

komplett
in
Farbe!

Roboterwesen bauen und programmieren

Ein Einstieg in LEGO® MINDSTORMS® NXT



Hinweis des Verlages zum Urheberrecht und Digitalen Rechtemanagement (DRM)

Der Verlag räumt Ihnen mit dem Kauf des ebooks das Recht ein, die Inhalte im Rahmen des geltenden Urheberrechts zu nutzen. Dieses Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Der Verlag schützt seine ebooks vor Missbrauch des Urheberrechts durch ein digitales Rechtemanagement. Bei Kauf im Webshop des Verlages werden die ebooks mit einem nicht sichtbaren digitalen Wasserzeichen individuell pro Nutzer signiert.

Bei Kauf in anderen ebook-Webshops erfolgt die Signatur durch die Shopbetreiber. Angaben zu diesem DRM finden Sie auf den Seiten der jeweiligen Anbieter.

Matthias Paul Scholz

Roboterwesen

bauen und programmieren

Ein Einstieg in LEGO® MINDSTORMS® NXT



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<http://dnb.d-nb.de>> abrufbar.

ISBN 978-3-8266-9447-9

2. Auflage 2012

E-Mail: kundenbetreuung@hjr-verlag.de

Telefon: +49 6221/489-555

Telefax: +49 6221/489-410

www.mitp.de

© 2012 mitp, eine Marke der Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm GmbH
Heidelberg, München, Landsberg, Frechen, Hamburg

LEGO, das LEGO-Logo, der LEGO-Stein, die Konfiguration der Noppen und die Minifigur sind Marken der LEGO Group. Die Buchinhalte sind nicht in Zusammenarbeit mit der LEGO Group entstanden und weder von LEGO autorisiert noch unterstützt.

Dieses Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Lektorat: Sabine Schulz

Korrektorat: Manfred Buchholz

Satz: III-satz, Husby, www.drei-satz.de

In memoriam
Prof. Dr. Valentin Braitenberg
(1926–2011),
dessen Arbeiten mich zu diesem Buch angeregt haben

Inhaltsverzeichnis

	Einleitung	13
I	LEGO MINDSTORMS NXT	21
I.1	Die Geburt von LEGO MINDSTORMS	21
I.2	Der NXT	22
I.3	Retail- und Education-Edition	24
I.4	Die Komponenten des NXT-Sets	25
	I.4.1 Der NXT-Stein	25
	I.4.2 Die Motoren	28
	I.4.3 Die Sensoren	29
	I.4.4 Die nicht elektronischen Teile des NXT-Sets	32
I.5	Zusammenfassung	41
I.6	Anregungen	41
2	Die Programmierung des NXT	43
2.1	Schreiben des Programms	44
	2.1.1 Die LEGO MINDSTORMS NXT Software	44
	2.1.2 NXT-G	44
	2.1.3 Die Entwicklungsumgebung	47
2.2	Laden des Programms auf den NXT-Stein	51
	2.2.1 USB-Verbindung	51
	2.2.2 Bluetooth-Verbindung	51
	2.2.3 Herunterladen des Programms über das Kontrollzentrum	53
2.3	Ausführen des Programms auf dem NXT-Stein	57
2.4	Zusammenfassung	57
2.5	Anregungen	58
3	Der Streuner: Umherwandern	59
3.1	Mechanische Komponenten	60
3.2	Die Bauanleitung	61
	3.2.1 Benötigte Teile	61
	3.2.2 Schritt für Schritt	61

3.3	Das Programm	80
3.3.1	Entwurf der allgemeinen Struktur	80
3.3.2	Technische Umsetzung als NXT-G-Programm	81
3.4	Das Verhalten von Streuner	87
3.5	Zusammenfassung	88
3.6	Anregungen	89
4	Der Zyklus: Wahrnehmung	91
4.1	Mechanische Komponenten	92
4.1.1	Lenkbarkeit	93
4.2	Die Bauanleitung	94
4.2.1	Benötigte Teile	94
4.2.2	Schritt für Schritt	96
4.3	Das Programm	115
4.3.1	Entwurf der allgemeinen Struktur	115
4.4	Das Verhalten des Zykloped	128
4.4.1	Interpretation	129
4.5	Zusammenfassung	129
4.6	Anregungen	130
5	Der Kriecher: Scheu und Misstrauen	131
5.1	Mechanische Komponenten	132
5.1.1	Die Kriechsohle	132
5.1.2	Die Vorrichtung zum Ändern der Bewegungsrichtung	133
5.1.3	Die Fühler	134
5.2	Die Bauanleitung	135
5.2.1	Benötigte Teile	135
5.2.2	Schritt für Schritt	136
5.3	Das Programm	164
5.3.1	Entwurf der allgemeinen Struktur	164
5.3.2	Technische Umsetzung als NXT-G-Programm	166
5.4	Das Verhalten des Kriechers	176
5.4.1	Interpretation	176
5.5	Zusammenfassung	177
5.6	Anregungen	177
6	Der Sucher: Neugier und Vorsicht	179
6.1	Mechanische Komponenten	180
6.1.1	Der bewegliche Kopf	180
6.1.2	Die lenkbaren Vorderräder	181

