

# Entwurf und Aufbau einer holonomen, mobilen Antriebsplattform für einen humanoiden Serviceroboter

Joachim Schröder<sup>1</sup>, Tilo Gockel<sup>1</sup>, Rüdiger Dillmann<sup>1</sup> und Siegfried Glöckner<sup>2</sup>

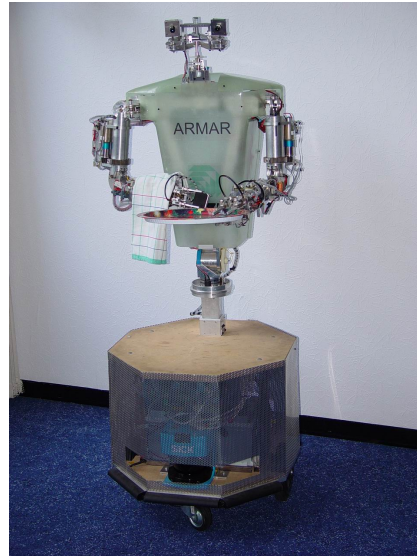
<sup>1</sup> Industrielle Anwendungen der Informatik und Mikrosystemtechnik  
Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe

<sup>2</sup> Fa. Norcan Profilsysteme und Aluminium-Sonderbauten  
Haguenau, France

## 1 Einführung

Die Entwicklung humanoider Roboter hat in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht, trotzdem ist der Einsatz von Laufmaschinen als Serviceroboter noch nicht weit genug fortgeschritten und oftmals zu teuer oder zu unsicher. Um dem humanoiden Roboter trotzdem genügend Mobilität zu verleihen ist eine Kombination aus mobiler Fahrbasis und humanoidem Handhabungsroboter sinnvoll.

Zu diesem Zweck wurde am Institut für Industrielle Anwendungen der Informatik (IAIM) [1] an der Universität Karlsruhe (TH) die mobile Roboterplattform Odete<sup>3</sup> [2] entwickelt. Abbildung 1 zeigt einen Vorgänger der Odete mit aufgesetztem humanoidem Oberkörper, dem Roboter Armar [3]. Die strikte Trennung von mobiler Basis und Handhabungsroboter erlaubt sowohl eine Kombination beider Systeme, als auch eine separate Verwendung der Odete als Transportroboter. In diesem Fall stellt die Odete die Fahrbasis für den humanoiden Roboter Armar dar und wird durch einen Differentialantrieb bewegt. Die Plattform ist konzipiert um sich in Gebäuden frei zu bewegen, selbständig zu navigieren und ein Gewicht von bis zu 150 kg zu transportieren. Die Navigation der Odete Plattform durch enge Türen und Flure funktioniert problemlos. Für Transportaufgaben reicht das völlig aus, es zeigte sich aber bei



**Abb. 1.** Humanoider Roboter Armar auf mobiler Fahrbasis

<sup>3</sup> Omnidirectional Dynamic Efficient Transport Engine

Versuchen in engeren Räumen dass manchmal mehr Flexibilität der Plattform gewünscht ist als die Basis mit Differentialantrieb bieten kann. Ein mögliches Szenario wäre der Einsatz eines humanoiden Roboters mit Fahrplattform in einer Küche [4]. Wenn der Roboter zeitgleich mit Menschen arbeitet wäre ein sanftes 'wegschieben' manchmal sicherlich erwünscht um sich nicht gegenseitig im Weg zu stehen. Dazu müsste sich der Roboter jedoch holonom bewegen können was mit dem bisherigen Aufbau nicht funktioniert. Auch eine größere Flexibilität, z. B. beim Durchfahren von Türen wäre die Folge. Insbesondere für den humanoiden Roboter Albert, der für mehr Traglast ausgelegt und damit wesentlich größer und breiter ist als Armar, ist dies für die Navigation durch Türen unabdingbar. Deshalb wurde die Entwicklung einer holonomen Fahrbasis beschlossen und vorab OmniBot<sup>4</sup> getauft. Die neue Plattform soll, soweit möglich, die Konzepte der Odete-Plattform übernehmen hiermit schon viel Erfahrung vorhanden ist.

Ein bekanntes Projekt eines holonomen Roboters, wenn auch in Miniaturform, ist der Palm Pilot Robot [5] der Carnegie Mellon Universtiy.

