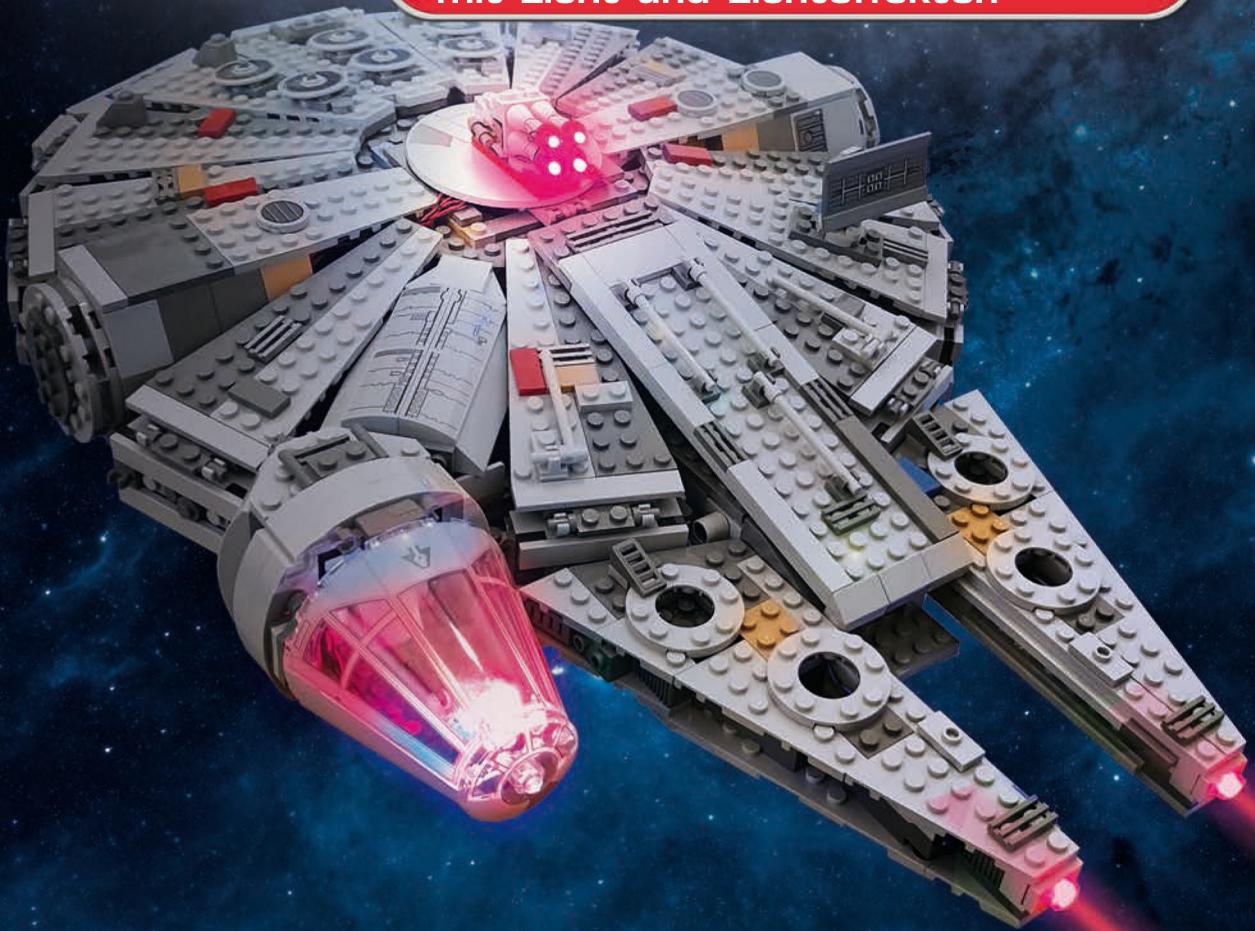


Alexander Ehle

LEGO®-Modelle beleuchten

Belebe deine LEGO-Konstruktionen
mit Licht und Lichteffekten



dpunkt.verlag

Alexander Ehle lebt in Stuttgart und ist seit einigen Jahren aus den LEGO-typischen Dark Ages heraus. Der Einsatz von Elektronik in Verbindung mit LEGO ist einer seiner Schwerpunkte, der sich aufgrund der langjährigen Erfahrung als Elektroniker und der Simulationstechnik elektronischer Schaltungen ergeben hat. Hauptberuflich beschäftigt er sich als Senior Consultant und als Fachbuchautor bei United Planet in Freiburg mit der Portalsoftware Intrex.



Papier
plus⁺
PDF.

Zu diesem Buch – sowie zu vielen weiteren dpunkt.büchern – können Sie auch das entsprechende E-Book im PDF-Format herunterladen. Werden Sie dazu einfach Mitglied bei dpunkt.plus⁺:

www.dpunkt.plus

Alexander Ehle

LEGO®-Modelle beleuchten

Belebe deine LEGO-Konstruktionen
mit Licht und Lichteffekten

Alexander Ehle
alexander.ehle@ehleplanet.de

Lektorat: Gabriel Neumann
Lektoratsassistentz: Anja Weimer
Copy-Editing: Claudia Lötschert, www.richtiger-text.de
Layout und Satz: Birgit Bäuerlein
Herstellung: Stefanie Weidner
Umschlaggestaltung: Helmut Kraus, www.exclam.de
Druck und Bindung: mediaprint solutions GmbH, 33100 Paderborn

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 978-3-86490-687-9
PDF 978-3-96088-899-4
ePub 978-3-96088-900-7
mobi 978-3-96088-901-4

1. Auflage 2020
Copyright © 2020 dpunkt.verlag GmbH
Wieblinger Weg 17
69123 Heidelberg

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 Platinen-Layouts und Schaltungen in diesem Buch stehen unter den Creative Commons (by-nc-sa) und sind für nicht kommerzielle Nutzung und Weitergabe unter gleichen Bedingungen sowie Namensnennung verwendbar.



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 können jedoch für Schäden haftbar gemacht werden, die in Zusammenhang mit der Verwendung dieses Buches stehen.



H-VW 1962

Vorwort

Dieses Buch ist für Einsteiger und fortgeschrittene LEGO-Fans, die mehr Leben in ein LEGO-Set bekommen wollen. Licht ist ein wichtiger Bestandteil, und in Kombination mit Effekten werden die LEGO-Modelle realitätsnaher. Ein Auslöser zum Schreiben des Buchs war das Pfx Brick-Projekt von Michael Gale und Jason Allemann. Die Herausforderung bei der Beleuchtung von LEGO-Modellen ist die Wahl der passenden LED-Lösung, der Durchmesser und die Länge von Kabeln und die verwendete Anschlussvariante in Form von Steckern bzw. Buchsen. Das Buch bietet hier auf Basis von fertigen Leuchtmitteln, aber auch für den Selbstbau von Leuchtmittellösungen Unterstützung. Im Kapitel 10 »Beleuchtungstechniken und Beispiele« werden für unterschiedliche Modellarten Beispiele vermittelt, wie Beleuchtungen eingebaut werden. Hier auch nochmals mein Dank an alle Firmen und Personen, die mit Material und Know-how das Buch unterstützt haben.

Im Internet gibt es ebenfalls viele Beispiele, Anleitungen und Videos die sich inhaltlich hier in ähnlicher Form ggf. wiederfinden. Alle gezeigten Lösungen wurden selbst erarbeitet und fotografisch festgehalten. Zudem gibt es technische Hintergrundinformationen, die man im Internet vermisst. An dieser Stelle gilt ein Dank an alle, die sich mit dem Thema beschäftigen und Lösungen für LEGO-Fans erarbeiten. Auch ihnen widme ich dieses Buch, damit sie ein Nachschlagewerk erhalten und die eigenen Ideen mit weiteren bereichern können.

