



mitp

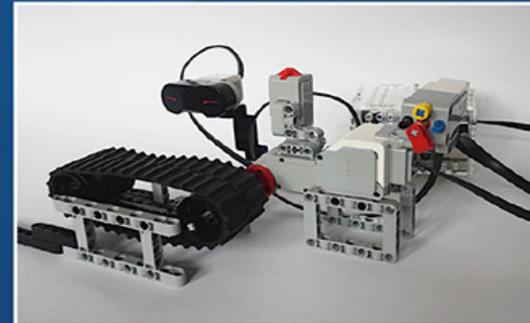
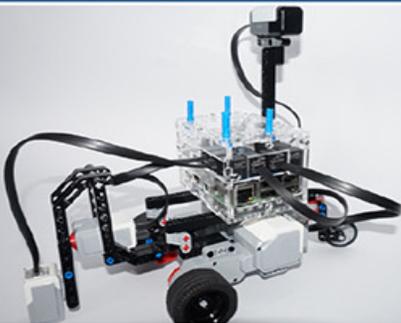
Thomas
Kaffka



LEGO[®]-Roboter

bauen, steuern und programmieren

mit Raspberry Pi und Python



Hinweis des Verlages zum Urheberrecht und Digitalen Rechtemanagement (DRM)

Liebe Leserinnen und Leser,

dieses E-Book, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Mit dem Kauf räumen wir Ihnen das Recht ein, die Inhalte im Rahmen des geltenden Urheberrechts zu nutzen. Jede Verwertung außerhalb dieser Grenzen ist ohne unsere Zustimmung unzulässig und strafbar. Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen sowie Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Je nachdem wo Sie Ihr E-Book gekauft haben, kann dieser Shop das E-Book vor Missbrauch durch ein digitales Rechtemanagement schützen. Häufig erfolgt dies in Form eines nicht sichtbaren digitalen Wasserzeichens, das dann individuell pro Nutzer signiert ist. Angaben zu diesem DRM finden Sie auf den Seiten der jeweiligen Anbieter.

Beim Kauf des E-Books in unserem Verlagsshop ist Ihr E-Book DRM-frei.

Viele Grüße und viel Spaß beim Lesen,

Ihr mitp-Verlagsteam



Neuerscheinungen, Praxistipps, Gratiskapitel,
Einblicke in den Verlagsalltag –
gibt es alles bei uns auf Instagram und Facebook



[instagram.com/mitp_verlag](https://www.instagram.com/mitp_verlag)



[facebook.com/mitp.verlag](https://www.facebook.com/mitp.verlag)

Inhaltsverzeichnis

Impressum

Einleitung

Mit dem Buch arbeiten

Der LEGO Digital Designer 4.3

Teil I: Die Hardware für die Roboter

Kapitel 1: LEGO als Grundlage für unsere Roboter

1.1 Roboter als Bausatz

1.2 LEGO mit Elektronikkomponenten versehen

1.2.1 Folgende LEGO-Elektronikkomponenten werden verwendet

1.2.2 Folgende Fremdkomponenten werden verwendet

Kapitel 2: Der Raspberry Pi stellt sich vor

2.1 Der Einplatinencomputer

2.2 Die GPIO-Schnittstelle

2.3 Den Raspberry Pi konfigurieren

2.3.1 Den RPi mit weiterer Hardware versehen

2.3.2 Die SD-Karte vorbereiten

2.4 Den BrickPi3 anschließen

Kapitel 3: Die elektronischen Komponenten

3.1 Verwendung der LEGO-Elektronik-Komponenten

3.1.1 Der LEGO-Colorsensor

- 3.1.2 Der LEGO-Touchsensor
- 3.1.3 Der LEGO-Infrarotsensor
- 3.1.4 Der Hitechnic-Kompass-Sensor
- 3.1.5 Der Hitechnic-Gyrosensor
- 3.1.6 Der mittlere LEGO-Motor
- 3.1.7 Der LEGO-Motor
- 3.2 Verwendung von Fremdkomponenten
 - 3.2.1 Der Fototransistor
 - 3.2.2 Die LED
 - 3.2.3 Der Touchsensor
 - 3.2.4 Der Schallgeber
 - 3.2.5 Die Motoren und der Motortreiber
 - 3.2.6 Die Kamera
 - 3.2.7 Der BrickPi3

Teil II: Programmieren lernen

Kapitel 4: Die Programmiersprache Python

- 4.1 Die Entwicklungsumgebung
- 4.2 Die ersten Schritte
- 4.3 Hallo, ich bin ein Roboter
- 4.4 Editieren und ausführen

Kapitel 5: Variablen

- 5.1 Datentypen
 - 5.1.1 Zahlen
 - 5.1.2 Strings (Zeichenketten)
 - 5.1.3 Wahrheitswerte
- 5.2 Datenstrukturen

