

**Seminar Agentensysteme:
Roboter – Vom Webstuhl zum Androiden**

Wintersemester 2005/2006

Dozent:

Dr. Dietmar Lammers

Sascha Hauke

haukes@math.uni-muenster.de

Slawi Stesny

s_stes01@math.uni-muenster.de

Zusammenfassung

ROBOTER nehmen eine immer größere Rolle in unserem Leben ein. Zunächst beschränkte sich ihr „Lebensraum“ auf Fabrikhallen und Labore, mit der immer schneller werdenden technischen Entwicklung der letzten Jahrzehnte erobern Roboter jedoch immer mehr Nischen für sich. Waren sie lange Zeit Objekte, die man aus Fernsehreportagen oder Science-Fiction Büchern kannte, so häufen sich heute die Berührungspunkte mit Robotern im menschlichen Alltag. Sei es als Helfer in Industrie, Gesundheitswesen oder gar im Haushalt, Roboter werden immer präsenter – sogar als Spielzeug. Der folgende Artikel soll in seiner kurzen Form einen Überblick darüber geben, wie sich die Roboter in groben Zügen entwickelt haben, und einen kleinen Ausblick darauf geben, wohin diese Entwicklung führen mag.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	II
Listings	III
1 Ursprung und Definition: Was ist ein Roboter?	1
2 Vom Webstuhl zum Marsrover	2
2.1 Die Anfänge - Das 18. und 19. Jahrhundert	2
2.2 Die technische Revolution – das 20. Jahrhundert	3
3 Einsatzgebiete	5
3.1 Industrie	5
3.2 Militär	6
3.3 Forschung	6
3.4 Serviceroboter	7
4 Ausgewählte Roboter	9
4.1 Asuro	9
4.2 Lego Mindstorm	11
4.3 Aibo	13
5 Vom Marsrover zum Androiden	14
5.1 Ausblick - Technik	14
5.2 Ausblick - Marktentwicklung	15
A Roboterklassifikation	16
B Informationen zu <i>Asuro</i>	17
C Informationen zu Lego Mindstorm	20

Abbildungsverzeichnis

2.1	Spinning Jenny, ca. 1764	2
2.2	Atanasoffs Computer, 1942	3
2.3	<i>Unimat</i> im Einsatz, 1961	3
2.4	Mars Exploration Rover (links), Vorgänger Sojourner (rechts)	4
3.1	Roboter beim Punktschweißen	5
3.2	Roboterpanzer	6
3.3	Nanobot	6
3.4	Mars Rover	7
3.5	Saugroboter	7
3.6	Pflegeroboter	8
4.1	Roboterbausatz <i>Asuro</i>	9
4.2	Lego Mindstorm Invention System 2.0	12
4.3	RCX	12
4.4	Robotics Invention 2.0	13
4.5	AIBO	13
5.1	Kawada Industries <i>HRP-2</i>	14
5.2	RobotCubs <i>iCub</i>	15
B.1	<i>Asuro</i> – Schematischer Aufbau	18
C.1	<i>Mindstorm</i> – Schematischer Aufbau	21

Tabellenverzeichnis

B.1	<i>Asuro</i> – Hardwareeigenschaften	17
-----	--	----

<i>LISTINGS</i>	III
C.1 <i>Mindstorm</i> – Hardwareeigenschaften	20

Listings

4.1 <i>Asuro</i> – Initialisierung	10
B.1 <i>Asuro</i> – Code für Linienverfolgung	18

Kapitel 1

Ursprung und Definition: Was ist ein Roboter?

ROBOTER – wenn dieses Wort fällt, weiß heute jeder, was damit gemeint ist. Oder so könnte man zumindest vermuten – doch tatsächlich ist gar nicht so sehr klar, was sich hinter diesem Wort eigentlich verbirgt. Die Vorstellungen eines jeden einzelnen, wie denn nun eine solche Maschine auszusehen hat, sind von einer Vielzahl von Faktoren bestimmt. Am Anfang soll daher eine genauere Betrachtung dessen stehen, was wir uns heute – als Gesellschaft – unter Robotern vorstellen.

Der Begriff des Roboters leitet sich aus dem slawischen Wort „robota“ ab, das ursprünglich soviel bedeutete wie „Frohdienst“, heute aber auch in der Bedeutung von „Arbeit“ oder „Maloche“ gebraucht wird.

Entscheidend für die Prägung dieses Begriffs war der tschechische Autor Karel Capek, der mit seinem 1921 erschienen Roman „Rossum’s Universal Robots“ für die Popularisierung des Names sorgte. In seinem Buch beschreibt Capek die Schaffung von perfekten Androiden – Maschinen in Menschengestalt – durch den Wissenschaftler Rossum, um den Menschen alle schweren und gefährlichen Arbeiten abzunehmen. Die Roboter lehnen sich jedoch gegen dieses Sklavendasein auf und töten das gesamte menschliche Leben. Sicherlich hat diese Geschichte unser Verhältnis zu Robotern ge-

prägt; das Thema ist auch heute noch ein Prototyp der Science-Fiction Literatur. Sie führte jedoch auch zu einer schnellen Aufnahme des Wortes Roboter in den allgemeinen Sprachgebrauch.

Die Definition, was aber einen Roboter im eigentlichen Sinne ausmachen soll, ist auch heute bei weitem noch nicht einheitlich. Insbesondere existiert (noch) eine große Diskrepanz zwischen den Robotern aus Literatur/Film und tatsächlich existierenden Maschinen. Betrachtet man einige Definitionen, wie sie in Wörterbüchern oder Industriestandards gegeben werden, so sieht man dies sehr deutlich. Der Fremdwörterduden etwa beschreibt einen Roboter als „äußerlich wie ein Mensch gestaltete Apparatur, die manuelle Funktionen eines Menschen ausführen kann“, während andererseits laut VDI ein Roboter „ein universell einsetzbarer Bewegungsautomat mit mehreren Achsen“ ist, „dessen Bewegungen hinsichtlich Folge und Wegen bzw. Winkeln frei programmierbar und ggf. sensorgeführt“ ist.

Eine genauere Klassifizierung von Industrierobotern (exemplarisch die der Japanese Industrial Robot Association) findet sich in Anhang A auf Seite 16 – um jedoch eine einheitliche Basisdefinition zu haben, sei im folgenden ein Roboter einfach eine Maschine, die autonom eine bestimmte Aufgabe erfüllt.

Kapitel 2

Vom Webstuhl zum Marsrover

2.1 Die Anfänge - Das 18. und 19. Jahrhundert

MASCHINEN, die ihre Aufgaben weitgehend autonom erfüllen, existieren seit den Anfängen der industriellen Revolution gegen Ende des 18. Jahrhunderts. Sicher sind dies noch keine Roboter, sie stellen jedoch eine wichtige Vorstufe in der Entwicklung moderner mechanischer und elektronischer Geräte dar. Mit der Erfindung der Dampfmaschine Anfang des 18. Jahrhunderts, und insbesondere durch die Verbesserung ihres Wirkungsgrads durch die Entdeckungen von James Watt in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts, stand eine zuverlässige Methode zur Verfügung, um mechanische Energie zu erzeugen, ohne auf die Elemente der Natur oder Muskelkraft angewiesen zu sein. Damit setzte eine rasante Entwicklung der Fertigungstechnik ein und es entstanden erste Automaten, die selbständig Arbeiten erledigen konnten. Die prominentesten und wohl auch die wichtigsten Beispiele dafür waren die sogenannte *Spinning Jenny*, eine automatische Spinnmaschine, und der *Power Loom*, der erste automatische Webstuhl, 1785 von Edmond Cartwright erfunden.