Bei LEGO-Puristen eckt dieses Buch eventuell an, da zum größten Teil Nicht-LEGO-Lösungen verwendet und LEGO-Elemente modifiziert werden. Dies liegt aber auch an der mangelnden Unterstützung durch LEGO mit entsprechenden Produkten. LEGO hat hier primär Kinder im Fokus, weshalb die Produkte einfach in der Handhabung sein müssen. Für einen AFOL (Adult Fan of LEGO, erwachsener LEGO-Fan) ist das kein Kriterium – hier geht es eher um realitätsnahe Effekte. Aus diesem Grund sollte man Drittanbieter und Drittprodukte nicht ablehnen, wenn es keine Alternativen gibt. Blickt man auf die bisherige Firmenpolitik und die Produkte, ist Elektronik nun mal kein echter Schwerpunktbereich von LEGO. Es ist daher eher unwahrscheinlich, dass Lego hier ausgefeilte Lösungen auf den Markt bringt.

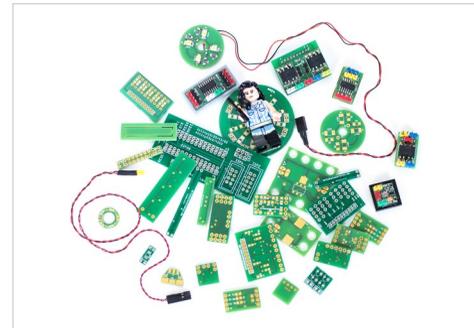
Da es rund um das Thema ständig neue Ideen gibt und auch der Umfang des Buchs nicht ins Unendliche wachsen kann, sind auf meiner Webseite weitere Informationen und vor allem viel Material zum Herunterladen vorhanden.

Nun wünsche ich viel Spaß beim Nachbauen und Beleuchten der eigenen LEGO-Modelle.

Alexander Ehle
brickelectronic.de



3	Material für den Selbstbau	21
3.1	Kabel und Litzen	22
3.2	Schrumpfschläuche (Isolation)	24
3.3	Stecker und Buchsen	24
3.3.1	Verbindungselemente mit Crimp-Kontakten (Wire-to-Board-Crimp)	24
3.3.2	Verbindungselemente mit Schneid-Klemm-Technik (Wire to Board mit IDC)	25
3.3.3	Board-to-Board-Steckverbinder	26
3.4	LEDs	28
3.5	Taster und Schalter	32
3.5.1	Mikrotaster	32
3.5.2	DIP-Schalter	32
3.5.3	SMD-Schiebeschalter	32
3.5.4	Magnetschalter und Hall-Sensor	32
3.6	Klebstoffe und Klebepads	34
3.7	Lötzinn, Lötpaste und Flussmittel	35
3.8	Lackstifte und Transparentlack	36
3.9	Lichtfaser und Lichtfaseradapter	36
3.10	Platinen	39
3.11	Diffusionsfolie	41
4	Stromversorgungen	43
4.1	LEGO-Stromversorgungen	44
4.2	Batterieboxen	45
4.3	Batteriehalter	47
4.4	Batterien	47
4.5	Akkus	48
4.6	Knopfzellen	48
4.7	Steckernetzteile	49
4.8	USB	49
4.9	Solarzellen	50
5	Software	53
5.1	Schaltpläne und Simulation	55
5.2	Platinen-Layout	56
5.3	Mikrocontroller-Programmierung	57
5.4	Grafik-Software	59





6	Elektronik-Grundlagen	61
6.1	LED-Grundlagen	62
6.1.1	Strombegrenzung durch Vorwiderstand/Trimmer	64
6.1.2	Konstantstromregelung mit Sperrschicht-FET-Schaltung	67
6.1.3	Konstantstromregelung mit Bipolar-Transistor-Schaltung	68
6.1.4	Integrierte Konstantstromregler (fest)	69
6.1.5	Integrierte Konstantstromregler (einstellbar)	70
6.1.6	Konstantstromregelung mit Spannungsregler LM317	73
6.1.7	Schaltregler	75
6.1.8	Festspannungsregler	80
6.2	Grundlagen für Eigenbau	81
6.2.1	Verseilung (Verdrillen) von Kabeln	81
6.2.2	Abisolierung von Kabeln	82
6.2.3	Crimpen von Kontakten	86
6.2.4	Einbau von LED-Vorwiderständen (bedrahtete LEDs)	87
6.2.5	Anlöten von Buchsen- und Steckerkontakten	90
7	Selbstbau von Beleuchtungselementen	93
7.1	LED-Konstruktionen	94
7.1.1	LED-Kabel-Stecker	94
7.1.2	LEGO-Platten mit SMD-LED	95
7.1.3	LEGO Fliese mit SMD-LED	97
7.1.4	LEGO runde 1 × 1-Platte mit 3-mm-LED	100
7.1.5	Deckenbeleuchtung mit LEGO-Platte und SMD-LEDs	102
7.1.6	LED-Einlage in hohle Bausteine	105
7.1.7	LEGO-Baustein-LED	110
7.1.8	LEGO-Lichtfaser-Adapter	112
7.2	Adapter- und Verlängerungskabel	113
7.2.1	2,54-mm-Verlängerung (2-polig)	113
7.2.2	2,54 mm-Verlängerung (1-polig)	113
7.2.3	2,54-mm-Pfosten zu SUR-Adapter	114
7.3	Zwischenverteiler	115
7.3.1	Verteiler für 4 LEDs an 2 × 2-Plättchen (3022)	115
7.3.2	Verteiler für LEDs an 1 × 2- und 1 × 4-Platten	116
7.4	Effektsteuerungen mit Mikrocontrollern	117
7.4.1	Bausteine	117
7.4.2	Programmierung	120
7.4.3	Beispiel »Wechselblinker«	121
7.5	Aufbewahrung von Beleuchtungselementen	128

8	Modifikationen	131
8.1	LEGO Leuchtstein modifizieren, Batterien tauschen	132
8.2	Power Functions – 9-V-Blockbatterie	135
8.3	USB-Adapter für Power Functions	138
8.4	Power Functions – Stiftleistenadapter.....	141
8.5	USB-Anschlussbaustein.....	142
8.6	Rundumleuchte.....	145
8.7	LEGO-Laternenmast.....	149
8.8	Ampel	153
8.9	Laserschwerter.....	157
8.10	Taster in 2 x 2-Fliese.....	161
8.11	Lichterkette.....	163
9	PFx Brick	167
9.1	Anschluss-Boards für LEDs.....	168
9.2	Individuelle Lichteffekte (individual)	174
9.2.1	Ein/Aus (On/Off).....	175
9.2.2	Zufälliges Flackern (Random Flicker).....	175
9.2.3	Zufälliges Blinken (Random Blink).....	176
9.2.4	Leuchtturm (Lighthouse)	176
9.2.5	Defektes Licht (Broken Light)	177
9.2.6	Triebwerk-Glühen (Engine Glow)	178
9.2.7	Photon Torpedo.....	178
9.2.8	Laser-Puls (Laser Pulse).....	179
9.2.9	50%-Blinker + (50% Flasher +).....	179
9.2.10	50%-Blinker - (50% Flasher -).....	180
9.2.11	Stroboskop + (Strobe +)	180
9.2.12	Stroboskop - (Strobe -).....	181
9.2.13	Gyalite +	182
9.2.14	Gyalite -	182
9.2.15	Audio-moduliert (Sound Modulated).....	183
9.2.16	Geschwindigkeits-moduliert (Speed Modulated)	183
9.2.17	Statusanzeige (Status Indicator)	184
9.2.18	Erhöhe Helligkeit (Increase Brightness)	184
9.2.19	Verringerung der Helligkeit (Decrease Brightness)	184
9.2.20	Helligkeitswert setzen (Set Brightness).....	185



