Roboterarms und seiner mobilen Plattform befasst. Der Schwerpunkt liegt in der Betrachtung möglicher Problemstellungen und den Herausforderungen, die bei der Entwicklung einer solchen Kinematik und der benötigten Trajektorienplanung entstehen können.

Die Grundidee sieht zum jetzigen Zeitpunkt eine manuelle Realisierung der kinematischen Berechnungen und der Trajektorienplanung vor. In weiteren Schritten kann diese über eine Kombination mit Sensoren automatisiert werden. Das Ziel ist eine vollautomatisierte Robotersteuerung, die komplexe Aufgaben durchführen kann (z.B. die eines Barkeepers (vgl. Wichert (2002))).

# Literaturverzeichnis

- [HAW Hamburg Department Informatik 2011] HAW HAMBURG DEPARTMENT INFORMATIK: *living place hamburg*. 2011. – URL [http://livingplace.informatik.haw-hamburg.de/blog/?page\\_id=47](http://livingplace.informatik.haw-hamburg.de/blog/?page_id=47). – Zuletzt abgerufen am: 22.02.2011
- [Krasnych 2004] KRASNYCH, Alexander: *Optisch geführtes Steuerungskonzept eines Roboters in Echtzeit*. 2004
- [MetraLabs GmbH 2011] METRALABS GMBH: *MetraLabs mobile robots*. 2011. – URL <http://www.metralabs.com>. – Zuletzt abgerufen am: 22.02.2011
- [Schmiedecke 2010a] SCHMIEDECKE, C: Differenzierung von Robotern in Industrie und Service - Probleme der Robotik bei mobilen Systemen. (2010)
- [Schmiedecke 2010b] SCHMIEDECKE, C: Entwicklung einer allgemeinen dynamischen inversen Kinematik. (2010)
- [Schmiedecke 2010c] SCHMIEDECKE, C: Erste Schritte zur Entwicklung einer allgemeinen inversen Kinematik. (2010)
- [Schraft u. a. 2004] SCHRAFT, Rolf D. ; HÄGELE, Martin ; WEGENER, Kai: *Service Roboter Visionen*. Carl Hanser Verlag München Wien, 2004
- [Wichert 2002] WICHERT, C.; Neubauer W.; Wosch Th.; Lawitzky G.; Caspari R.; Heger H.-J.; Witschel P.: The robotic bar - an integrated demonstration of man-robot interaction in a service scenario. In: *IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, 2002. Proceedings*. 11 (2002), S. 347–379
- [Woesch und Neubauer 2001] WOESCH, T. ; NEUBAUER, W.: Servicerobotik - Umgebungserfassung und Bewegungssteuerung für einen mobilen Manipulator. In: *Steirisches Seminar über Regelungstechnik und Prozessautomatisierung* 12 (2001), S. 141–154
- [Zadel Ramos 2004] ZADEL RAMOS, Stefan: *Greifen bei Servicerobotern: Lernen und Selbstorganisation mit Hilfe von Tastsinn und Bildverarbeitung*, Ruhr-Universität Bochum, Dissertation, 2004