Der *Power Loom* wurde durch eine Art hölzerner Lochkarte gesteuert und somit war das von ihm erzeugte Webmuster sogar variierbar – sein „Programmablauf“ war sozusagen veränderbar. Diese Maschinen führ-



Abbildung 2.1: Spinning Jenny, ca. 1764

ten zu einer starken Rationalisierung des Arbeitsprozesses in der Textilherstellung und fanden dadurch breiten Zuspruch und Verbreitung, allerdings stießen sie auch aus dem gleichen Grund auf offene, zum Teil mit Gewalt verbundene, gesellschaftliche Ablehnung.

Im Laufe des folgenden Jahrhunderts verschärfte sich dieser Umbruch in den Fertigungsmethoden und Automaten und Maschinen ersetzten den Menschen in zunehmenden Maß als Erbringer von handwerklicher Arbeit und Leistung. Die industrielle Gesellschaft war geboren, und damit die Voraussetzungen die zur Entwicklung der Robotik führen sollten.

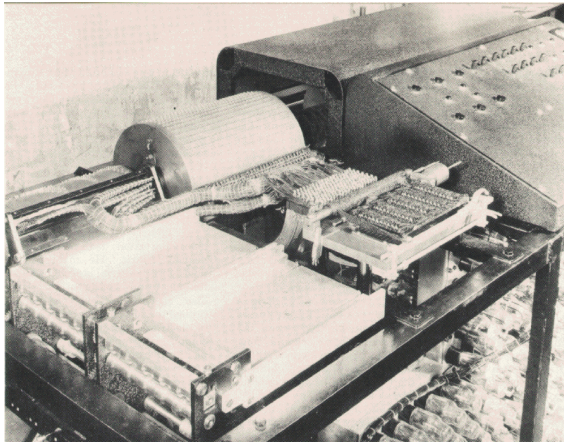


Abbildung 2.2: Atanasoffs Computer, 1942

2.2 Die technische Revolution – das 20. Jahrhundert

OBWOHL die Fortschritte des 18. und 19. Jahrhunderts eine wichtige Basis für die Entwicklung vom, aus heutiger Sicht, relativ primitiven mechanischen Gerät hin zu wirklich autonomen Einheiten darstellten, brachte erst die Einführung der Elektronik Anfang/Mitte des 20. Jahrhunderts die entscheidenden Impulse.

Weitreichende Elektrifizierung stellte eine universell verfügbare und einfach zu transportierende Energieform zur Verfügung, und die Erfindung von elektronischen Rechenmaschinen, Computern, in Europa und Amerika, erlaubte es durch die Kombination von Mechanik und Elektronik, Maschinen immer komplexere Arbeitsgänge beizubringen, d.h. Ihre Autonomie zu steigern.

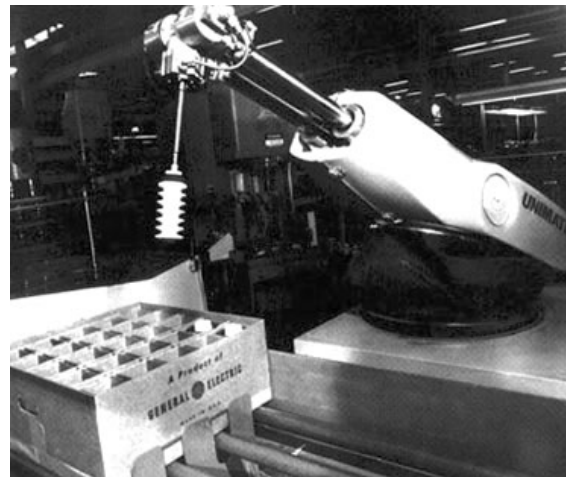
Obwohl die ersten Computer, wie etwa der *ENIAC* und Atanasoffs Computer in den USA, oder Zuses *Z-Reihe* in Deutschland, noch recht groß und rechenschwach waren, setzte nach dem 2. Weltkrieg eine immer rascher werdende technische Entwicklung ein, die es bereits 1961 ermöglichte den ersten Roboter in der industriellen Fertigung ein-

zusetzen. Dieser erste im Einsatz befindliche Roboter, in den 1950er Jahren von George Devol und Joseph Engelberger, den beiden Gründern der ersten Robotikfirma *Unimation*, entwickelt (Patent 1954, Firmengründung von Unimation 1956), versah unter dem Namen *Unimat* seinen Dienst in der Autofertigung bei General Motors.

Das Patent für den *Unimat* spezifizierte ihn als „a more or less general purpose machine that has universal application to a vast diversity of applications where cyclic control is desired“ [eine multifunktionale Maschine, die universell in einer Vielzahl von Anwendungen zum Einsatz kommen kann, bei denen zyklische Kontrollabläufe gewünscht sind].

In den 1960er Jahren waren die Vereinigten Staaten führend in der Entwicklung, Produktion und dem Einsatz von Industrierobotern, wobei der Einsatz vor allem in der Automobilindustrie erfolgte. Der erste Industrieroboter Japans wurde ab 1967 eingesetzt, der erste Deutschlands ab 1970 bei Daimler-Benz.

Ab den 1970er Jahren drangen japanische Konzernkonglomerate massiv in den Industrierobotermarkt ein und übernahmen die Führungsrolle – heute werden in Japan allein ca. 400.000 Industrieroboter eingesetzt, fast doppelt so viele wie in Deutschland und

Abbildung 2.3: *Unimat* im Einsatz, 1961

den Vereinigten Staaten zusammen, die im Robotereinsatz auf Platz zwei und drei rangieren.

Während Unimat in seiner Beweglichkeit auf nur 3 Achsen beschränkt war, erfolgte 1969 durch die Stanford University ein weiterer Schritt in der (Industrie-)Roboterentwicklung, die Einführung des auch heute noch gebräuchlichen, modernen 6-Achsen Artikulatorarms. Die dadurch erlangte größere Beweglichkeit weitete das Einsatzfeld dieser Maschinen auf Gebiete wie Bogenschweissen oder Montageaufgaben aus. Fortschritte in dieser Kombinationsform von Elektronik und Mechanik – der Mechatronik – ermöglichten die Konstruktion immer komplexerer Roboterteile, wie etwa Manipulatorarmen.

Aus der Kombination der durch die immer mehr voranschreitende Miniaturisierung und Leistungssteigerung in der Microprozessorentwicklung und der Verbesserungen in der Mechatronik ergibt sich nun die Möglichkeit Maschinen zu entwickeln, die sich wirklich autonom verhalten, sowohl im physischen Sinn in der Möglichkeit der eigenständigen Bewegungen und Interaktion mit der Umwelt, als auch in ihrem Steuerprogrammablauf. Autonome Automaten, die selbstständig handeln und entscheiden, sind besonders für militärische und wissenschaftliche Anwendungen interessant. In der Forschung liegt ihr Einsatzgebiet zum Beispiel in der Erkundung der Tiefsee oder des Welt-raums – Bereiche, die Aufgrund der herrschenden Eigenschaften (zum Beispiel den Umgebungsdruck, Strahlung oder große Entfernungen), wenn überhaupt nur unter größten technischen Anstrengungen von Menschen erforscht werden können und in denen eine direkte Fernsteuerung unpraktisch ist. Ein prominentes Beispiel sind die beiden NASA Mars Exploration Rover *Spirit* und *Opportunity*, die 2003 bzw. 2004 auf dem roten Planeten landeten, und ihr Vorgänger, *Sojourner*.

