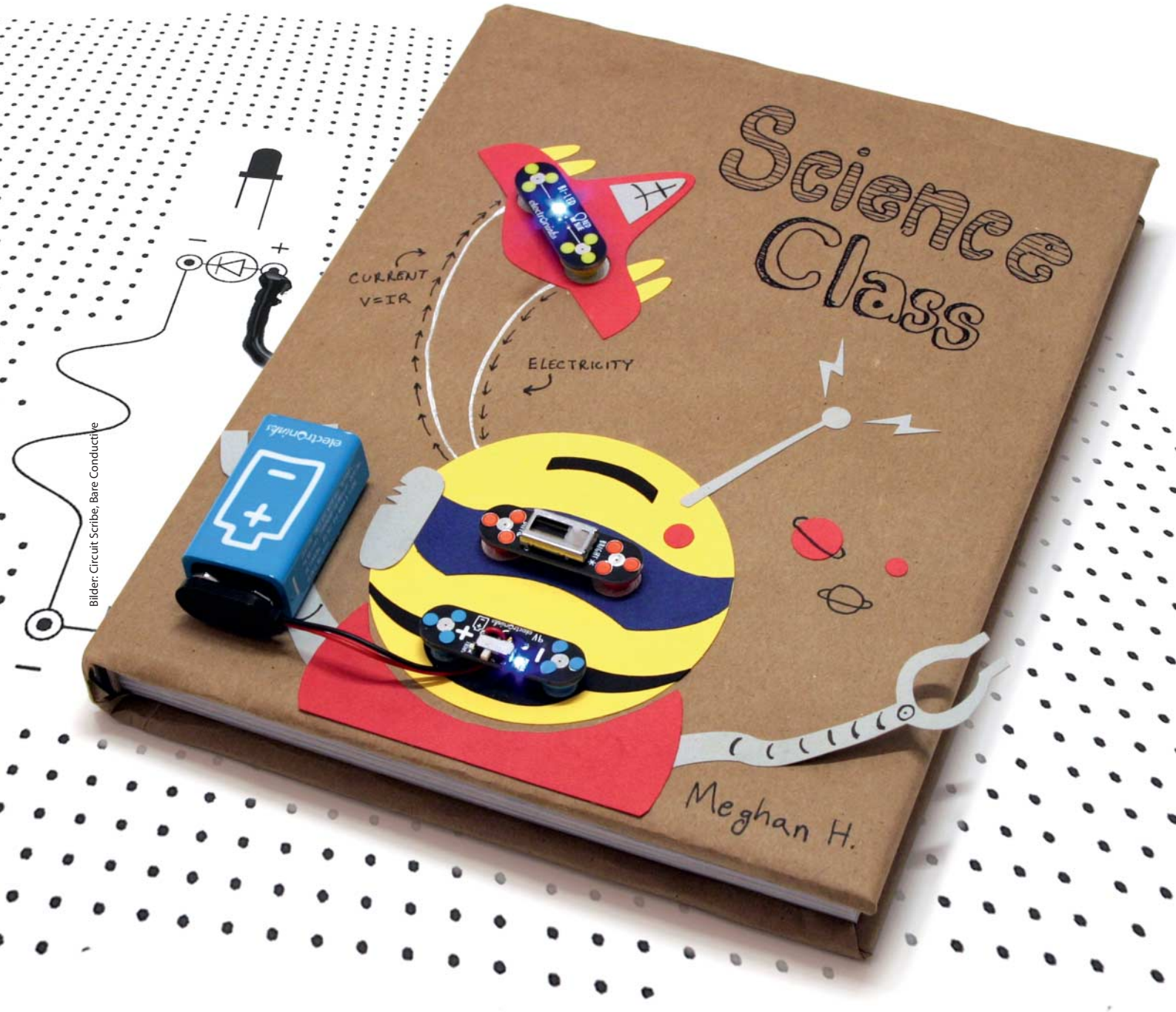
Leitungen malen

Schaltpläne zeichnen, die dann sofort funktionieren, Lichtschalter, die man direkt auf die Wand malt, und Schaltungen auf Holz, Papier, Stein oder Plastik: All das ist mit leitfähiger Farbe und Tinte möglich. Wir haben uns acht verschiedene Produkte angesehen und einem Praxistest unterzogen.