5.2.1 Listen

5.2.2 Tupel

5.3 Konstanten

Kapitel 6: Verzweigungen

6.1 Bedingungen

6.2 Das if-Statement

6.3 Das else-Statement

6.4 else-if-Kaskaden

6.5 Modulbibliotheken

6.6 Experiment: LED schalten

Kapitel 7: Schleifen

7.1 Das while-Statement

7.2 Das for-Statement

7.3 Das break-Statement

7.4 Das continue-Statement

7.5 Experiment: Blinklicht

7.6 Experiment: LED dimmen

Kapitel 8: Funktionen

8.1 Deklaration

8.2 Parameter

8.3 Rückgabewert

8.4 Experiment: Licht erkennen

Kapitel 9: Klassen und Objekte

9.1 Definition einer Klasse

9.2 Methoden einer Klasse

9.3 Vererbung

9.4 Experiment: Töne erzeugen

Teil III: Projekte

Projekte mit dem BrickPi3 und LEGO-Komponenten

Kapitel 10: Wänden und Gegenständen ausweichen

10.1 Das LEGO-Modell

10.2 Die LED

10.3 Der Infrarotsensor

10.4 Die Motoren

10.5 Wänden und Gegenständen ausweichen

Kapitel 11: Himmelsrichtungen erkennen

11.1 Das LEGO-Modell

11.2 Der Kompass-Sensor

11.3 Der Touchsensor

11.4 Die übrige Hardware

11.5 Himmelsrichtungen erkennen

Kapitel 12: Auf dem Tisch bleiben

12.1 Das LEGO-Modell

12.2 Der Gyrosensor

12.3 Die übrige Hardware

12.4 Auf dem Tisch bleiben

Kapitel 13: Ein Labyrinth lösen mit einem Expertensystem

- 13.1 Das LEGO-Modell
- 13.2 Der Colorsensor
- 13.3 Die übrige Hardware
- 13.4 Das Expertensystem
 - 13.4.1 Die Regelbasis
 - 13.4.2 Der Stapelspeicher (Stack)
 - 13.4.3 Der Regelinterpreter
 - 13.4.4 Die Move Engine
 - 13.4.5 Die Funktion `move_since_wall`
 - 13.4.6 Die Funktion `move_back`
 - 13.4.7 Die Funktion `rotate`
- 13.5 Labyrinth

Kapitel 14: Linienverfolgung mit einem neuronalen Netz

- 14.1 Das LEGO-Modell
- 14.2 Einführung in neuronale Netze
- 14.3 Der Colorsensor als Lichtsensor
- 14.4 Die übrige Hardware
- 14.5 Das neuronale Netz
- 14.6 Linienverfolgung klassisch
- 14.7 Linienverfolgung trainieren
- 14.8 Linienverfolgung mit neuronalem Netz

Kapitel 15: Objekte klassifizieren mit einem neuronalen Netz

- 15.1 Das LEGO-Modell
- 15.2 Benötigte Hardware
- 15.3 Kategorisieren lernen
- 15.4 Trainingsdaten erzeugen
- 15.5 Das Training
- 15.6 Objekte klassifizieren

Kapitel 16: Pappkarten abschießen per Bilderkennung

- 16.1 Das LEGO-Modell
- 16.2 Die RPi-Kamera
- 16.3 Die übrige Hardware
- 16.4 Bilderkennung
 - 16.4.1 Farben identifizieren und definieren
 - 16.4.2 Objekt im Bild erkennen
 - 16.4.3 Die eigentliche Bilderkennung
- 16.5 Pappkarten abschießen

Kapitel 17: Joghurtbecher sammeln per Bilderkennung

- 17.1 Das LEGO-Modell
- 17.2 Benötigte Hardware
- 17.3 Bilderkennung
- 17.4 Joghurtbecher sammeln

Projekte mit elektronischen Fremdkomponenten

Kapitel 18: Texte morsen

- 18.1 Das LEGO-Modell
- 18.2 Eine Hilfsplatine basteln
 - 18.2.1 Die Spannungsversorgung
 - 18.2.2 Die Spannungsteiler
 - 18.2.3 Das I2C-Interface
 - 18.2.4 Der Taster
 - 18.2.5 Die LED
 - 18.2.6 Der Piezo-Schallgeber
 - 18.2.7 Der IC MCP3008
- 18.3 Touchsensoren basteln
- 18.4 Morsecode übersetzen und eingeben
 - 18.4.1 Text in Morsecode übersetzen
 - 18.4.2 Morsecode in Text überführen

Kapitel 19: Abfahren der »platonischen Flächen«

- 19.1 Das LEGO-Modell
- 19.2 Getriebemotor mit Encoder und Motortreiber
- 19.3 Die »platonischen Flächen«

Kapitel 20: Suche des hellsten Orts im Raum

- 20.1 Das LEGO-Modell
- 20.2 Der Fototransistor
- 20.3 Die hellste Lichtquelle des Raumes finden

Kapitel 21: Ausblick

Anhang A: Anhang

- A.1 Download
- A.2 Bezugsquellen

für Viorica

Thomas Kaffka

LEGO[®]-Roboter

bauen, steuern und programmieren

mit Raspberry Pi und Python



mitp

Impressum

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 978-3-7475-0312-6

1. Auflage 2021

www.mitp.de

E-Mail: mitp-verlag@sigloch.de

Telefon: +49 7953 / 7189 - 079

Telefax: +49 7953 / 7189 - 082

© 2021 mitp Verlags GmbH & Co. KG

LEGO[®], das LEGO Logo, die Konfiguration der Noppen und die Minifigur sind Marken der LEGO Gruppe, durch die das vorliegende Buch weder gesponsert noch autorisiert oder unterstützt wird.