Doch obwohl Militär und Forschung zu



Abbildung 2.4: Mars Exploration Rover (links), Vorgänger Sojourner (rechts)

den Gebieten gehören, in denen das meiste Geld in die Entwicklung von autonomen Robotern fließt, erschliessen sie sich in den letzten Jahren auch andere Bereiche, in denen sie dem Menschen immer präsenter werden: Als Serviceroboter im Haushalt (zum Beispiel als automatischer Staubsauger), als Pflegeroboter im medizinischen Sektor oder als High-Tech Spielzeug. Im Consumernereich existieren heute Lösungen für praktisch jeden Geldbeutel, angefangen von Roboternbausätzen, die bereits für einige Euro erworben werden können, bis hin zum komplexen Haustierersatz, wie ihn Sonys *AIBO* darstellt. Inzwischen existieren sogar Maschinen, die humanoid sind, wie ein Mensch gehen und greifen können, Gesichter oder Stimmen erkennen. Noch sind deren Kapazitäten recht beschränkt, doch auch auf diesem Gebiet war die Entwicklung im letzten Jahrzehnt rasant und wird es wohl auch bleiben. Vielleicht wird es sogar möglich sein Roboter zu bauen, die zumindest intelligent erscheinen - das allerdings erfordert neue Methoden in Programmierung und Design, mit den klassischen Verfahren ist dies nicht zu erreichen.

Kapitel 3

Einsatzgebiete

DIE Automatisierung von Arbeit schreitet immer weiter voran. Die Roboter erfüllen immer mehr und immer komplexere Aufgaben, die zuvor von Menschenhand erledigt wurden. Diese Entwicklung hängt direkt mit der Entscheidung zusammen, wann und wo ein Roboter eingesetzt wird. Die wichtigsten Arbeiten in denen Roboter eingesetzt werden, sind Bereichen, die für den Menschen eine Gefahr darstellen. Bereits in den 50er Jahren wurden Roboter verwendet um Menschen vor der Bestrahlung mit radioaktiven Stoffen zu bewahren. Es gibt aber auch Bereiche, die nicht nur gefährlich, sondern für Menschen unerfüllbar oder unerreichbar sind. So zum Beispiel in der Raumfahrt, dort ist die Versorgung und Verpflegung eines Menschen auf den langen Strecken derzeit zu aufwendig und zu teuer. Am häufigsten werden jedoch Roboter eingesetzt, sobald es sich wirtschaftlich rentiert. Schließlich werden die eingeschränkten Fähigkeiten durch ein Arbeiter ausgeglichen, der sich für keine Arbeit zu schade ist und unerschöpflich 24 Stunden täglich, 365 Tage im Jahr arbeiten kann und das ohne krank zu werden oder Rentenansprüche zu stellen.

3.1 Industrie

DIE Industrie ist das größte Einsatzgebiet von Robotern, hier gibt es die meisten und vielfältigsten Roboter. Doch nicht jede

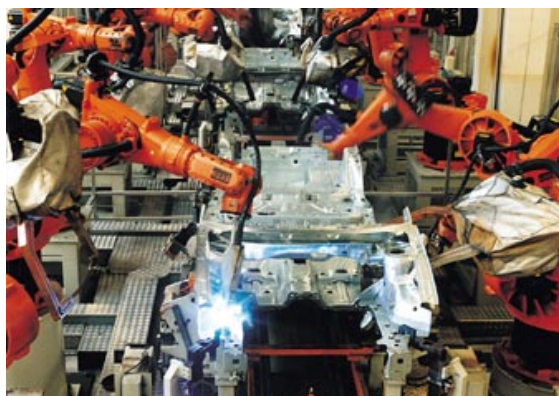


Abbildung 3.1: Roboter beim Punktschweißen

Maschine in der Industrie ist automatisch ein Roboter. Sie muss folgendem ISO-Standard genügen.

ISO Standard 8373 : 1994

Automatisch gesteuerte, reprogrammierbare, vielseitig verwendbare Manipulatoren, die auf mindesten drei Achsen programmierbar sind.

Die Aufgabenvielfalt, die ein Roboter bewältigt ist enorm. Es gibt Roboter, die in Lagerhäusern Waren palettieren und sich auch gleich um die automatische Ein- und Auslagerung kümmern. Roboter, die in der Elektroindustrie Platinen bestücken und bei Großindustrien Montagen und Produktionsketten vom Beginn bis zur Fertigstellung begleiten, zum Teil vollkommen autonom. Da-

bei haben diese Roboter nichts mit den Robotern zu tun, die aus dem Fernseher bekannt sind, sie sind rein auf ihre Funktion hin konstruiert und bedürfen regelmäßiger Pflege und Wartung.

3.2 Militär

HOCHTECHNOLOGIE bedeutet in der Anwendung auf das Militär Überlegenheit, daher ist es auch nicht verwunderlich, das vor allem das US-Militär dort auf Automatisierung setzt. Gerade in diesem Bereich versteht man unter Robotern bewegliche Systeme mit Sensoren und Aktoren die mehr oder weniger autonom die Umgebung erfassen und auf sie einwirken. Es gibt Satelliten und unbemannte Flugobjekte die mittels ihrer Sensoren riesige Areale erkunden und ihre Ziele lokalisieren. Intelligente Raketen finden eigenständig den Gegner. Roboter räumen autonom ABC-Kampfstoffe und Minen. Doch trotz der Erfolge die durch den Einsatz von Robotern erzielt wurden. Haben die autonomen Einheiten keine Kontrolle über ihre Waffen, das Töten zu automatisieren ist zwar bereits im Gespräch, doch scheuen sich selbst die Militärs diese Entscheidungen einem Speicherchip zu überlassen.

3.3 Forschung

WENIGE Nanometer groß sind die Roboter die durch unsere Blutgefäße schwimmen können, sie suchen anhand einer Datenbank nach Auffälligkeiten in unseren Blutgefäßen und leiten die ersten Schritte zur Heilung ein. Dies ist zwar noch Fiktion, doch ist die derzeitige Entwicklung auf dem besten Weg dieses Szenario in die Realität um zu setzten.