von Elke Schick



Bilder: Circuit Scribe, Bare Conductive

© Copyright by Maker Media GmbH
Persönliches PDF für alle Leser des Make Magazins aus 30625 Hannover

Stifte und Farben, die leitfähige Partikel enthalten, gibt es bereits seit einer ganzen Weile. Ursprünglich waren solche Produkte eher etwas für Spezialisten. Den Eisenbahn-Modellbauern dürfte der klassische Silberleitlack bekannt sein, mit dem man elektrische Leitungen dort auf den Modellen anbringen kann, wo Kabel und Lötkolben Schaden anrichten würden. Auch ganz klassisch, aber als leitfähiger Stift wenig bekannt, ist der Bleistift. Wir haben in unsere Testreihe einen besonders weichen Bleistift (6B) aufgenommen, um zu sehen, wie der gegenüber den teureren Spezialprodukten abschneidet. Andere klassische Varianten sind die Stifte der Firma Circuit Works, die zum Beispiel für das Prototyping und die Reparatur von Platinen und kleinen technischen Geräten gedacht sind. Zielgruppe für diese Stifte sind, laut der Webseite des Herstellers, Ingenieure, Reparatur-Techniker und Hersteller.

2009 kam mit der elektrisch leitfähigen Farbe von Bare Conductive ein Produkt auf den Markt, das sich an eine wesentlich breitere Zielgruppe richtete: Neben den Ingenieuren wurden diese Produkte auch für Maker und Designer entwickelt. Im Gegensatz zu den klassischen Produkten, die – mit Ausnahme des Bleistifts – giftig sind und bei der Handhabung Übung und Geschicklichkeit erfordern, sollte die Graphit-basierte Farbe gerade für Einsteiger und Kinder einfach zu benutzen sein. Den gleichen Ansatz verfolgen die Erfinder des 2013 auf den Markt gekommenen Circuit Scribe. Die leitfähige Silbertinte ist ungiftig und wird in einem Stift verkauft. Ein Jahr nach dem Circuit Scribe kam ein weiterer einfach zu benutzender Stift mit Silberleitfarbe auf den Markt, der Agic Silver Ink Marker. Mit diesen Produkten vervielfältigte sich die Anzahl der DIY-Projekte mit leitfähigen Farben in den Maker-Kreisen. Im Folgenden tragen wir zusammen, was man beim Arbeiten mit diesen Farben und Tinten beachten muss.

Unsere Testschaltung für den Artikel: Aus einer LED, einem Darlington-Transistor (BC 517), einer 3-V-Knopfzelle und gemalten Leitungen haben wir einen Berührungsschalter gebaut.

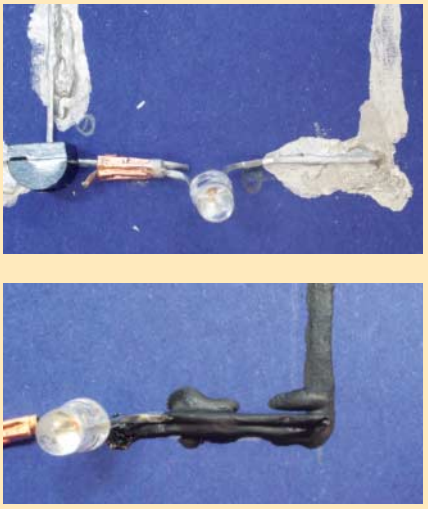
Links und Foren
make-magazin.de/xhyn

WAS MAN DAMIT MACHEN KANN

Leitfähige Farben kann man für folgendes einsetzen: Kaltlöten, Herstellung von Leitungen auf allen möglichen Oberflächen, Herstellung von Leitungen, die gar nicht aussehen wie elektrische Leitungen, und zum Lehren der Grundlagen von Elektronik. Im Prinzip überall dort, wo die Hitze des Lötkolbens wegen der Empfindlichkeit der Bauelemente oder des geringen Platzes zwischen ihnen oder wegen der Unbedarftheit der Nutzenden Schaden verursachen könnte. Und dort, wo Schaltungen einfach mal ganz anders aussehen oder auf ungewöhnlichen Untergründen aufgebracht werden sollen.