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.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch

ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Lektorat: Janina Bahlmann, Rebecca Saalfeld

Sprachkorrektorat: Petra Heubach-Erdmann

Coverbild: Thomas Kaffka

Covergestaltung: Christian Kalkert

electronic **pub**lication: Ill-satz, Husby, www.drei-satz.de

Dieses Ebook verwendet das ePub-Format und ist optimiert für die Nutzung mit dem iBooks-reader auf dem iPad von Apple. Bei der Verwendung anderer Reader kann es zu Darstellungsproblemen kommen.

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.

Einleitung

Die Robotertechnologie wird in unserem alltäglichen Leben immer präsenter. Es gibt Roboter, die unseren Boden kehren, die unseren Rasen mähen oder uns in einem gewissen Umfang bedienen können. In der Industrie werden schon seit Längerem Roboter zur Fertigung eingesetzt. Es werden von ihnen dort aber auch Überwachungs- und Serviceleistungen erbracht. Es spannt sich schon jetzt ein weites Feld auf, in dem Roboter eingesetzt werden können.



Abb. 1: Roboter, die beispielsweise in der industriellen Fertigung eingesetzt werden können (mit freundlicher Genehmigung der Firma KUKA AG, Augsburg)

Und die Einsatzmöglichkeiten werden immer ausgefeilter. Es befinden sich Roboter in der Entwicklung, die kranke und alte Menschen versorgen können, oder Roboter, die uns eine echte Küchenhilfe sein können.

Außerdem wäre die Erforschung anderer Planeten, wie beispielsweise des Mars, ohne Roboter nicht denkbar. Aktuell befindet sich der NASA-Roboter »Perseverance« (Ausdauer) auf dem Mars, um diesen nach Lebensspuren zu erkunden.

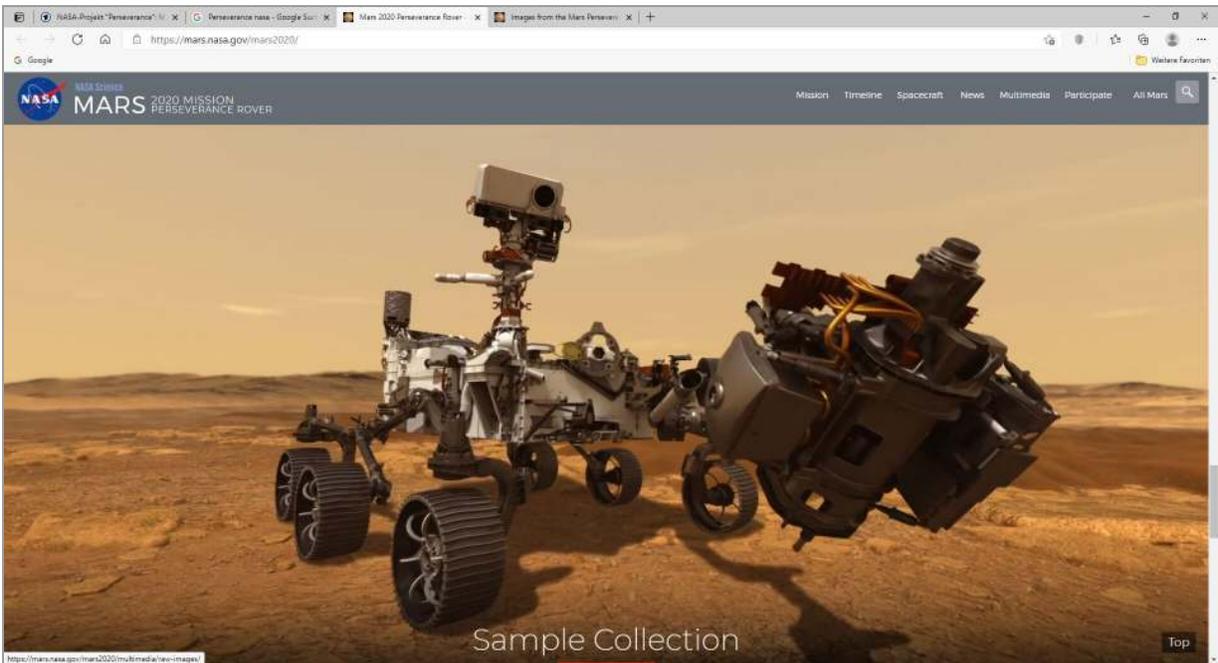


Abb. 2: Der Roboter Perseverance (Quelle: NASA-Webseite)

Wegen der großen Entfernung zwischen Mars und Erde sind die Signale, die der Roboter und das Kontrollzentrum der NASA austauschen, etwa drei Minuten unterwegs (der Mars ist zurzeit etwa 56 Mio. km von der Erde entfernt und die Lichtgeschwindigkeit beträgt etwa 300.000 km/sec). Diese Zeit ist zu lang, als dass die NASA den Roboter in Echtzeit steuern könnte. Es ist nur möglich, dem Roboter generelle Befehle zu senden, die er dann autark ausführt.

