

1 Roboter - wieso, weshalb, warum ?

Seitdem der Pathfinder und sein Abgesandter, der Miniroboter Sojourner, ihre Bilder zur Erde funkten, steigt auch das Interesse an der Robotik. Der kleine mobile Sojourner hat offensichtlich die Herzen der Weltraumbegeisterten auf der ganzen Erde im Fluge erobert. Die NASA vermeldet Rekordzahlen der Zugriffe auf ihre Internetseiten. Millionen Interessenten haben bislang aktuelle Informationen und Bilder von der Homepage des Marsexperimentes abgerufen.

Die Robotik kommt endlich aus ihrem Nischendasein heraus. Erstaunlich sind die Erfolge, die mit dieser Technik scheinbar mühelos zu erzielen sind. Die Höhe der Kosten, die die Wissenschaftler und Techniker dafür in Rechnung stellen, nimmt sich wie ein Taschengeld gegenüber den sonst in der Raumfahrt üblichen Beträgen aus.

Woher kommt dieser kleine Wundertäter, der geraume Zeit die sonstigen Katastrophenmeldungen und die Reden der Politiker in der allabendlichen Tagesschau auf die Nebenschauplätze der Berichterstattung verwies ?

Ferngelenkte Roboter sind in der Raumfahrt seit langem in Betrieb. Die meisten sind längst nicht so spektakulär wie der Marsroboter. Wettersatelliten verrichten seit Jahren unauffällig ihren Dienst, Fernsehsatelliten sind gleichermaßen kaum noch aus dem täglichen Leben wegzudenken. Bewegliche Erkundungsroboter sind schon seltener. Mit der Lunochod-Serie haben die Russen in den siebziger Jahren ein gewisses Gegengewicht zur Monderkundung der Amerikaner mit ihren bemannten Apollo-Raumschiffen schaffen wollen. In der Anfangszeit der Raumfahrt sind auch verschiedentlich wenig bewegliche, meist nur mit einem Greifarm ausgestattete Erkundungsroboter zu anderen Planeten entsandt worden.

Allen diesen Missionen war jedoch ein hoher Aufwand eigen. Der Marsroboter erscheint dagegen wesentlich eleganter. Offensichtlich ist ein solcher mobiler Roboter auch nicht als Nachfolger eines Lunochod-Fahrzeuges zu sehen. Diese waren von der Erde aus ferngesteuert, der Marsroboter kann offensichtlich bestimmte Entscheidungen selbst treffen (ein Funksignal würde im Gefahrenfall wegen der langen Übertragungszeit keine schnellen Reaktionen ermöglichen). Vielmehr scheint der Sojourner seine Ursprünge in den kybernetischen Fahrzeugen der sechziger Jahre zu haben.

Bevor intensiver auf die Ursprünge mobiler Roboter eingegangen werden soll, kurz zur *Begriffsbestimmung der Robotik*. Generell sollen an dieser Stelle nur die mobilen, mehr oder minder selbständig agierenden Roboter betrachtet werden. Die industriell eingesetzten Handhabungsgeräte oder Manipulatoren sind zwar auch Roboter, haben aber mit der allgemeinen Vorstellung eines zumindest pseudomenschenähnlichen, beweglichen Roboter nichts gemein. Meist sind sie auch nicht in der Lage, auf unterschiedliche Ereignisse zu reagieren. Es handelt sich um hochspezialisierte Geräte, die für eine Anwendung optimiert sind, z.B. Spritz- oder Schweißroboter, die vornehmlich in der Automobilindustrie eingesetzt werden. Gegenstand dieses Buches sollen vornehmlich bewegliche (weniger planeten-, sondern eher wohnzimmererkundende) Gefährte sein. Hauptkennzeichen ist neben der Beweglichkeit das Reaktionsvermögen auf äußere Reize.