9.3	Kombinations-Effekte	185
9.3.1	Linearer Durchlauf (Linear Sweep)	185
9.3.2	Balkenanzeige (Bargraph Sweep)	186
9.3.3	Bidirektionaler Durchlauf (Bi-Directional Sweep)	187
9.3.4	Zwillings-Blinker (Twinsonic Flashers)	188
9.3.5	Whelen-Blinker (Whelen Flashers)	189
9.3.6	Times Square	190
9.3.7	Rauschen (Noise)	191
9.3.8	Funkelnde Sterne (Twinkling Stars)	192
9.3.9	Ampeln (Traffic Lights)	193
9.3.10	Pegelanzeige (Sound Bar)	198
9.3.11	Abwechselnde Blinker (Alternating Flashers)	199
9.3.12	Lava-Lampe (Lava Lamp)	200
9.3.13	Laser-Kanone (Laser Cannon)	200
9.3.14	Motorsport-Ampeln	201
9.3.15	Flugleitsignale	204
9.4	Programmierbare Effekte	207
9.4.1	Kommentare	208
9.4.2	Schlüsselwörter	208
9.4.3	Anweisungen für Licht-Effekte	209
9.4.4	Ausführungs-Steuerung	210
9.4.5	Beispiel	211
9.5	Erweiterungen	211
9.5.1	Opto-Isolator-Adapter	212
9.5.2	Treiberplatine für mehr LEDs	215
9.5.3	Lichtleiter-Adapterplatine	218

10 Beleuchtungstechniken und Beispiele 221

10.1	Beleuchtung von Gebäuden	222
10.1.1	Deckenbeleuchtung	222
10.1.2	Stromführung zwischen Stockwerken	228
10.1.3	Verteiler	231
10.1.4	Kabeltunnel	231
10.1.5	Beleuchtung von Lampen im Innenraum	234
10.1.6	Fackeln	237
10.1.7	Kamine und Öfen	239
10.1.8	Gebäude-Außenlampen	240
10.1.9	Untergrund	243



10.2	Beleuchtung von Technic-Modellen (Kfz/Lkw)	245
10.3	Beleuchtung von Raumschiffen	252
10.3.1	Triebwerke	252
10.3.2	Laser	261
10.4	Beleuchtung von Lokomotiven/Waggons	266
10.4.1	Lok-Beleuchtung	266
10.4.2	Lok-Beleuchtung mit zweifarbigen LEDs (PFx-Baustein)	273
10.4.3	Kompakte Stromversorgungen für Waggons	280
10.4.4	Waggonbeleuchtung (Variante 1)	283
10.4.5	Waggonbeleuchtung (Variante 2)	285
10.4.6	Schlusslichter am Waggon	286
10.5	Beleuchtung von Creator- und City-Fahrzeugen	288
10.5.1	VW Bully (10220)	288
10.5.2	Wechselblinker für Polizei, Feuerwehr & Co.	291
10.6	Hulkbuster Ultrun Edition	299
10.7	Blitzlicht für Achterbahnen (10261/31084)	305
10.8	Leuchtturm (31051)	308
11	Teilereferenz für LED-Einbau	317
11.1	Modifizierte Steine	318
11.2	Platten und Fliesen	319
11.3	Technic-Bauteile	320
11.4	Transparente Teile für Beleuchtungen	322
11.5	Felgen und Räder	325
11.6	Satellitenschüsseln (Radar/Dish)	329
11.7	Platinenhalter	331
11.8	Sonstige Teile	333
11.9	Konstruktionen	334
Anhang	337
Index	338
Bildnachweis	341



1 Beleuchtungs- lösungen





1.1 LEGO-Beleuchtungselemente

Alle aktuellen LEGO-Beleuchtungsvarianten bieten begrenzte Einsatzmöglichkeiten. Die Glasfaser-Lösungen boten noch einen geringfügig flexibleren Einsatz und etwas Effekt. Doch da diese Elemente nicht mehr produziert werden und über den zweiten Markt zu teuer sind, ist deren Einsatz uninteressant und mittlerweile auch veraltet.

Die frühen Technologien wurden für die LEGO-Eisenbahn konzipiert und mit 4,5V oder 12V betrieben. Hier freuen wir uns als erwachsene LEGO-Fans, wenn wir diese noch funktionstüchtig halten können.

Für die Bionicle-Serie wurde 2006 ein transparent neon-oranger Leuchtstein (53500/54359) entwickelt, der sich in die Masken/Köpfe einbauen lässt. Allerdings hat dieser Stein keine konventionelle Verbindungstechnik und ist somit ausschließlich für diese Zwecke einsetzbar.



Abb. 1-1 Lichtbausteine 54930

1.1.1 Leuchtsteine

LEGO hat seit 2006 unabhängige Leuchtsteine mit Batterien ($2 \times \text{LR41}$ 1,5V) und LED in einem Gehäuse im Programm. Häufig sind diese LEGO-Creator-Sets beigelegt. Es gibt ein transparentes (54930c02) und ein transparent-rotes Gehäuse (54930c01). Im transparenten Gehäuse ist eine gelb leuchtende 3-mm-LED verbaut, im roten eine rote LED. Das Gehäuse hat eine Fläche von 2×3 und eine Höhe von 4 Platten ($1 \frac{1}{3}$ Steinhöhe). Über einen Taster mit Technic-Achsen-Verbindung kann das Licht eingeschaltet werden. Jedoch leuchtet die LED nur so lange, wie der Taster gedrückt wird.

Im Jahr 2006 wurde ein Stein mit transparentem Gehäuse produziert (54604), der eine rote LED und eine CR927-3-V-Lithium-Batterie verwendet und über einen Taster an der Oberseite eingeschaltet werden kann. Jedoch leuchtet auch hier die LED nur so lange, wie der Taster gedrückt wird. Am Gehäuse sind rechts und links Nuten, um den Stein zwischen zwei Fliesen zu arretieren. Das Gehäuse hat eine Fläche von 2×4 und eine Höhe von 3 Platten.



Abb. 1-2 Leuchtstein 54604

C1 und C2 liefert ein pulsweitenmoduliertes (PWM) Rechtecksignal zur Steuerung der Motorgeschwindigkeit. Betreiben wir parallel die LEDs, ist dies ungünstig, da es zu einem Flackern führen würde. Daher puffern die Kondensatoren mit ihrer gespeicherten Energie das Pausensignal ab. Bedeutet jedoch auch, dass die LEDs aus sind, wenn der Motor steht.

