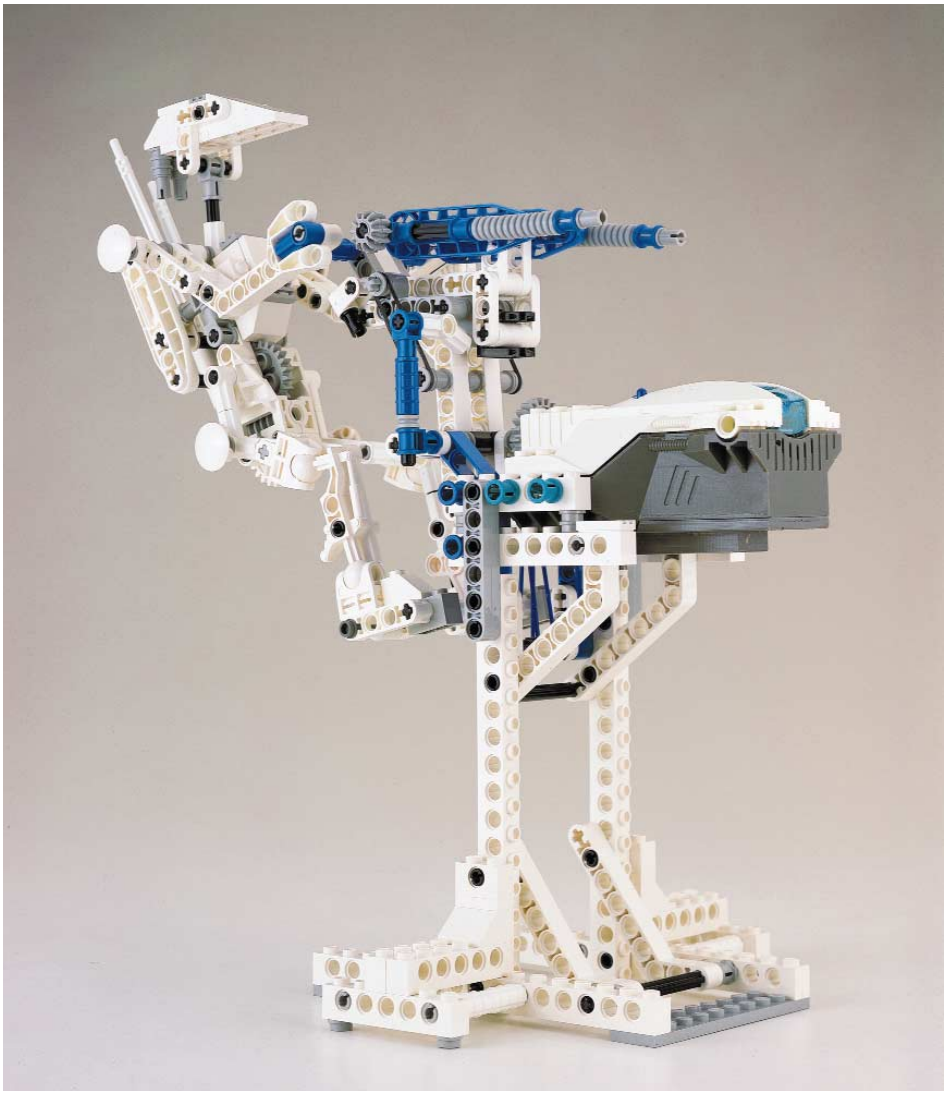
MindStorms: Lego-Mikrocontroller

# Robotic Invention System

**Seit einiger Zeit ist das *Lego Robotics Invention System* auf dem Markt. Damit kann man nach Herzenslust entwickeln, bauen und programmieren. Und nicht nur Roboter, denn das Herz des Systems, der RCX-Block, kann für die verschiedensten Anwendungen eingesetzt werden.**



Von Hans Steeman

Nachwuchsingenieure fallen nicht vom Himmel. Nur wenn man Jugendliche für Technik begeistert, kann man auch erwarten, dass sie später einen "technischen" Beruf ergreifen. Gerade im schulischen Bereich müssen neue Formen gefunden werden, denn althergebrachte Konzepte Marke Radiobasteln oder Funk-AG dürften nur noch wenige Schüler hinter der Spielkonsole hervorlocken.