## 2 Spezifizierung

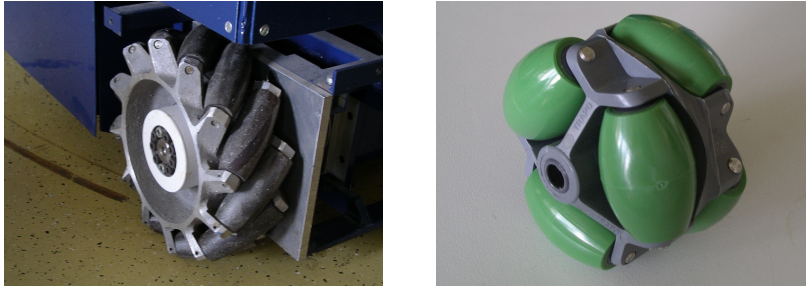
Zunächst müssen die Anforderungen an die mobile Plattform festgelegt werden. Die omnidirektionale Beweglichkeit ist mit verschiedenen Antriebssystemen zu erreichen, dabei bietet sich die Verwendung von Antriebsrädern an die an der Lauffläche passive Rollen angeordnet haben. Solche Räder sind auch unter den Namen OmniWheels oder Mehrseitenrollen bekannt. Dieses Prinzip hält den Schlupf und damit Verschleiss und Energiebedarf verhältnismäßig gering und erlaubt eine Bewegung des Roboters in alle Richtungen bei gleichzeitigem Drehen um seine Mittelpunktsachse. Beim sogenannten Mecanum-Antrieb sind die Rollenachsen  $45^\circ$  versetzt zur Radachse angeordnet und es werden abhängig von Durchmesser und Traglast drei oder mehr Rollen verwendet. Denkbar ist ebenso eine Anordnung der Rollenachsen  $90^\circ$  zur Radachse. Je nach Anzahl der Antriebsräder muss ein entsprechender Radtyp gewählt werden, z. B. erfordert die Anordnung der vier Antriebsräder im Roboter Priamos (Radanordnung wie bei einem Kraftfahrzeug) einen Winkel zwischen Rollen- und Radachse von  $45^\circ$  um seitliche Fahrt zu erlauben.

In Umgebungen mit eingeschränktem Platzvorkommen ist es wünschenswert dass der Roboter beim Drehen nirgends anstößt, somit bietet sich eine runde Grundfläche an. Um problemlos durch Türen navigieren zu können darf der Roboter einen Durchmesser von ca. 750mm nicht überschreiten.

Der Roboter soll nicht als Transportfahrzeug eingesetzt werden, muss aber aufgrund des hohen Eigengewichts des humanoiden Armes samt zusätzlicher Rechner für eine Nutzlast von mindestens 100kg ausgelegt werden. Hierbei ist besonders darauf zu achten, dass der Schwerpunkt der Plattform so niedrig wie möglich ist um das Kippmoment im Extremfall (Notstop) gering zu hal-

---

<sup>4</sup> Aufgrund des omnidirektionalen Antriebs



**Abb. 2.** Verschiedene Omnidirektionale Antriebssysteme

ten. Dies ist bei der Anordnung der schweren Komponenten (Batterien) zu berücksichtigen.

Die Roboterarme sollen auf Arbeitsplattenhöhe zwischen 800mm und 900mm arbeiten können. Um eine vernünftige Ausgangsposition zum Aufsetzen des humanoiden Teils zu bekommen sollte die mobile Plattform deshalb nicht höher als 700mm werden. Eine Aufstockung mit Profilen ist nachträglich jederzeit möglich.

Bei einem geschätzten Gesamtgewicht von ca. 250kg sollte die Leistung der Motoren etwa 100 Watt betragen um den Roboter ausreichend flink bewegen zu können. Die guten Erfahrungen mit dem Einsatz zweier 100W Motoren mit Planetenradgetriebe (Übersetzung 1:36) im Roboter Odete dienten hier als Anhaltspunkt.