Abb. 1-6 Schaltung im Verteilerbaustein des 8870

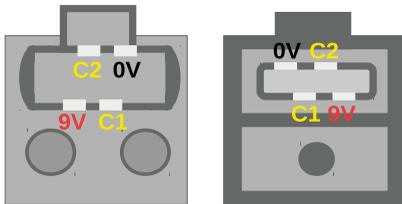
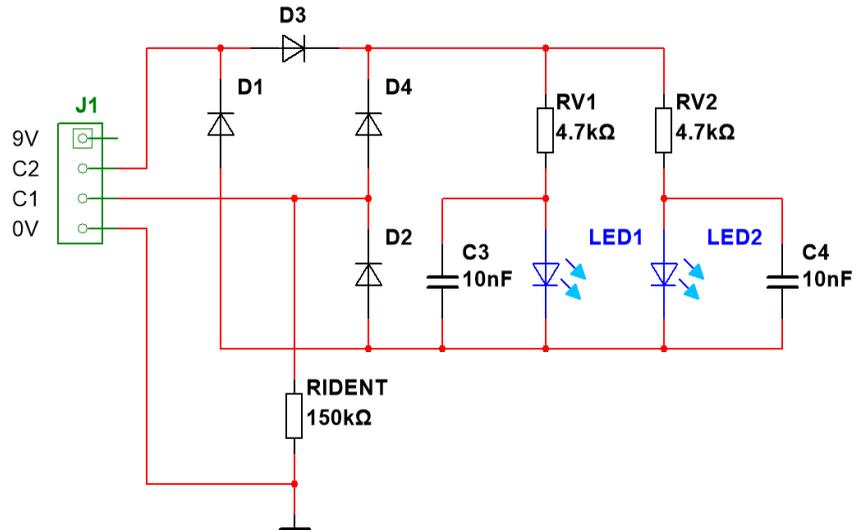


Abb. 1-7 Power-Functions-Steckerbelegung (links = Oberseite, rechts = Unterseite)

Die Belegung der 4 Anschlüsse eines Power-Functions-Steckverbinders ist wie folgt dargestellt. C1 und C2 sind die Steuerleitungen und können bei reinen Stromversorgungsaspekten ignoriert werden. Die Steuerleitungen können jeweils 9V oder 0V führen. Bei Motoren kann hier auch ein Rechtecksignal mit unterschiedlicher Tastrate zur Regelung der Geschwindigkeit ausgegeben werden.

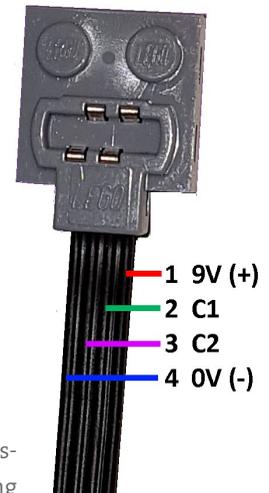


Abb. 1-8 Power-Functions-Kabelbelegung

1.1.4 Powered Up, Control+ und Spike Prime

Die von LEGO eingeführte Nachfolger-Technologie für »Power Functions« wurde Anfang 2019 mit »Powered Up« und den neuen Eisenbahn-Sets und dem Batmobil gestartet. Der Hauptunterschied liegt zunächst im Verbindungssystem, das die Stecker-/Buchsen-Form von WeDo 2.0 aus dem LEGO Education Universum verwendet. Bereits 2017 erschien das Boost-System – ebenfalls basierend auf demselben Verbindungssystem. Aktuell wird Boost unter »Powered Up« gelistet. Doch auch im Education-Bereich legt LEGO mit »Spike Prime«, voraussichtlich Anfang 2020, nach. Zusätzlich ergänzt »Control+« die LEGO-Technic-Linie mit einem größeren Hub und vier Anschlüssen. Auch hier basiert alles auf dem Verbindungssystem von WeDo 2.0. Die höchste Ausbaustufe scheint aber der Spike-Prime-Hub zu sein. Warum allerdings so viele verschiedene Hub-Varianten produziert werden, ist unverständlich. Vor allem, da das neue Verbindungssystem nicht mehr stapelbar ist und vor allem für LEDs nur noch ein Element pro Buchse verbunden werden kann.

Das neu patentierte Verbindungssystem soll es Nachahmern erschweren, kompatible Produkte anzubieten. Primär hat man die Produzenten aus dem asiatischen Raum im Fokus. Leider trifft es auch Dritthersteller mit eigenen Lösungen, die mit Original-LEGO-Produkten zusammenarbeiten und insbesondere die Ansprüche von AFOL erfüllen. Hier sollte LEGO versuchen, für solche echten Fan-Lösungen einen kooperativen Weg zu gehen.

Interessant ist, dass sich der Aufbau der Elektronik vor den LEDs des neuen LED-Elements (88005) nicht verändert hat.

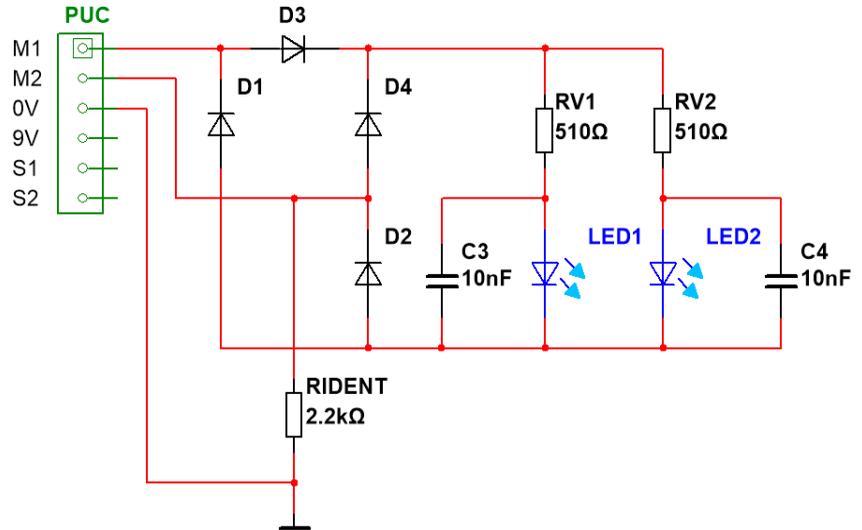
Der schwarze Anschlussblock besitzt ein 4,8-mm-Loch zur Befestigung an LEGO-Konstruktionen (Technic-Pins, Achsen, Noppe). Darin ist eine zur neuen Technologie passende Ansteuerungselektronik für die LEDs enthalten. Diese unterscheidet sich nur minimal vom Power-Functions-Aufbau. Lediglich die Widerstandswerte haben sich geändert. So besitzen nun die Vorwiderstände für die LEDs 510 Ohm, der Identifikations-Widerstand 2,2kOhm zwischen M2 (Pin 2) und 0V (Pin 3) (siehe Abb. 1-10).

Das Stecker-System ist wie bereits erwähnt für die Produktlinien WeDo 2.0, Boost., Powered Up, Spike Prime und Control+ identisch. Der 6-polige Stecker mit 6 Anschlüssen ähnelt einem RJ12. Für Eigenkonstruktionen müsste es ein Verlängerungskabel mit Buchse und Stecker geben. Leider gibt es derzeit für keine der Produktlinien ein entsprechendes Element von LEGO, weshalb hier entsprechende Eigenbauten nahezu unmöglich sind. Ein Adapter von einer Batteriebox zu einem Hub ergibt sowieso keinen Sinn, da diese ja keine Steuerelektronik wie der Hub von LEGO besitzt. Zum Redaktionsschluss des Buchs gibt es nur die Möglichkeit, ein LED-Element zu opfern, um an einen Stecker mit Kabel zu gelangen.



Abb. 1-9 Powered-Up-LED-Element 88005

Abb.1-10 Schaltung im Verteilerbaustein des 88005



Die Anschlussbelegung von Powered Up wurde vom Ursprungsprodukt WeDo 2.0 übernommen. M1 und M2 sind zur Ansteuerung von Motoren, S1 und S2 zur Kommunikation.