6.2	Die Bauanleitung	182
6.2.1	Benötigte Teile	182
6.2.2	Schritt für Schritt	183
6.3	Das Programm.	204
6.3.1	Entwurf der allgemeinen Struktur	204
6.3.2	Technische Umsetzung als NXT-G-Programm	206
6.4	Das Verhalten des Suchers	222
6.4.1	Interpretation	222
6.5	Zusammenfassung	223
6.6	Anregungen	223
7	Der Krabbler: Das Gehen auf Beinen.	225
7.1	Mechanische Komponenten	226
7.1.1	Antrieb	227
7.1.2	Synchronisation	228
7.2	Die Bauanleitung.	230
7.2.1	Benötigte Teile	230
7.2.2	Schritt für Schritt	230
7.3	Das Programm.	258
7.3.1	Entwurf der allgemeinen Struktur	258
7.3.2	Technische Umsetzung als NXT-G-Programm	259
7.4	Das Verhalten des Krabblers.	266
7.4.1	Interpretation	267
7.5	Zusammenfassung	267
7.6	Anregungen	268
8	Der Wächter: Zweibeinigkeit	269
8.1	Etwas Schwerpunkt-Theorie	269
8.2	Mechanische Komponenten	272
8.2.1	Der externe NXT-Stein	272
8.2.2	Der zweibeinige Bewegungsapparat	273
8.2.3	Die Werfer-Vorrichtung	274
8.3	Die Bauanleitung.	275
8.3.1	Benötigte Teile	275
8.3.2	Schritt für Schritt	276
8.4	Das Programm.	309
8.4.1	Entwurf der allgemeinen Struktur	309
8.4.2	Technische Umsetzung als NXT-G-Programm	310

8.5	Das Verhalten des Wächters	316
8.5.1	Interpretation	317
8.6	Zusammenfassung	317
8.7	Anregungen	318
9	Schwarmwesen: Roboterkommunikation	319
9.1	Mechanische Komponenten	321
9.1.1	Das Fahrwerk	321
9.1.2	Der Kopf	322
9.2	Die Bauanleitung	323
9.2.1	Benötigte Teile	323
9.2.2	Schritt für Schritt	324
9.3	Das Programm	341
9.3.1	Entwurf der allgemeinen Struktur	341
9.3.2	Technische Umsetzung als NXT-G-Programme	343
9.4	Verbinden der beiden Wesen über Bluetooth	356
9.4.1	Herren und Sklaven	356
9.4.2	Sich bekannt machen	357
9.5	Das Verhalten der Schwarmwesen	358
9.5.1	Interpretation	359
9.6	Fernsteuerung	359
9.6.1	Das Fernsteuerungswerkzeug	360
9.6.2	Konfiguration	361
9.6.3	Fernsteuern des Roboters	362
9.7	Zusammenfassung	362
9.8	Anregungen	362
A	Hinweise zu den Anregungen	365
A.1	Streuner	365
A.2	Zyklop	365
A.3	Kriecher	366
A.4	Sucher	367
A.5	Krabbler	367
A.6	Wächter	368
A.7	Schwarmwesen	369

B	Ressourcen	371
B.1	Bücher	371
B.2	Web-Links	372
	B.2.1 Die Seiten zum Buch	372
	B.2.2 Allgemeine Seiten zu LEGO MINDSTORMS NXT	372
	B.2.3 Blogs und Foren	374
	B.2.4 Onlineshops	374
B.3	Design-Werkzeuge	375
C	Alternative Programmierumgebungen	377
C.1	leJOS NXJ	378
C.2	NXC	378
C.3	pbLua	379
C.4	RobotC	379
D	Weitere Sensoren	381
D.1	LEGO Group	381
D.2	HiTechnic	382
D.3	Mindsensors	383
D.4	dexter industries	384
D.5	Codatex	384
E	Fragen und Antworten zur Entwicklungsumgebung	385
E.1	Verwaltung des NXT-Steins	385
E.2	Verwaltung von Programmen	386
E.3	Bearbeiten von Programmelementen	387
E.4	Datenknoten und -leitungen	388
E.5	Variablen	389
F	Glossar	391
	Stichwortverzeichnis	395

Einleitung

*Was du mir sagst, das vergesse ich.
Was du mir zeigst, daran erinnere ich mich.
Was du mich tun lässt, das verstehe ich.*

Kung Fu Tse

An wen richtet sich dieses Buch?

Dieses Buch ist eine Einführung in LEGO MINDSTORMS NXT. Es erschließt dem Leser von Grund auf den Bau und die Programmierung von Robotern, die sich mit einem Set der zweiten Generation dieses Systems realisieren lassen. Es richtet sich somit vorrangig an drei Kreise von Lesern:

- Einsteiger in LEGO MINDSTORMS NXT, also Menschen, die sich das erste Mal mit dem System beschäftigen, weil sie zum Beispiel ein Set gekauft oder geschenkt bekommen haben.
- Lehrerinnen und Lehrer, die nach einem Buch für den Unterricht in ihrer naturwissenschaftlich-technischen Klasse suchen, bei dem sie eines oder mehrere Sets aus der Reihe LEGO MINDSTORMS NXT nutzen wollen.
- Anwender von LEGO MINDSTORMS NXT, die bereits erste Erfahrungen damit gesammelt haben und jetzt nach einer Erweiterung ihrer Kenntnisse sowie nach neuen Konzepten und Ideen suchen, die sie mit ihrem Set umsetzen können.

Für all diese Gruppen ist das vorliegende Buch durch seinen didaktischen Aufbau, seine Mischung aus theoretischen und praktischen Aspekten und seinem Fokus auf Roboter, die alle jeweils mit einem einzigen NXT-Set der Version 2 gebaut werden können, eine gute Wahl.