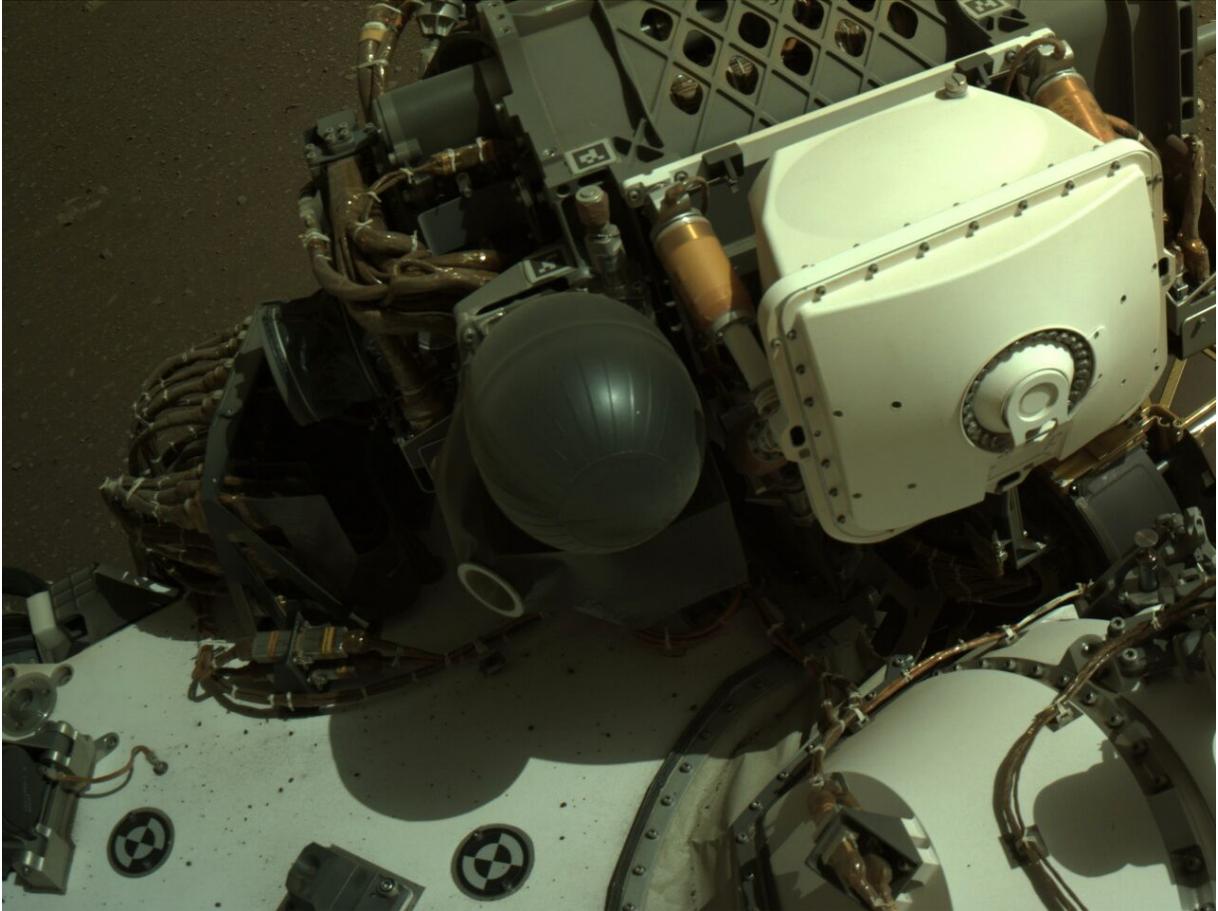


Abb. 3: Perseverance fotografiert sich selbst. (Quelle: NASA: NASA/JPL-Caltech)

Der Roboter muss, um seine Aufgaben zu erfüllen, eigenständig Entscheidungen treffen können. Dazu ist eine gewisse Intelligenz notwendig.



Abb. 4: Perseverance fotografiert die Marslandschaft. (Quelle: NASA: NASA/JPL-Caltech/ASU)

Wie Roboter so agieren können, erfahren Sie in diesem Buch. Sie lernen Grundfertigkeiten von Robotern kennen, die für verschiedene Aufgaben angewendet werden können. Vielleicht verfügt ja ein NASA-Roboter auch über eine von mir vorgestellte Grundfertigkeit.

Sie können mit diesem Buch alles praktisch erkunden, indem Sie meine Roboter mit LEGO-Teilen nachbauen, um so einen persönlichen Eindruck von der Leistungsfähigkeit auch schon kleinerer Roboter zu erlangen. LEGO-Teile haben dabei den Vorteil, dass Sie einen aufgebauten Roboter später wieder zerlegen und dann einen neuen bauen können.

Wir beschäftigen uns zunächst mit der generellen Steuerung von Robotern, später aber auch mit Themen der »Künstliche Intelligenz Forschung«. Sie werden neuronale Netze und ein Expertensystem einsetzen, um Roboter zu steuern. Solche

Roboter besitzen schon eine gewisse Grundintelligenz und treffen intelligente Entscheidungen auf der Basis eigener Steuerungen.

Mit dem Buch arbeiten

Dieses Buch ist in drei Teile geteilt. Als Erstes stelle ich die Hardware für die Roboter vor. Danach gebe ich Ihnen eine Einführung in Python, die von mir zur Robotersteuerung verwendete Programmiersprache. Im dritten Teil stelle ich Ihnen elf Projekte vor, bei denen Sie selbst Roboter bauen und programmieren. Sie lernen dabei sukzessive die Roboter-Programmierung mit der Programmiersprache Python, aber auch Konzepte kennen, die zur Steuerung von Robotern herangezogen werden.