Einen interessanten Ansatz bietet der dänische Spielzeughersteller Lego, der sein MindStorms-Programm um das Robotics Invention System (RIS) erweitert. Das System ist seit Ende 1998 in den USA und in der verbesserten Version 1.5 seit Ende letzten Jahres in Europas Spielzeughandel erhältlich. RIS ist im Grunde nichts anderes als ein Mikrocontrollersystem samt peripheren Sensoren/Motoren und einer (PC/Mac-) Entwicklungsumgebung, angereichert um etwa 700 Lego-Bausteine, mit denen sich trefflich verschiedene Robotermodelle nach den Vorgaben des Konstruktionsbuches Constructopädia oder nach eigenem Gusto zusammenbauen lassen. Darunter sind auch ein Lichtsensor, Berührungs-

sensoren, ein Temperatursensor sowie zwei kräftige 9-V-Motoren zum Anschluss an das Herz des ungefähr 450 DM teuren RIS-Pakets, das Mikrocontroller-System mit der Bezeichnung RCX1.5. Das Lego-Konzept wird von der (pädagogischen) Fachwelt als neue Dimension der PC-Anwendung gefeiert. Die NASA beförderte sogar einen RIS-Roboter zum Besatzungsmitglied der Discovery STS-96, um die Bedeutung der Informationstechnologie für die Jugend zu untermauern.
Interessierte und MindStorms-Anwender werden über eine eigene Portalseite *www.mindstorms.com* unterstützt.

## Der RCX-Mikrocomputer

Der gelbe RCX-Block (**Bild 1**) ist der zentrale Bestandteil des Baupakets. Er sieht wie ein großer Lego-Baustein aus und lässt sich auch entsprechend verarbeiten. Im Inneren steckt ein kompletter Mikrocomputer auf Basis eines 64-poligen Hitachi-Mikrocontrollers aus der H8-Familie, der mit einer Taktfrequenz von 16 MHz arbeitet. Der Controller verfügt über ein internes 16-Kbyte-ROM, unterstützt von einem RAM mit einer Kapazität von 32 KByte. Dieser RAM-Baustein ist teilweise batteriegepuffert. Das geladene Programm verbleibt im Speicher, solange die sechs Mignon-Zellen angeschlossenen sind. Bei einem Batteriewechsel bleibt der Programmkode etwa eine Minute erhalten, danach ist er aber verloren, wenn die neuen Batterien nicht angeschlossen sind.
Im 16-KByte-ROM stecken Basisroutinen wie der Bootstrap-Lader, der einen "Kaltstart" des Systems ermöglicht. Zurzeit können keine vom Anwender selbst geschriebene Programme ausgeführt werden. Die gelieferte Software aktiviert die angeschlossenen Motoren und unterstützt die IR-Schnittstelle.
Die integrierte Software beginnt die Arbeit, wenn sie durch das vom PC heruntergeladene RCX-Steuersystem unterstützt wird. Das Steuerungssystem benötigt 16 KByte RAM, so dass für die eigentliche Benutzersoftware ebenfalls rund 16 KByte zur Verfügung stehen. Da der RXC-Block einen byteorientierten Programmkode benutzt (eine Art Maschinensprache mit ungefähr 70 Befehlen), bleibt Raum genug auch für umfangreiche Anwendungen. Das RCX-Steuersystem ist "event"-orientiert und kann bis zu sechs Tasks gleichzeitig ausführen.
Neben dem H8-Controller und den Speicherbausteinen umfasst der RXC-Block unter anderem ein kompaktes grafisches LC-Display, einen kleinen 15-mm-Lautsprecher, einen LCD-Controller, einen Spannungsregler, zwei IR-Sendedioden sowie ein paar passive Bauteile.