Was kann man von diesem Buch erwarten und was nicht?

Das vorliegende Buch soll den Leser in die Lage versetzen, mit LEGO MINDSTORMS NXT eigene fortgeschrittene Roboter zu entwerfen, zu bauen und zu programmieren. Dazu werden ihm oder ihr nicht nur die entsprechenden theoretischen und praktischen Grundlagen vermittelt, sondern auch die Kenntnis und

das Verständnis der wichtigen Bau- und Programmierkonzepte und deren Anwendung. Darüber hinaus wird der aufmerksame Leser mit dem in diesem Buch vermittelten Handwerkszeug in der Lage sein, die nächsten Schritte auf dem Weg zur Erforschung des MINDSTORMS-Roboter-Universums selbstständig zu unternehmen und sich auch fortgeschrittenen Themen zuzuwenden.

Naturgemäß jedoch kann ein Einführungsbuch nicht alle Aspekte einer derart umfangreichen Plattform wie LEGO MINDSTORMS NXT abdecken, nicht nur aus Platzgründen, sondern auch, weil dies einen Einsteiger überfordern würde.

So kann dieses Buch keine Referenz oder ein Programmierhandbuch für die vom Set offiziell unterstützte Sprache NXT-G sein, das sämtliche Sprachkonstrukte abdeckt und vertieft behandelt. Hier muss auf andere spezialisierte Publikationen verwiesen werden, etwa das Buch *Roboter bauen und programmieren mit LEGO MINDSTORMS NXT-G* von Daniel Braun aus demselben Verlag wie das vorliegende.

Voraussetzungen

Um Nutzen aus diesem Buch zu ziehen, muss ein Leser weder über Vorkenntnisse in der Robotik noch über solche im Bereich der MINDSTORMS-Serie verfügen. Auch Programmierkenntnisse werden nicht vorausgesetzt.

Es ist zwar hilfreich, wenn ein Leser Erfahrungen in einem dieser Bereiche besitzt oder wenn er oder sie bereits einmal ein Set aus der TECHNIC-Reihe von LEGO gebaut hat, notwendig ist es für das Verständnis der einzelnen Kapitel aber nicht. Das vorliegende Buch führt all das schrittweise und von Grund auf ein, was nötig ist, um interessante Roboter mit LEGO MINDSTORMS nicht nur zu bauen und zu programmieren, sondern auch die wichtigen Konzepte zu verstehen, die diesem Set zugrunde liegen.

Alles, was der Leser neben diesem Buch dazu benötigt, ist mindestens ein Set der Retail-Edition in Version 2.0 von LEGO MINDSTORMS NXT (Set #8547). Alternativ können alle Modelle auch mit der Education-Edition (Set #9797) in Verbindung mit dem Resource-Set (Set #6948) gebaut werden. Da alle Bauanleitungen auf die Version 2 der Retail-Edition abgestimmt sind, wird an den Stellen, wo bei Verwendung der Education-Edition abweichende Teile verwendet werden müssen, explizit darauf hingewiesen.

Daneben ist für die Programmierung der Roboter auch ein Computer erforderlich, auf dem sich die im Set enthaltene LEGO MINDSTORMS NXT Software installieren lässt. Insbesondere muss der Computer dazu über ein geeignetes Betriebssystem verfügen, das heißt Windows XP, Windows Vista, Windows 7 oder Mac OSX.

Aufbau des Buchs

Als Einführung in LEGO MINDSTORMS NXT, die den Leser von Grund auf in die Materie einführt und ihn dazu befähigen soll, nach Durcharbeiten der Kapitel selbstständig NXT-Roboter bauen und programmieren zu können, ist das vorliegende Buch als praktisches Lehrbuch strukturiert: Beginnend bei den Grundlagen werden im Verlauf des Buchs nacheinander die verschiedenen Konzepte und Möglichkeiten des Sets in einer Mischung aus theoretischen Erläuterungen und praktischen Anwendungen eingeführt. Dabei ist jedes Roboter-Kapitel in sich abgeschlossen in dem Sinn, dass der Leser an seinem Ende einen voll funktionsfähigen Roboter gebaut und programmiert hat, wodurch es dem Leser ein eigenes Erfolgserlebnis bietet. Das Buch setzt dabei weniger auf die Vermittlung von möglichst erschöpfender Theorie, sondern folgt der Erkenntnis, dass man das am besten lernt, was man im wahrsten Sinn des Wortes »begriffen« hat. Für Roboter bedeutet das: was man selbst gebaut und zum Laufen gebracht hat.

Das Buch richtet sich dabei an einem roten Faden aus, nämlich der Simulation von Verhalten in mobilen mechanischen Wesen. Innerhalb dieses allgemeinen Kontextes beschäftigt sich jedes Kapitel mit einem bestimmten Aspekt der Robotik und setzt ihn mit dem jeweiligen Roboter um: von einfacher Fortbewegung über die Wahrnehmung der Umgebung bis hin zu komplexen Verhaltensweisen, die beim Betrachter bereits die Illusion von »denkenden« Robotern erzeugen. Dabei nimmt im Verlauf des Buchs nicht nur die Komplexität und Leistungsfähigkeit der einzelnen Roboter ständig zu, sondern auch deren Vielfalt sowie die Anzahl der Themen aus der Robotik, die beleuchtet werden. Ich gehe davon aus, dass dadurch sowohl der Lerneffekt als auch der Spaßfaktor bis zum Schluss des Buchs erhalten bleiben.