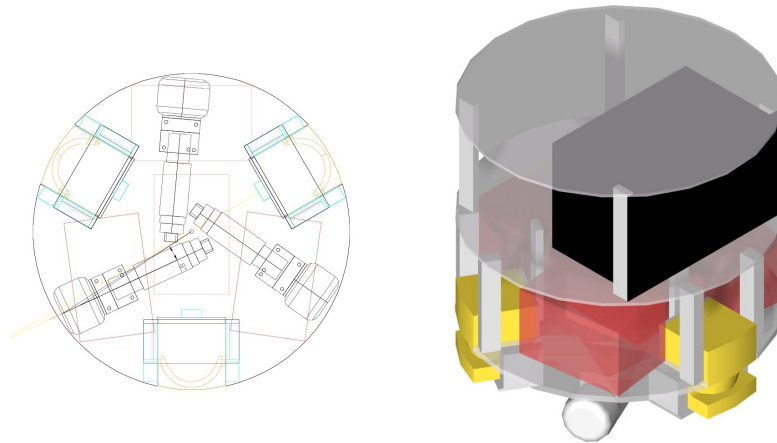
Zum gleichzeitigen Betrieb des Roboters in Räumen in denen sich Menschen aufhalten muss der Roboter besondere Sicherheitsanforderungen erfüllen. Wie schon bei der Odete werden hierzu Laserscanner eingesetzt. Dabei ist zu beachten dass Schutzfelder der Scanner das gesamte Umfeld des Roboters überblicken müssen um einen omnidirektionalen Betrieb zu erlauben, ausserdem dürfen sie sich nicht höher als 15cm über dem Boden befinden um auch Fußspitzen zu erkennen.

### 3 Konstruktion

Die Konstruktion des Roboters wird in Zusammenarbeit mit Fa. Norcan [6] durchgeführt, einem Hersteller von Profilsystemen und Aluminium-Sonderbauten. Auch die Odete ist aus Profilen aufgebaut, dies ist im Vergleich zu günstiger und leicht erweiterbar. Laut den Anforderungen aus Abschnitt 2 soll der Roboter eine runde Grundfläche besitzen, weiter ist zu klären wieviele Räder den Roboter antreiben sollen. Bei einem omnidirektionalen Antrieb ist es relativ wichtig dass alle Räder Bodenkontakt haben da jedes Rad ein Antriebsrad ist. Um einen definierten Kontakt und gleichen Anpressdruck der Räder zu erhalten empfiehlt sich eine symmetrische Anordnung mit drei Antrieben. Bei mehr Rädern wäre beim Überfahren einer Schwelle oder leichten Unebenheiten der Bodenkontakt

des vierten Rades nicht gewährleistet. Als Antriebsräder wurden Mehrseitenrollen der Fa. Traporol [7] ausgewählt.

Die drei Antriebseinheiten werden aus Symmetriegründen  $120^\circ$  zueinander platziert. Bei Verwendung der bisherigen Odete-Antriebseinheiten, eben nun entsprechend mit Mehrseitenrollen statt regulären Reifen, wird aber der zulässige Durchmesser der Grundplatte überschritten. Um dieses Problem zu umgehen werden die Antriebseinheiten um ca.  $8^\circ$  gedreht eingebaut wie Abbildung 3 zeigt.



**Abb. 3.** Draufsicht der Grundplatte des Roboters mit Laserscannern, Antriebseinheiten und Batterien sowie gerendeter CAD-Prototyp

Als Folge davon treffen sich die Antriebsachsen nun nicht mehr alle im Mittelpunkt des Roboters, was bedeutet dass sich der Roboter nicht mehr ohne Schlupf drehen kann. Bei einer gleichmäßigen Gewichtsverteilung auf alle Achsen sollte dies keine Rolle spielen, erfordert aber eine Änderung der inversen Kinematik wie sie in Abschnitt 5.1 beschrieben wird.

Drei Sick Laserscanner sind ebenfalls um  $120^\circ$  zueinander angeordnet um ein Flächenbild der Umgebung zu erhalten. Da die Scan-Ebene nicht höher als 15cm sein darf müssen die Scanner in die Basisplatte des Roboters eingelassen werden. Damit reduziert sich der Einbauraum für die Blei-Säure-Batterien, durch die Anordnung in Abbildung 3 (Batterien sind durch vier Rechtecke dargestellt) ist es aber möglich diese auch auf der Grundplatte zu platzieren um den Schwerpunkt des Roboters möglichst niedrig zu halten.

Auf der nächsten Ebene bietet ein 19 Zoll Einschub Platz für elektronische Komponenten wie Motorregler, PC samt PC104 Modulen und C167 Controller. Abbildung 3 zeigt ein gerendertes Modell des Roboters mit Laserscannern (gelb), Batterien (rot) und Einschub (schwarz).