Nicht nur Fiktionen sondern auch die verwirklichte Projekte machen dieses Einsatzgebiet zu einem atemberaubenden Abenteuer, so werden autonome Roboter auch in der Raumfahrt eingesetzt, diese erkunden die



Abbildung 3.2: Roboterpanzer



Abbildung 3.3: Nanobot

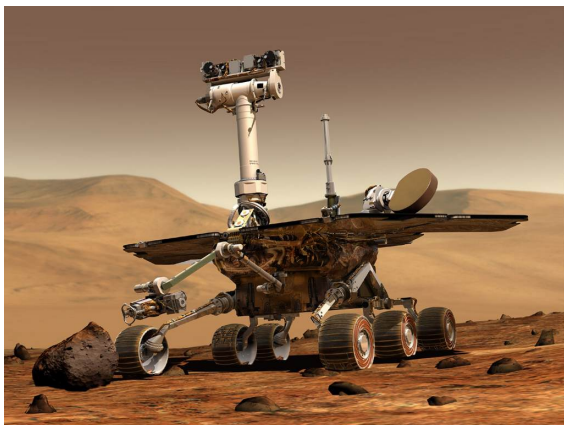


Abbildung 3.4: Mars Rover

Oberfläche von fremden Planeten, wie der Marsrover auf dem Mars. Dass dieser Erkunder eigenständig sich in einer fremden Umgebung zurechtfindet - ist notwendig, denn eine Realtime-Kommunikation ist wegen der zeitlichen Verzögerung von 8 min. nicht möglich.

Auch in der Mikrobiologie werden Roboter zur Forschung eingesetzt, sie untersuchen, analysieren und bewerten Gensequenzen, Mineralproben und weitere atomare Strukturen.

3.4 Serviceroboter

BIS vor wenigen Jahren war es nur Spielzeug welches wir als Roboter verkleidet bedenkenlos in den Kinderzimmern fanden. Doch dieses Spielzeug hat sich weiterentwickelt, eine lernende Prozessoreinheit stellt bereits der Aibo dar. (Siehe Aibo) Er fasziniert mit seinem programmierten und antrainiertem Verhalten. Dabei wirkt dieses Haustier so harmlos, dass wir auch dieses ohne Sorge in unseren Haushalt lassen. Fasziniert schauen wir uns ein Roboter-Turnier an, während ein automatischer Staubsauger uns das Wohnzimmer reinigt. Auch ein autonomen Rasenmäher gibt es bereits zu haben. Solch ein Rasenmäher ist jedoch bereits nichts für jedermann. Die Angst geschürt durch die Medien ist groß. Es ist eine der



Abbildung 3.5: Saugroboter

Hauptbremsen, welche die Entwicklung dieses Marktes eine lange Zeit dominierte. Die Privatverbraucher scheuen eine Maschine in den Haushalt zu holen, die aktiv in ihr Leben eingreift. Doch die Gesellschaft wird dieses Misstrauen ablegen müssen.

Der treibende Druck auf diesen Markt geht von der Alterspyramide aus. Die Bevölkerung wird immer älter und der Nachwuchs hält schon längst nicht mehr mit. Die Anzahl der Pflegebedürftigen steigt kontinuierlich und kann schon bald nicht mehr finanziell getragen werden. Es werden Service-Roboter entwickelt, die zunächst bei den kleinen Schwierigkeiten wie den Toiletengang den Hilfsbedürftigen zur Seite stehen. Ein positiver Nebeneffekt bei diesem Beispiel ist, dass die Intimsphäre geschützt und das Selbstbild des Bedürftigen erhalten bleibt.

Roboter haben es in diesem Anwendungsbereich nicht nur wegen des geschürten Misstrauen schwer, sie müssen sich in einer Umgebung zurechtfinden, die sich ständig ändert. Menschen leben im Chaos, jeder hat eine eigene Ordnung. Gegenständen und Personen wechseln immerzu ihren Platz und müssen von den Roboter immer wieder neu erfasst werden. Doch es ist nicht nur die reale Umgebung sondern auch der Mensch selbst, der mit seinen Launen und wechselnden Erwartung dem Roboter den festen Boden nimmt.

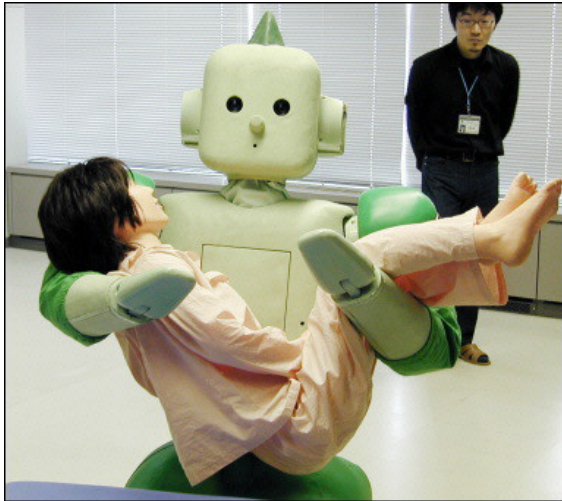


Abbildung 3.6: Pflegeroboter

Service-Roboter sind nicht allein für den Hausgebrauch gedacht. Auch Einsatzgebiete wie wahre Automobile und die Verkehrsfluss-Kontrolle gehören zu den Aufgabenspektrum dieser Roboter. Die Entwicklung geht rasend vorwärts und schon bald werden neue Innovationen unser Leben zunehmend verändern.

Kapitel 4

Ausgewählte Roboter

4.1 Asuro

NACH dem vorangegangenen kurzen Abriss über Ursprung und Entwicklung der Roboter, soll nun ein Roboter etwas genauer vorgestellt werden. Dabei handelt es sich um den vom *Deutschen Zentrum für Luft und Raumfahrt* (DLR) entworfenen und von der Firma Arexx vertriebenen Roboterbausatz *Asuro*. Wegen seines geringen Preises von lediglich 50 Euro ist er gut für den Einsatz an Schulen und Universitäten geeignet, besonders um Schülern und Studenten einen ersten Einblick in die Methoden der Roboterprogrammierung zu geben.

Aufbau und Leistung

TROTZ der auf den ersten Blick wenig leistungsfähigen Hardware (siehe Anhang B, Tabelle B.1, Seite 17), steht dieser Roboterbausatz anderen, weitaus teureren Roboterbausätzen nicht nach, denn die Einschränkungen bei Steuerungselektronik und Sensorik betreffen Roboter im allgemeinen. Zum einen liegt dies – in der hier betrachteten Größeklasse von Maschinen – an dem mangelnden physischen Platzangebot für schnellere Prozessoren und größeren Speicher, die auch einen höheren Energiebedarf besitzen und somit größere Batterien nach sich ziehen, zum anderen daran, daß generell für diese einfachen Bausätze einfach keine höheren Rechenleistungen erforderlich sind. Lediglich

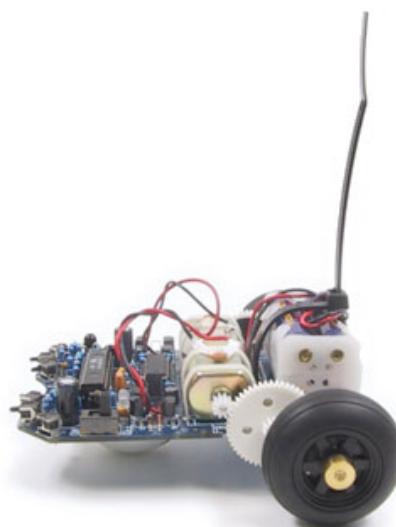


Abbildung 4.1: Roboterbausatz *Asuro*

der kleine Programmspeicher des Prozessors, der sich aufgrund der CPU-Architektur nicht erweitern läßt, setzt starke Grenzen beim Programmumfang.