Es liegt nahe, dass bei diesem Ansatz jedes Kapitel auf die vorhergehenden aufbaut. Das Buch sollte daher von vorne nach hinten durchgearbeitet werden. Auch wenn es sich lohnt und von mir angeraten wird, muss dabei doch nicht jeder Roboter sofort wirklich gebaut werden. Es ist aber auf jeden Fall wichtig, die verwendeten neuen Programmierkonzepte zu studieren und zu verstehen, bevor man sich dem nächsten Kapitel zuwendet.

Am Ende jedes Kapitels finden sich Anregungen und Aufgabenstellungen, die sowohl auf eigene weitere Gedanken zum behandelten Thema führen als auch nächste Schritte vorstellen, mit denen der Leser seinen gerade gebauten Roboter erweitern kann. In einem Anhang am Ende des Buches werden, wo es angemessen erscheint, zu diesen Anregungen Lösungsvorschläge und -hinweise unterbreitet.

Im ersten Kapitel werden die Grundlagen von LEGO MINDSTORMS NXT diskutiert: Der Leser erfährt, worum es sich dabei überhaupt handelt, welche Komponenten das System hat und wozu diese gut sind.

Kapitel 2 konzentriert sich auf das Thema »Programmierung«. Die offizielle, im Set enthaltene Software wird vorgestellt, die Entwicklungsumgebung erklärt und die grundlegenden Konzepte der Programmiersprache NXT-G eingeführt.

Das dritte Kapitel ist das erste Kapitel, in dem ein Roboter entworfen, gebaut und programmiert wird: Es handelt sich dabei um einen mobilen Roboter, der sich mittels eines Kettenantriebs umherbewegt und ein erstes, ganz einfaches Verhalten zeigt. Der Leser lernt hier, die NXT-Motoren zu verwenden und ein erstes Roboterprogramm zu entwerfen und zu implementieren.

Im Kapitel 4 bauen wir den ersten Roboter, der sich auf Rädern fortbewegt. Wir erlernen die Verwendung des ersten Sensors und damit eine einfache Interaktion mit der Umgebung. Auf der Seite der Programmierung machen wir unter anderem erste Erfahrungen mit Variablen und mathematischen Operationen.

Im folgenden Kapitel lernt der Leser eine weitere Art der Fortbewegung für Roboter kennen, das Kriechen, und er nutzt das erste Mal die Berührungssensoren, um Hindernisse zu erkennen und ihnen auszuweichen.

Kapitel 6 führt einen Automobil-ähnlichen Roboter ein. Hier nutzt der Leser den Ultraschallsensor zur berührungsfreien Wahrnehmung von Objekten und implementiert ein komplexes, stark strukturiertes Programm, in dem bereits die meisten wichtigen Konzepte der Software Verwendung finden.

Im Kapitel 7 konzentrieren wir uns auf die Fortbewegung auf Beinen und bauen einen sechsbeinigen Laufroboter.

Im Kapitel 8 beschäftigt sich der Leser eingehend mit der anspruchsvollen Theorie und Praxis des zweibeinigen Gehens. Wir bauen und programmieren einen Roboter, der nicht nur auf zwei Beinen umhergehen und »sprechen« kann, sondern auch über eine Schussvorrichtung verfügt.

Das abschließende Kapitel 9 führt uns in die faszinierende Welt der Roboterschwärme ein. Wir bauen zwei Schwarmwesen, die über eine drahtlose Verbindung miteinander kommunizieren. Dies ist dann auch das einzige Kapitel, für das wir zwei NXT-Sets benötigen. Aber auch für Leser mit nur einem einzigen Set ist das Kapitel von Interesse, da wir uns hier außerdem mit der Fernsteuerung eines NXT-Roboters vom Computer aus beschäftigen.

Der anschließende Ausblick gibt dem Leser noch einmal Anregungen für die nächsten Schritte, die er im Anschluss an die Lektüre des vorliegenden Buchs auf seinem weiteren Weg in die Welt der Robotik mit LEGO MINDSTORMS NXT unternehmen kann.

In den Anhängen erhält der Leser nicht nur Hinweise auf weitere leistungsfähige Programmierungsumgebungen, die ihm neben der offiziellen Software zur Verfügung stehen, sondern auch zu Büchern und Webseiten, die eine überwältigende Fülle

an Informationen zum Thema LEGO MINDSTORMS NXT bieten. Außerdem findet er dort Hilfestellungen zu den Anregungen und Aufgaben in den einzelnen Kapiteln und eine Übersicht über weitere Arten von Sensoren, die frei erhältlich sind. Eine Auflistung von Fragen und Antworten zur Entwicklungsumgebung bietet dem Einsteiger Hilfestellungen zu Problemen bei der Erstellung von NXT-G-Programmen.

Abgerundet wird das Buch mit einem umfangreichen Glossar.

Erklärung der verwendeten Bezeichnungen und Symbole

Wo nicht explizit anderweitig vermerkt, bezieht sich der Term »NXT-Set« in den folgenden Kapiteln immer auf ein Set der Version 2.0 der Retail-Edition von LEGO MINDSTORMS NXT, also LEGO-Set #8547.

