

DAS LEGO® MINDSTORMS® ROBOTER-ERFINDER LABOR

Bauen, programmieren und
experimentieren mit 7 tollen Modellen

Daniele Benedettelli



dpunkt.verlag

DAS LEGO[®]- MINDSTORMS[®]- ROBOTER- ERFINDER-LABOR

**Bauen, programmieren und
experimentieren mit 7 tollen Modellen**

Daniele Benedettelli

Aus dem Englischen übersetzt von Ralf J. Klumb



dpunkt.verlag

Daniele Benedettelli

Lektorat: Gabriel Neumann

Lektoratsassistentz: Anja Weimer

Übersetzung: Ralf J. Klumb

Copy-Editing: Claudia Lötschert, www.richtiger-text.de

Satz: Veronika Schnabel

Herstellung: Stefanie Weidner

Umschlaggestaltung: Helmut Kraus, www.exclam.de, nach Vorlage von No Starch Press Inc.

Druck und Bindung: Schleunungdruck GmbH, Marktheidenfeld

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:

Print 978-3-86490-905-4

PDF 978-3-96910-840-6

ePub 978-3-96910-841-3

mobi 978-3-96910-842-0

1. Auflage 2022

Translation Copyright für die deutschsprachige Ausgabe © 2022 dpunkt.verlag GmbH

Wieblinger Weg 17

69123 Heidelberg

Copyright © 2021 by Daniele Benedettelli. Title of English-language original: *LEGO MINDSTORMS Robot Inventor Activity Book: A Beginner's Guide to Building and Programming LEGO Robots*, ISBN 9781718501812, published by No Starch Press Inc. 245 8th Street, San Francisco, California United States 94103. The German-language edition Copyright © 2022 by dpunkt.verlag under license by No Starch Press Inc. All rights reserved.

Hinweis:

Der Umwelt zuliebe verzichten wir auf die Einschweißfolie.

Schreiben Sie uns:

Falls Sie Anregungen, Wünsche und Kommentare haben, lassen Sie es uns wissen: hallo@dpunkt.de.

Die vorliegende Publikation ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung der Texte und Abbildungen, auch auszugsweise, ist ohne die schriftliche Zustimmung des Verlags urheberrechtswidrig und daher strafbar. Dies gilt insbesondere für die Vervielfältigung, Übersetzung oder die Verwendung in elektronischen Systemen.

Es wird darauf hingewiesen, dass die im Buch verwendeten Soft- und Hardware-Bezeichnungen sowie Markennamen und Produktbezeichnungen der jeweiligen Firmen im Allgemeinen warenzeichen-, marken- oder patentrechtlichem Schutz unterliegen. LEGO, LEGO-Figuren und LEGO-Bausteine sind Warenzeichen der LEGO-Gruppe. Dieses Buch ist von der LEGO-Gruppe weder unterstützt noch autorisiert worden.

Alle Angaben und Programme in diesem Buch wurden mit größter Sorgfalt kontrolliert. Weder Autor noch Verlag noch Übersetzer können jedoch für Schäden haftbar gemacht werden, die in Zusammenhang mit der Verwendung dieses Buches stehen.

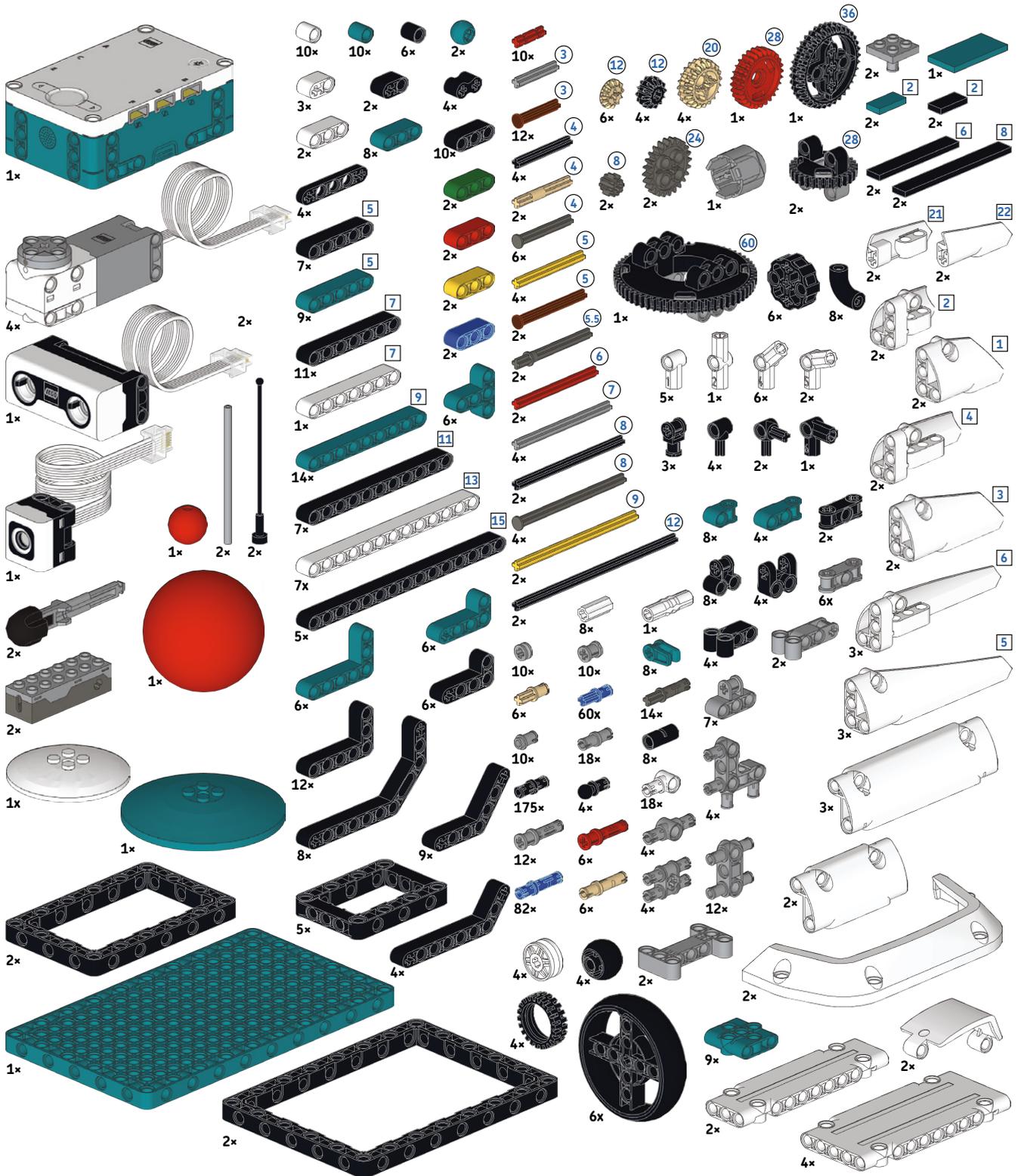
5 4 3 2 1 0

Copyright und Urheberrechte:

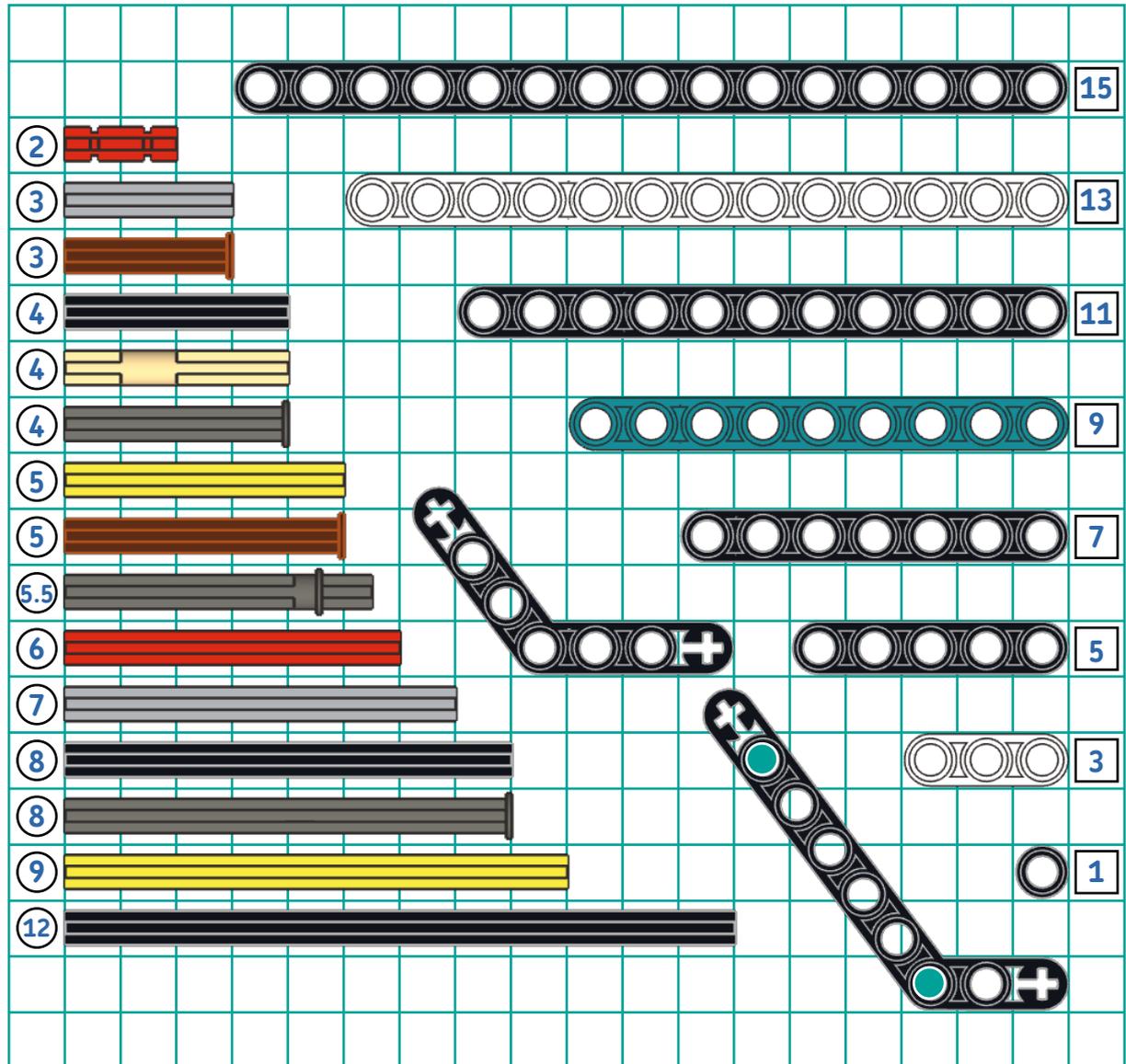
Die durch die dpunkt.verlag GmbH vertriebenen digitalen Inhalte sind urheberrechtlich geschützt. Der Nutzer verpflichtet sich, die Urheberrechte anzuerkennen und einzuhalten. Es werden keine Urheber-, Nutzungs- und sonstigen Schutzrechte an den Inhalten auf den Nutzer übertragen. Der Nutzer ist nur berechtigt, den abgerufenen Inhalt zu eigenen Zwecken zu nutzen. Er ist nicht berechtigt, den Inhalt im Internet, in Intranets, in Extranets oder sonst wie Dritten zur Verwertung zur Verfügung zu stellen. Eine öffentliche Wiedergabe oder sonstige Weiterveröffentlichung und eine gewerbliche Vervielfältigung der Inhalte wird ausdrücklich ausgeschlossen. Der Nutzer darf Urheberrechtsvermerke, Markenzeichen und andere Rechtsvorbehalte im abgerufenen Inhalt nicht entfernen.

Für Maria Sole und Libero

LEGO®-MINDSTORMS®-Roboter-Erfinder-Set (#51515) Teileliste



Elementdiagramm in realer Größe



Über den Autor

Daniele Benedettelli ist ein italienischer Robotik-Ingenieur und in aller Welt für seine innovativen LEGO-Mindstorms-Roboter bekannt, darunter der erste NXT-Rubik-Würfel-Löser, verschiedene humanoide Roboter und funktionsfähige Autofabrikmodelle. Von 2006 bis 2013 unterstützte er Tests der LEGO-Gruppe und entwickelte Software für die LEGO-Mindstorms-Produktreihe. Er arbeitet als selbstständiger LEGO-Designer, hält Robotik-Vorträge und -Workshops in aller Welt und lehrt Robotik an Sekundarschulen.

Über den Fachgutachter der Originalausgabe

Xander Soldaat ist ehemaliger Mindstorms-Community-Partner für LEGO Mindstorms. Er war 18 Jahre lang IT-Infrastruktur-Architekt und -Ingenieur, bevor er begann, sich in Vollzeit als Softwareentwickler zu betätigen. Er hat vor Kurzem den Kreis ganz geschlossen und ist bei Red Hat zu seinen Linux-Wurzeln zurückgekehrt. In seiner Freizeit bastelt er an Robotern, beschäftigt sich mit 3D-Druck und selbstgebaute Retrorechnern.

Inhaltsübersicht

Danksagungen	xii
1 Los geht's	1
2 Baseballschläger	3
3 Der Gobbler	13
4 SARKIAP-1, der Transformer	35
5 Shelly, die Schildkröte	93
6 Whac-A-Mole!	123
7 Flipper	139
8 Gitarre	183
9 Wie geht's weiter?	215
Anhang: Kurzübersicht zu Textblöcken	217
Index	230

Inhaltsverzeichnis

1		
Los geht's		1
Was ist im Karton?.....		1
Der Hub.....		1
Die Motoren und Sensoren.....		2
Die App.....		2
So nutzt du dieses Buch.....		2
Zusammenfassung.....		2
2		
Baseballschläger		3
Den Baseballschläger bauen.....		4
Den Schläger programmieren.....		6
Einführung zur App.....		6
Ein erstes Programm schreiben.....		7
Das Programm speichern und der Ablauf des Programms.....		10
Das Programm verstehen.....		12
Was hast du gelernt?		12
3		
Der Gobbler		13
Den Gobbler bauen		14
Den Gobbler programmieren		27
Das Grundprogramm schreiben.....		27
Das Grundprogramm verstehen.....		27
Das Grundprogramm verbessern.....		29
Das verbesserte Programm verstehen.....		30
Den Gobbler Fragen beantworten lassen		32
Was hast du gelernt?		34
4		
SARKIAP-1, der Transformer		35
Den Kerns des aufrecht gehenden Roboters bauen		36
Den aufrecht gehenden Roboter programmieren		48
Eigene Blöcke		49
Das Programm des aufrecht gehenden Roboters verstehen		51
Bau des Transformers		52
Den Roboterkörper aufrichten.....		66
Letzte Arbeiten am Transformer		67
Eine benutzerdefinierte Fernsteuerungsschnittstelle erstellen.....		83
Reaktion auf Fernsteuerungseingaben		86
Die Ausrichtung des Hubs im Raum feststellen.....		87

Start des gleichzeitigen Ablaufs mehrerer Stapel.....	87
Den Transformer programmieren	87
Eigene Blöcke für Umwandlung in Zweifüßer und Auto	88
Eigene Blöcke, damit der Roboter geht und wendet.....	89
Eigene Blöcke für Auto- und Zweifüßer-Fernsteuerung.....	89
Programmstapel zur Verwaltung der Widget-Ereignisse	90
Was hast du gelernt?	91

5

Shelly, die Schildkröte.....	93
Die Schildkröte bauen	94
Die Schildkröte programmieren	115
Benutzerdefinierte Muster auf dem Hub-Display erstellen	116
Komplexe logische Bedingungen erstellen	117
Die Blöcke zum Gehen und Bewegen des Kopfs verstehen.....	117
Einsatz des Zeitgebers	117
Interessantere Verhaltensweisen erzeugen.....	118
Variablen einsetzen.....	118
Das erweiterte Programm verstehen.....	119
Was hast du gelernt?	122

6

Whac-A-Mole!	123
Das Whac-A-Mole-Spiel bauen.....	124
Das Whac-A-Mole-Spiel programmieren.....	134
Spielen	134
Den Hauptstapel verstehen.....	135
Die Blöcke für die Auf- und Abwärtsbewegung verstehen.....	136
Die Spiellogik verstehen.....	136
Was hast du gelernt?	138

7

Flipper	139
Den Flipper bauen	140
Listen einsetzen.....	164
Das Hub-Display steuern mit Zeichenfolgen	165
Das Flipper-Grundprogramm schreiben.....	166
Spielen	168
Das Grundprogramm verstehen.....	168
Den Flipper fertigstellen	169
Das Licht des Abstandssensors steuern mit Zeichenfolgen.....	179
Das Flipper-Programm verbessern	179
Die Schlagtürme programmieren	179
Zusätzliche Bälle gewinnen	180
Eine Schräglagenüberwachung hinzufügen.....	181
Was hast du gelernt?	182

8		
Gitarre		183
Die Gitarre bauen		184
Soli spielen		200
Das Programm schreiben		200
Die Gitarre spielen.....		202
Das Gitarren-Solo-Programm verstehen.....		202
Akkorde spielen.....		205
Das Programm schreiben		206
Berühmte Songs auf der Gitarre spielen		206
Das Gitarren-Akkorde-Programm verstehen		207
Die Reglerknöpfe hinzufügen		209
Die Transpositionssteuerung zum Solo-Programm hinzufügen		212
Die Transpositions- und Temposteuerung zum Akkorde-Programm hinzufügen		212
Spielvariationen		213
Was hast du gelernt?		213
9		
Wie geht's weiter?.....		215
Erweiterung der Software		215
Erweiterung der Hardware.....		216
Knüpfe Kontakte		216
Was kommt als Nächstes?		216
A		
Anhang: Kurzübersicht zu Textblöcken.....		217
Motoren.....		218
Bewegung.....		219
Licht		220
Soundeffekte		221
Ereignisse		222
Steuerung.....		223
Sensoren.....		224
Operatoren.....		225
Fernsteuerung.....		226
Variablen.....		227
Mehr Bewegung (Erweiterung).....		228
Mehr Motoren (Erweiterung).....		229
Index		230

Danksagungen

Ich habe einfach meine Energie und Ideen gesammelt, während ich auf das Erscheinen dieses neuen LEGO-Mindstorms-Sets wartete, da ein neues LEGO-Mindstorms-Set bedeutet, dass ich ein neues Buch schreiben muss! Es gibt viele Menschen, denen ich danken muss, dass dieses möglich wurde.