Das Herzstück des Roboters stellt ein vollintegrierter RISC-Microcontroller des Typs ATmega8L dar, der ansonsten vor allem in einfachen Steuergeräten, etwa für die Klimakontrolle, eingesetzt wird. An diesen Prozessor sind zehn Sensoren angebunden, mit denen *Asuros* Programmablauf beeinflußt werden kann und mit denen er seine Umwelt wahrnehmen kann. Neben sechs einzeln ansprechbaren Drucksensoren (Tas-

tern), stehen zwei Photorezeptoren, etwa zur Linienverfolgung, und zwei Odometriesensoren in Form von Reflexlichtschranken zur Ermittlung der zurückgelegten Entfernung zur Verfügung. Desweiteren existiert auch eine Infrarotschnittstelle, über die der Roboter programmiert und gesteuert werden kann, die jedoch auch zur Übermittlung von Daten vom Roboter zu einem anderen IR-Empfänger verwendet werden kann.

Um mit seiner Umwelt zu interagieren, hat *Asuro* Kontrolle über zwei Elektromotoren, die ihn antreiben und ihm zu flinken Bewegungen verhelfen; jeder Motor treibt jeweils ein Rad an und kann unabhängig angesteuert werden. Für die Statusübermittlung stehen dem kleinen Automaten eine zweifarbige Status-LED und zwei einfarbige LEDs auf Höhe der Räder bereit, hinzu kommt noch der IR-Transceiver, mit dem auch komplexere Daten ausgegeben werden können.

Mittlerweile gibt es sogar eine Erweiterungsplatine, die es erlaubt mit eigenen Schaltungen und Sensoren an diesem Roboter zu experimentieren. Dies ermöglicht es etwa einen Ultraschallsensor anzubringen, oder ein LCD-Display, sodaß zur Ausgabe von Nachrichten nicht auf die IR-Schnittstelle zurückgegriffen werden muß.

Damit sind für *Asuro* die Voraussetzungen gegeben auf seine Umgebung wahrzunehmen (etwa ein Hindernis zu bemerken), auf sie zu reagieren (das Hindernis zu umfahren) und somit den Programmablauf den Gegebenheiten der Umwelt anzupassen. Somit fällt er nach der Kategorisierung der JIRA (Anhang A) bereits in die Klasse der „intelligent robots“.

Software und Programmierung

HARDWARE allein ist aber nur eine Hälfte dessen, was einem Roboter die Möglichkeit zu autonomen Handeln verleiht – es ist nötig diese Hardware auch programmieren zu können. Hierfür wird bei *Asuro* standardmäßig gewöhnlicher *C*-Code verwendet,

der mit einem speziellen Compiler für Atmels AVR Embedded Prozessoren in, für den ATmega8L lesbaren, Maschinencode umgewandelt wird. Mit ein wenig Programmiererfahrung in *C* ist es schnell möglich seine ersten Programme für den kleinen Roboter zu schreiben, insbesondere da auch das Benutzerhandbuch bereits eine schnelle Einführung in die Roboterprogrammierung bietet.

Um dem Programmierer eine einfache Möglichkeit zu geben schnell leichtverständliche Programme zu erstellen, existiert bereits eine Programm-Bibliothek, die Funktionen zum Ansprechen der Motoren/ LEDs und Auslesen der von den Sensoren ermittelten Werte bereitstellt. Hierzu sei auf das Handbuch verwiesen, das neben der Entwicklungssoftware für *Asuro* auf www.arexx.com zum Download steht.

In Anhang B auf Seite 18 findet sich ein kleines Beispiel, das den prinzipiellen Aufbau und Ablauf eines Programms für *Asuro* im Besonderen, aber auch für Roboter im Allgemeinen, veranschaulichen soll. Es handelt sich um die Implementierung einer Linienverfolgung, die die Photorezeptoren nutzt, um sich an einer Kontrastkante zu orientieren und an dieser entlangzufahren.

```
#include "asuro.h"

int main(void) {
    Init();
    return 0;
}
```

Listing 4.1: *Asuro* – Initialisierung

Anstelle der ansonsten bei *C*-Programmen üblichen Einbindung des `stdio`-Headers wird hier die Datei `asuro.h` hinter der `#include`-Anweisung angegeben. Damit werden die Funktionen zum Ansprechen der Sensor-, Motor- und Signalisierungshardware des Roboters zur Verfügung gestellt. Daneben muß ein Programm für *Asuro* in der `main`-Prozedur

zwingend zunächst die Hardware per `Init()` in den Ausgangszustand versetzen, bevor andere Befehle ausgeführt werden. Ein sehr einfaches Programm, das lediglich die Hardware initialisiert, siehe aus wie in Listing 4.1.

Eine weitere Auffälligkeit ist die Hauptprogrammenschleife des Linienverfolgungsprogramms – sie terminiert nicht. Bei einem normalen Computerprogramm sind Endlosschleifen auf den ersten Blick unerwünscht; betrachtet man jedoch die Read-Eval-Print-Schleife, etwa in SCHEME, so stellt man fest, daß es, wenn es um Interaktion mit einer Umgebung geht, durchaus nicht ungewöhnlich ist, wenn keine Terminierung möglich ist (abgesehen einmal vom Abschalten des Geräts). Schleifen stellen eine wichtige Kontrollstruktur dar, die in ihrer Bedeutung in der Roboterprogrammierung sogar noch wichtiger ist als bei normalen, deterministischen Computerprogrammen.

In der Schleife wird zur Linienverfolgung ein vom Prinzip her einfaches Programm ausgeführt. Der Funktionsaufruf `LineData(daten)` liefert von den beiden Photorezeptoren ermittelten Helligkeitswerte und speichert sie als Integerwert im Array `daten`, wobei `daten[0]` den des linken, `daten[1]` den des rechten Sensors enthält ('0' steht für dunkel, '1023' für hell). Erfasst der rechte Photosensor eine dunklere Fläche, als der linke, so fährt der Robot nach links, gegenteiliges gilt den Umkehrfall. Die Richtungsänderung wird dadurch verursacht, daß der Befehl `MotorSpeed(links, rechts)`, mit dem sich die beiden Elektromotoren steuern lassen, unterschiedliche Geschwindigkeiten übergeben bekommen.

Das Beispiel sollte verdeutlicht haben, daß man mit relativ geringem Programmieraufwand und ein wenig praktischem Denken schnell ein kleines Programm schreiben kann, mit dem sich ein Roboter ansatzweise schon autonom verhält. Hat man erst einmal ein wenig Erfahrung und einige Ideen, so lassen sich darauf aufbauend leicht anspruchsvolle

re Aufgaben verwirklichen.

Ist man nicht daran interessiert den Atmel-Prozessor in *C* zu programmieren, so bietet sich als Alternative dazu die JAVA-Lösung NanoVM an. Es handelt sich um eine sehr kompakte Virtuelle Maschine, die in das 8k große Flash-ROM des ATmega8L paßt und es so zuläßt JAVA-Code auf ihm auszuführen. Allerdings ist es nicht möglich die VM selber über das Infrarot-Modul zu übertragen, da NanoVM die eigentlich Firmware *Asuros* ersetzt. Deshalb ist es notwendig das Flash-ROM der CPU in einem entsprechenden Schreibegerät direkt zu überschreiben – eine Prozedur die schon einigen Aufwand erfordert, allerdings durchaus möglich ist, da der Prozessor gesockelt und nicht gelötet ist. Aufgrund des geringen Preises der Recheneinheit ist es allerdings oft sogar praktischer, direkt eine mit NanoVM beschriebene CPU zu kaufen, und einfach nach Bedarf zu wechseln. Nähere Informationen zu NanoVM findet man unter www.harbaum.org/till/nanovm/.