Ich verwende zum Bau des Chassis der Roboter Bauteile aus dem LEGO-EV3-Baukasten. Sie können natürlich auch die Bauteile aus eigenen Beständen verwenden oder sich gewisse Teile, die Ihnen fehlen, von LEGO bestellen (Einzelteillisten befinden sich jeweils im Download zum Buch auf der Webseite www.mitp.de/0310). Ein Teil der Roboter wird mit den zum EV3-Baukasten gehörenden Motoren und Sensoren ausgestattet. Ich verwende aber auch LEGO-Sensoren, die dazugekauft werden können. Allgemein können Sie sich sämtliche LEGO-Komponenten separat beschaffen (richten Sie sich dazu an den oben genannten Teilelisten aus). Ein EV3-Baukasten ist natürlich nicht unbedingt erforderlich, Sie hätten aber so die Bauteile, bis auf die Hitechnic-Sensoren, komplett vorliegen.

Drei Projekte ([Kapitel 18](#) bis [20](#)) erstelle ich mit Fremdkomponenten im Sinne von allgemeinen Technikkomponenten, die nicht von LEGO sind. Es handelt

sich dabei um Getriebemotoren und Sensoren wie einen Fototransistor oder Kommunikationsmittel wie eine LED. Wenn Sie Interesse haben, diese Projekte mit Fremdkomponenten zu erarbeiten, werden Sie in diesem Rahmen mit dem LötKolben basteln.

Als Computer, der die Roboter steuert, verwende ich den *Raspberry Pi*-Computer. Dabei handelt es sich um einen etwa scheckkartengroßen Einplatinencomputer, der durch das Betriebssystem Linux gesteuert wird.

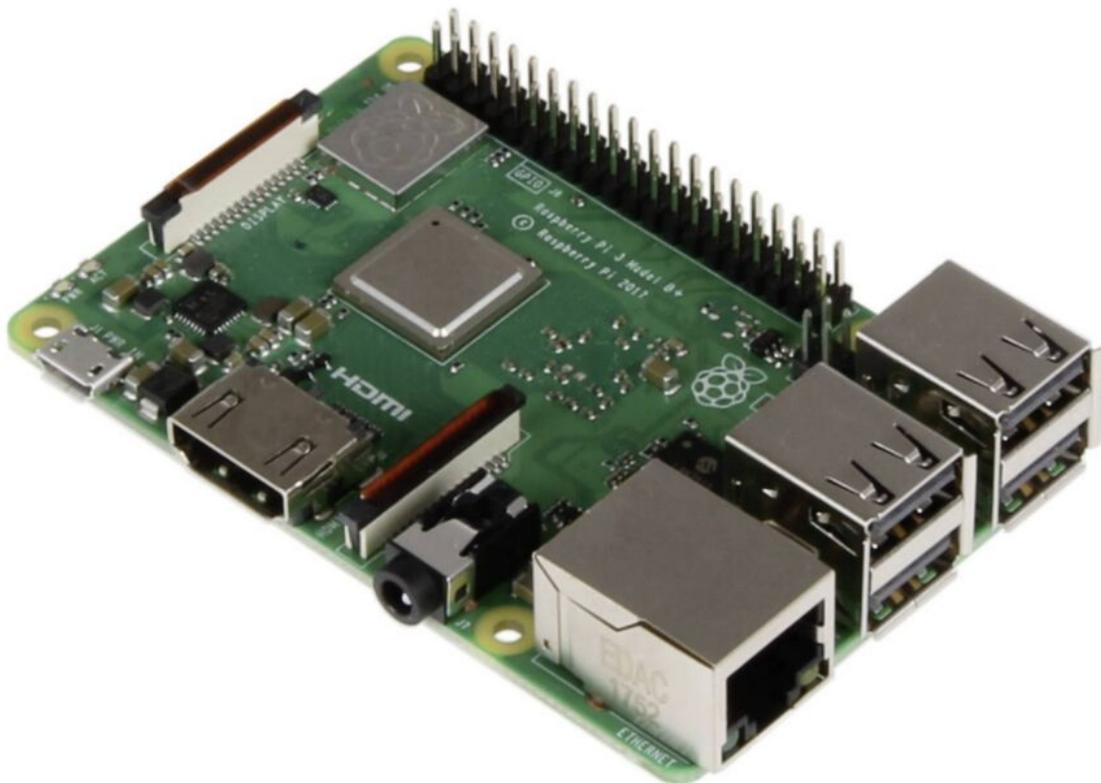


Abb. 5: Der Raspberry Pi

Er verfügt, wie Sie noch sehen werden, über eine Hardwareschnittstelle in Form von 40 kleinen Pins, an die die Roboterhardware zur Steuerung angeschlossen werden kann.