Abb.1-11 Die Anschlussbelegung des Steckers von Control+/Powered Up (Boost/WeDo 2.0)

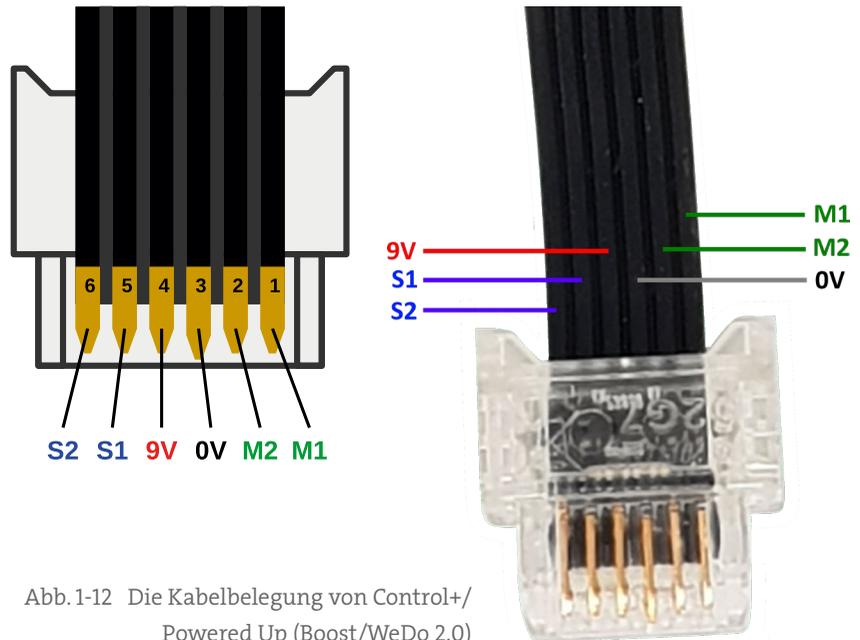


Abb.1-12 Die Kabelbelegung von Control+/ Powered Up (Boost/WeDo 2.0)

1.2 Anbieter für Beleuchtungstechnik

Es sind mittlerweile einige Drittanbieter auf dem Markt, die fertige LEGO-kompatible Beleuchtungssysteme anbieten. Insbesondere wenn Sie den Bastelaufwand scheuen und sofort loslegen möchten, können Sie sich die Zeit und den Aufwand sparen. SMD-Lösungen und sehr kleine Stecker-/Buchsen-Systeme können ohne entsprechendes Spezialwerkzeug und Kenntnisse nur sehr schwer oder überhaupt nicht hergestellt werden.

Auch diese Produkte kreativer LEGO-Fans werden bereits im asiatischen Raum schamlos kopiert. Ich empfehle hier den Entwicklungsaufwand zu honorieren und nur Originalware zu bestellen.

1.2.1 Brickstuff

Der Hersteller *Brickstuff* ist seit 2011 am Markt und setzt auf ein ausbaufähiges System mit einem Verbindungssystem auf Basis von J.S.T-SUR-0,8-mm-Mikro-Steckverbindern an den Leuchtmitteln und 5-V-Spannungsversorgungssysteme. Die Verbindungen zwischen den Verteilerplatinen und zur Stromversorgung wird über J.S.T-SH-1,0-mm-Steckverbindern realisiert.

Die *PicoLEDs* sind so konstruiert, dass sie auf oder zwischen LEGO-Noppen passen. Die Verbindungskabel sind so dünn (AWG 36), dass sie durch den Spalt zwischen den Steinen und Noppenverbindungen hindurchgeführt werden können. Jeder LED ist auf der kleinen Platine (Ø 4mm und 0,8 mm Höhe) ein passender SMD-Widerstand (ausgelegt auf 5V und der jeweiligen LED-Farbe/den jeweiligen LED-Typ) vorgeschaltet.

Für die Beleuchtung von Gebäuden (Deckenbeleuchtung) sind spezielle LED-Streifen verfügbar, die in die Unterseite von LEGO-Platten passen. Jedes Element ist mit je zwei SMD-LEDs und jeweils 100Ω Vorwiderstand bestückt (weiße LED mit UF = 3,5V). An den Enden der Streifen sind Steckverbinder angebracht, um die Elemente untereinander zu verbinden.

Zudem bietet *Brickstuff* auch immer wieder Speziallösungen mit Effekten für einzelne Beleuchtungsobjekte an, wie Rundumleuchten, Tischlampen, Fackeln, Strahler. Verteilerplatinen und Verlängerungskabel sowie diverse Stromversorgungslösungen runden das Programm ab.

<https://www.brickstuff.com/>



Abb. 1-13 Brickstuff PicoLED



Abb. 1-14 Brickstuff LED Stripe



Abb. 1-15 Bit Lights von Light My Bricks



Abb. 1-16 LED-Streifen von Light My Bricks



1.2.2 Light My Bricks

Der australische Hersteller *Light My Bricks* bietet ein identisches Prinzip wie *Brickstuff*. Die Stromversorgung erfolgt über Batterieboxen, USB- oder Power-Functions-Adapter, die eine Spannung zwischen 5V und 6V liefern.

Die LED-Lösungen mit der Bezeichnung *Bit Lights* basieren auf kleinen runden Platinen mit einer SMD-LED und Vorwiderstand. Die Platine ist mit den Anschlusskabeln verbunden, die wiederum an eine Buchse angeschlossen sind.

Wie bei *Brickstuff* sind für die Beleuchtung von Gebäuden (Deckenbeleuchtung) spezielle LED-Streifen verfügbar, die an die Unterseite von LEGO-Platten passen und mittels eines doppelseitigen Klebestreifens befestigt werden. Technisch unterscheiden sich die Lösungen von denen von *Brickstuff* etwas: Jedes Modul ist mit je zwei SMD-LEDs bestückt, welchen jeweils ein Widerstand (für 5V und abhängig von der LED-Farbe/dem LED-Typ) vorgeschaltet ist.

Die Steckverbinder für die LEDs und die Verteilersysteme sind im Gegensatz zur *Brickstuff*-Lösung einheitlich – jedoch nicht *Brickstuff*-kompatibel.

Eine interessante Lösung stellt die *Mini-Rundumleuchte* dar, die in runde, transparente 1×1-Steine eingesteckt werden kann. Vier LEDs und eine Steuerelektronik realisieren ein Lauflicht. Ideal für *Creator*-Fahrzeuge oder als Warnlampen an Gebäuden oder im Raumschiff-Hangar.

<https://www.lightmybricks.com.au>

Abb. 1-17 Light-My-Bricks-Rundumleuchte für 1×1-Rundsteine

1.2.3 LifeLites

Dieser Anbieter ist seit 2004 am Markt und bietet Beleuchtungslösungen für den Modellbau und auch für LEGO an. Es gibt zwei Produktlinien, die *eLite*-Serie und die *NanoLite*-Serie.

Die *eLite*-Serie verwendet das JST-ZR-Verbindungssystem mit dem Rastermaß 1,5mm zum Anschluss der LEDs.

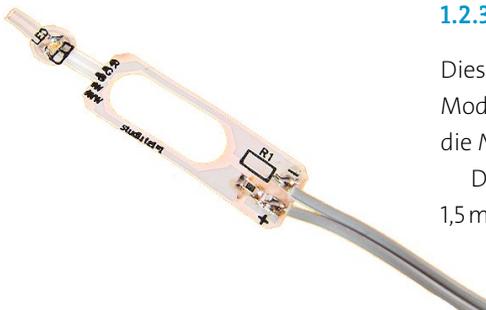


Abb. 1-18 eLite-Leuchtmittel von LifeLites

Die *NanoLite*-Serie bietet auf flexiblen Leiterplatten montierte SMD-LEDs und Vorwiderstand mit Anschlusskabel.

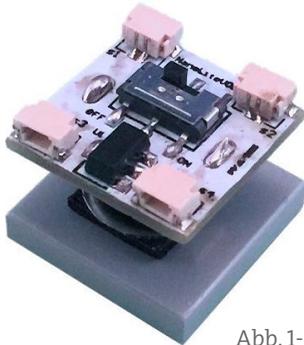


Abb. 1-20 LifeLites-Stromversorgungsmodul

Die Stromversorgung wird über kleine Module (15×15 mm), die mit zwei CR-1225-(3-V-)Knopfzellen betrieben werden, realisiert. Es können bis zu 4 LEDs angeschlossen werden. Das heißt, das System arbeitet mit einer Spannung von 6V.