Obwohl der Roboterbausatz *Asuro* mehr Verständnis von Programmierung, und für den Zusammenbau vor allem Kenntnisse in Elektrotechnik. erfordert, als etwa Legos *Mindstorm*-Reihe, ist er trotzdem, gerade aufgrund seines geringen Preises, ein guter Einstieg, um einen Einblick in die Funktionsweise von Robotern zu erhalten.

4.2 Lego Mindstorm

ES sieht aus wie einfaches Spielzeug, doch das Paket Lego Mindstorms besteht aus mehr als nur reinen Legobausteinen. Gezielt wird dieses Paket an Schulen und Universitäten verwendet um einen einfachen und schnellen Einstieg in die Welt der Roboter zu bieten. Die schnellen Erfolge geben dem Anwender halt, auch die schier grenzenlosen Anwendung sorgen dafür, dass dieses Paket nicht irgendwann auf dem Speicher landet. Der Aufwand von 250 Euro ist durch aus ge-



Abbildung 4.2: Lego Mindstorm Invention System 2.0

rechtfertigt, da der Lieferumfang sehr groß ist. Obwohl der Lego Mindstorm noch eine sehr lebhaft Community besitzt, die immer wieder neue Modelle vorstellt. Wird das Paket nicht mehr weiter hergestellt. Mit etwas Glück findet sich jedoch noch der ein oder andere Verkäufer der dieses Paket im Angebot hat.

Aufbau und Leistung

ZUNÄCHST besteht das Paket aus mehr als 700 Legobausteinen und Bauanleitung für die Basismodelle.

Das Kernstück und somit der wichtigste Baustein des Lego Mindstorms, ist der RCX-Mikrocomputer, dieser besitzt drei Ein- und Ausgänge. (siehe Anhang C, Tabelle C.1, Seite 20) Die Eingänge bekommen Informationen über ihre Umgebung anhand der Sensoren die im Paket enthalten sind. Dazu gehören Infrarotsensoren, Berührungssensoren und Lichtsensoren. Es können aber auch zusätzliche Sensoren nachträglich erworben werden (zum Beispiel die Temperatursensor). Die Eingabe über die Sensoren führt zu bestimmten Programmaufrufen in dem RCX, dieser ist frei programmierbar. Compiler gibt es für viele Hochsprachen wie C oder Java. So dass die gewohnte Programmierumgebung nicht verlassen werden muss.



Abbildung 4.3: RCX

Besonders einfach für Einsteiger ist die Programmierung in der mitgelieferten Entwicklungssoftware derzeit Robotics Invention 2.0 (Siehe Software und Programmierung). Sie ist zwar nicht genauso Ausdrucksstark wie C oder Java, doch lassen sich hier nahe zu alle Programme einfach und schnell zusammenklicken.

Ein LCD zeigt während des Betriebes den aktuellen Status des RCX und am Bedienfeld kann einer der 5 Speicherplätze aktiviert werden, in denen einzelne Programme abgelegt werden können. Der RCX Baustein ist ebenfalls mit einem Infrarotsender für die Datenübermittlung ausgestattet, dafür wird eine Tower verwendet, der per USB an den PC angeschlossen wird.

Software und Programmierung

WIE bereits erwähnt reicht für die meisten Anwendung die mitgelieferte Entwicklungssoftware „Robotics Invention 2.0“



Abbildung 4.4: Robotics Invention 2.0



Abbildung 4.5: AIBO

aus. Es sind hier keinerlei Programmierkenntnisse erforderlich da anhand von ausführlichen Tutorials die gesamte Umgebung und viele Beispiele vorgestellt werden.

Die Oberfläche und Funktionalität der Umgebung ist rein auf den RCX ausgelegt, dadurch sind keine überflüssigen Komponenten vorhanden. In der Umgebung kann das Sensor- und Motorverhalten eingestellt werden sowie Programmabläufe anhand eines Ablaufschemas erzeugt werden. Jeder Block enthält genaue Anweisung für den RCX. So beinhaltet zum Beispiel der Block 'Links', die Anweisung, dass der Motor 'A' für eine Sekunde mit voller Leistung in Laufrichtung eingeschaltet wird. Blöcke können beliebig erzeugt und verändert werden, so dass bestimmte eigen erzeugte Bewegungsabläufe anschließend immer wieder Verwendung finden.

Die Verbindung und Datenübertragung zu dem RCX kann ebenfalls direkt aus dieser Umgebung heraus hergesellt werden.

4.3 Aibo

WIE bereits erwähnt gehört der Aibo zu den Service-Robotern, eine Imitation eines gewöhnlichen Hundes. Doch die Entwickler bei Sony haben den Aibo mit lauter Features voll gepackt. Der Preis ist sehr

hoch angesetzt - es handelt sich somit um ein Spielzeug der Luxusklasse.

Eine Vielzahl von Sensoren sorgen dafür, dass sich der Aibo in seiner Umgebung wiederfinden. Ausgestattet ist dieser mit einem Motorola 64 Bit Prozessor. Doch erst die aufgespielte Basissoftware macht aus dem Aibo was er ist. Ein lernfähiges System, welches auch Stimmen und Gesichter erkennt. Optional kann dieses System über die Schnittstelle programmiert werden. Der Aibo macht sich mit seinem Verhalten bemerkbar und drückt seine Emotionen über seine Gesten und seine LCD-Anzeige aus. Für Unterhaltung ist bei Aibo auch gesorgt, so verfügt dieser über ein CD-Player, eine Digi-Cam und er kann sogar selbst zu seiner eigenen Musik tanzen. Besonderen Anklang finden derzeit die im Internet verfügbaren Programmierung von verschiedenen Verhaltens- und Bewegungsabläufen, einfach herunterladen, über die WLAN Verbindung zum Aibo die Daten aufspielen und schon beherrscht der Aibo die neuen Fähigkeiten.

Kapitel 5

Vom Marsrover zum Androiden

5.1 Ausblick - Technik

BETRACHTET man die Fortschritte, die in den letzten Jahrzehnten auf dem Gebiet der Robotik gemacht worden sind, dann sind diese zweifellos beachtlich – an einen wirklichen Androiden, einen menschenähnlichen Roboter, reichen die Entwicklungen aber bei weitem noch nicht heran.

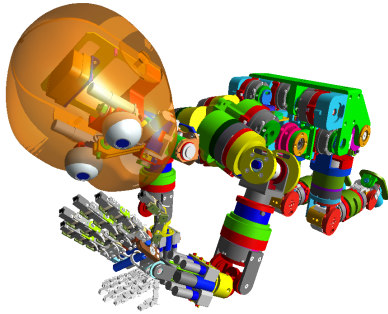
Allein der aufrechte Gang ist lange Zeit eine Herausforderung für die Avantgarde der Roboter gewesen, und erst in den letzten Jahren ist es gelungen mit Maschinen wie Hondas *Asimo* oder Kawadas *HRP-2* diese Hürde zu nehmen. Wirklich autonom sind diese Maschinen jedoch nicht, zu groß ist Ihre Abhängigkeit von der Fernsteuerung durch einen Operator, zuviel der Rechenleistung muß aufgebracht werden, um das Gleichgewicht zu behalten. Dennoch, erste Schritte sind gemacht, *Asimo* erkennt bereits selbständig Gesten, Gesichter und Stimmen, wenn auch nur eine relativ geringe Anzahl, und *HRP-2* ist in der Lage koordiniert mit einem Menschen eine Platte zu tragen.