Jedoch nun zu den *kybernetischen Modellen*. Diese wurden oft als Fahrzeuge mit bestimmten Eigenschaften, meist nachempfundenen, natürlichen Verhaltensweisen ähnlich, publiziert. Begriffe wie "Kybernetische Schildkröte" oder "Kybernetische Motte" stammen daher. Mit diesen Versuchen wurden Experimente bezüglich bestimmter Reflexe und ihrer Nachbildung durch elektronische Mittel unternommen. Mit einiger Berechtigung können die kybernetischen Modelle als Urahn oder Vorfahren der eigentlichen Roboter bezeichnet werden.

Der Gegenstand der *Kybernetik* als Querschnittswissenschaft sind die Gesetzmäßigkeiten zur Steuerung von Systemen unter der Einbeziehung oder Nachbildung natürlicher Informationsprozesse. Vereinfacht ausgedrückt, ist die Kybernetik der Versuch, natürliche Verhaltensweisen von Tieren oder auch Menschen auf technische Systeme zu übertragen. Die Bezeichnung selbst ist ein wenig aus der Mode gekommen, denn auch die Technik und ihr Fachwortschatz sind bestimmten Modernisierungsprozessen unterworfen. Mit einer gewissen Berechtigung kann dieser Teilbereich der Kybernetik der KI-Forschung (KI - Künstliche Intelligenz, engl. AI - Artificial Intelligence) gleichgesetzt werden.

Zurück zu den kybernetischen Modellen: Die Fahrzeuge wurden mit Elektronik, Motoren und einer Energiequelle versehen. So ausgerüstet, fuhr (nicht flog) die "Kybernetische Motte" auf eine Lichtquelle zu. Sensoren meldeten externe Reize an die Elektronik, die damit bestimmte Reaktionen auslöste. Hindernisse auf dem Weg zur Lichtquelle wurden erkannt, z.B. durch Prallkontakte, und das Modell absolvierte Ausweichbewegungen. Die Verknüpfung mehrerer Reize zu einem Reflex war fest in der Elektronik verdrahtet. Eine mögliche Verknüpfung verschiedener Reize war die Kopplung eines Schallreizes (z.B. Pfiff) bei gleichzeitiger Hindernisberührung. Wenn diese beiden Reize oft genug zusammen auftraten, setzte ein

"Lerneffekt" ein. Die Kybernetische Motte führte auch dann eine Ausweichbewegung aus, wenn nur der Pfiff ertönte! Bild 1.1 zeigt einige Bewegungselemente eines kybernetischen Modells.