<http://www.lifelites.com/>



Abb. 1-19 NanoLite-Leuchtmittel

1.2.4 LightStax

LightStax ist eine kompatible Lösung mit Steinen, die über die reguläre Steckverbindung die Spannungsversorgung und -übertragung sicherstellt. Die LEDs sind in transparenten (klar oder milchig) 2×2- und 2×4-Steinen verbaut und in zehn verschiedenen Farben erhältlich.

Die Lösung ist kompatibel mit LEGO und hat einen professionellen Serien-Produktionsgrad erreicht. Die Technik ist auch kindgerecht, da es keine kleinen Verbindungssysteme oder feine Drähte verwendet. Die Stromversorgung wird über einen 4×4×1 hohen Akku-Stein über dessen Pins an der Oberseite versorgt. Den Stein gibt es auch als Batterie-Variante, in dem eine 3-V-Knopfzelle eingesetzt wird.

Es gibt auch Straßenlampen (LampStax), die entweder direkt mit dem Akku-Stein oder einem Verbindungskabel verbunden werden.

Seit 2018 werden auch sogenannte Mini-Stax – 1×1 runde transparente Plättchen mit LED produziert.

<https://www.lightstax.eu/>



Abb. 1-23 Straßenlampe von Stax mit Anschlussbuchse im Sockel

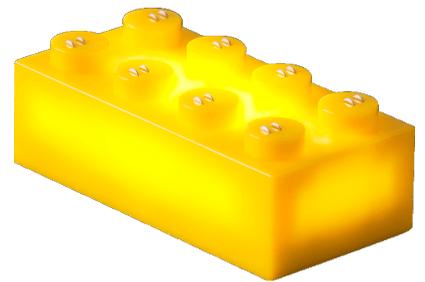


Abb. 1-21 2×4-Lichtbaustein von LightStax



Abb. 1-22 LightStax-Stromversorgungsmodul

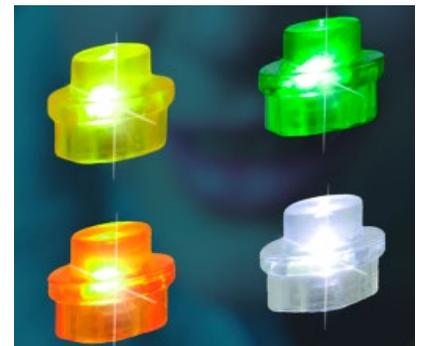


Abb. 1-24 MiniStax mit LED-Steine

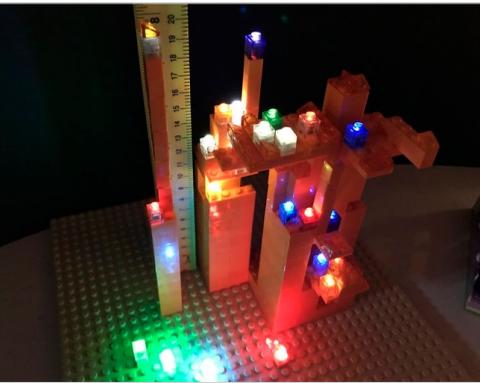


Abb. 1-25 iBrix-Grundplatte mit 1×1-LED-Empfängerbausteinen

1.2.5 i-Brix

i-Brix basiert auf einer kabellosen Energieübertragung über eine spezielle Grundplatte zu 1×1-Steinen, die LEDs und einen Empfänger besitzen. Das Prinzip kennen wir bei Smartphones und der kontaktlosen Ladefunktion. Interessant ist die Technik für statische Beleuchtungen von zweistöckigen Gebäuden, da die Übertragung bis zu einem Abstand von 20 cm möglich ist. Auch für Straßensysteme kann die Lösung einsetzbar sein, da die Fahrzeuge auf der Straße frei bewegt werden können, die Scheinwerfer jedoch ohne Stromversorgung leuchten. Es fehlen hierzu jedoch noch die passenden Elemente, die auch Scheinwerfer von LEGO-City-Autos ermöglichen.

Auf jeden Fall ist diese Variante auch für Kinder geeignet, da nicht mit Kabeln und Steckverbindern hantiert werden muss. In der speziellen Bodenplatte ist die Sendeeinheit mit den notwendigen Spulen integriert. Die einzelnen 1×1-Steine enthalten eine Empfängerspule, die Wandler-Elektronik sowie die LED.

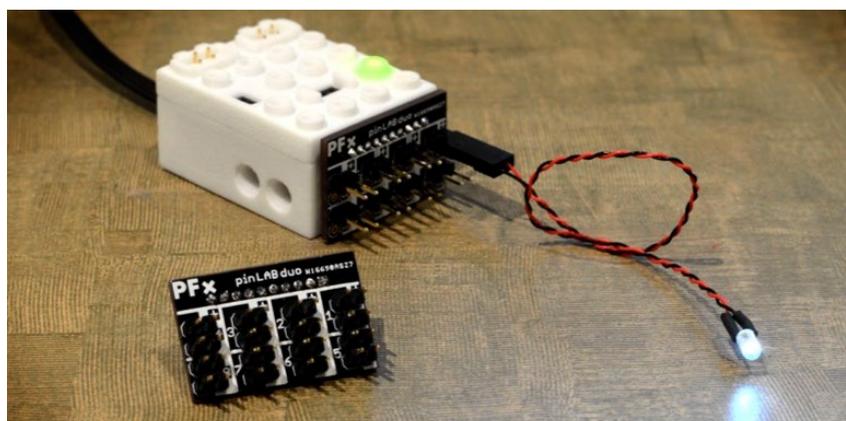
i-Brix befindet sich noch in einer frühen Phase der Firmenentwicklung und hat bis zur Drucklegung noch keine Serienfertigung, die eine schnelle und weltweite Verfügbarkeit gewährleistet. Doch die Idee ist zu gut, um sie in diesem Buch unerwähnt zu lassen.

<http://www.i-brix.com/>

1.2.6 PFX Brick

Der PFX Brick bietet in einem Baustein Motorsteuerung, Licht- und Sound-Effekte. Zum Anschluss von PicoLEDs (Brickstuff) oder Lifelites gibt es entsprechende Anschlussplatinen. Eine eigene Reihe von LEDs inkl. Anschlusskabeln mit 2,54-mm-Buchsen mit passenden Anschlussplatinen (2,54-mm-Pfostenstecker) sind ebenfalls verfügbar.

Abb. 1-26 PFX Brick mit Anschlussplatine und 3-mm-LED



Die Konzentration mehrerer Funktionalitäten in einen Baustein bietet viele Möglichkeiten, die über das reine Beleuchtungsthema hinausgehen. Ein weiterer Vorteil ist die individuelle Konfiguration der LED-Steueranschlüsse für unterschiedliche Effekte. Die Effekte selbst werden über die Steuersoftware konfiguriert, wobei für jeden Effekt zusätzlich verschiedene Parameter beeinflusst werden können, um den Effekt weiter anzupassen. In Kapitel 9 werden die Möglichkeiten hinsichtlich der Beleuchtungseffekte beschrieben. Der Baustein wird auch in diversen Beispielen verwendet, um schnell und flexibel Effekte in die Modelle zu bringen. Zudem werden einige Erweiterungen wie eine Lichtleiter-Anschlussplatine und eine Anschlussplatine mit optischer Kopplung für Erweiterungen wie die Ansteuerung von Treiberstufen für mehr LEDs über einen Ausgang vorgestellt.