Zuerst gilt der Dank meiner Familie: meiner Frau **Lucia** für ihre Geduld mit mir, meiner Tochter **Maria Sole**, die alle Modelle des Buchs mit stetig steigendem Interesse und hilfreichem Feedback dem Beta-Test unterzog, meinem sehr jungen Sohn **Libero**, der immer noch nicht versteht, welche LEGO-Spielsachen seine sind und welche meine (ihm fällt es schwer, bei all den verfügbaren LEGO-Roboter-Sachen bei seinen DUPLO-Steinen zu bleiben!).

Ein Dankeschön geht auch an die **Großeltern**, die sich um die Kinder kümmerten und mir für die Arbeit an diesem Buch einige Stunden am Tage gaben (der Rest bestand leider aus Nachtstunden). Ein großes Dankeschön an meinen Bruder Alessandro, ein talentierter Gitarrist und Musiklehrer, für seine exzellenten Hinweise, die Gitarren-Tonleitern und -Techniken allen zu eröffnen, selbst auf einer LEGO-Gitarre ohne Saiten.

Danke auch an das Team von No Starch Press, insbesondere an **Nathan Heidelberger**, einen präzisen, kreativen und zuverlässigen Redakteur, sowie **Bill Pollock** für seine stetige und resolute Führung.

Ein riesiges Dankeschön gilt **Xander Soldaat** – Mann, ich stelle fest, dass du seit 2006 keine Chance ausgelassen hast, mich mit deinen exzentrischen *Genuine Italian*TM-Gerichten zu sticheln! –, der ein ebenso wertvoller, ernsthafter technischer Rezensent ist wie beim Abhängen ein geistreicher Freund, in den vergangenen Jahren leider nur in der Ferne. Danke an **Maureen**, eine liebe Freundin, die nie aufgehört hat, mich im Laufe dieses Projekts zu ermutigen (bitte entschuldige mein gelegentliches Jammern!).

Ich möchte der lieben **Amelia** für ihren unschätzbaren frühen Beitrag zur allgemeinen Stimmung des Buchs und den darin erforderlichen Spaßfaktor danken. Danke an all die Kinder in meiner lockeren Fokusgruppe, die sich im Sommerurlaub von allein bildete, als das Buch nur aus einigen gekritzelten Seiten bestand. Danke an **Adele** für ihr Feedback zur Projektliste.

Danke an meinen Fotografen und Freund **Matteo Neri** (<https://matteoneriphot.com/>) für das wundervolle Foto auf der Titelseite des Buchs.

Ein großes Dankeschön an all die Mitglieder der LDraw-Community, die die Kleinigkeiten und Werkzeuge entwickelten, die zur Schaffung der hochwertigen Bauanleitungen beitrugen. Ein besonderer Dank gilt Master Builder und Buchautor **Philippe Hurbain** (Philo), ein Meister der Modellierung von 3D-LEGO-Elementen, **Roland Melkert** für seine fantastische LDCad-Software und **Trevor Sandy** für seine Arbeit an der Entwicklung von LPub3D.

1

Los geht's

»Let's go already!«
Bender, *Futurama*

Alle Modelle in diesem Buch lassen sich mit einem einzigen LEGO-Set bauen: dem LEGO-MINDSTORMS-Roboter-Erfinder-Set mit der Nummer 51515. Mit diesem LEGO-Set und einem Gerät, auf dem die LEGO-Mindstorms-App laufen kann, bist du bereit, jeden beliebigen Roboter zu kreieren, den du dir vorstellen kannst.

Von einem ferngesteuerten Auto, das sich in einen gehen- den humanoiden Roboter verwandelt, bis hin zu einer Gitarre, die du tatsächlich spielen kannst, sind deinem Erfindungseifer keine Grenzen gesetzt!

Was ist im Karton?

Das LEGO-Mindstorms-Roboter-Erfinder-Set enthält fast 1.000 LEGO-Technic-Elemente, darunter große Technic-Rahmen, Räder und Verbinder, die es ganz einfach machen, schnell richtig funktionierende Roboter zu bauen, die alle möglichen coolen Dinge machen können. Neben einfachen LEGO-Technic-Elementen umfasst das Set einige elektronische Bausteine, die in Abbildung 1-1 dargestellt sind: vier Medium-Motoren mit eingebauten Rotationssensoren, ein Farbsensor, ein Abstandssensor und der Hub (kurz für den großen LEGO Technic Large Hub), der das Gehirn aller von dir geschaffenen Roboter sein wird.

Der Hub

Der Hub ist ein Computer, ein *programmierbarer* LEGO-Stein, der deine Roboter in Funktion setzt. Du kannst den Hub zum Ausführen von *Programmen* verwenden, Anweisungen, die du für die von dir gebauten Roboter schreibst. Die Programme sagen dem Hub, wie er die Motoren und Sensoren steuern soll, die du an den sechs Ein-/Ausgängen des Hubs (drei auf jeder Seite, wir nennen sie in diesem Buch *port*, englisch für Anschluss) anschließen kannst. Der Hub ist schlau genug, zu wissen, welche Art von Motor oder Sensor an jedem Port angeschlossen ist, ohne dass ihm das gesagt werden muss.

Der Hub hat ein 5×5-*Matrix-Display*, bestehend aus fünf Reihen und Spalten mit Licht emittierenden Dioden (LEDs), und einen eingebauten Lautsprecher. Er hat eine sechsachsige *Inertialnavigationseinheit* (IMU), die aus einem dreiachsigen *Beschleunigungsmesser* und einem dreiachsigen *Gyroskop* besteht. Eine IMU ist dieselbe Art von Einrichtung, die einem Smartphone oder Tablet sagt, wo oben ist, und du kannst die IMU des Hubs ebenso zum Feststellen der Rotation oder der Orientierung des Hubs im Raum verwenden.

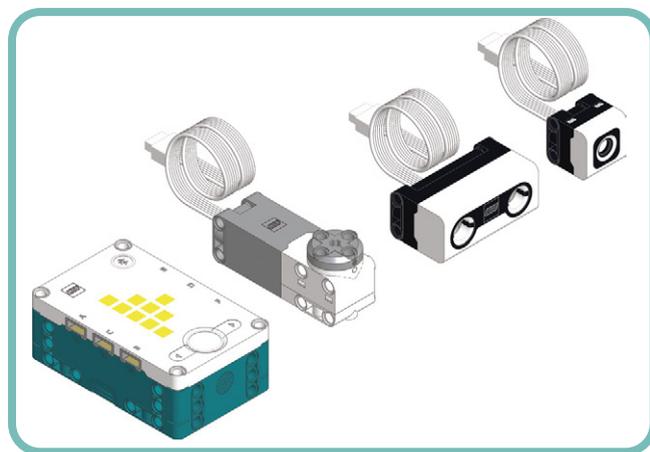


Abbildung 1-1: Die im LEGO-Mindstorms-Set enthaltenen elektronischen Elemente: (von links) der Hub, einer der vier Medium-Motoren, der Abstandssensor und der Farbsensor

Der Hub verfügt zudem über drei Tasten für die Menünavigation und eine Taste zum Aktivieren der Bluetooth-Verbindung. Du kannst den Hub mit anderen Geräten zur Programmierung und Fernsteuerung mittels USB oder Bluetooth verbinden. Schließlich hat der Hub einen Akku, der sich durch Anschließen des Hubs an einer USB-Stromversorgung mit dem im Set enthaltenen Micro-USB- auf USB-Kabel laden lässt. Das ist echt praktisch und umweltfreundlich!

Die Motoren und Sensoren

Mit den vier Medium-Motoren kann man dank ihrer kompakten Form und der vielen Montagelöcher sehr gut arbeiten. Sie sind *Servomotoren*, das heißt, du kannst sie in bestimmte Positionen drehen und ihre Geschwindigkeit steuern. Jeder Motor hat eine Null-Position, die auf dem Motorgehäuse mit einem Kreis markiert ist. Der im Motor eingebaute Rotationssensor misst die Position der Motorwelle (der Teil des Motors, der sich dreht) relativ zu dieser Null-Position. Dieses praktische Merkmal bedeutet, dass du den Motor nicht in eine erste bekannte Position bringen musst.