In den Bauanleitungen bezeichnen Ausdrücke der Form »[Zahl]x« an einem Bauteil, wie oft dieses Teil im jeweiligen Schritt zu verwenden ist. Bei Balken und Achsen wird zusätzlich in kursiver Schrift die Länge des Teils in Moduln angegeben:

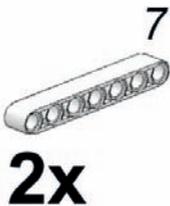


Abb. 1: Ein Balken der Länge 7M, der zweimal benötigt wird

Ein Rotationspfeil in einem Schritt deutet an, dass das Modell vor dem Anbringen der jeweiligen Bauteile in die entsprechende Richtung gedreht werden muss:

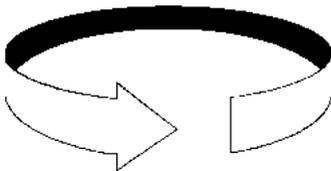


Abb. 2: Eine horizontale Drehung des Modells

Ein Kreis in einem Schritt einer Bauanleitung markiert Stellen am Modell, in die ein bestimmtes Bauteil einzufügen ist. Dies wird nur dann verwendet, wenn es nicht anderweitig ersichtlich ist:

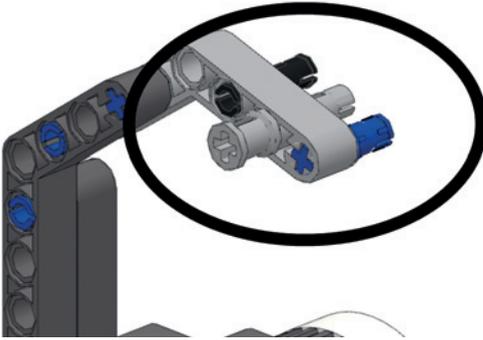


Abb. 3: Stelle, an der ein Teil (hier: ein Stecker) einzufügen ist

In den Programmieranleitungen sind alle Bezüge auf Namen und Bezeichnungen, die der Leser in der Entwicklungsumgebung auf dem Bildschirm sehen kann, in KAPITÄLCHEN dargestellt.

Webseite zum Buch

Zum vorliegenden Buch gibt es eine begleitende Webseite, die sich im Internet unter <http://www.roboterwesen.matthiaspaulscholz.eu> findet.

Dort kann der Leser nicht nur die in den Kapiteln vorgestellten NXT-G-Programme herunterladen, sondern auch direkt den Autor kontaktieren.

Außerdem finden sich dort die im Anhang aufgeführten Online-Links zur direkten Navigation. Die Seite wird regelmäßig mit Neuigkeiten, Errata und Bildern und Filmen über die Roboter des Buches aktualisiert.

Verwendete Werkzeuge

Das Manuskript dieses Buches wurde mit OpenOffice 3.2 verfasst. Bei der Erstellung der virtuellen Robotermodelle kamen LEGO Digital Designer 4 und MLCAD 3.3 zum Einsatz. Daraus wurden die Bilder und Bauanleitungen mit den Werkzeugen LPUB 4.0 und LDView 4.1 erzeugt. Für die Bildbearbeitung und die Erzeugung der Screenshots wurden GIMP 2.6 und Paint.NET 3.5 verwendet. Die Diagramme zur Visualisierung des Programmablaufs entstanden mit dem Werkzeug Magic Draw 16.

Danksagung

Ohne die Mithilfe vieler Menschen wäre das vorliegende Buch nicht möglich gewesen.

Mein Dank geht an meine freundliche, hilfsbereite und geduldige Lektorin Sabine Schulz vom mitp-Verlag und den engagierten und aufmerksamen Korrektor Manfred Buchholz.

Danken möchte ich auch dem Entwicklungsteam des LEGO Digital Designer sowie allen, die zu LDraw beigetragen haben. Insbesondere möchte ich hier Michael Lachmann, Kevin Clague und Travis Cobbes erwähnen, die Autoren von MLCAD, LPUB beziehungsweise LDView, ohne deren fantastische Arbeit die Bilder und Bauanleitungen im Buch nicht möglich gewesen wären.

Ein ganz besonderer und tief empfundener Dank gebührt THE LEGO Group für die Entwicklung von MINDSTORMS und hier vor allem Steven Canvin (*Captain, my Captain!*) für mittlerweile mehr als sechs Jahre an enthusiastischer Unterstützung für mich und die ganze MINDSTORMS-Gemeinde. In dieser Zeit habe ich dort viele interessante Menschen kennengelernt und aufregende Momente erlebt. Beides hat mein Leben sehr bereichert. Ich hoffe, dass noch eine Menge solcher Jahre folgen werden.

LEGO MINDSTORMS NXT

Bis kurz vor die Jahrtausendwende war der Bau von Robotern eine Kunst, die, wenn wir vom industriellen Sektor absehen, nur wenigen Auserwählten offenstand. Die elektronischen und mechanischen Komponenten, die für das Funktionieren selbst einer sehr einfachen autonom handelnden Maschine erforderlich sind, mussten vom Privatmenschen im darauf spezialisierten Elektrohändler einzeln zugekauft, in mühseliger Handarbeit mit Lötcolben und teurem Spezialwerkzeug montiert und danach mit einem proprietären und hardwarenahen Instruction Set programmiert werden.

Dies bedeutete mehr oder weniger, dass es ohne ein Elektrotechnik-Studium kaum möglich war, einen eigenen Roboter zu entwerfen, zu bauen und zum Leben zu erwecken.