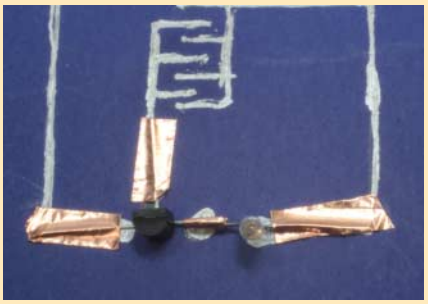
Für Schaltungen braucht man elektronische Bauelemente. Dort, wo Leitungen nur repariert werden, sind die elektrischen Bauteile ja bereits fest eingebaut. Da aber, wo man eigene Schaltungen aufbaut, muss man sich Gedanken darüber machen, wie man die Bauteile am besten mit den gemalten Leitungen verbindet. Am einfachsten ist das, wenn man die Bauelemente mit der Farbe selbst fixieren kann. Dafür geeignet sind der Silberleitlack, die Lacke aus den Circuit-Works-Stiften und Bare Conductive. All diese Produkte kann man einfach großzügig über die Anschlussstellen der Bauelemente streichen und diese dann auf die Leitungen setzen. Wichtig ist dabei, dass der Untergrund möglichst stabil sein sollte. Wird der Untergrund gebogen, lösen sich die Bauteile sehr schnell wieder.

Eine weitere Möglichkeit, universelle Bauelemente auf den gemalten Leiterbahnen zu befestigen, ist es, sie mit Kupferklebeband aufzukleben. Dazu biegt man die Anschlüsse des Bauteils so, dass sie mit möglichst viel Fläche auf den Leitungen liegen und klebt sie dann mit kurzen Kupferband-Klebestreifen auf den Leitungen

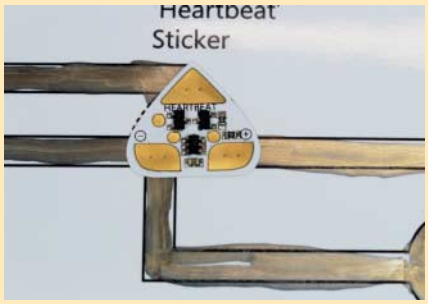


LEDs einmal mit Silberleitlack und einmal mit Bare Conductive auf einer Schaltung auf Pappe befestigt

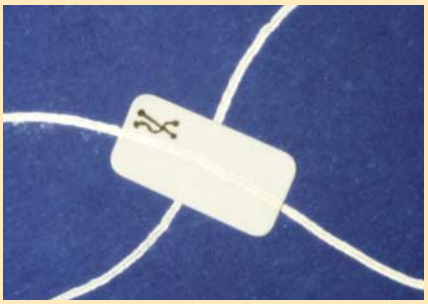
© Copyright by Maker Media GmbH
Persönliches PDF für alle Leser des Make Magazins aus 30625 Hannover



Wenn die Farbe nicht zur Fixierung von Bauteilen auf den Leitungen verwendet werden kann, ist Kupferklebeband ein guter Behelf.



Einer der von Chibitronics entwickelten Circuit Stickers auf einem mit dem Agic Silver Marker gezeichneten Schaltkreis