<https://fxbricks.com>

1.2.7 Elektor Legoled

Die Elektronik-Zeitschrift »Elektor« hat eine Platine entwickelt, die mit einer beliebigen LED, einem Vorwiderstand und einem Anschluss (2,54 mm Pin-Abstand) bestückt werden kann. Die Platine hat zwei 4,8-mm-Bohrungen im LEGO-Noppen-Abstand, um diese auf LEGO-Steine aufstecken zu können.

<https://www.elektor.de/legoled>

Das Platinen-Layout ist zudem kostenfrei im Internet verfügbar:

<https://www.elektormagazine.de/articles/projekt-nr-59-elektor-lego-LEDs/6724>

1.2.8 Diverse

Es gibt verschiedene Quellen für kompatible Leuchtsteine sowie Beleuchtungslösungen auf USB-Basis und LEGO-Set-bezogene Konfigurationen. Einige auch aus dem asiatischen Bereich, deren Händler wir auf Aliexpress, BangGood und mittlerweile auch auf eBay und Amazon finden. Insbesondere kompatible Leuchtsteine in unterschiedlichen LED-Farben, blinkend, mit wechselnden Farben sind im Angebot. Die hierfür eingesetzten Bausteine sind keine modifizierten Original-LEGO-Teile.



Abb. 1-27 Bestückte Elektor-Legoled-Platine an LEGO-Steinen

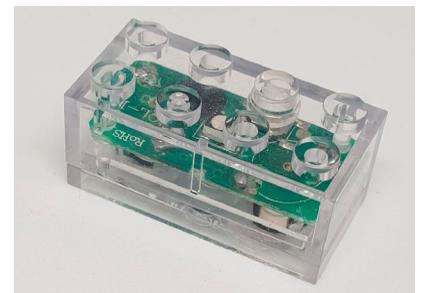


Abb. 1-28 Beispiel eines Nicht-LEGO-Lichtbausteins mit Tastschalter in Noppe



2 Werkzeuge für den Selbstbau



Das passende Werkzeug für die Erstellung von Beleuchtungskomponenten ist ein wichtiges Thema, da feine Drähte und kleine LEDs verarbeitet werden. Einige Leser werden schon eine entsprechende Ausrüstung besitzen und nur einige Ergänzungen benötigen. Freilich hat gutes Werkzeug auch seinen Preis, trägt aber durchaus zum Erfolg bei.

2.1 Präzisions-Seitenschneider

Zum Zuschneiden von Kabeln/Litzen oder Abschneiden überstehender Kabelenden an Lötstellen wird diese Zangenart benötigt.

Abb. 2-1 Knipex-Präzisions-Seitenschneider



2.2 Präzisions-Abisolierzange

Für sehr dünne Kabel sollten Sie sich eine einstellbare Präzisions-Abisolierzange zulegen. Das Entfernen der Isolierung mittels LötKolben wird häufiger im Internet gezeigt, ist aber nur für Drähte mit Lackisolierung sinnvoll. Auch das Entfernen mit Feuerzeug, Schleifpapier oder ähnlichen Methoden sollte vermieden werden. Die Litzen sind so fein, dass Beschädigungen zulasten der Stabilität und Lebensdauer geht.



Abb. 2-2 Jokari PWS-PLUS 002, AWG30 – AWG20, 0,25–0,8 mm

Tipp

Das Jokari-Werkzeug beinhaltet an der Unterseite einen Seitenschneider zum Zuschneiden von Litzen. Das spart die Anschaffung eines Präzisions-Seitenschneiders.

2.3 Feinmechanikzangen

Für kleinere Biegearbeiten sind verschiedene Feinmechanikzangen immer hilfreich. Ein Set mit gängigen Varianten sollte in keiner Werkzeugsammlung fehlen.



Abb. 2-3 Knipex-Flachzange



Abb. 2-4 Knipex-Rundzange



Abb. 2-5 Knipex-Storchenschnabelzange



Abb. 2-6 Knipex-Spitzzange

2.4 Crimpzange (für 2,54-mm-Crimpkontakte)

Um Kabelenden in Kontakte einzupressen, sind sogenannte Crimpzangen in unterschiedlichsten Varianten erhältlich. Die Pressvorrichtungen sind dabei häufig für mehrere Kontaktgrößen in einer Zange vorhanden – auch Zangen mit austauschbaren Presswerkzeugen und einem ganzen Set für unterschiedliche Kontakte sind erhältlich. Für die Beispiele im Buch wird ein Zangen-Presseneinsatz für 2,54-mm-Crimpkontakte des Typs DUPONT benötigt.

Abb. 2-7 Volador-Crimpzange



Wenn andere Verbindungssysteme verwendet werden, gilt: »je kleiner die Kontakte, desto teurer werden die dazu notwendigen Werkzeuge«. Und bei sehr kleinen Kontaktabständen und -größen sind die Werkzeuge für den Hobbybereich leider unbezahlbar.

2.5 Selbstschließende Pinzette und Kreuzpinzette

Um LEDs oder Kabelenden beim Löten zu fixieren, ist eine selbstschließende Pinzette ideal. Diese kann z. B. auch in den Klemmen der »dritten Hand« befestigt und dann positioniert werden. Auch beim Fixieren von SMD-Bauelementen während des Lötens ist dieser Pinzettentyp eine wertvolle Hilfe.

Abb. 2-8 Knipex-Kreuzpinzette mit gerader Spitze



2.6 Lötstation und LötKolben

Für Lötarbeiten sollten Sie sich ein gutes Gerät leisten. Insbesondere bei Arbeiten an SMD und mit feinen Kabeln ist eine geregelte Lötstation zu empfehlen. Auch sollten Lötspitzen wechselbar und in verschiedenen Größen vorhanden sein. Ich selbst verwende eine ERSA-MS-6000-Lötstation, die ich schon über 30 Jahre besitze, die tadellos funktioniert und für die es immer noch Lötspitzen gibt. Ein weiterer Anbieter für Lötssysteme ist die Firma Weller, die ebenfalls schon lange am Markt ist. Rund



Abb. 2-9 Ersa-i-Con-pico-80-Watt-Lötstation mit LötKolben

140 EUR sollten Sie bei der Anschaffung einer Lötstation rechnen – plus Lötspitzen für SMD.

Alternativ kann auch ein Gaslötkolben zum Einsatz kommen. Mit der Heißgasdüse können wir SMD löten (in Verbindung mit Lötpaste). Zudem können auch Schrumpfschläuche verarbeitet und mit der normalen Lötspitze die regulären Lötarbeiten durchgeführt werden.



Abb. 2-10 Ersa-Independent-75-Gaslötkolben-Set

2.7 Dritte Hand mit beleuchteter Lupe

Insbesondere beim Löten von SMD-LEDs sollten Sie sich Unterstützung in Form einer beleuchteten Lupe besorgen. Hier gibt es bereits günstige Lösungen, die einstellbare Klemmen, Mini-Schraubstock und LötKolbenablage an einem Standbein bieten. Die Lupe hat in der Regel eine 3-fache Vergrößerung mit einer eingelagerten Lupe, die eine 4,5-fache Vergrößerung ermöglicht. Es gibt teure Profillösungen, für den Hobbyisten reicht eine günstige Lösung völlig aus. Im mittleren Preissegment gibt es Lösungen mit flexiblen Armen für Lupe und Klemmen, die mehr Freiheit bei der Arbeit und Position bieten und durchaus empfehlenswert sind.