Zusätzlich verwende ich den *BrickPi3*. Das ist eine Hardwareplatine, die auf den Raspberry Pi gesteckt wird, um die LEGO-Hardware zu steuern. Der Verbund von Raspberry Pi und BrickPi3 erledigt dabei die Aufgaben, die der EV3-Baustein im LEGO-Baukasten erledigen würde. Der Vorteil bei der Verwendung des Raspberry Pi besteht darin, dass Sie zum einen eine vollwertige, momentan sehr aktuelle Programmiersprache (Python) einsetzen können, um Ihre Roboter zu steuern, der Einsatz neuronaler Netze wäre anders gar nicht denkbar. Zum anderen lernen Sie einen sehr interessanten und preiswerten Computer kennen, den Sie auch für andere Aufgaben verwenden können. Er verfügt über ein Betriebssystem, das *Raspberry Pi OS*, das eine grafische Benutzeroberfläche hat, sodass sich auch Apple- und Windows-Benutzer sehr schnell heimisch fühlen werden.

Der LEGO Digital Designer 4.3

Ich habe die Bauanleitungen zu den einzelnen Robotern mit dem Tool »LEGO Digital Designer 4.3« (<https://www.lego.com/de-de/ldd>) erstellt und diese in entsprechenden Dateien gespeichert, die dem Download zum Buch unter www.mitp.de/0310 beiliegen (die Dateien haben die Endung `.lxf`). Auf diese Weise können Sie alle Roboter-Modelle im Buch ganz einfach nachbauen.

Wenn Sie, nachdem Sie den LEGO Digital Designer installiert haben, auf die Datei doppelklicken, wird das Programm gestartet und das Modell angezeigt. Da LEGO dieses Tool per Internetserver nicht mehr unterstützt, wird eine Fehlermeldung angezeigt, die Sie mit einem Klick auf den **OK**-Button quittieren.

In der oberen rechten Ecke der Buttonleiste befindet sich



der Button, mit dem Sie die Bauanleitung generieren können. Danach können Sie mit den Pfeilbuttons zwischen den einzelnen Steinen hin- und herschalten und das Modell erstellen. Da es für den BrickPi3 natürlich kein Symbol im Programm gibt, habe ich den Platz, den er einnimmt, im Modell immer frei gelassen.

Nun sind Sie sicherlich schon ganz gespannt auf die Themen, die ich Ihnen in meinem Buch zeigen werde, daher sollten wir sofort in die Behandlung der Technologie einsteigen. Ich wünsche Ihnen viel Vergnügen bei der Lektüre meines Buches und beim Bau und der Programmierung der vorgestellten Roboter.

Thomas Kaffka, im Juli 2021

Teil I

Die Hardware für die Roboter

In diesem Teil:

- **Kapitel 1**
LEGO als Grundlage für unsere Roboter
- **Kapitel 2**
Der Raspberry Pi stellt sich vor
- **Kapitel 3**
Die elektronischen Komponenten

Kapitel 1

LEGO als Grundlage für unsere Roboter

Es ist eine gute Idee, LEGO-Komponenten zum Roboterbau zu verwenden. Ein aufgebauter Roboter kann immer wieder zerlegt werden und ein neuer erfunden und gebaut werden. Der eigenen Fantasie sind dabei grundsätzlich keine Grenzen gesetzt. Daher verwende ich in meinem Buch LEGO-Komponenten, um ein Roboterchassis zu erstellen. Ich lege dabei die Bauteile des LEGO-EV3-Baukastens zugrunde.

Leser, die diesen Baukasten nicht besitzen, aber über LEGO-Bausteine verfügen oder gewillt sind, sich diese anzuschaffen, können auch ganz entspannt sein. Denn ich gebe bei jedem Roboter eine Teileliste über die LEGO- oder Fremdkomponenten an, die ich für den jeweiligen Roboter verwende. Diese Teilelisten sind im Download zum Buch (www.mitp.de/0310) sowie in den einzelnen Kapiteln zu finden.

1.1 Roboter als Bausatz

Sie könnten sich natürlich, wenn Sie sich mit der Robotik beschäftigen möchten, auch einen Bausatz zu einem fertigen Roboter anschaffen, statt eigene Roboter aus LEGO zu bauen. Diese Roboter haben aber den Nachteil, dass es sich um fertige Maschinen handelt, die in ihren Freiheitsgraden eben deshalb beschränkt sind. Wenn man ihre Motoren und sonstigen Aktoren programmiert hat, ist es nicht mehr interessant, sich mit ihnen weiter zu beschäftigen.

Dazu hier einige Beispiele von Robotern, die ich mir unter anderem angeschafft habe ([Abbildung 1.1](#) bis [Abbildung 1.3](#)).

Der YETI ([Abbildung 1.1](#)) ist ein einfacher Roboter, der über zwei Beine verfügt. Er ist mechanisch so aufgebaut, dass er mit zwei Servomotoren gesteuert werden kann. Um zu gehen, verlagert er sein Gewicht auf eines der beiden Beine und bewegt das andere vor. Danach wird das gegenüberliegende Bein belastet. Ich habe für den Roboter zusätzlich ein Vier-Segment-Display angeschafft und eingebaut. Damit kann er Meldungen oder seinen Status mitteilen.