Der Abstandssensor misst den Abstand eines vor ihm angeordneten, bis zu 2 Meter entfernten Objekts. Er kann in Zentimetern oder Zoll messen. Er misst Abstände genauso wie Fledermäuse es tun. Der Sensor sendet von seinem Sender »Auge« einen Impuls mit *Ultraschallwellen* (sehr hohe Töne, die das menschliche Ohr nicht hören kann) und misst die Zeit, die der Ton benötigt, um von einem Objekt reflektiert zu werden und zum anderen »Auge«, dem Empfänger, zurückzukommen.

Der Sensor berechnet den Abstand anhand dieser Zeitmessung und der Geschwindigkeit des Schalls in der Luft. Die Abstandsmessungen sind bei flachen, harten Objekten ziemlich präzise, aber gegenüber Stoffen oder anderen weichen Objekten, die Schallwellen absorbieren, ist der Sensor blind. Der Sensor besitzt vier programmierbare Leuchten rund um die Augen. Cool – du kannst deine Roboter zwinkern lassen!

Der Farbsensor kann von seiner LED aus Licht auf ein rund 2 Zentimeter (etwas weniger als 1 Zoll) vor ihm angeordnetes Objekt scheinen lassen und den Prozentsatz des von diesem Objekt reflektierten Lichts messen. Diese Art der *Graustufenmessung* ist zum Beispiel nützlich, um die Kante einer schwarzen Linie auf einer weißen Oberfläche zu erkennen. Der Sensor kann auch die Farbe eines Objekts erkennen und eine Zahl wiedergeben, die einer der LEGO-Farben entspricht (Weiß, Blau, Schwarz, Grün, Gelb, Rot, Dunkeltürkis, Violett oder keine Farbe).

Die App

Die LEGO-Mindstorms-App verwendest du zum Programmieren deiner Roboter. Die App kann auf vielen Geräten laufen, darunter Computer mit Windows 10, mit macOS sowie Smartgeräte mit Android und iOS (sowohl Smartphones als auch Tablets). Prüfe vor dem Kauf des Roboter-Erfinder-Sets, dass dein Gerät die für den Betrieb der App nötigen Mindestanforderungen erfüllt. Die Informationen zur Gerätekompatibilität und Mindestanforderungen findest du auf der offiziellen Supportseite von LEGO: <https://www.lego.com/de-de/service/device-guide/mindstorms-robot-inventor>.

Selbst wenn du die App schon mit den fünf Robotern verwendet hast, die Teil des Roboter-Erfinder-Sets sind, könntest

du manches Detail oder Merkmal der App übersehen haben, oder du hast vielleicht selbst noch kein Programm in der App geschrieben. Daher beschreibe ich die Programmierblöcke und die Eigenschaften der App, wie wir sie in den folgenden Kapiteln verwenden.

So nutzt du dieses Buch

Dieses Buch hat einen projektbasierten Ansatz. In jedem Kapitel erstellst du einen vollständigen Roboter. Ich habe die spannendsten, unterhaltsamsten und interaktivsten Modelle gewählt, die ich mir vorstellen konnte, von einem Transformer über einen Flipper bis zu einer elektrischen Gitarre, und noch ein paar mehr. Jedes Projekt baut auf den in den vorhergehenden Kapiteln gewonnenen Kenntnissen auf, weshalb ich empfehle, die Kapitel der Reihe nach durchzugehen.

Teil eines jeden Kapitels sind schrittweise Anleitungen für den Bau des jeweiligen Roboters. Beim Befolgen der Anleitungen lernst du viele coole Bautechniken, die du auf deine eigenen LEGO-Kreationen anwenden kannst. Der andere Teil jedes Kapitels erläutert, wie du dem Roboter mittels der Programmiersprache Scratch sagst, was er tun soll. Wir sprechen jedes Programm im Detail durch, damit du siehst, wie es funktioniert und wie du deine eigenen Programme schreiben kannst. Wenn du es aber eilig hast oder einfach nicht abwarten kannst, mit den Robotern aus dem Buch zu spielen, dann kannst du alle Programme für die Roboter (ihren *Quellcode*) unter <https://www.nostarch.com/lego-mindstorms-robot-inventor-activity-book/> herunterladen. Vergiss nicht, für Updates und ergänzende Materialien zu diesem Buch und LEGO Mindstorms im Allgemeinen meine Website <https://robotics.benedettelli.com/> mit einem Lesezeichen zu versehen.

Zusammenfassung

Das LEGO-Mindstorms-Roboter-Erfinder-Set schließt alles ein, was du für den Bau starker, origineller Roboter benötigst. Es umfasst viele LEGO-Technic-Elemente aus Kunststoff, aber das wahre Herz – oder eher das Gehirn – des Sets ist der Hub, ein programmierbarer Baustein, den du zum Steuern der Motoren und Sensoren des Sets verwenden kannst.

Im nächsten Kapitel erfährst du, wie du einen Baseball spielenden Roboter von Grund auf programmierst.

2

Baseballschläger

»Take me out to the ball game ...«

J. Norworth & A. Von Tilzer

Die einfache Vorrichtung, die du gleich bauen wirst, ist ein Baseball spielender Roboter (Abbildung 2-1). Dieses Projekt führt dich an die drei Stufen eines jeden Robotersystems heran: Eingabe, Verarbeitung und Ausgabe.

Eingaben sind Daten aus der Welt außerhalb des Roboters. In diesem Fall erfolgt die Eingabe durch die LEGO-Sensoren,

die erkennen, wenn sich der Ball nähert. *Verarbeitung* erfolgt, wenn wir diese Eingabe nehmen und damit etwas tun. Die *Verarbeitung* erfolgt im Hub, der ein Programm laufen lassen wird, das wir schreiben werden. Das Programm wird dem Roboter sagen, auf den Ball zu warten und dann den Schläger zu schwingen.

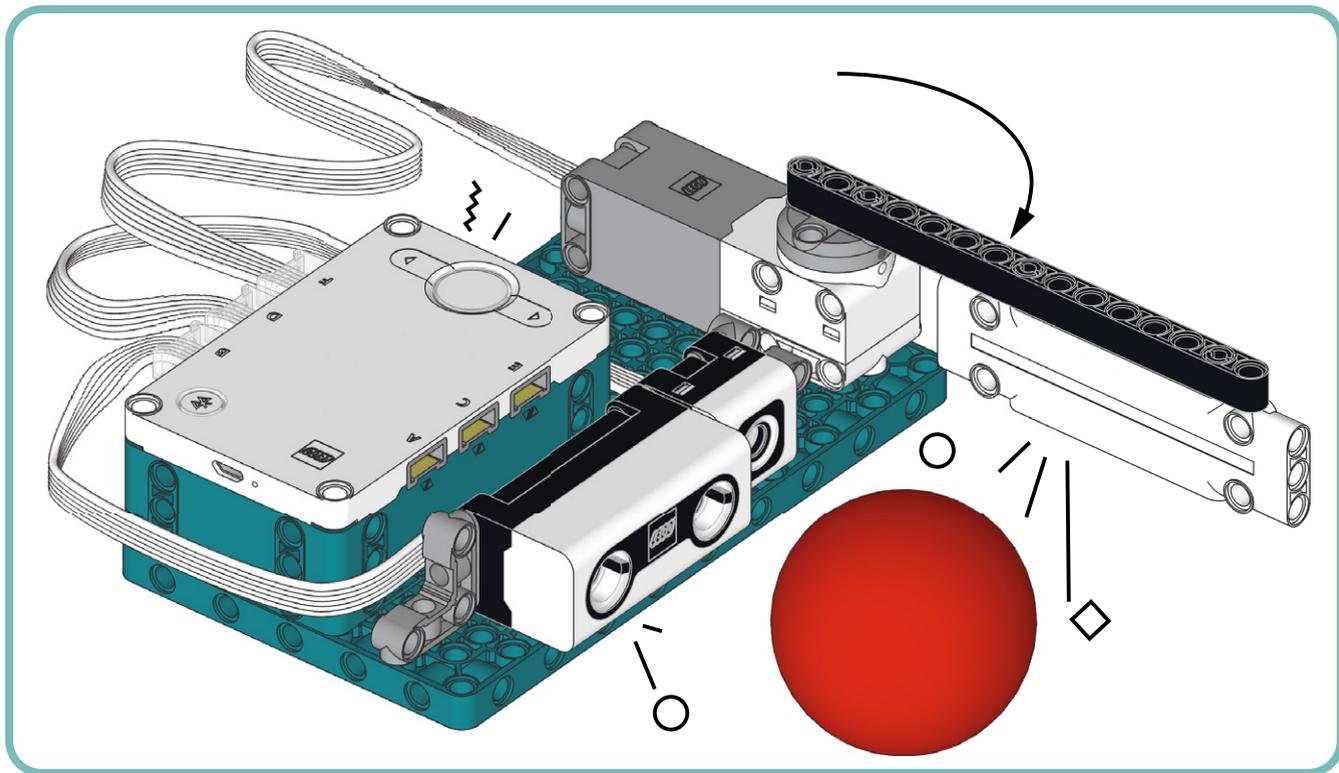


Abbildung 2-1: Der Baseballschläger ist eine einfache Vorrichtung, die dir bei deinen ersten Schritten zur Programmierung von Robotern hilft.