Abb. 2-11 Dritte-Hand-No-Name-Produkt

2.8 Bohrmaschine, Bohrstände und Bohrer

Für kleine Bohrungen ist eine Mini-Bohrmaschine empfehlenswert. Dazu eine passende Bohrsäule sowie ein Schraubstock, um Teile beim Bohren sicher zu fixieren. Ein bewährtes Produkt ist der HobbyDrill mit Schnellspannfutter (0,4–3,5 mm) und passendem Zubehör.

Für Bohrungen durch längere LEGO-Elemente wie dem Laternenmast benötigen wir längere Bohrer mit geringem Durchmesser wie 1 mm und 1,5 mm. Es gibt jedoch Sets, die gleich eine ganze Bandbreite an Bohrdurchmessern bieten. Eine Bohrer-Länge von 80 mm ist insbesondere für den Laternenmast notwendig.

Für sehr kleine Bohrungen in LEGO-Teilen sind spezielle Hartmetall-Bohrer



Abb. 2-12 HobbyDrill von Donau Elektronik GmbH



Abb. 2-13 100-mm-HSS-Bohrer-Set, Ø 0,5–3,0 mm von Donau Elektronik GmbH

für Leiterplatten empfehlenswert. Diese haben einen Bohrer-Durchmesser zwischen 0,3 mm und 1,2 mm sowie einen Schaftdurchmesser von 3,17 mm und passen so in das Bohrfutter von Mini-Bohrmaschinen wie dem HobbyDrill. In besonderen Situationen können die Bohrer auch mit der Hand verwendet werden, indem wir den Schaft zwischen Daumen und Zeigefinger drehen.

Abb. 2-14 Micro-Spiralbohrer-Set
0,1–1,0 mm



Abb. 2-15 Handgriff für
Bohrer von Revell

Für kleine Bohrer gibt es auch Handgriffe mit Schnellspannzangen, um von Hand Bohrungen anzufertigen. Wichtig ist dabei eine runde und gute Handballenauf-
lage, um den Griff gut in der Hand zu haben. Mit dem Daumen und Zeigefinger dreht man dann den vorderen Teil mit dem Bohrer.

2.9 Feilen

Zum Nachbearbeiten von LEDs (Durchmesser/Kragen) sind Nadelfeilen ideal. Diese gibt es gleich im Set in verschiedenen Formen und mit Wechselgriff.

Zum Nachbearbeiten von LEDs (Durchmesser/Kragen) sind Nadelfeilen ideal. Diese gibt es gleich im Set in verschiedenen Formen und mit Wechselgriff. Manche Platinen haben produktionsbedingt kleine unebene Stellen an den Kanten, die nach dem Fräsen der Kanten durch abgebrochene Stege vorhanden sind. Auch hier kann mit den Feilen etwas nachgearbeitet werden. Bei diversen Modifikationen von LEGO Steinen sind Feilen hilfreich, um Ausbrüche nachzuarbeiten oder Kerben zu einzufügen.



Abb. 2-16 Feilenset von Donau Elektronik GmbH

2.10 Cutter

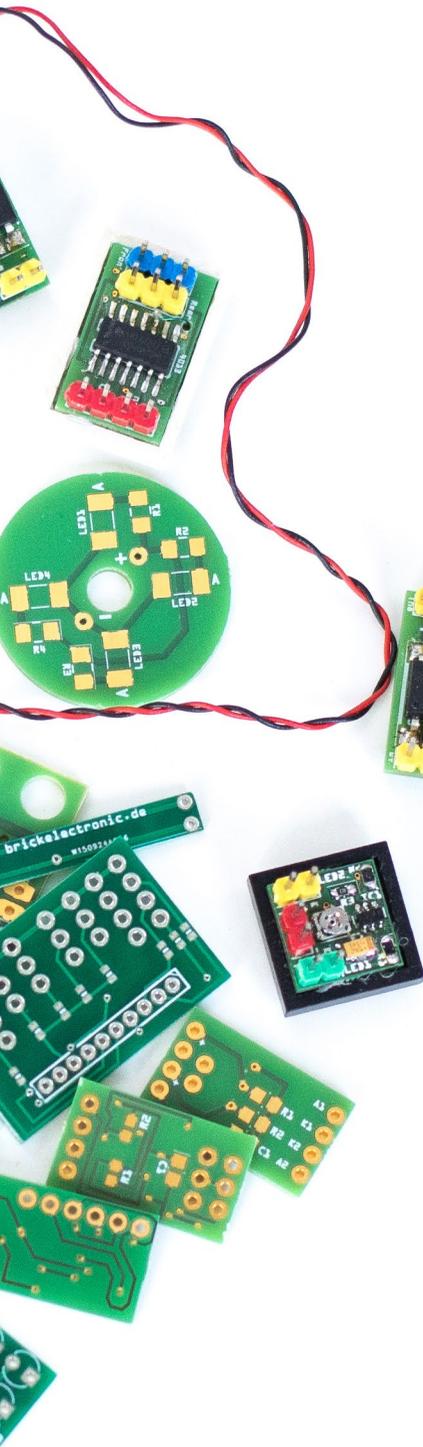
Für diverse Schnitтарbeiten ist ein 9-mm-Cutter immer sinnvoll. Es sollte eine stabile Ausführung mit Rutschbremse sein.

Für diverse Schnitтарbeiten ist ein 9mm Cutter immer sinnvoll. Es sollte eine stabile Ausführung mit Rutschbremse sein. Hilfreich ist ein Cutter z.B. beim Trennen von Stecker- bzw. Buchsenleisten an den Trennstellen (Kerben) oder beim Zuschnitt von selbst hergestellten Stickern. Bei letzterem ist ein Metalllineal mit Rutschbremse und Fingerschutz eine sinnvolle Ergänzung. Passt auf eure Finger auf, denn die Klängen sind schneller im Finger als einem lieb ist.



Abb. 2-17 9-mm-Cutter von Jakob Maul GmbH

3 Material für den Selbstbau



Material für den Selbstbau können bei gängigen Elektronik-Händlern besorgt werden. Einige spezielle Teile sind nur über Großhändler für Firmen oder direkt von Herstellern erhältlich. Viele Teile bekommen wir recht günstig über asiatische Verkaufsplattformen. Ab und zu bekommen wir dort auch nicht das geliefert, was wir bestellt hatten, und die Abwicklung im Garantiefall ist aufgrund der Rücksendekosten überflüssig. Die eigenen Erfahrungen haben aber gezeigt, dass bei rund 80% der Bestellungen alles in Ordnung ist. Für den Hobbybereich ist die Qualität der Ware völlig ausreichend. Größere Mengen von Teilen günstig zu beziehen, ist für LEGO User Groups interessant, speziell auch konfektionierte Ware wie Kabel mit Buchsen/Steckern oder Platinen.

3.1 Kabel und Litzen



Abb. 3-1 0,28-mm-Litzen auf Spulen
und 0,5-mm-Litze

Die Zuleitungen zu den LEDs werden häufig auch durch den Spalt zwischen zwei LEGO-Steinen hindurchgeführt. Hier sind Litzen mit einem sehr kleinen Durchmesser gefragt, die zudem noch sehr flexibel sein sollten und nicht gleich brechen. Solche Litzen sind eher selten und sollten maximal einen Außendurchmesser von 0,5 mm besitzen. Bei verschiedenen LED-Farben kann der positive Leiter auch mit einer entsprechenden Farbe der Litze gekennzeichnet werden. Für Kabelführungen im sichtbaren Bereich wären passende Farben zu den LEGO-Steinen optimal – hier wird es jedoch sehr schwer, wenn es um hellgrau oder sandfarben an Häuserfassaden geht. Sets mit verschiedenen Litzenfarben werden von einigen Shops angeboten und decken manche Einsatzvarianten ab.