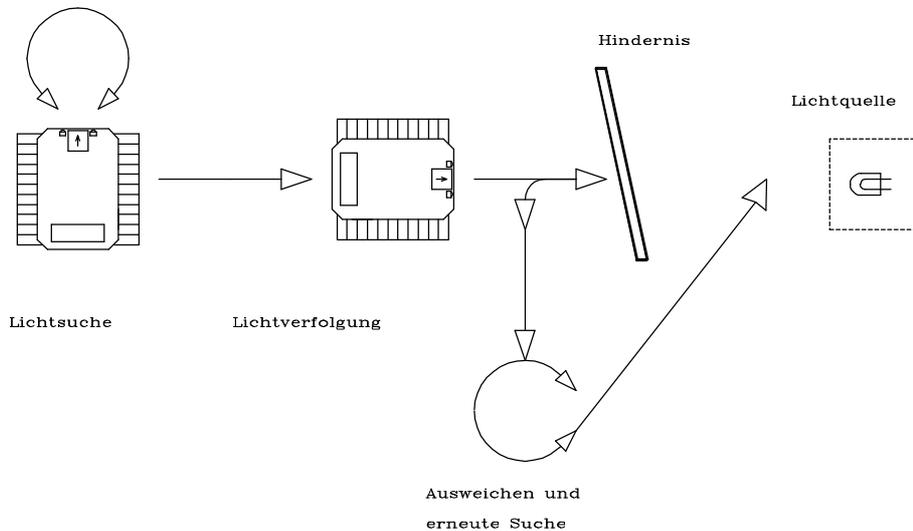


Bild 1.1 Bewegungen einer Kybernetischen Motte

"Spielerei !" schreit da natürlich gleich der praktisch orientierte Deutsche. Zugegeben, eine richtige praktische Anwendung ist hier nicht leicht vorstellbar. Jedoch waren die mit solchen Modellen ermöglichten Untersuchungen und Experimente von grundlegender Bedeutung. Die *elektronische Nachbildung bedingter Reflexe* und die *Interaktion* mehrerer *kybernetischer Modelle* untereinander beinhalten letztlich auch die Programmstrukturen, die komplexere Roboter benötigen. Auch heute ist die Simulation solcher Prozesse, die beispielsweise aus mehreren unabhängig voneinander handelnden Einzelkomponenten bestehen, nicht ganz einfach.

In der Literatur werden deshalb besonders die Experimente mit mehreren gleichartigen Modellen hervorgehoben. Die Modelle sind in diesen Fällen beispielsweise mit einer Lichtquelle ausgerüstet und "suchen" sich quasi gegenseitig mit Hilfe ihrer optischen Sensoren. Obwohl ein solches Experiment auf den ersten Blick eher spielerisch wirkt, sind die Ergebnisse teilweise überraschend. Durch die fest von der Elektronik vorgegebenen Such- und Ausweichkurse der autonom agierenden Modelle ergibt sich ein Bewegungsverhalten, das denen von Insekten sehr ähnlich ist [6].

Die resultierenden Kurse der Fahrzeuge von einem Anfangspunkt aus sind nur über kurze Zeiträume hinweg prognostizierbar. Der gesamte Bewegungsablauf wirkt eher chaotisch. Allein diese Feststellung ist insofern von großer Wichtigkeit, da der scheinbar chaotischen Bewegung wenige feste Grundregeln innewohnen und das System, in diesem Falle aus der Gesamtheit aller Modelle bestehend, dadurch einer bestimmten Endkonstellation zustrebt.

Damit lassen sich anhand dieser Untersuchungen Aussagen zur *Stabilität von Systemen* treffen. Unter der Annahme, daß die Modelle wie oben beschrieben eine Lichtquelle suchen, dabei möglichen Hindernissen ausweichen, um danach erneut die Lichtquelle zu suchen, gibt es zwei grundsätzliche Endstellungen. Zum einen können sich die Fahrzeuge nach einer bestimmten Zeit alle innerhalb eines begrenzten Radius zusammenballen und dort im Rahmen ihrer Ausweichbewegungen umeinander kreisen, oder alle Fahrzeuge verlieren sich aus den "Augen" und zerstreuen sich über eine größere Fläche; das System konvergiert bzw. divergiert.

Das größte Handikap der kybernetischen Modelle besteht in den festverdrahteten Funktionen der Elektronik. Die Komplexität festverdrahteter Logik ist nicht unbegrenzt steigerbar. Obendrein muß von Anfang an jede mögliche Entscheidung in der Logik implementiert werden. Von Künstlicher Intelligenz, um den Brückenschlag von der Kybernetik zur KI zu vollziehen, kann man keineswegs sprechen. Allenfalls primitivste Reflexhandlungen einfacher natürlicher Verhaltensweisen waren darstellbar. Der Mikroprozessor als potentiell variabel programmierbares System war noch nicht erfunden, und die Computer jener Tage paßten gerade in eine Sporthalle. Alle Versuche, mobile kybernetische Modelle flexibel einzusetzen oder sie lernfähig zu machen, waren deswegen zum Scheitern verurteilt.