Durch Abschätzung der verschiedenen Massen lässt sich zumindest für die mobile Plattform ohne Aufbau anhand des CAD Modells der Schwerpunkt des Roboters berechnen um eine Kippbetrachtung durchzuführen. Bei Berücksichtigung der in Abbildung 3 gezeigten Komponenten ergab sich ein Schwerpunkt der ca. 5cm unter Batterieoberkante liegt und durch den asymmetrischen Einschub um etwa 7cm aus dem Robotermitelpunkt heraus verschoben wurde.

## 4 Hardware

Beim Aufbau der Antriebs- und Steuerungseinheiten wurde bewusst darauf geachtet weitgehend dieselben Komponenten zu benutzen die schon in der Odete zum Einsatz kamen. Hauptsächlich die Anzahl der verwendeten Komponenten unterscheidet sich im Vergleich der beiden Roboter, während es im Omnibot drei Laserscanner und drei Antriebseinheiten sind waren es in der Odete nur einer bzw. zwei. Dies erfordert einige zusätzlichen Hardware-Module, doch die Verwendung des gleichen Konzeptes erlaubt eine wesentlich schnellere Inbetriebnahme da die beim Aufbau und Betrieb der Odete gemachten Erfahrungen direkt einfließen können.

### 4.1 Sensorik

Wie in Abschnitt 1 angesprochen soll der Roboter in Umgebungen mit Menschen eingesetzt werden und muss daher bestimmte Sicherheitsanforderungen erfüllen. Im OmniBot sollen diese Aufgabe drei Sick [8] Flächen-Laserscanner übernehmen. Jeder Scanner hat ein Schutz- und ein Warnfeld die sich frei konfigurieren lassen. Hierbei ist das innere Schutzfeld direkt in den Notaus-Kreislauf eingebunden und muss deshalb den gesamten Roboter umspannen. Durch die 120°-Anordnung der Scanner und einen Scanwinkel jedes einzelnen Scanners von 180° ist dies möglich. Das Warnfeld des Roboters muss nicht direkt in den Notauskreislauf eingebunden sein und wird benutzt um bei Auftreten eines Hindernisses einen 'sanften' Stop herbeizuführen.

Die Laserscanner besitzen eine Winkelauflösung von 0.5° und eine Reichweite bis zu 50m, weshalb sich eine Auswertung der Scandaten anbietet um sie für die Positionskorrektur zu nutzen. Die Informationen über aktuelle Winkelstellung und zugehörige Entfernung eines Objektes werden mittels RS422 Verbindung zum PC übertragen. Aufgrund der hohen Übertragungsrate von bis zu 500 kBaud über RS422 sind ca. 30 Scans/Sekunde möglich.

Ausser dem Laserscannern werden optische Inkrementalgeber mit einer Auflösung von 500 Impulsen/Umdrehung benutzt um Winkellage und Drehzahl der Räder zu erfassen. Die Geberimpulse werden von einem C167-Modul gezählt, das die Informationen dann direkt auf den CAN-Bus des Systems legt. Da die odometrische Positionsbestimmung, insbesondere bei Verwendung dieser Räder sehr ungenau ist, sind die Geber primär als Istwertelieferant für die Drehzahlregler wichtig; die Roboterposition muss von Zeit zu Zeit durch Vergleich von Laserscannerdaten und internen Landkarten korrigiert werden.

## 4.2 Antrieb

Als Antrieb des Roboters wurde eine Kombination aus Motor-, Getriebe-, Bremse- und Gebereinheit der Fa. Dunkermotoren [9] und Motorregler der Fa. Maxon [10] gewählt. Die 24V Kollektor-Gleichstrommotoren werden den Anforderungen mit einer Nennleistung von ca. 95W gerecht. Ein vorgeschaltetes Planetenradgetriebe mit Untersetzung 1:36 passt Drehzahl und Moment des Motors entsprechend auf die Radachse an. Da sich sowohl Durchmesser der Räder als auch Gesamtgewicht von Odete und Omnibot unterscheiden könnte es erforderlich sein ein Planetenradgetriebe mit geänderter Untersetzung zu verwenden. Dunkermotoren bietet hierzu Alternativen mit Untersetzung 1:28 oder 1:50 an.

Eine Magnetbremse die direkt auf die Motorachse wirkt schützt den Roboter gegen unbeabsichtigtes Wegrollen bei gleichzeitig abgeschalteten Reglern. Die Inkrementalgeber sind ebenso Bestandteil der Dunker Antriebseinheit, wurden aber im Abschnitt 4.1 angesprochen.