Ausgabe ist das, was der Roboter als Resultat der Verarbeitung tut. Unsere Ausgabe wird eine Handlung sein: Der Motor schwingt den Schläger, um den Ball zu schlagen. Wir können noch mehr Spaß mit dem Roboter haben, indem wir weitere Ausgaben hinzufügen, wie zum Beispiel das Abspielen eines Soundeffekts und die Anzeige einer netten Animation auf dem Hub-Display.

Den Baseballschläger bauen

In diesem Abschnitt findest du die schrittweise Anleitung zum Bau des Baseballschlägers. In jedem Schritt zeigt der erste Kasten die Teile, die du für diesen Schritt benötigst.

Im Verlauf des Buchs siehst du manchmal neben einem Teil eine Zahl in einem Kreis (für Achsen oder Paneele) oder in einem Kästchen (für Balken). Diese Zahl nennt dir die Länge des Teils in LEGO-Einheiten oder *Noppen*. Du kannst die Länge eines Balkens durch Zählen seiner Löcher ermitteln. Du kannst die Länge von Achsen ermitteln, indem du sie neben einen Balken legst und die Löcher im Balken zählst. Abbildung 2-2 zeigt zum Beispiel eine 5 Noppen lange Achse (5L) neben einem 9L-Balken.

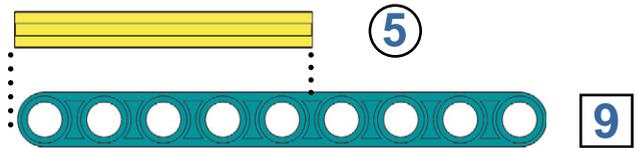
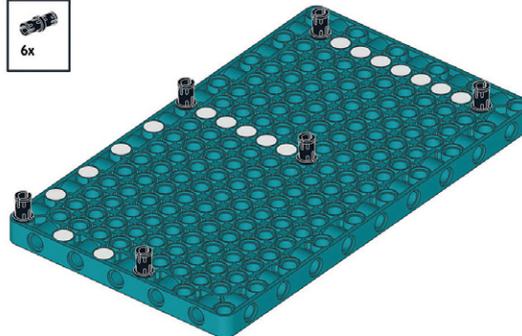


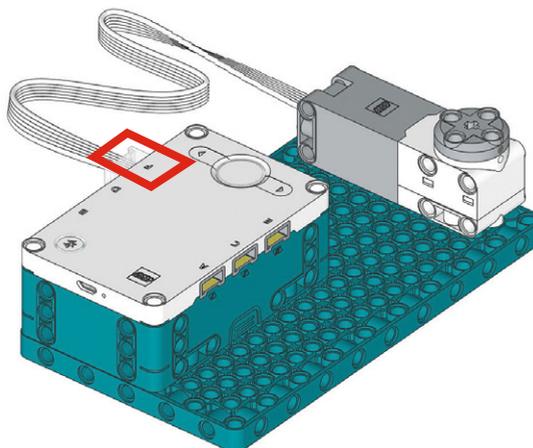
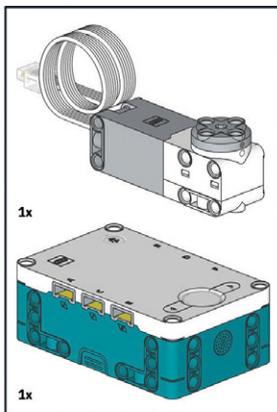
Abbildung 2-2: Du kannst die Länge eines Balkens durch Zählen seiner Löcher ermitteln. Zum Ermitteln der Länge einer Achse halte sie neben einen Balken und zähle die Löcher im Balken.

Die weißen Punkte helfen dir, die schwarzen Technic-Pins in die richtigen Löcher zu stecken. Die dunkeltürkisfarbene Technic-Grundplatte wird in der Teileliste nicht angezeigt, um Platz zu sparen.

1

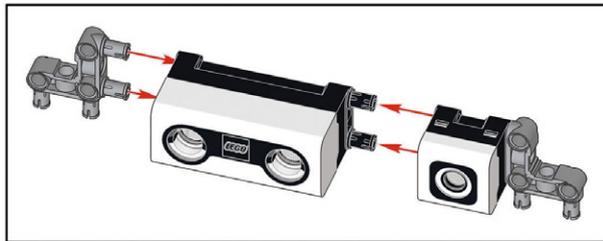
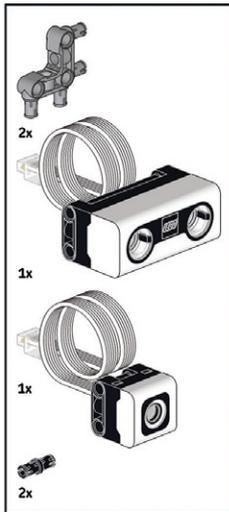


2

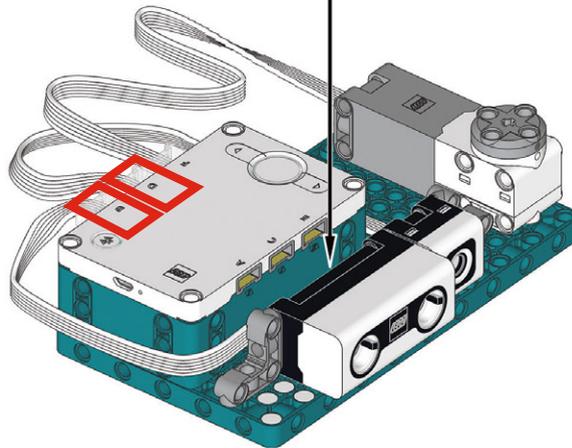


Schließe den Motor an Port F des Hubs an.

3

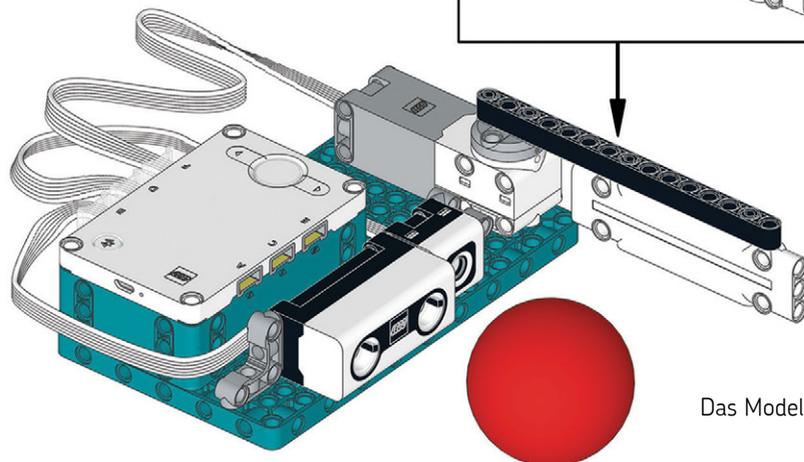
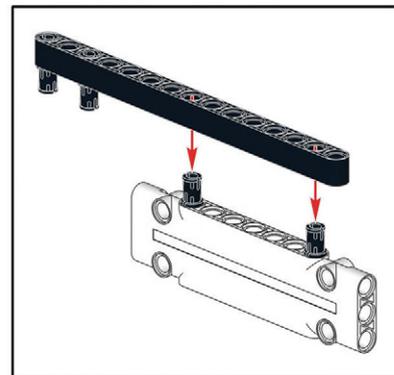
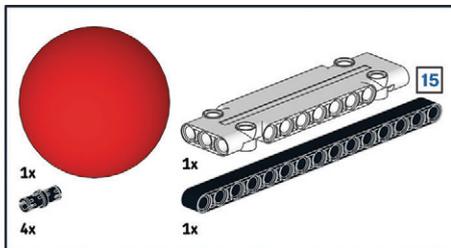


Wenn du ein Submodell in seinem eigenen Kasten wie hier siehst, dann baue es zusammen, bevor du es an das Hauptmodell montierst.



Schließe den Abstandssensor an Port B und den Farbsensor an Port D an.

4



Das Modell ist vollständig!