Die nächste Stufe, einen praktikablen Roboter zu bauen, wurde erst mit der breiten *Einführung des Mikroprozessors* erreicht. Damit war eine Revolution in der Steuerungstechnik möglich. Gleichartige Hardwareplattformen waren per Software für die unterschiedlichsten Anforderungen konfigurierbar. Die Idee des *mobilen Roboters*, möglichst menschenähnlich, war geboren. Die Euphorie der Anfangsjahre der mobilen Robotik ist heute kaum noch vorstellbar. Der Roboter sollte im Haushalt helfen, behinderten oder älteren Menschen zur Seite stehen und die Straßenreinigung übernehmen. Obendrein sollten sie hauptsächlich wie der Roboter R2D2 aus "Krieg der Sterne" aussehen. Diese Vorstellungen, einem Buch aus dem Jahre 1984 entnommen, verleiten heute zum überlegenem Lächeln. Der kleine R2D2 bei der Straßenreinigung ! Garantiert wäre er beim zweiten Waschgang mit Graffiti versehen und spätestens beim dritten Versuch, Ordnung zu schaffen, von gelangweilten Übeltätern gänzlich ruiniert worden. Ist also das Ende der mobilen Robotik erreicht ?

Vieles hat sich anders entwickelt, als zu Beginn von ihren Schöpfern vorausgesagt. Ein Roboter verbirgt sich heute oft an Stellen, wo man ihn kaum erwarten würde. Eine moderne Waschmaschine bewegt sich nicht und stopft sich auch nicht selbst mit schmutziger Wäsche voll (noch nicht), alle anderen Kriterien eines Roboters erfüllt sie aber in geradezu idealer Weise. Sie entnimmt der Leitung die erforderliche Wassermenge, erhitzt sie auf die gewünschte Temperatur und erfüllt auch alle anderen ihrem Programm entsprechenden Aufgaben auf das Vortrefflichste.

Doch wo sind die mit viel Enthusiasmus gebastelten, mobilen kleinen Roboter der ersten Stunde hin? Mühsam, schwer mit Batterien bepackt, quälten sie sich und ihre stromfressenden Prozessoren, z.B. 8080, 8085 oder Z80, über die von ihren heimtückischen Konstrukteuren zur Pein des Programmes erdachten Hindernisstrecken. (Übrigens, im Marsmobil steckt ein 80C85, ein moderner Enkel der ersten Prozessorgeneration.). Die eingeschlagene Richtung zielt nun nicht mehr so sehr auf die Schaffung des ultimativen Roboters á la Isaac Asimov [26], sondern offensichtlich mehr auf die Spezialisierung, den Ersatz stupider Automaten durch flexible Rechentechnik.

Doch ganz verschwunden sind sie noch nicht, die kleinen mobilen Roboter. In den USA, am Massachusetts Institute of Technology (MIT) und sicher nicht nur dort, werden regelmäßig Wettbewerbe in dieser Sparte der angewandten Technik ausgetragen. Teilnahmeberechtigt sind Konstruktionen, die festgelegte Bestimmungen hinsichtlich Größe und Ausstattung erfüllen. Eine der Aufgaben besteht darin, auf einer Tischtennisplatte die entsprechenden Bälle von einer Hälfte der Platte zur anderen zu schaffen. Und damit die Aufgabe auch nicht zu leicht wird, versucht ein zweiter Minirobot auf der anderen Plattenseite das gleiche. Gewonnen hat dann der Roboter bzw. sein Konstrukteur, der die meisten Bälle auf die Seite des Gegners transportiert hat; und so der Roboter es schafft, kann er seinen Konkurrenten ebenfalls mit fortschaffen.

"Ganz nett", sind die Kommentare einiger Beobachter. Doch ein Student (und die Absolventen des MIT zählen nicht zu den dümmsten), der während des Studiums, und sei es aus Lego-Teilen, einen Miniroboter baut und zum Funktionieren bringt, hat gegenüber denen, die den unter Umständen besseren theoretischen Abschluß vorweisen können, unschätzbare Vorteile bei der Bewertung praxisrelevanter Aufgabenstellungen.