Die verwendeten Maxon Motorregler werden als Servoverstärker und gleichzeitig Drehzahlregler verwendet. Die Regler sind sehr robust und gegen Überstrom, Übertemperatur und Kurzschluss der Motorleitungen geschützt. Die Motorregler erlauben einen Betrieb von Motoren bis 50V und liefert einen dauerhaften Ausgangsstrom von 10A (kurzzeitig 20A), die Taktfrequenz des pulsweitenmodulierten Ausgangssignals beträgt 50kHz. Die verwendeten Inkrementalgeber werden über ein Y-Kabel ausser an den C167 Zählmodulen auch an den Motorreglern angeschlossen, damit arbeitet diese Einheit völlig unabhängig vom PC und erwartet lediglich eine Sollwertvorgabe in Form eines analogen  $\pm 10V$  Signals. Die Reglerparameter werden über Trimpotis an der Front der Motorregler eingestellt.

## 4.3 Steuerung

Abbildung 4 gibt einen Überblick über Steuerungskonzept und Hardwarekomponenten des OmniBot. Die Steuerung selbst ist PC-basiert. Der Anschluss und die Kommunikation zur Peripherie erfolgt durch PC104 Steckmodule. Sensorinformationen von Inkrementalgebern und Laserscannern werden über ein CAN-Bus Modul bzw. ein RS422 Modul übermittelt. Eine PC104 D/A Wandlerplatine gibt den Motorreglern einen Drehzahlsollwert vor. Des weiteren übernimmt ein digitales I/O Modul das Abfragen von Tastern, Ausgängen der Laserscanner oder setzt Reset- oder Wiederanlaufsignale der Scanner.

Das PC-Board besitzt bereits einen Ethernet-Anschluss, für die drahtlose Kommunikation ist jedoch ein weiteres PC104 Modul zur Aufnahme einer PCMCIA Funkkarte nötig.

Zwei DC/DC Wandler der Fa. MGV [11] generieren die zum Betrieb eines PCs nötigen Spannungen von 5 bzw. 12V aus der 24V Bordversorgung. Die Wandler wurden mit einer Stromstärke von 20A für 5V bzw. 6A für 12V absichtlich größer ausgelegt als es der PC erfordert um später ggf. Komponenten des humanoiden Aufbaus (zusätzliche Hardware, Motoren, Controllerboards) versorgen zu können.