Den Schläger programmieren

Jetzt, da du den Roboter gebaut hast, ist es an der Zeit, ihm zu sagen, was er tun soll. Mit anderen Worten: Du musst ihn programmieren. Vielleicht kennst du eine andere Bezeichnung für das Programmieren: *Codieren*. Beim Programmieren schreibst du Code mit Anweisungen, die eine Maschine wie ein Roboter verstehen kann. Ich führe dich schrittweise durch den Ablauf des Programmierens des Baseballschlägers, damit du siehst, wie man in der Mindstorms-App Code schreibt. Denke dran, dass du den gesamten in diesem Buch verwendeten Code unter <https://nostarch.com/lego-mindstorms-robot-inventor-activity-book/> herunterladen kannst.

HINWEIS Wenn du bereits Experte in der Anwendung der Mindstorms-App bist, dann kannst du dir das vollständige Programm in Abbildung 2-5 ansehen, bevor du direkt zu »Das Programm verstehen« auf Seite 12 gehst.

Einführung zur App

Starte die LEGO-Mindstorms-App mit einem Doppelklick oder Antippen ihres Symbols, je nachdem, welches Gerät du verwendest. Nach wenigen Augenblicken sollte der Lobby-Bildschirm erscheinen. Auf einem Computer sollte es wie in Abbildung 2-3 aussehen. Auf kleineren Bildschirmen siehst du nur jeweils einen Roboter. In jedem Fall solltest du am unteren Bildschirmrand vier Tasten sehen und eine oben rechts.

Die unteren Schaltflächen von links nach rechts: Die *Startseite*-Schaltfläche bringt dich zur Lobby, *Community* zeigt eine Liste von Erfindungen, die von LEGO-Fans ausgetüftelt wurden, *Projekte* zeigt dir eine Liste der von dir erstellten Projekte, und *Programmieren* führt dich direkt in die Programmierumgebung. Die *Einstellungen*-Taste in Gestalt eines Zahnrads in der oberen rechten Ecke des Bildschirms zeigt Einstellungen daneben führt ein Knopf mit einem Fragezeichen zum Hilfe-Center.

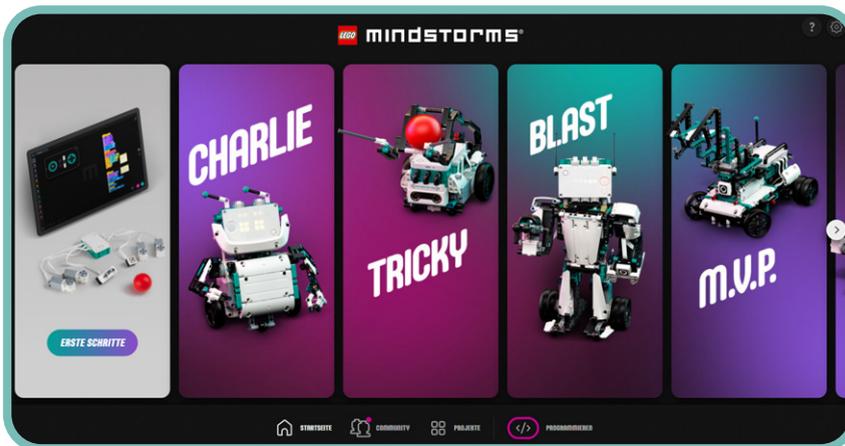


Abbildung 2-3: Die LEGO-Mindstorms-App-Lobby. Von hier aus kannst du die Aktivitäten der fünf im Kasten enthaltenen Roboter starten, deine Projekte und Einstellungen verwalten oder ein neues Programm starten. Das Aussehen der App kann je nach Gerät, auf dem sie läuft, variieren.



Klicke auf die Taste *Programmieren* am unteren rechten Rand des Bildschirms und öffne den Programmierbereich. Das sollte aussehen wie in Abbildung 2-4.

Die Textblöcke

Mit der LEGO-Mindstorms-App kannst du deine Roboter mit Scratch 3.0, einer blockbasierten visuellen Programmiersprache, programmieren. Auf der linken Seite deines Bildschirms siehst du alle *Textblöcke*, die Bausteine deiner Programme. Jeder Textblock repräsentiert eine Anweisung, die dein Roboter ausführen soll. Die Blöcke sind in *Paletten* gruppiert, auf ihren Funktionen basierend. So hat zum Beispiel eine Palette Blöcke allein zur Steuerung der Motoren, ein anderer Blöcke für die Sensoren und so weiter.

Du kannst Blöcke von der Palette in den Programmierbereich nach rechts ziehen. Durch das Kombinieren von Blöcken zu Stapeln kannst du Programme bauen, die deinen Roboter anweisen, allerlei Dinge zu tun. Jeder Stapel aus Blöcken wird von oben nach unten ausgelesen.

Verbindung mit dem Hub

Zum Steuern deines Roboters muss du deinen Computer, dein Handy oder Tablet mit dem Hub verbinden. Du kannst ein USB-Kabel oder Bluetooth verwenden. Wenn der Hub per USB mit deinem Computer verbunden ist, dann findet die App den Hub automatisch. Wenn du eine Verbindung via Bluetooth herstellen möchtest, klicke auf die Taste **Hub-Verbindung öffnen** und folge den Anweisungen auf dem Bildschirm.

HINWEIS Solltest du Probleme haben, den Hub via Bluetooth zu verbinden, sieh dir die offizielle LEGO-Support-Seite an: <https://education.lego.com/en-us/product-resources/spike-prime/troubleshooting/bluetooth-connectivity/>. Diese Seite bezieht sich auf SPIKE Prime, einen anderen LEGO-Robotik-Bausatz. Der SPIKE-Prime-Hub ist genau der gleiche wie der Roboter-Erfinder-Hub, nur in Gelb.

Sobald der Hub verbunden ist, wird der Punkt am Hub-Symbol oben rechts in der App grün, und neben diesem Symbol erscheinen Sensor-Angaben in Echtzeit. Diese Angaben sagen dir ganz genau, was jeder Sensor in jedem Moment erfasst. Wenn du deine Hand vor dem Abstandssensor vor und zurück bewegst, sollte sich die auf dem Bildschirm angegebene Zahl ändern.

Ein erstes Programm schreiben

Wenn du den Programmierbereich öffnest oder ein neues Projekt erstellst, solltest du bereits einen Block auf der Programmieroberfläche sehen: wenn das Programm startet. Das ist ein Beispiel für einen *Kopfblock*. Wie ein Kopf oben auf einem Körper sitzt, gehört auch der Kopfblock oben auf andere Blöcke. Jeder Blockstapel muss mit einem Kopfblock beginnen, der dem Roboter sagt, wann dieser Stapel ablaufen soll. Im Moment findest du alle Kopfblöcke in der gelben **Ereignisse**-Palette. (Später, wenn wir eine Fernsteuerung erstellen, erscheinen weitere Kopfblöcke in der **Fernbedienung**-Palette.)

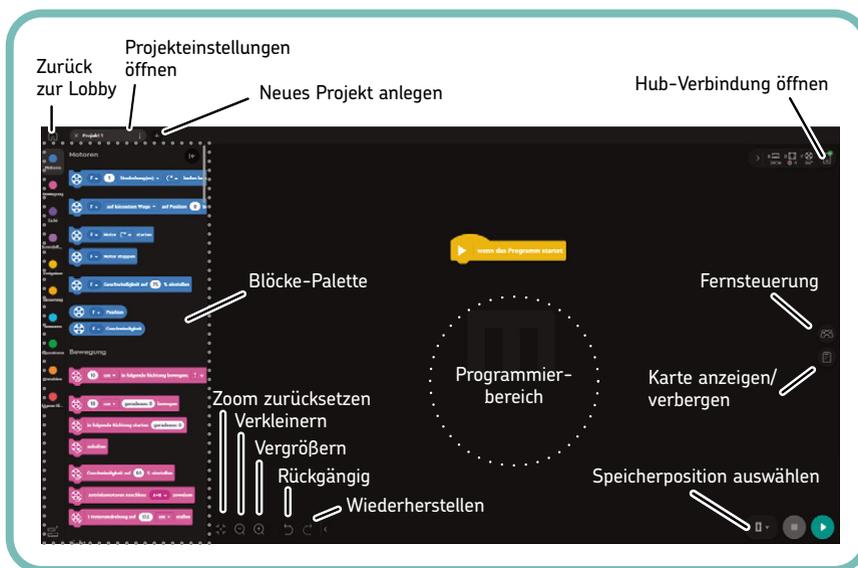


Abbildung 2-4: Der Programmierbereich, dargestellt am PC-Monitor. Mit der LEGO-Mindstorms-App kannst du durch Stapeln von Blöcken Programme erstellen, genau wie du LEGO-Steine aufeinander setzt.

Alle mit wenn das Programm startet verbundenen Blöcke werden automatisch ablaufen, sobald das Programm beginnt. Du kannst in deinem Programm mehr als einen wenn das Programm startet-Block haben. In diesem Fall startet jeder dieser Stapel gleichzeitig.