Fakt ist, daß der Aufbau und der erfolgreiche Test von mobilen Robotern eine komplizierte Aufgabe ist. Erforderlich ist dabei eine Verknüpfung der verschiedensten Bereiche aus Elektronik und Mechanik. Ein breites Wissen wird bei der Realisierung

eines derartigen Projektes vermittelt, und eine derartige Wissensbasis ist keine Spielerei mehr!

Die Vielzahl der möglichen Roboterkonstruktionen, die bereits realisiert oder geplant sind, ist nahezu unüberschaubar. In den USA scheint die Hochburg der Roboter-Freaks zu liegen. Via Internet gibt es einen regen Meinungs- und Gedankenaustausch über kommerziell gebaute bzw. vertriebene Geräte oder die mindestens genauso guten und oft viel skurileren Eigenbaumonster. Die Antriebsmechanismen reichen von Rädern über Ketten bis hin zu den verschiedensten Schreitkonstruktionen (Beine). Allen gemeinsam ist ihre mehr oder minder große Intelligenz zur Auseinandersetzung mit ihrer Umwelt.

Einige Beispiele sollen als Anregung dienen.

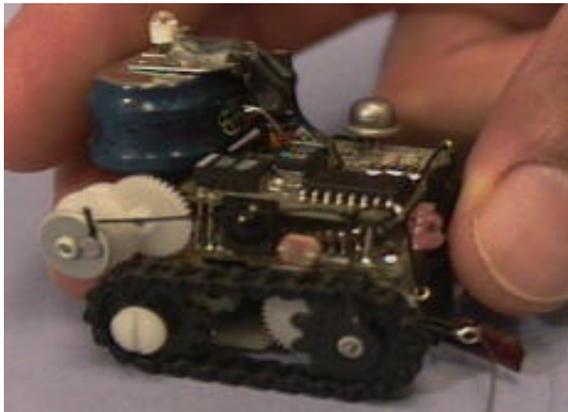


Bild 1.2 Miniroboter "Antbot"

Dieser Miniroboter, entwickelt von James McLurkin (MIT, www.ai.mit.edu), dient zur Untersuchung bzw. Simulation von Verhaltensweisen mehrerer autonomer Roboter.

An zahlreichen Hoch- und Fachschulen existieren Fachbereiche, die sich mit mobiler Robotik befassen oder auch Praktika für interessierte Studenten anbieten.

Die Beschäftigung mit der Materie reizt zum Nachbau. Die bereits mehrfach erwähnten Lego-Steine werden sehr oft als Basis eigener Experimente benutzt. Konstruktionen aus Metallbauteilen eignen sich unter Umständen ebenfalls (Bilder 1.3 bis 1.5).

Kennzeichen der meisten dieser Roboter ist die mehr oder weniger provisorische Implementierung fertiger Elektronikbausteine in das Fahrzeugkonzept. Dieses Verfahren eignet sich, um mit erfahrenen Leuten, sprich Studenten höherer Semester, schnell Ergebnisse zu erzielen. Die möglichen Fehlerquellen und/oder "Schummelfaktoren", die damit in das Konzept einfließen, können sich verheerend auf die Funktionssicherheit auswirken.

Störfaktoren, wie schwer oder überhaupt nicht kalkulierbares Getriebe oder Lenkspiel, machen die Fehlersuche in der Software zum Geduldsspiel. Die Frage nach der Fehlerursache (Mechanik oder Elektronik) erschwert vieles.

Hinzu kommt, daß die mobilen Roboter meist Einzelstücke repräsentieren. Interaktionen zwischen gleichartigen Robotern sind damit schwer programmierbar. Der Ausweg, in Form industriell hergestellter Bausätze oder Kästen, ist bislang viel zu teuer und sehr schlecht beschaffbar.

Als einzige Alternative verbleibt nur der *Eigenbau* geeigneter Gefährte. Damit diese Aufgabe nicht zum Selbstzweck gerät, werden im folgenden umfangreiche Vorschläge unterbreitet.