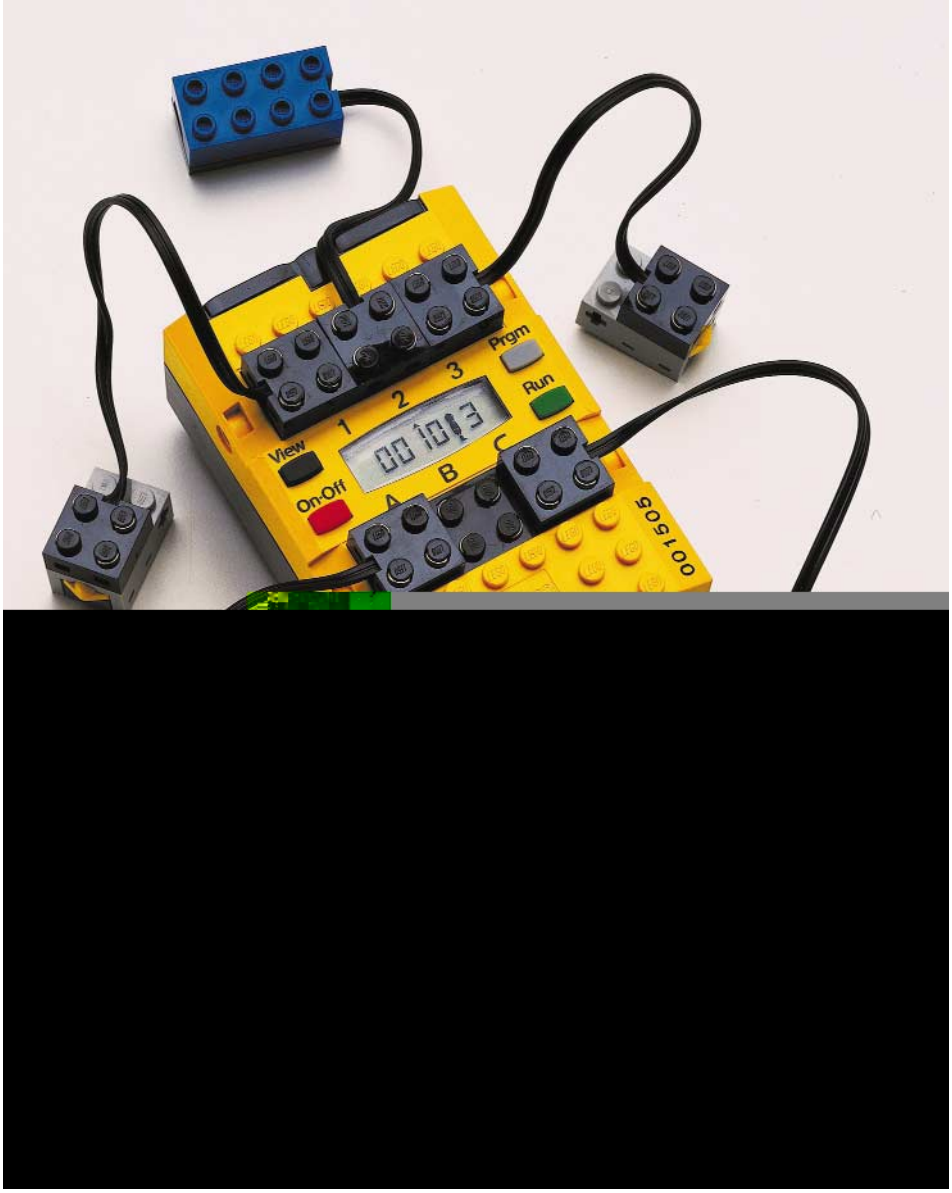



Bild 1. Ein Lego-Baustein voller Elektronik: der RCX-Block.

## Systemvoraussetzungen

**Das Robot Invention System erfordert mindestens einen 166-MHz-Pentium mit dem Betriebssystem Windows 95/98, der über ein CD-ROM-Laufwerk mit achtfacher Geschwindigkeit, eine SVGA-Grafikkarte (800×600 Pixel, 1 MByte Grafikspeicher), die DirectX unterstützt, eine SoundBlaster-kompatible Soundkarte, eine freie neunpolige serielle Schnittstelle sowie 16 MByte Arbeitsspeicher verfügt. Auf der Festplatte nimmt RIS etwa 70 MByte in Beschlag. Diese Anforderungen dürfte jeder moderne Standard-PC erfüllen. Um RIS optimal anzuwenden, ist ein Internet-Zugang von Vorteil.**

## Grafische Oberfläche

Lego hat sich fast zwölf Jahre Zeit genommen, eine Programmiersprache für den RCX-Controller zu entwickeln, die für Kinder und Jugendliche ab zwölf Jahren geeignet ist. Das Ergebnis kann man nicht

Bild 2. Systemeinstellungen in der grafischen MindStorms-Software.

Bild 3. Die Entwicklungsumgebung erinnert an ein Puzzle.

Bild 4. So werden die Sensoren eingestellt.