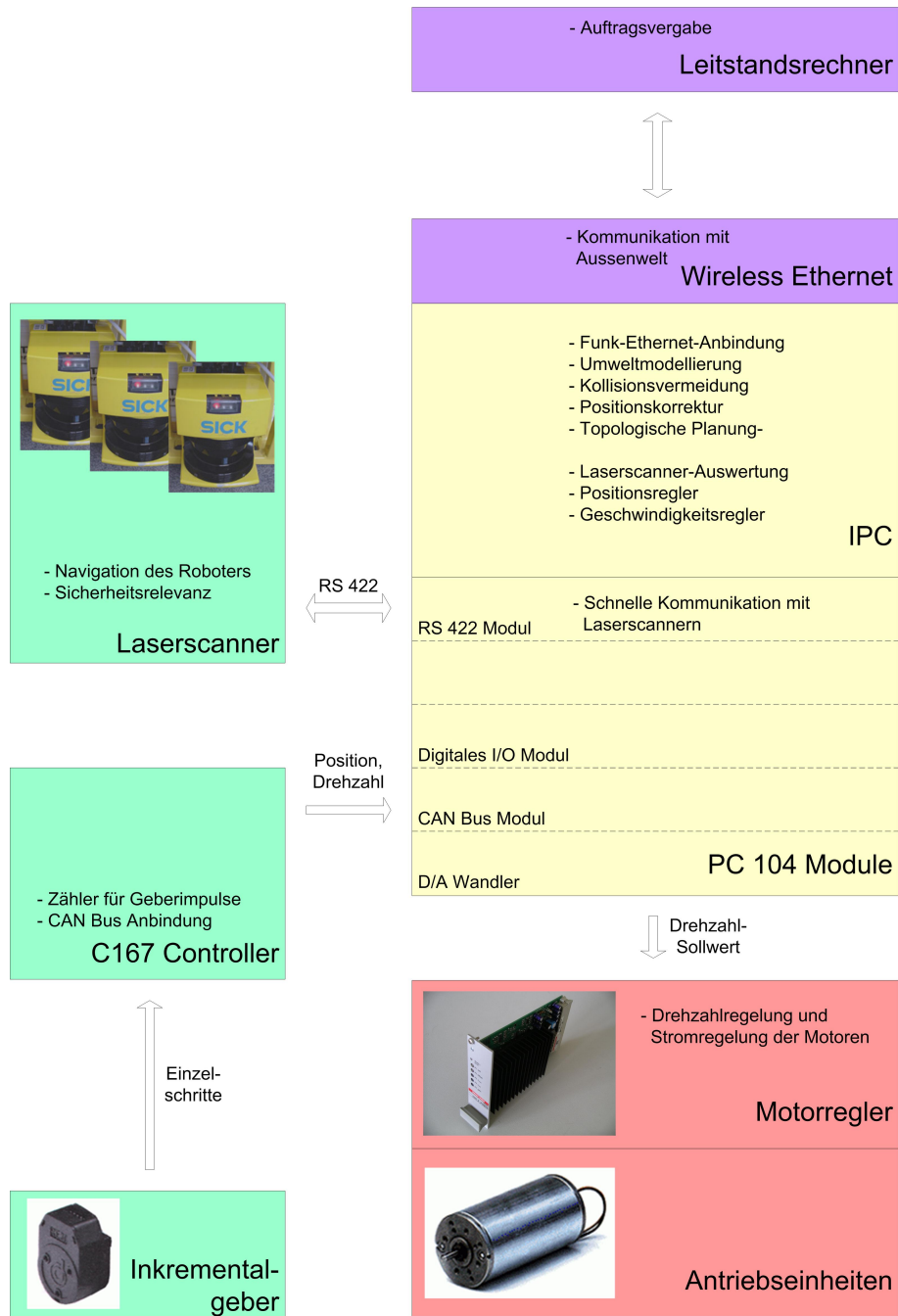
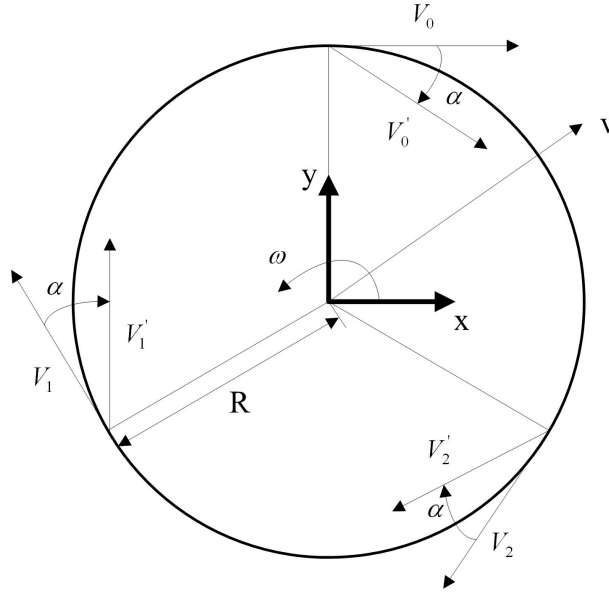


Abb. 4. Anordnung und Zusammenspiel der verschiedenen Hardwarekomponenten

## 5 Software

### 5.1 Kinematik



**Abb. 5.** Veranschaulichung der Kinematik bei tangentialer und abgewinkelter Anordnung der Räder

Die Vorgaben zur Berechnung der Motordrehzahlen, also die Eingangsgrößen der inversen Kinematik sind translatorische Geschwindigkeit des Robotermittelpunktes  $v = \begin{pmatrix} V_x \\ V_y \end{pmatrix}$  und Winkelgeschwindigkeit um seinen Mittelpunkt  $\omega$ . Die tangentialen Geschwindigkeiten  $V_0, V_1, V_2$  der Räder setzen sich zusammen aus translatorischer und rotatorischer Bewegung des Roboters zu [12]:

$$\begin{aligned} V_0 &= V_x - \omega R \\ V_1 &= -0.5V_x + \frac{\sqrt{3}}{2}V_y - \omega R \\ V_2 &= -0.5V_x - \frac{\sqrt{3}}{2}V_y - \omega R \end{aligned} \tag{1}$$