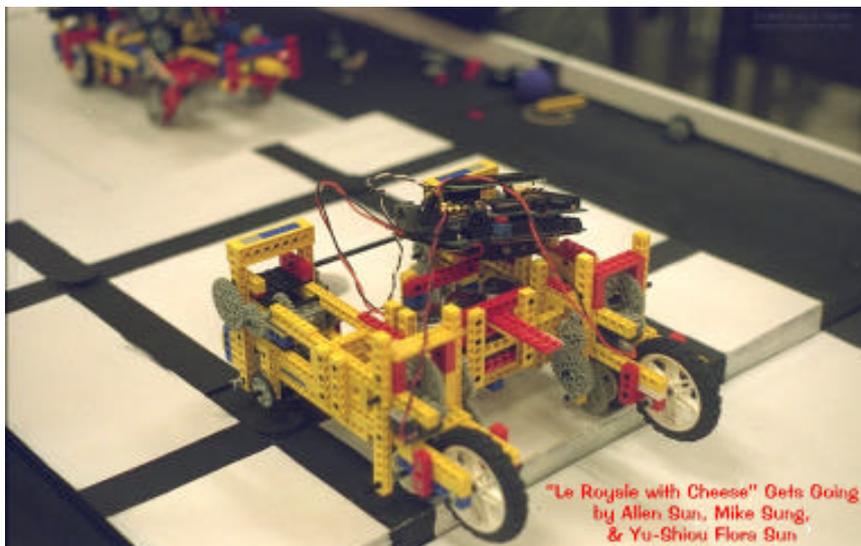


Bild 1.3 Komplizierter Lego-Roboter

Basierend auf der bewährten Bausteinmethode erfolgt der Einstieg ohne (vorerst) überflüssigen theoretischen Ballast. Rezept: "Man nehme 150 g Lego-Steine, eine Leiterplatte und zwei Stück Schaltkreise...".

Leider bleibt es nicht so einfach. Die Robotik steckt noch in den Kinderschuhen. Das Buch wird deshalb keine abschließende Theorie aufstellen können. Das Rüstzeug wird jedoch geliefert, und grundlegende Verfahren zur Steuerung und Regelung werden am Beispiel detailliert behandelt.

Also auf zum Bau eines Miniaturmonsters zum Bewegen von Tischtennisbällen oder zum Simulieren einer Population von künstlichen Robo-Zombies !

Eine ungefähre Dreiteilung des Materials soll die Überschaubarkeit gewährleisten. Um zum einen komplizierte Experimente durchzuführen, zum anderen aber nicht ständig ein neues Modell bauen zu müssen, "überlappen" sich die Schwierigkeitsstufen von Elektronik und Mechanik immer ein wenig. Besonders deutlich wird dies bei den Robotern Willi und Fritz, die auf dem gleichen Mechanikaufbau beruhen, jedoch im Elektronikentwurf stark voneinander abweichen. Mit dem Austausch der Leiterplatte kann die (teure) Mechanik weiterverwendet werden.