Lass uns das Programm für den Baseballschläger Schritt für Schritt erstellen. Wir wollen erreichen, dass der Roboter den Schläger schwingt, wenn er den Ball kommen sieht. Abbildung 2-5 zeigt das vollständige Programm. Wir gehen den Bau blockweise durch.



Abbildung 2-5: Das vollständige Programm für den Baseballschläger verwendet den Farbsensor zum Erkennen des Balls.

1. Öffne die Palette **Motoren**, ziehe den Block **Motorgeschwindigkeit einstellen** auf die Programmieroberfläche und platziere ihn unter dem gelben Kopfblock. Beachte, wie der Block in der Position einrastet, auch wenn du ihn nur nahe am gelben Block ablegst.

Dieser Block schaltet aber keine Motoren ein. Er sagt ihnen nur, wie schnell sie sich drehen sollen, sobald sie eingeschaltet werden. Du kannst jede Geschwindigkeit zwischen -100% und 100% wählen. Negative Zahlen lassen die Motoren rückwärtslaufen. Ohne diesen Block werden die Motoren versuchen, standardmäßig mit 75% Geschwindigkeit zu laufen.

Wenn nur ein Motor am Hub und der Hub an der App angeschlossen ist, dann sollte der Block **Motorgeschwindigkeit einstellen** bereits den Port anzeigen, an dem der Motor angeschlossen ist. Wenn im Block der Port-Buchstabe **F** noch nicht ausgewählt ist, wähle ihn mit dem Aufklappenmenü zur Auswahl des Anschlusses, wie in Abbildung 2-6 dargestellt. Dann stelle die Geschwindigkeit auf **100%** ein. Jetzt sollte der Motor mit vollem Tempo laufen, sobald das Programm startet.



Abbildung 2-6: Jeder Motorblock hat ein Port-Eingabe-Menü, in dem du festlegen kannst, an welchem Port der zu steuernde Motor angeschlossen ist. Du kannst einen einzelnen Port oder mehrere Ports wählen.

2. Ziehe aus derselben Palette den Block **Motor auf Position bewegen** und leg ihn unter dem vorigen blauen Block ab und stelle den Port auf **F** ein. Dieser Block sagt dem Motor, dass er sich drehen soll, bis die Markierung auf der Welle einen bestimmten Winkel relativ zur runden Markierung auf dem Motorgehäuse erreicht. Ein Winkel von 0 richtet sich an der Markierung aus. Danach steigt der Winkel im Uhrzeigersinn bis 359.

Um den angegebenen Winkel zu erreichen, kannst du dem Motor sagen, er soll sich im Uhrzeigersinn, gegen den Uhrzeigersinn oder in der Richtung drehen, die den kürzesten Weg ergibt, wie in Abbildung 2-7 dargestellt. In unserem Fall wähle **kürzester Weg** und stelle die Position auf **0** ein. Wir tun dies, weil es für die Motorwelle möglich ist, sich aus der Null-Position zu entfernen, während das Programm nicht läuft. Mit dem Einstellen der Position auf **0** beim Start des Programms wird der LEGO-Technic-Balken in die beste Position zum Schlagen des Balls bewegt.

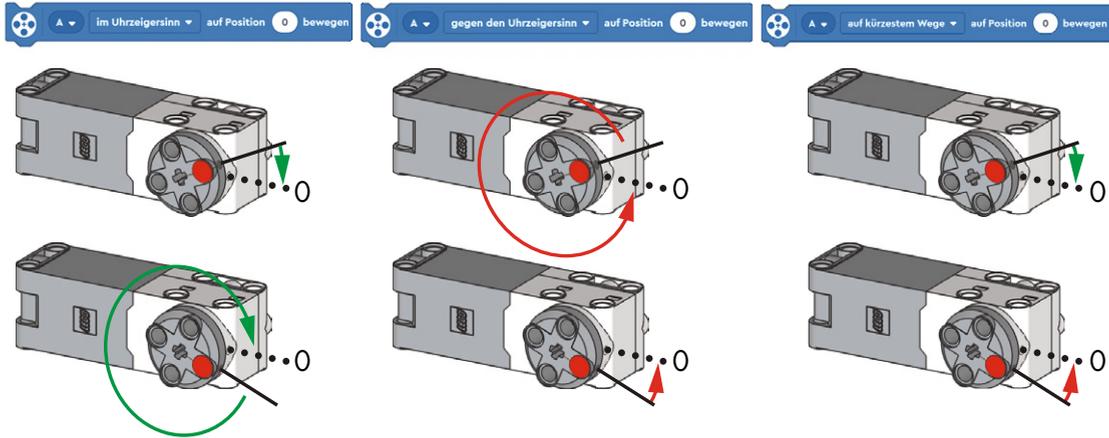


Abbildung 2-7: Der Block »Motor auf Position bewegen« dreht den Motor, bis er eine bestimmte Position erreicht. Du kannst ihn im Uhrzeigersinn, gegen den Uhrzeigersinn oder in die Richtung drehen, die den kürzesten Weg ergibt.

3. Jetzt sorgen wir dafür, dass der Roboter den Ball erkennt. Ziehe aus der **Ereignisse**-Palette den Block **bei Farbe** und leg ihn ab. Stelle den Port-Buchstaben auf **D** ein und die Farbe auf **Rot** (Abbildung 2-8).

Der Block **bei Farbe** ist ein weiterer Kopfblock. Er lässt den Blockstapel unter ihm ablaufen, wenn der Farbsensor eine bestimmte Farbe erkennt.

Wie du in Abbildung 2-8 siehst, kann der Sensor außer Rot auch einige andere Farben erkennen. Wenn der Sensor die richtige Farbe erkennt, dann lässt er den Blockstapel nur einmal laufen. Wenn der Sensor nach Abschluss des Stapels immer noch dieselbe Farbe sieht, wird er den Code nicht erneut ablaufen lassen.

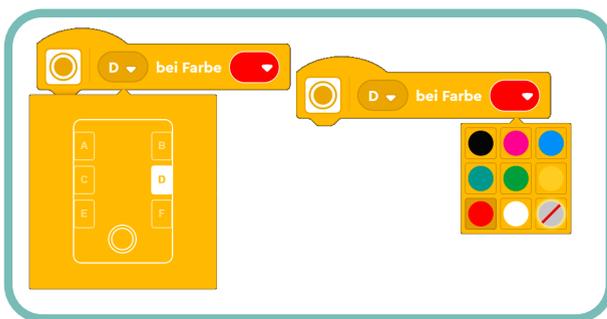


Abbildung 2-8: Einstellen des Kopfblocks »bei Farbe«, um mit dem an Port D angeschlossenen Farbsensor nach Rot zu suchen

4. Ziehe aus der **Soundeffekte**-Palette einen Block **Soundeffekt starten** und leg ihn unter dem Kopfblock **bei Farbe** ab. Wähle dann, den nummerierten Schritten in Abbildung 2-9 folgend, den Soundeffekt **Hit** unter der Registerkarte **Tricky** der Sound-Bibliothek.

Dieser Block startet das Abspielen eines Soundeffekts deiner Wahl und lässt das Programm weiterlaufen, während der Soundeffekt läuft. Die App hat eine Bibliothek von Soundeffekten, inklusive Hit, die bereits im Hub gespeichert ist. Diese werden über den Lautsprecher des Hubs wiedergegeben. Du kannst auch Soundeffekte aus deinem eigenen Gerät wählen oder sogar neue Soundeffekte aufzeichnen, aber diese werden über die Lautsprecher deines Geräts wiedergegeben, nicht über den Hub.

5. Füge unter dem **Soundeffekte**-Block einen weiteren Block **Motor auf Position bewegen** hinzu. Stelle den Port auf **F** ein, wähle den **kürzesten Weg** und stelle die Position auf **40** ein. Dieser Block lässt den Motor aus der Null-Position in einen Winkel von 40 Grad im Uhrzeigersinn drehen, den Schläger zum Schlagen des Balls bewegend.
6. Füge einen Block **Animation starten** aus der **Licht**-Palette hinzu und befolge die Schritte in Abbildung 2-10 zum Auswählen der Animation **Celebrate** aus der Animations-Bibliothek. Dieser Block startet eine Animation auf dem Hub-Display. Das Programm läuft weiter, während die Animation abgespielt wird.

Der Block **Animation starten** ermöglicht dir mit dem Animations-Editor auch das Design deiner eigenen Animationen. Jede Animation ist eine Abfolge von Mustern auf dem 5x5-Lichttraster des Hubs. Du kannst wählen, welche Leuchten aufleuchten und wie hell sie sein sollen.