1.1 Die Geburt von LEGO MINDSTORMS

Dies alles änderte sich im Jahr 1998, als *The LEGO Group*® die ersten Komponenten der MINDSTORMS-Serie veröffentlichte: Das *Robotic Invention Set* (RIS) enthielt eine zentrale programmierbare Steuereinheit, den RCX, um den eine Menge von elektrischen Motoren und Sensoren gruppiert waren. Zusammen mit den zusätzlich enthaltenen Standard-LEGO-Steinen aus den SYSTEM- und TECHNIC-Serien war es mit den anderen LEGO-Produkten kompatibel, man konnte also – wie bei LEGO üblich – für seine Roboter auch alle LEGO-Elemente nutzen, die man bereits besaß.



Abb. 1.1: Der RCX

Mit einer Reihe von Erweiterungssets, die im Laufe der Jahre dazukamen, wurde das RIS mit über einer Million verkaufter Einheiten das bis dahin erfolgreichste Produkt in der Geschichte von LEGO.

1.2 Der NXT

Im Lauf der darauffolgenden Jahre begann das RIS technisch zu veralten. Angesichts des anhaltenden Erfolgs der MINDSTORMS-Serie, zu der mittlerweile auch einige technisch weniger anspruchsvolle Seitenlinien wie der nur sehr eingeschränkt programmier- und erweiterbare Spybotics® oder einige automatisierte STAR WARS™-Sets hinzugekommen waren, entschloss sich The LEGO Group®, an einem Nachfolger des RIS zu arbeiten.

Im August 2006 kam schließlich LEGO MINDSTORMS NXT auf den Markt. Das Konzept war dem des RIS sehr ähnlich: Wieder waren elektronische Komponenten wie Sensoren und Motoren um eine zentrale Steuereinheit, den sogenannten NXT-Stein, gruppiert. Diese Komponenten waren technisch jedoch weitaus fortgeschrittener und leistungsfähiger als ihre Vorgänger im *Robotic Invention Set*.



Abb. 1.2: Die zentralen Komponenten des NXT-Set

Trotz des selbst für ein LEGO-Produkt hohen Preises von damals ungefähr 250 € wurde auch das NXT-Set ein ausgesprochener kommerzieller Erfolg, nicht zuletzt wegen der engen Zusammenarbeit von The LEGO Group® mit der Anwender-Gemeinde. Anders als beim RIS nämlich, bei dem LEGO-Fans noch in mühseliger Kleinarbeit und auf eigene Faust Hard- und Software-Erweiterungen schufen,

erkannte The LEGO Group® beim NXT die Zeichen der Zeit: Von Anfang an setzte die Firma mit Offenlegung der Hardware- und Software-Spezifikationen sowie mit Partner-Programmen wie dem MINDSTORMS *Developer Partners Program* und dem bis heute laufenden MINDSTORMS *Community Partners Program* auf die Unterstützung der und die Befruchtung durch die große LEGO-Community. Sie verstand es dabei, das große Potenzial einer enthusiastischen Gemeinschaft zu nutzen, die zu einem erheblichen Prozentsatz aus technisch orientierten Erwachsenen besteht.

Im Jahr 2009 schließlich erwuchs aus dieser intensiven gegenseitigen Befruchtung mit Version 2.0 des NXT-Sets das bislang letzte Kind der MINDSTORMS-Serie. Zusätzlich zu einer neuen Version der Software änderte sich die Ausstattung mit Sensoren sowie die Auswahl an nicht elektronischen Teilen gegenüber der Vorgängerversion dabei nur leicht.



Abb. 1.3: Die NXT 2.0 Retail-Edition

1.3 Retail- und Education-Edition

Hauptsächlich aus Vermarktungs- und vertrieblichen Gründen erschien das NXT-Set von Anfang an in zwei Editionen: die für den Privatanwender bestimmte *Retail*- und die auf den Unterrichtssektor abzielende *Education*-Edition, die für den Einsatz an Schulen gedacht war und von LEGO Education, einem eigenen Zweig von The LEGO Group® konzipiert und betreut wurde und wird.



Abb. 1.4: Die Education-Edition des NXT-Sets

Der Inhalt des NXT-Sets der Education-Edition unterscheidet sich aufgrund ihrer anderen Zielgruppe von dem der Retail-Edition: Zwar sind viele Teile in beiden Sets die gleichen, zum Beispiel die elektronischen Komponenten. Die Education-Edition enthält aber einige nicht elektronische Teile, die in der Retail-Edition nicht vorhanden sind und umgekehrt. Es gibt allerdings ein sehr nützliches Teil ausschließlich in der Education-Edition: einen Akku, der ins Batteriefach des NXT-Steins passt. Mit ihm kann der Stein immer wieder über die Steckdose aufgeladen werden, ohne dass man Batterien wechseln muss.

Dafür enthält die Education-Edition insgesamt deutlich weniger Teile. Auch die zugehörige Software ist unterschiedlich und im Set der Education-Edition selbst nicht vorhanden, sondern muss zusätzlich erworben werden.

Da die Education-Edition für den Einsatz an Schulen und im universitären Bereich gedacht ist, wird sie über die Kanäle von LEGO Education vertrieben und üblicherweise nicht in Spielzeuggeschäften angeboten – es gibt sie aber im Onlinehandel.