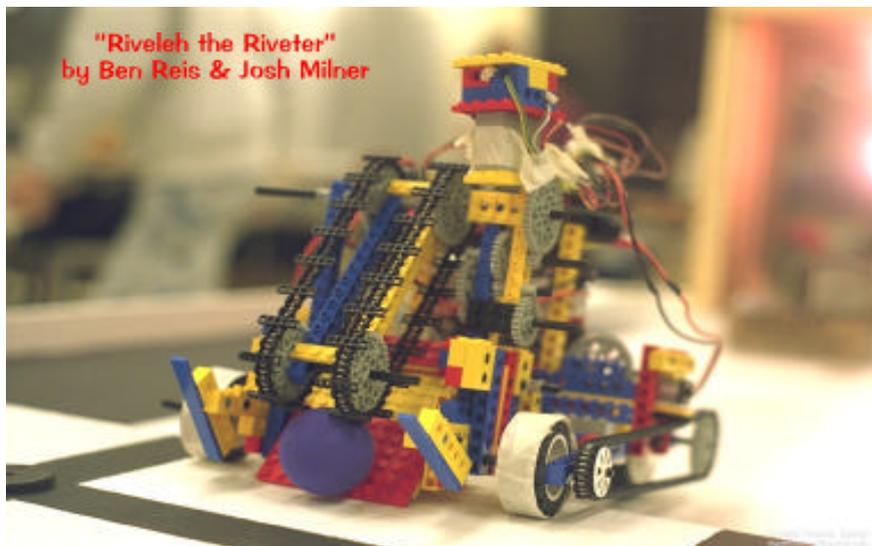


Bild 1.4 Ein weiteres Roboterfahrzeug

Im Verlaufe mehrerer Experimente im Buch steigt der Schwierigkeitsgrad sehr schnell an. Die Versuche mit unterschiedlich intelligenten Robotern ziehen sich als roter Faden durch das Buch. Damit lassen sich eine Reihe theoretischer Zusammenhänge und Überlegungen praktisch nachvollziehen und verstehen.

Alle angegebenen Schaltungen sind erprobt, und zu vielen Stromlaufplänen gibt es fertige Platinen (siehe Bezugsquellen). Zum Schluß entsteht ein recht komplexer Mini-Roboter, der über eine Reihe interessanter Eigenschaften verfügt.

Damit nicht genug, konnten die Autoren rechtzeitig einen der neuen "Cybermaster" von Lego ergattern und diesen Roboter mit ihren eigenen Entwürfen vergleichen.

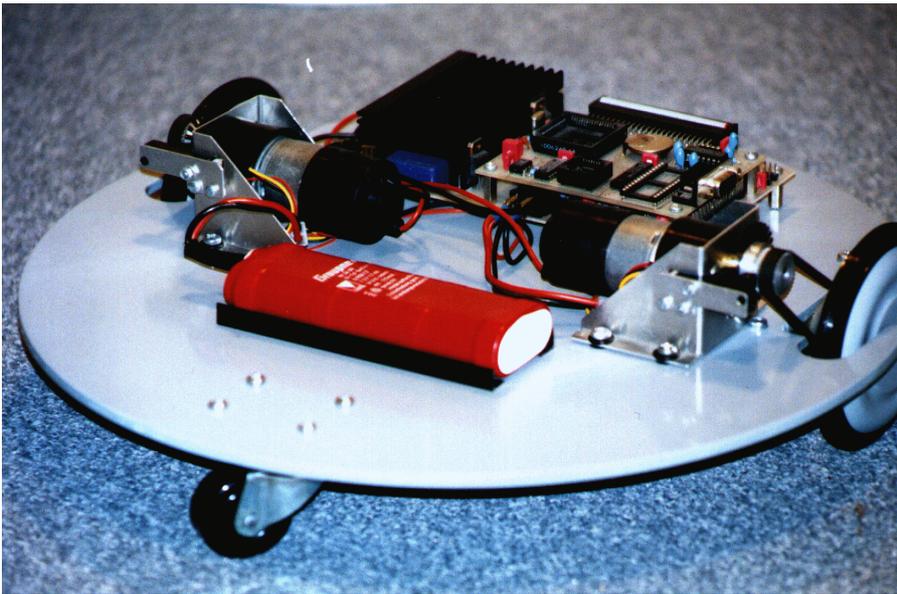


Bild 1.5 Eigenbauroboter, ca. 38 cm Durchmesser

Mit diesen wenigen Bildern kann nur ein kleiner Ausschnitt aus der Robotertechnik präsentiert werden. Trotz vielerlei Aktivitäten, steckt manches noch in den Kinderschuhen. Aus der Industrie kommt immer wieder die Frage nach dem Nutzeffekt dieser Konstruktionen. Außer als Instrument zur Aus- bzw. Weiterbildung gibt es dafür noch wenig Anwendungen.