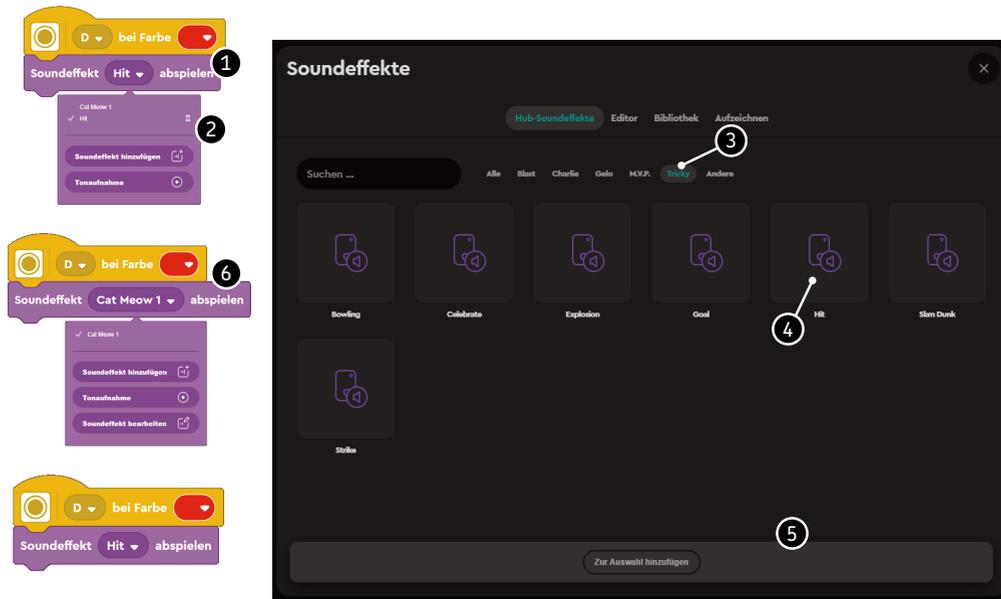
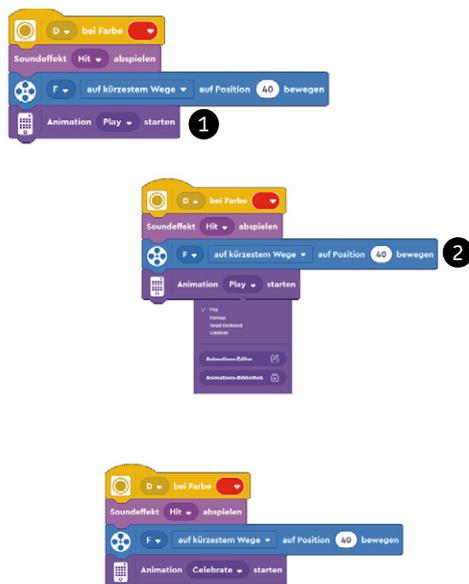


Abbildung 2-9: Der Block »Soundeffekt starten« spielt im Hub oder auf deinem Gerät gespeicherte Soundeffekte ab.

7. Füge schließlich unter dem **Animations**-Block einen weiteren Block **Motor auf Position bewegen** hinzu. Stelle den Port auf **F** und die Position auf **0** ein. Wähle dann den Block **auf kürzestem Wege**. Dieser Block bringt den Motor zurück in die Null-Position, bereit zum Schlagen des nächsten von dir geworfenen Balls.



Das Programm speichern und der Ablauf des Programms

Jetzt bist du so weit, das Programm zu speichern und auszuprobieren! So geht's:

1. Falls dein Hub während des Schreibens des Programms eingeschlafen ist, schalte ihn wieder ein, indem du die mittlere Taste drückst und ihn wieder mit der App verbindest.

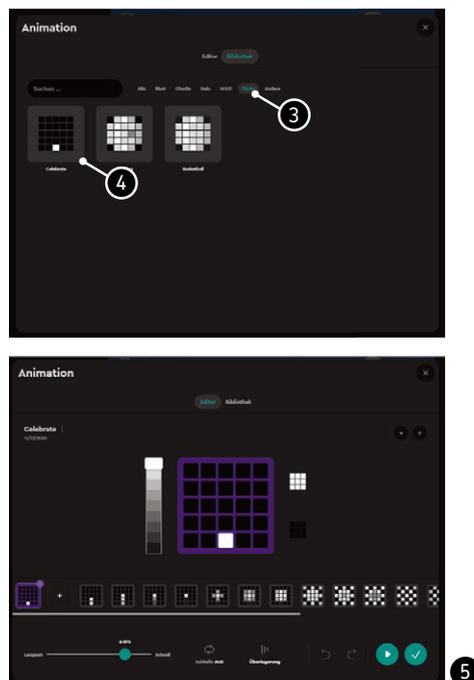


Abbildung 2-10: Der Block »Animation starten« spielt auf dem Hub-Display Animationen ab.

2. Mit dem **Projekt**-Menü, auf das du durch Anklicken der drei Pünktchen neben dem Projektnamen zugreifen kannst, benenne das Projekt um in `Baseball_Schläger` (Abbildung 2-11).
3. Klicke zum Starten des Programms die Taste **Speicher-Position auswählen** in der unteren rechten Ecke des Programmierbereichs, gleich neben der grauen **Stopp**-Taste. Wähle den **Download**-Modus, wähle dann die Speicher-Positionsnummer **0** und klicke nun die **Play**-Taste, wie in Abbildung 2-12 gezeigt. Die App wird nun heruntergeladen und startet das Programm auf dem Hub.

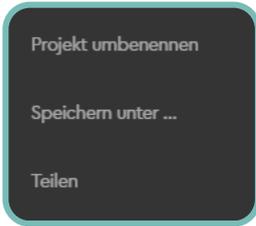


Abbildung 2-11: Wähle »Projekt umbenennen« aus dem Projektmenü.

4. Wirf dem Roboter den Ball zu und schau, wie er reagiert. War es ein Strike, ein Ball oder ein Home Run? Wie weit kann der Ball vom Farbsensor entfernt sein und dennoch erkannt werden?

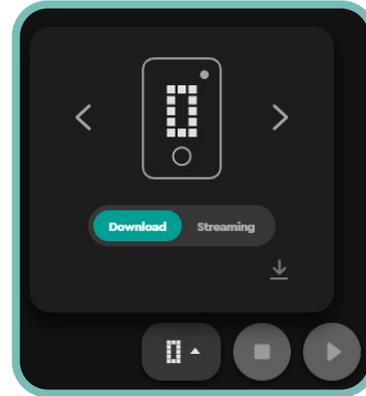


Abbildung 2-13: Wähle vor dem Programmstart den »Download«-Modus. Du erreichst das Fenster über die Taste »Speicher-Position auswählen« rechts unten im Programmierbereich.

Das Programm wird jetzt in der Programmansicht des Hubs, dem Hub-Monitor, sichtbar sein, wie in Abbildung 2-13 gezeigt. Du gelangst durch Anklicken der Taste **Hub-Verbindung öffnen** oben rechts auf dem Bildschirm dorthin (siehe Abbildung 2-4).

5. Zum Stoppen des Programms drücke die mittlere Taste auf dem Hub oder die Stopp-Taste .

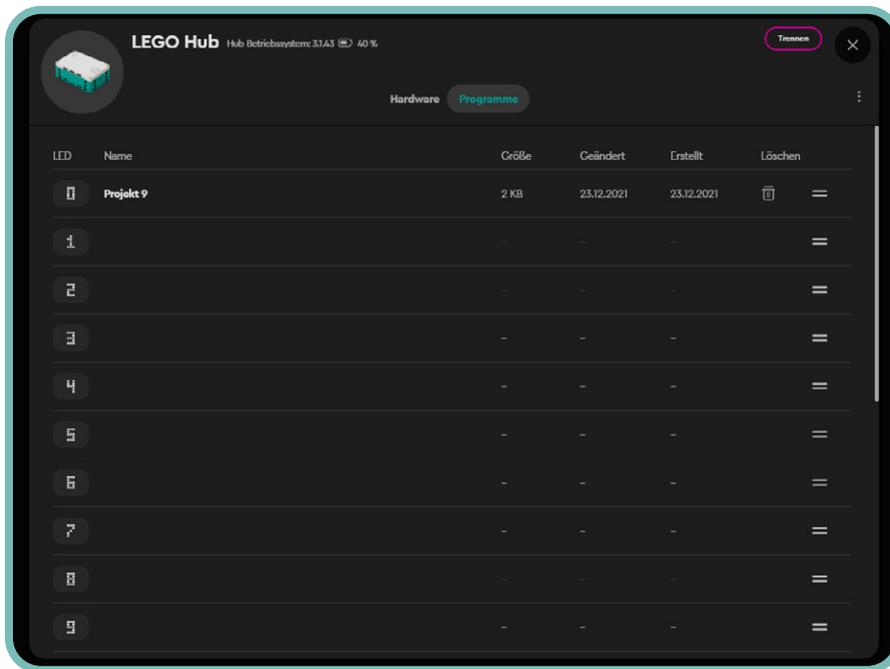


Abbildung 2-13: Das Hub-Programmmenü, das sich über die Taste »Hub-Verbindung öffnen« aufrufen lässt, zeigt die in deinem Hub gespeicherten Programme. Du kannst sie hier neu ordnen und löschen.