Wir werden uns in diesem Buch auf die Retail-Edition konzentrieren, dort jedoch, wo es nötig ist, auch auf die Umsetzung der vorgestellten Roboter mit der Education-Edition eingehen. Dabei gehen wir davon aus, dass der Leser, sofern er die Education-Edition einsetzt, auch über das zugehörige Erweiterungsset *Education Resource Set* verfügt.

Die Retail-Edition des NXT-Sets enthält insgesamt 619 Teile, darunter neben der zentralen Steuereinheit drei Motoren und vier Sensoren, auf die wir nun einen Blick werfen wollen. Wir werden sie im Verlauf des Buches zum Bau immer komplexerer Roboter benutzen.

1.4 Die Komponenten des NXT-Sets

1.4.1 Der NXT-Stein

Der NXT-Stein (offiziell auch als *Intelligenter Stein* bezeichnet), ist das zentrale Element des NXT-Sets.

Es handelt sich um einen Kleincomputer, der selbstständig Programme ausführen kann, die mittels einer dazu geeigneten Software in ein für den Stein verständliches Format übersetzt worden sind. Man kann den Stein somit als das Gehirn des Roboters ansehen.



Abb. 1.5: Der NXT-Stein

Der Stein verfügt über vier Eingänge, an die Sensoren, und über drei Ausgänge, an die Motoren angeschlossen werden können. Die Verbindung erfolgt dabei über Kabel, die handelsüblichen Telefonkabeln sehr ähnlich sind. Die Ausrichtung der Stecker ist allerdings gerade umgekehrt als bei diesen, um eine Fehlbenutzung durch sehr junge Anwender auszuschließen.



Abb. 1.6: Die Eingänge des NXT-Steins mit eingesteckten Kabeln

Die Sensoren und Motoren können, einmal an den Stein angeschlossen, von diesem programmatisch angesteuert werden. Mit einem geeigneten Programm kann man also sowohl Motoren starten, stoppen und in verschiedenen Geschwindigkeiten laufen lassen als auch Sensorwerte auslesen und auf deren Veränderungen reagieren.

Auf der Oberseite des Steins befindet sich ein Anzeigefenster, in dem Text und Grafiken angezeigt werden können, sowie vier Tasten, die zur Kontrolle des NXT-Steins selbst dienen: ein orangefarbener zum An- und Ausschalten, ein dunkelgrauer zum Stoppen von Programmen und zwei hellgraue Pfeiltasten zum Navigieren in den Einträgen des NXT-Steuerungsmenüs im Anzeigefenster.



Abb. 1.7: Die Kontrollelemente des NXT-Steins

Weiterhin verfügt der NXT-Stein über einen eingebauten Lautsprecher, mit dem Töne wiedergegeben werden können. Auch wenn die Lautstärke und Qualität dabei recht begrenzt sind, so reicht er doch aus, um zum Beispiel auch gesprochene Worte oder kurze Sätze wiederzugeben.

Zur eigenen Energieversorgung und zum Betrieb der angeschlossenen elektronischen Komponenten benötigt der Stein sechs in einer Aussparung an der Unterseite aufbewahrte handelsübliche AA-Batterien, die im Set selbst nicht enthalten sind. Es empfiehlt sich im Allgemeinen, aus Kosten- und Umweltschutzgründen wiederaufladbare Batterien zu verwenden.

Technische Details

Der Stein verfügt über einen mit 48 MHz getakteten 32-Bit-ARM7-Mikrocontroller mit 256-KB-Flash- und 64-KB-RAM-Speicher sowie einen zweiten, mit 4 MHz getakteten 8-Bit-AVR-Mikrocontroller mit 4-KB-Flash- und 512-Byte-RAM-Speicher. Das mag in Zeiten von Smart Phones mit 500 MB Arbeitsspeicher sehr gering erscheinen, reicht aber im Allgemeinen aus, um auch komplexe Roboterprogramme ausführen zu können.

Der Lautsprecher arbeitet mit 8 KHz über einen Sound-Kanal mit einer Auflösung von 8 Bit und einer Sample-Rate von 2 bis 16 KHz.

Und wer schon immer mal wissen wollte, wie ein Stein von innen aussieht:



Abb. 1.8: Der NXT-Stein ohne Haube (THE NXT STEP Blog)

Man sollte den Stein ohne fundierte Erfahrung im Umgang mit elektrischen Systemen aber niemals selbst derartig auseinandernehmen.

1.4.2 Die Motoren

Das NXT-Set enthält drei Motoren, die zum Antrieb des Roboters und seiner Komponenten verwendet werden können:



Abb. 1.9: Ein NXT-Motor

Ein NXT-Motor erscheint auf den ersten Blick recht sperrig und groß. Dies liegt an der hohen Übersetzung mittels Zahnrädern im Inneren des Motors, die ihn sehr leistungsfähig und zuverlässig macht:

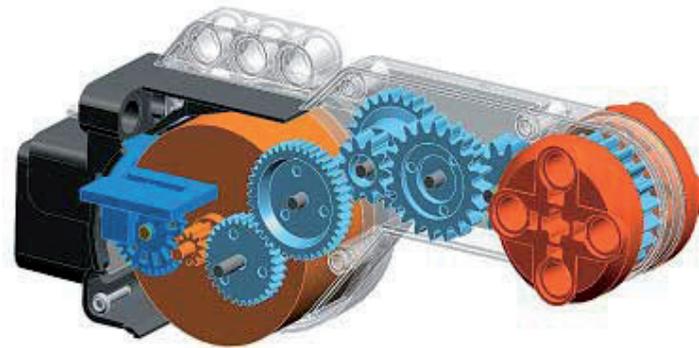


Abb. 1.10: Der innere Aufbau eines NXT-Motors

Auf der anderen Seite erfordert die Größe und Form des NXT-Motors eine gewisse Gewöhnung in der Art und Weise, Roboter mit LEGO zu bauen: Am Anfang tut man sich erfahrungsgemäß etwas schwer damit, die großen NXT-Motoren in einen Roboter zu integrieren. Generell werden NXT-Roboter dadurch auch größer als herkömmliche LEGO-Modelle.