Werden die Motoren nun aber wie in diesem Fall zusätzlich um den Winkel  $\alpha$  gekippt, so ändern sich x- und y-Komponenten der Tangentialgeschwindigkeiten. Die Formeln lauten dann:



$$\begin{aligned}
V_0 &= \cos(\alpha)V_x - \sin(\alpha)V_y - \cos(\alpha)\omega R \\
V_1 &= -\cos\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right)V_x + \sin\left(\frac{\pi}{3} + \alpha\right)V_y - \cos(\alpha)\omega R \\
V_2 &= -\cos\left(\frac{\pi}{3} - \alpha\right)V_x - \sin\left(\frac{\pi}{3} - \alpha\right)V_y - \cos(\alpha)\omega R
\end{aligned}
\tag{2}$$

Letztlich lassen sich dann die Raddrehzahlen  $\omega_0, \omega_1, \omega_2$  berechnen zu:

$$\begin{aligned}
\omega_0 &= V_0/r \\
\omega_1 &= V_1/r \\
\omega_2 &= V_2/r
\end{aligned}
\tag{3}$$

wobei  $r$  der Radius eines Rades ist.

## 5.2 Modular Controller Architecture (MCA)

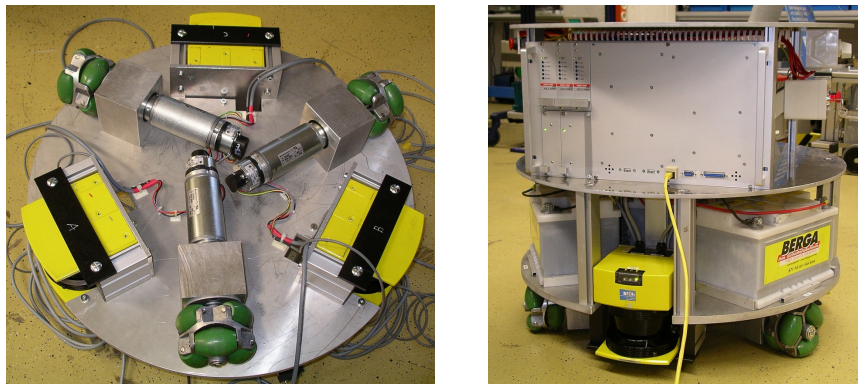
Die 'Modular Controller Architecture' [13,14,15] wurde am Forschungszentrum Informatik [16] als systemübergreifende Regelungsstruktur entwickelt. Ziel war es, ein geeignetes Regelungskonzept für alle Roboter zu finden, das an die unterschiedlichen Systeme angepasst werden kann. Durch Anlegen von Komponenten mit definierten Schnittstellen ist MCA leicht erweiterbar und bleibt übersichtlich. Speziell für den universitären Betrieb ist dies wichtig, da viele Personen mit den Robotern arbeiten und sich Studenten in die Software einarbeiten müssen die sich teilweise nur für die Dauer einer Diplomarbeit mit den Systemen beschäftigen.

Das Anlegen von Modulen mit standardisierten Schnittstellen hat den Vorteil, dass diese auch in anderen Projekten genutzt werden können und sich so der Aufwand für Implementierung und Verifikation deutlich reduziert. MCA ist auf Echtzeitbetriebssystemen wie Realtime-Linux einsetzbar um zeitkritische Regelungsaufgaben zu realisieren, unterstützt aber auch Windows Plattformen, z. B. für den Betrieb der Leitstandssoftware. Das komplette Gerüst für Echtzeitausführung, Kommunikation und Synchronisierung von Modulen wird vom System zur Verfügung gestellt. Der Anwender kann sich so voll auf die Lösung seines eigentlichen Problems konzentrieren und muss lediglich die MCA-Module füllen. Zur Programmierung der Module wurde C++ gewählt. Module können als Gruppe zusammengefasst werden, die sich nach Aussen selbst wieder als Modul mit entsprechenden Schnittstellen darstellt.

MCA stellt dem Anwender ausser dem Gerüst zur Einbindung der Module auch die Benutzeroberfläche MCAGUI (MCA General User Interface) zur Verfügung, ein Benutzerinterface das über TCP/IP in das System eingebunden ist und völlig unabhängig vom Roboter auf einem Leitstandsrechner ausgeführt werden kann. Mit MCAadmin steht ein Werkzeug zur Verfügung um im laufenden Betrieb Parameteränderungen vorzunehmen. Die gesamte Struktur kann über dieses grafische Interface dargestellt und verändert werden.