zuletzt aufgrund der Zusammenarbeit mit dem Media Lab des Massachusetts Institute of Technology (MIT) als äußerst gelungen bezeichnen.
Die auch bei einem älteren Pentium problemlos verlaufende Installation der CD-ROM benötigt satte 70 MB Festplattenspeicher in der Grund- und 140 MB in der Vollversion. Dafür erhält der Anwender aber auch eine ausführliche multimediale Einführung in das Robotics Invention System. Schon in diesem Stadium wird der RCX-Block mit Sensoren und Motoren probeweise programmiert und in Betrieb genommen. Auch der Anschluss des PC-Links wird erläutert und überprüft, ebenso die System- und Hardwareeinstellung (**Bild 2**).
Bevor man mit eigenen Entwürfen beginnen kann, lernt man im RCX-Trainingscenter die symbolbasierte Programmierung des Mikrocontrollers und der Sensoren kennen. Die **Bilder 3/4** vermitteln einen Eindruck von der Entwicklungsumgebung. Die Befehle des Programms werden aus den Menüs gezogen und wie Puzzle-Teile aneinander gesetzt. Ähnlich verfährt man mit der Programmierung der Sensoren. Die Programmierung wird durch eine kontextsensitive und eine globale Hilfefunktion unterstützt, kommentierte Programmbeispiele sind in der Programmopädia zu finden (**Bilder 5/6**). Ein Wermutstropfen: Die Software ist gemischtsprachig: Erläuterungen, Hilfetexte, und Kommentare in Deutsch, Befehle und Sensoreigenschaften in Englisch.
Die grafische Entwicklungsumgebung des Robotics Invention System ist zwar leicht zu erlernen und überaus anschaulich, bietet aber dem Programmierexperten zu wenig Flexibilität. Im zweiten Teil des Artikels werden alternative Entwicklungsumgebungen für den RCX-Mikrocontroller vorgestellt, unter anderem die von National Instruments, der Tufts-Universität (Massachusetts) und der bei Lego für edukative Belange zuständigen Firma Lego-Dacta entwickelte Schulsoftware Robolab oder aber die (im Internet kostenlose) Programmiersprache NQC (Not Quite C).

## Scout und Micro Scout

Das RCX-Modul ist nicht das einzige Mikrocontroller-System von Lego. Ganz ohne PC-Unterstützung kommt der MicroScout aus, der sieben eingebaute und nicht veränderbare Verhaltensmuster zur Verfügung stellt. Der MicroScout ist Teil des Droid Developer Kit zum Aufbau von Robotern nach StarWars (R2D2 und Konsorten) und wird lediglich über drei Taster bedient. Ein achter Programmpunkt ist frei programmierbar, allerdings erst mit der RIS-Softwareversion 2.0, die ab September erhältlich sein soll.
In den USA gibt es ein erweitertes Scout-System, das auf einem Toshiba-Mikrocontroller mit 32 k ROM und 1 k RAM beruht. Die Firmware des Scout umfasst einen Assembler mit etwa 70 Befehlen, die denen des RCX ähneln. Der Controller stellt 400 Byte RAM für das Anwendungsprogramm zur Verfügung, gebrauchsfertige Routinen können aus dem ROM aufgerufen werden.
Zur Programmierung des Scout-Controllers benötigt man ein Software-Entwicklungspaket, das unter *www.legomindstorms.com/scout_sdk/* heruntergeladen werden kann. Dieses Scout Software Developers Kit besteht aus einem Lego-Assembler samt Dokumentation sowie einer Reihe von Softwaretools, Programmierbeispielen und Makros. Das Entwicklungspaket erfordert das Mindstorms-IR-Link und ein serielles Kabel. Ob das Scout-System auch in Deutschland erhältlich sein wird, entscheidet die Lego-Geschäftsleitung erst im Laufe des Jahres.

## IR-Transceiver

Der RCX kommuniziert mit dem PC über einen Infrarot-Sender/Empfänger, der an die neunpolige serielle Schnittstelle des PC angeschlossen wird. Dieser Transceiver versorgt sich aus einer 9-V-Blockbatterie.
Von der seriellen Schnittstelle des PCs werden lediglich die Leitungen TxD, RxD und Masse verwendet, ein Handshaking findet nicht statt. RTS und CTS sind im Transceiver kurzgeschlossen. Über zwei Adern der fünfpoligen Verbindung wird der Kurzschluss RTS/CTS detektiert. So erkennt die Software, dass ein Modul angeschlossen ist. Zurzeit gibt es keine USB-Version des Transceivers, so dass Besitzer eines Apple Macintosh noch nicht mit dem Robotics Invention System arbeiten können.
Über einen Schalter an der Modulfront kann ein weiter oder kleiner Sendebereich eingestellt werden, in der Praxis funktioniert die IR-Verbindung über ein paar Meter.
Ist die IR-Verbindung zum PC hergestellt, die auf der mitgelieferten CD-ROM enthaltene Software installiert, kann es mit dem Herunterladen des RXC-Steue-

Bild 5. In der Programmopädia werden einige Robotermodelle vorgestellt ...

Bild 6. ... und beispielhaft programmiert.

rungssystems losgehen. Das Verfahren klingt umständlich, eröffnet aber die Möglichkeit, die alte Steuerungssoftware durch zukünftige Updates auf den neusten Stand zu bringen. So unterstützt die aktuelle Variante 1.5 einen Rotations-, einen Temperatur- sowie weitere Sensoren, die (noch) nicht zum Grundpaket gehören.