Von einem mechatronischen Gesichtspunkt her betrachtet, mag man also sagen, daß Roboter wirklich schon eine wichtige Schwelle in Richtung Menschenähnlichkeit überschritten haben – in der Form ihres Äußeren und der Art sich zu bewegen. Auf der anderen Seite steht jedoch die Intelligenz der Maschinen. Klassische KI-Methoden sind sicher nicht in der Lage einem



Abbildung 5.1: Kawada Industries *HRP-2*

Roboter auch nur ansatzweise menschliche Intelligenz zu geben, zu stark ist er an seinen Programmablauf gebunden. Es ist also ein neues Paradigma der Roboterprogrammierung erforderlich. Das RobotCub Consortium (www.robotcub.org) mit seinem iCub könnte hierbei ein erster Schritt sein. iCub ist ein Roboter, der ähnlich einem menschlichen Kind, krabbelnd seine Umgebung erforschen soll. Dabei soll er lernen, da er von vornherein nur mit einigen wenigen Grundfunktionalitäten ausgestattet ist. Das Projekt erhofft sich hieraus Erkenntnisse einerseits über die Verfahren, wie man einen Roboter entwickeln kann, der lernt und intelligent handelt, andererseits aber auch dar-

Abbildung 5.2: RobotCubs *iCub*

über, wie menschliche Kinder lernen. Hierzu setzt es neben internationaler Kooperation – es sind 16 Partnerorganisationen aus der EU, Japan und den USA an RobotCub beteiligt – auch auf eine Open-Source-Plattform, so daß sich eine breite Masse an Forschern, auch wenn sie nicht direkt an dem Projekt beteiligt sind, ihr Fachwissen einfließen lassen können. Das Budget beträgt 8,5 Mio. Euro bei einer Projektlaufzeit von 5 Jahren.

Hauptthese des Projektes ist, daß sich Kognitionsfähigkeiten nicht durch händische Programmierung nachbilden lassen, sondern nur durch einen Entwicklungsprozeß. Dieser kognitive Entwicklungsprozeß verläuft ihrer Ansicht nach emergent im Zusammenspiel mit einem körperlichen.

Erweist sich das Projekt als erfolgreich, wäre der nächste Abschnitt der Roboterentwicklung eingeleitet. Ob aber die Mittel, sowohl finanziell, als auch technisch, die dem Projekt zur Verfügung stehen, um einen solchen Durchbruch zu erzielen, scheinen fraglich. Dennoch ist RobotCub ein Indikator dafür, daß auch in der Anwendung ein Umdenken eingesetzt hat, nämlich. daß es gar nicht so abwegig ist, daß es Verfahren gibt, um Robotern das Lernen beizubringen. Vielleicht wird es damit möglich sein, Robotergehilfen und -gefährten zu erschaffen, wie sie heute nur in der Literatur auftauchen.

5.2 Ausblick - Marktentwicklung

Der technische Fortschritt ist nicht zu bremsen alles wird kleiner, alles wird schneller und vor allem wird in der Technik auch alles immer günstiger. Was heute Luxus ist, kann morgen schon zum Alltag gehören. So ist es auch mit den Roboter, sie werden immer günstiger und immer Leistungsfähiger. Allein auf Grund der Preisentwicklung wird die Industrie immer weiter und immer schneller Automatisieren. Die sonst so kaum erschwinglichen leistungsfähigen Roboter, die bisher der Industrie vorbehalten blieben werden immer mehr auch in den privaten Haushalten vorzufinden sein. Es ist absehbar, dass diese künstlich intelligenten Maschinen uns in nicht all zu ferner Zukunft an nahezu jedem Ort begegnen.

Anhang A

Roboterklassifikation

Roboterklassen nach JIRA

1. Manual Manipulator:

- kein Programm
 - direkt vom Bediener geführt
-

2. Fixed Sequence Robot:

- wiederholt konstant ein Bewegungsmuster
 - ändern des Bewegungsmusters ist relativ aufwendig
-

3. Variable Sequence Robot:

- wiederholt konstant ein Bewegungsmuster
 - ändern des Bewegungsmusters ist relativ problemlos
-

4. Playback Robot:

- Bewegungsablauf wird einmal durch den Bediener vorgeführt und abgespeichert
 - Bewegungsablauf beliebig wiederholbar
-

5. Numerical Control Robot:

- NC-gesteuerte Maschine
 - Informationen über Bewegungsablauf wird über Taster, Schalter oder Datenträger zahlenmäßig eingegeben
-

6. Intelligent Robot:

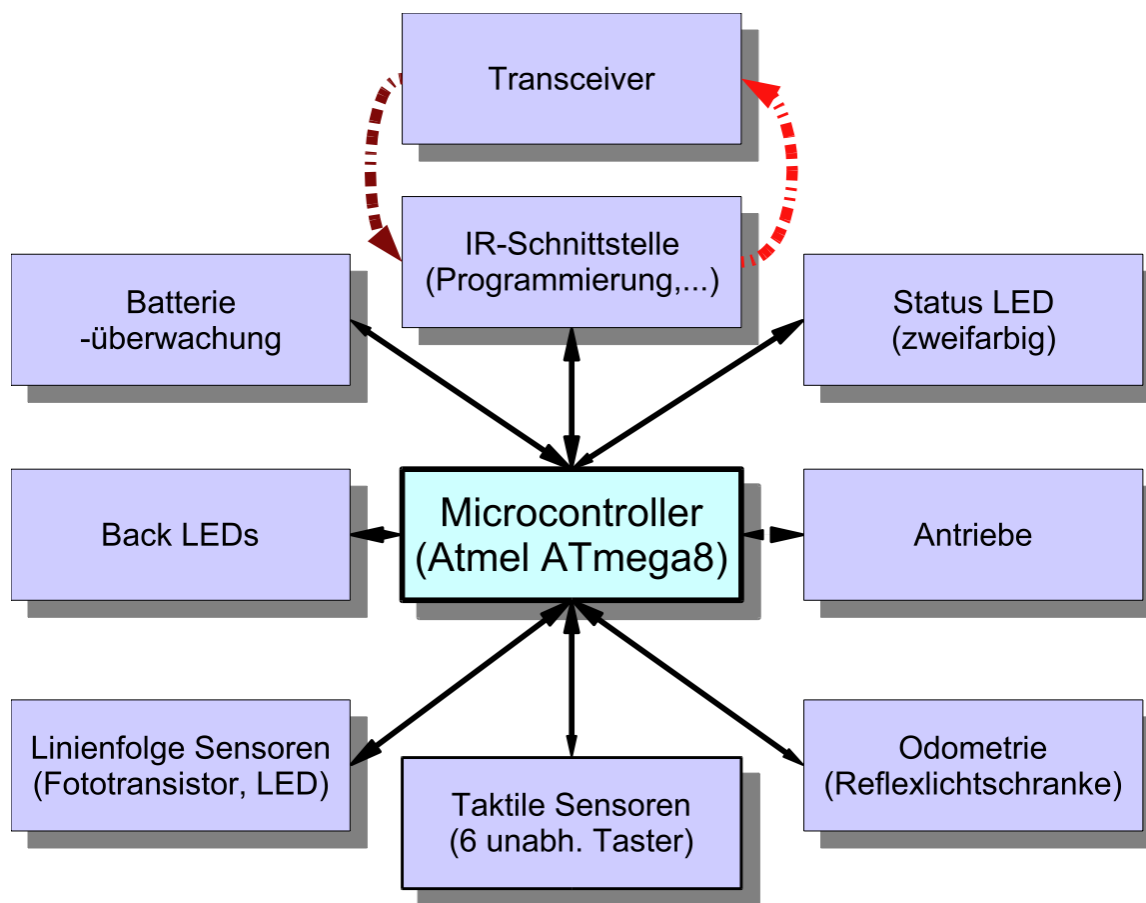
- höchste Roboterklasse
- verschiedene Sensoren zur Erfassung der Umwelt
- selbsttätige Veränderung des Programmablaufs