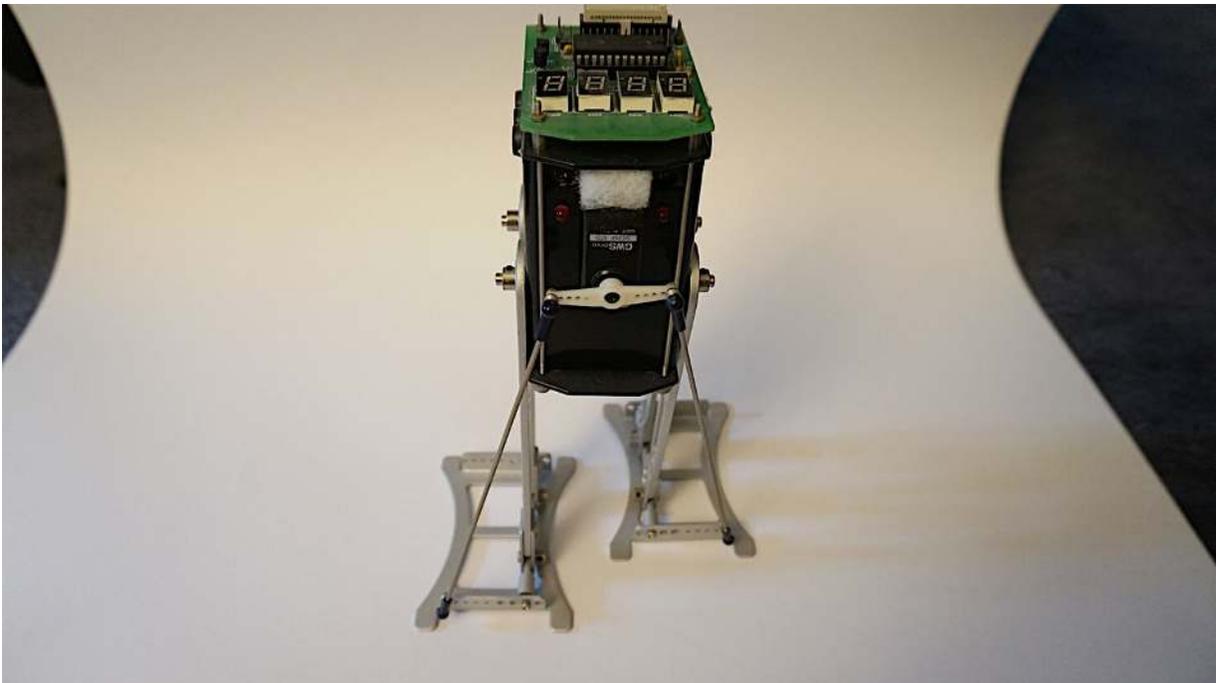


Abb. 1.1: Der YETI von AREXX Engineering

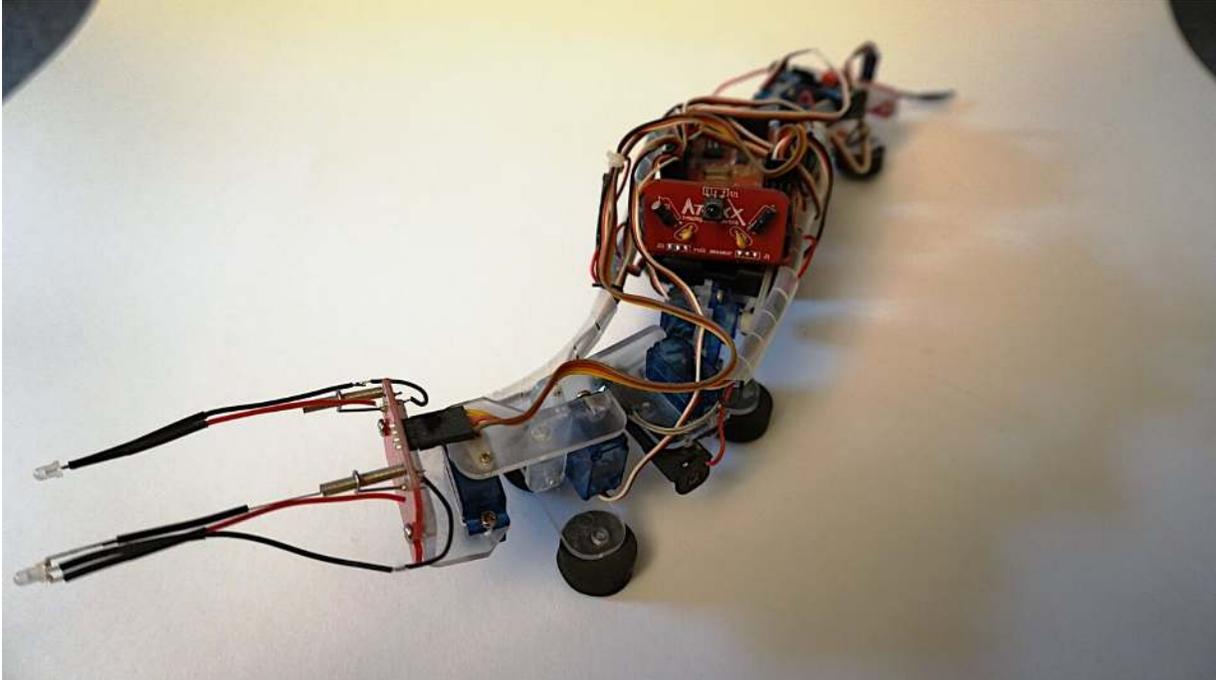


Abb. 1.2: Die Caterpillar von AREXX Engineering

Die Caterpillar ist ein wurmförmiger Roboter. Sein Körper ist in verschiedene Segmente geteilt, die sich durch Servomotoren jeweils auf und ab oder links und rechts bewegen lassen. Durch eine koordinierte Ansteuerung der Motoren ist der Roboter in der Lage, sich fortzubewegen. Seine Sensoren sind zwei Antennen vorne und eine Antenne hinten sowie ein Rollsensor.