Steckt das Steuersystem erst einmal im RXC-Block, zeigt er seine Betriebsbereitschaft durch eine Ikone im Display: Die PC-Software kann gestartet werden. Der Bau einiger elementarer Roboter wird anhand ausgearbeiteter Beispiele begleitet. Der Anwender wird Schritt für Schritt in die Softwareprogrammierung ein geführt. Und erscheint es ihm dennoch zu schwierig, so kann er auf eine Reihe von fertigen Softwareroutinen zurückgreifen. Wie auch immer, nach ein paar Stunden dürfte sich der erste Roboter (wohl noch recht unbeholfen) durch die Wohnung bewegen. Neue Funktionen und Verhaltensweisen lassen sich leicht ausprobieren und der Software hinzufügen.

## Sensoren

Der RCX-Block besitzt drei asymmetrische Sensoreingänge mit je einem 10-kΩ-Pull-up-Widerstand. Der RCX wandelt die analogen Messgrößen im Bereich 0...5 V in eine 10 bit breite Variable mit der Bezeichnung RAW. Dabei spielt es keine Rolle, ob es sich bei dem Sensor zum Beispiel um einen lichtempfindlichen Widerstand oder einen Schalter handelt. In der "originalen" Lego-Software wird lediglich einer von zurzeit drei Sensortypen (Lichtsensor, Temperatursensor oder Schalter) eingestellt, eine entsprechende Routine weiß dann, wie der digitalisierte Wert zu behandeln ist. Die Entwicklungsumgebung ist auch für einen Temperatur- und einen Umdrehungssensor vorbereitet.

Auf den eigentlichen RAW-Wert kann man in dieser Software nicht zugreifen, sondern nur in alternativen Programmiersprachen wie Robolab, VBasic oder im Lego-Modul spirit.ocx. Damit ist es kein Problem, beliebige Widerstandssensoren und sogar Kombinationen an einen RCX-Eingang zu koppeln. Dies soll aber Thema im nächsten Elektor-Heft werden.

(000040-1)rg

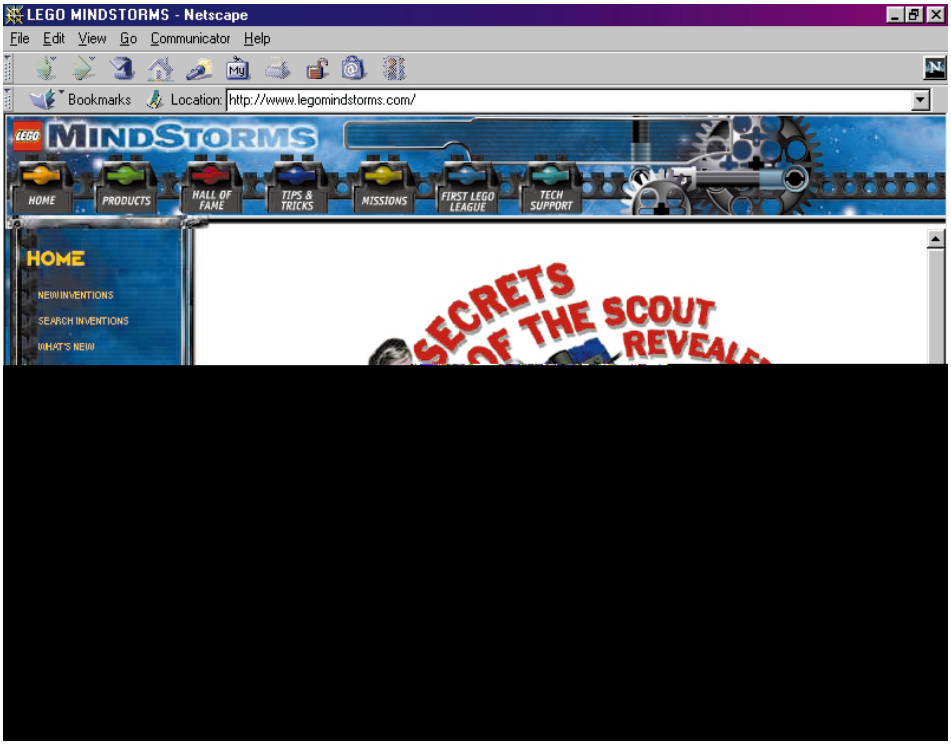



Bild 7. Internetunterstützung erfährt der MindStormer über ein eigenes Portal mit allerlei Infos, FAQs, einem Download-Bereich und viel Platz zum Chatten.