## 6 Ergebnisse

Nach dem fertigen Aufbau des Roboters (Abbildung 6) wurde dieser zur Demonstration des Antriebs und seiner Fähigkeiten zunächst mit einer Kraftmessdose versehen. Die Kraftmessdose wird vom Benutzer über eine Art Teller berührt der auf dem Roboter angebracht ist. Die angreifende resultierende Kraft in der XY-Ebene, sowie Moment um die Tellerachse werden gemessen und genutzt um rotatorische und translatorische Geschwindigkeiten für die Plattform vorzugeben. Der Benutzer kann den Roboter also nach Belieben ziehen, drehen und schieben.



**Abb. 6.** Fertig aufgebauter Roboter; Antrieb sowie Gesamtsystem (noch ohne Kraftmessdose)

Diese Vorstufe zum vollständig autonomen Fahren soll ausserdem die Möglichkeit bieten, Reglerparameter richtig einzustellen, Schlupf und Fehler der Positionsbestimmung mittels Inkrementalgebern zu überprüfen und gegebenenfalls zu verbessern. Zudem kann die Einhaltung von Sicherheitsbestimmungen und genaue Parametrierung der Laserscanner erfolgen.

Nach Abschluss der Steuerung per Hand und Durchführung etwaiger Verbesserungen wird die Plattform OmniBot dann vollständig autonom navigieren. Ein möglicher Einsatz ist in der am IAIM entwickelten robotergerechte Küche, in welcher der Roboter seinen Hauptvorteil des omnidirektionalen Antriebs aufgrund von Platzeinschränkungen ausspielen kann. Als mögliche Aufbauten kommen die humanoiden Roboter Armar oder Albert in Frage, um dem Institutskoch entsprechend zu assistieren.

## Literatur

1. Institut für Industrielle Anwendungen der Informatik (IAIM). Universität Karlsruhe (TH). <http://wwwiaim.ira.uka.de>
2. T. Gockel, J. Schröder, R. Dillmann, R. Graf, P. Weckesser. Steuerung eines mobilen Serviceroboters mit einer SPS. *Robotik 2002*, Ludwigsburg, Germany.
3. T. Asfour, A. Ude, K. Berns, R. Dillmann. Control of ARMAR for the Realization of Anthropomorphic Motion Patterns. *HUMANOIDS 2001, Int. Conference on Humanoid Robots*, November, 2001, Waseda University, Tokyo, Japan.
4. M. Ehrenmann, O. Rogalla, R. Zöllner, R. Dillmann. Belehrung komplexer Aufgaben für Serviceroboter: Programmieren durch Vormachen im Werkstätten- und Haushaltsbereich. *Robotik 2002*, Ludwigsburg, Germany.
5. Palm Pilot Robot Kit. Carnegie Mellon University, The Robotics Institute. <http://www-2.cs.cmu.edu/pprk/>
6. Fa. Norcan. Hersteller von Profilsystemen und Aluminium-Sonderbauten. <http://www.norcan.fr>
7. Fa. Traporol GmbH. Hersteller von Allseitenrollen. <http://www.traporol.de>
8. Sick AG. Hersteller von Sensoren und Sensorsystemen. <http://www.sick.de>
9. Alcatel SEL AG. Unternehmensbereich Bauelemente Dunkermotoren. Hersteller von elektrischen Motoren und Getrieben. <http://www.dunkermotoren.de>
10. Maxon Motor AG. Hersteller von elektrischen Antriebskomponenten und -systemen. <http://www.maxonmotor.com/>
11. MGV Stromversorgungen. Hersteller von Schaltnetzteilen. <http://www.mgv.de>
12. J. Borenstein, H. R. Everett, L. Feng. Where am I? Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning. University of Michigan, Department of Mechanical Engineering and Applied Mechanics, Ann Arbor, Michigan, USA.
13. Modular Controller Architecture (MCA). <http://mca2.sourceforge.net/>
14. K.-U. Scholl, V. Kepplin, J. Albiez, R. Dillmann. Developing Robot Prototypes with an Expandable Modular Controller Architecture. *Proceedings of the International Conference on Intelligent Autonomous Systems*, Venice 2000, pp 67-74.
15. K.-U. Scholl, J. Albiez, B. Gassmann. MCA – An Expandable Modular Controller Architecture. *3rd Real-Time Linux Workshop*, 2001, Milano, Italy.
16. Forschungszentrum Informatik (FZI). Forschungsbereich Interaktive Diagnose- und Servicesysteme (IDS). <http://www.fzi.de/ids/>