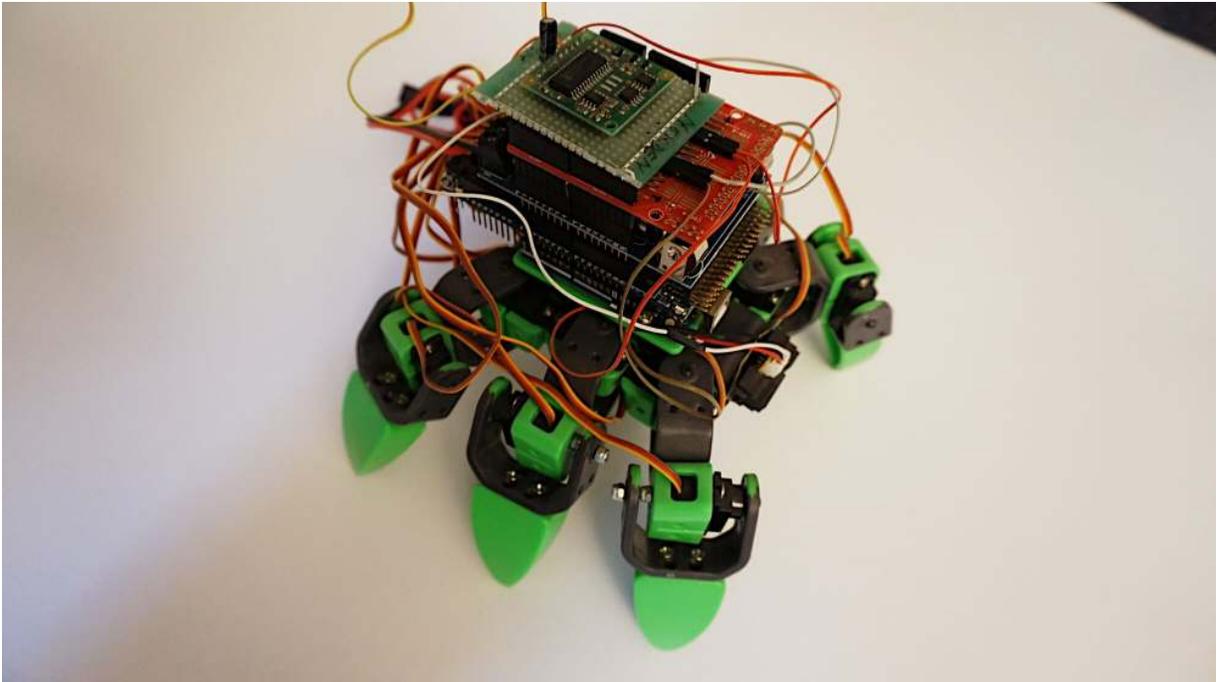


Abb. 1.3: Der ALLBOT von Velleman

Der ALLBOT ist ein sechsbeiniger Roboter, der entsprechend anspruchsvoll programmtechnisch gesteuert wird. Die sechs Beine müssen sich ja koordiniert bewegen, damit er sich vorwärtsbewegt. Dem Roboter habe ich einen Infrarotsensor (vorne am Chassis) spendiert, damit er Abstände zu einem Hindernis messen kann, sowie einen Kompass-Sensor (oberste Platine), der ihn befähigt, die Richtung zu bestimmen, in der er sich bewegt.

Natürlich kann man mit den vorgestellten Robotern vortrefflich experimentieren und diese auch mit zusätzlichen elektronischen Komponenten erweitern. Aber irgendwann hat man sie ausgereizt und dann stehen sie nur noch herum und sehen schön aus. Das ist schade.

Daher gehe ich in diesem Buch einen anderen Weg und verwende LEGO-Komponenten sowie elektronische Fremdkomponenten, um Roboter zu bauen. LEGO-Roboter haben den Vorteil, dass man sie, nachdem man sich

ausführlich mit ihnen beschäftigt hat, zerlegen und dann einen neuen Roboter bauen kann. Wenn man LEGO für seine Roboter verwendet, wird dieses interessante Hobby niemals langweilig.

1.2 LEGO mit Elektronikkomponenten versehen

Das LEGO-Mindstorms-System bietet Computer, Motoren und Sensoren für den Bau von Robotern aus LEGO-Technikteilen an. Diese originalen LEGO-Bauteile sind im Vergleich zu Fremdkomponenten sehr teuer. Daher können sowohl die Originalteile als auch – als Alternative – elektronische Fremdkomponenten verwendet werden, wie Sie in den letzten drei Kapiteln zu den Roboterprojekten sehen können.

1.2.1 Folgende LEGO-Elektronikkomponenten werden verwendet

Für die Modelle im Buch verwende ich die folgenden LEGO-Komponenten.



Abb. 1.4: Der LEGO-Colorsensor



Abb. 1.5: Der LEGO-Infrarotsensor



Abb. 1.6: Der LEGO-Touchsensor



Abb. 1.7: Der Hitechnic-Kompass-Sensor



Abb. 1.8: Der mittlere Motor von LEGO EV3