Die NXT-Motoren sind sogenannte *Servos*, das heißt, dass ihre Position und ihr Zustand von außen kontrolliert und abgefragt werden können. In unserem Fall geschieht das durch den NXT-Stein. Dabei ist es über einen im Motor eingebauten Rotationssensor möglich, die Drehung des Motors bis auf 1° genau zu steuern. Auch die Drehgeschwindigkeit des Motors kann sehr genau kontrolliert werden. Dadurch ist es etwa auch möglich, mehrere Motoren miteinander zu synchronisie-

ren, etwa um verlässlich geradeaus zu fahren – ein Problem, das für Maschinen generell wesentlich schwieriger zu lösen ist, als man meinen mag.

Insgesamt eignen sich die im NXT-Set enthaltenen Motoren also hervorragend dazu, präzise Bewegungen mit einem Roboter auszuführen.

1.4.3 Die Sensoren

Sensoren ermöglichen es einem Roboter, Informationen über die Außenwelt zu gewinnen – sie sind sozusagen seine Sinnesorgane. So wie unsere Augen, Ohren, unser Geruchs- und Tastsinn es uns ermöglichen, wahrzunehmen, was um uns herum vorgeht, verfügt auch ein NXT-Roboter mit seinen Sensoren über eine ganze Reihe von »Sinnen«, die über technische Komponenten realisiert sind und jeweils über ein Kabel mit dem zentralen NXT-Stein verbunden sind.

Die Version 2.0 des NXT-Sets, die wir für dieses Buch verwenden werden, enthält drei Typen von Sensoren: Berührungs-, Ultraschall- und Farbsensoren.

Diese Version unterscheidet sich damit vom ersten NXT-Set, das keinen Farbsensor, dafür aber einen Licht- und einen zusätzlichen Geräuschsensor enthielt.

Berührungssensor

Der Berührungssensor ist eine Art Finger: Mit ihm nimmt der Roboter wahr, ob er an einen Gegenstand gestoßen ist. Der NXT-Stein ermittelt zu diesem Zweck, ob der Knopf am Ende des Sensors gedrückt ist oder nicht:



Abb. 1.11: Ein NXT-Berührungssensor

Mit dem Berührungssensor kann man zum Beispiel sehr nahe Hindernisse entdecken oder Schalter bauen.

Weil er so nützlich ist, gibt es in Version 2 des NXT-Sets gleich zwei davon, die erste Version enthielt nur einen einzigen.

Ultraschallsensor

Mit diesem Sensor kann der Roboter für den Menschen unhörbaren Ultraschall aussenden und wahrnehmen. Wie eine Fledermaus sendet der Sensor dabei fortwährend solche Schallwellen aus und berechnet aus Signalen, die von Gegenständen zurückgeworfen werden, ob sich etwas vor ihm befindet und wie weit es weg ist.

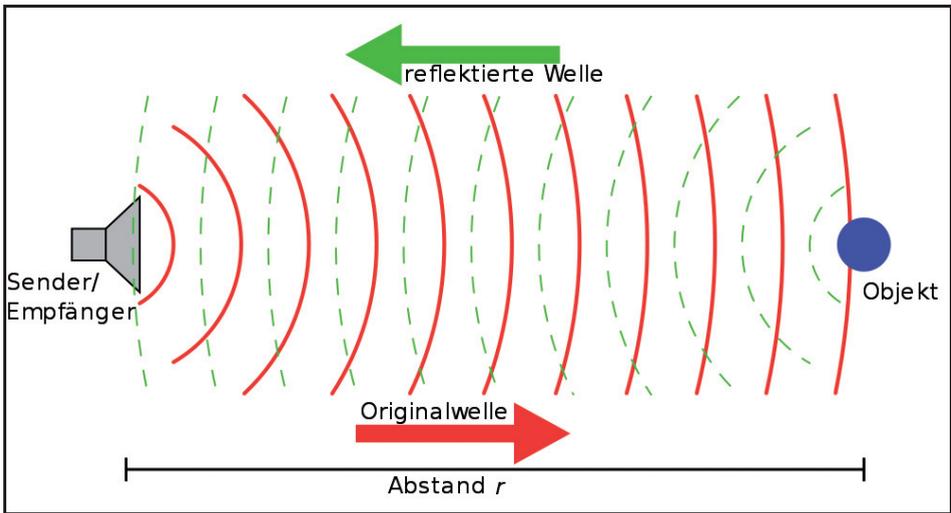


Abb. 1.12: Ultraschall-Ortung (© Georg Wiora)

Der Ultraschallsensor ist somit das »Auge« des Roboters und in der Tat erinnert seine Formgebung auch daran:



Abb. 1.13: Ein NXT-Ultraschallsensor