Anhang B

Informationen zu *Asuro*

CPU	Atmel Atmega8L (8bit)
CPU-Takt	8 Mhz
ROM	8 kB (zzgl. 512 B EEPROM)
SRAM (Chip)	1 kB
Bewegung	2 Motoren, 9V 500 mA
Eingabe	10 Sensoren: – 6 Bumper – 2 Fotorezeptoren – 2 Drehzahlsensoren
Sound	1 Speaker
Timer	2 System-Timer (8 Bit) 1 System-Timer (16 Bit)
Batterien Stromversorgung	4x 1,5V 6V, ACDC
Kommunikation	IR-Port (Transceiver)

Tabelle B.1: *Asuro* – Hardwareeigenschaften

Abbildung B.1: *Asuro* – Schematischer Aufbau

Asuro – Beispielcode

```

#include "asuro.h"

int main(void) {
    #define SPEED 150
    Init();
    FrontLED(ON);

    /* char ergebnis[10]; */

    int links, rechts, ADCoffset, a;
    unsigned int daten[2];

    MotorDir(FWD,FWD);

    for (a = 0; a < 254; a++) {

```

```

        LineData(daten);
    }
    LineData(daten);
    ADCoffset = daten[0] - daten[1];
    links = SPEED;
    rechts = SPEED;

/* Hauptprogrammschleife */

    while (1) {
        int b;

        LineData(daten);
        b=daten[0] - daten[1] -ADCoffset;

        /*
        Ausgabe per serieller Schnittstelle
        itoa(b, ergebnis, 10);
        SerWrite(ergebnis, strlen(ergebnis));
        SerWrite("\n\r", 2);
        */

        if (b > 4) {
            StatusLED(RED);
            rechts = rechts - 2 ;
            if (rechts < 1) rechts = 0;
        }
        else if (b < -4) {
            StatusLED(GREEN);
            links = links - 2 ;
            if (links < 1) links = 0;
        }
        else{
            StatusLED(OFF);
            links = SPEED;
            rechts = SPEED;
        }
        MotorSpeed(links, rechts);
    }
return 0;
}

```

Listing B.1: Asuro – Code für Linienverfolgung

Anhang C

Informationen zu Lego Mindstorm

CPU	Hitachi H((8bit)
CPU-Takt	16 Mhz
SRAM (Chip)	512 B
SRAM (Extern)	32 kB
Ausgabe	3 Motoren-Ports, 9V 500 mA
Eingabe	3 Sensoren-Ports
Anzeige	1 LCD
Sound	1 Speaker
Timer	4 System-Timer (8 Bit)
Batterien	6x 1,5V
Stromversorgung	9-12V, DC/AC
Kommunikation	IR-Port (Sender, Empfänger)

Tabelle C.1: *Mindstorm* – Hardwareeigenschaften

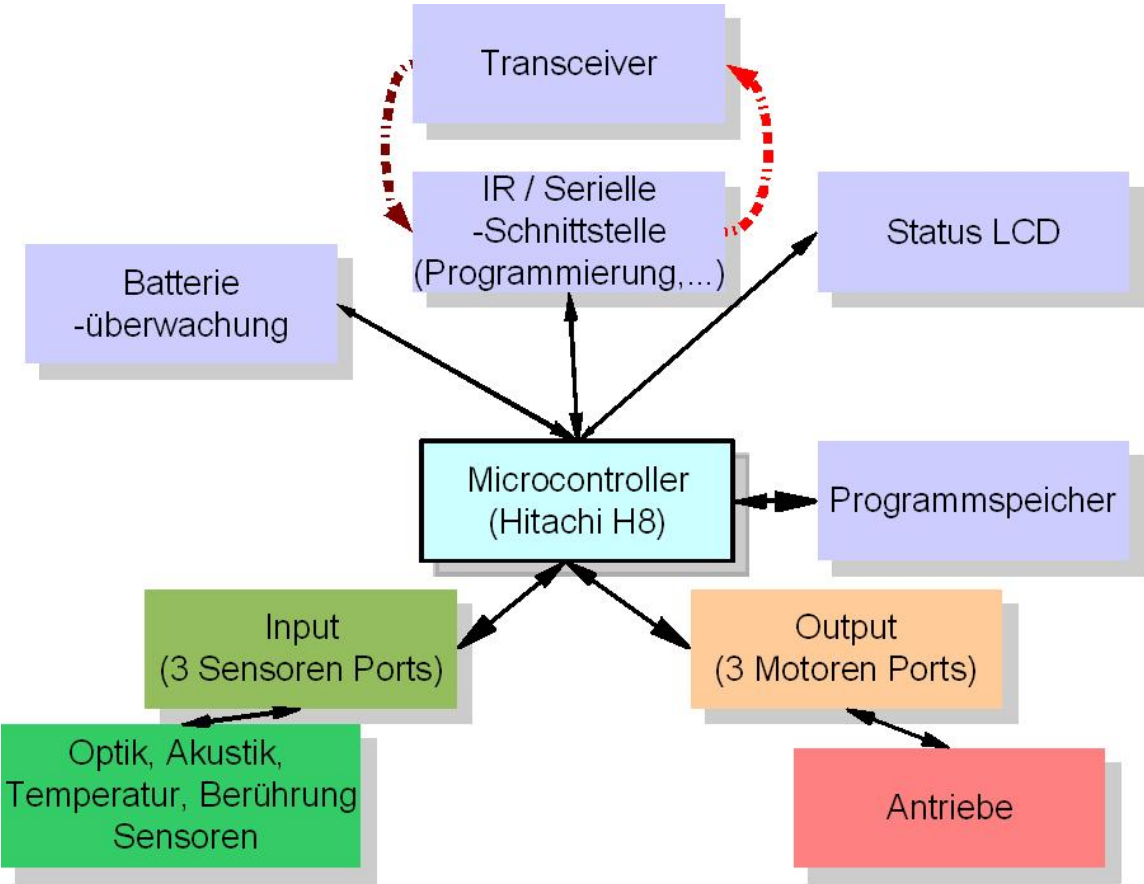


Abbildung C.1: *Mindstorm* – Schematischer Aufbau