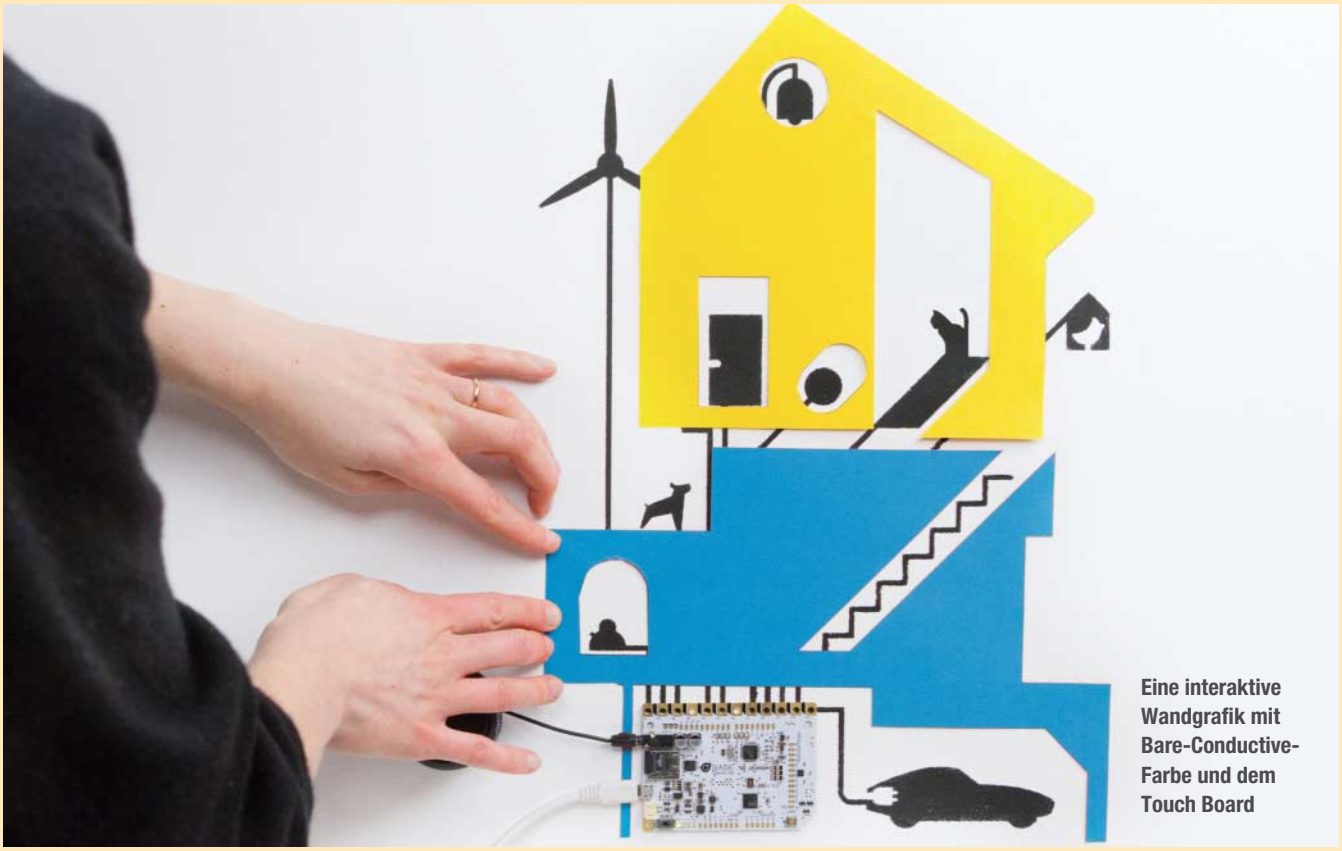
Will man Leitungen übereinanderlegen, so kann man die unteren Leitungen zum Beispiel mit einem Aufkleber isolieren.

fest. Dann drückt man das Kupferklebeband auf die Leiterbahn. SMD-Bauelemente kann man in die gezeichneten Schaltkreise einbauen, indem man sie entweder mit Sekundenkleber oder mit sehr kleinen Stücken doppelseitigem Klebeband zwischen die Leitungen klebt. Die Kontakte der Bauelementen liegen dann, wenn die Leitungen entsprechend gezeichnet sind, fest genug auf, um Strom fließen zu lassen. Außerdem sind leitfähige Kleber geeignet, um die Verbindung zwischen Bauelement und Leitungen herzustellen. Solche Kleber sind nicht sehr weit verbreitet, ein Produkt, das günstig und unkompliziert erhältlich ist, ist der so genannte „Wire Glue".

Außerdem sind die selbstklebenden Circuit Sticker von Chibitronics ideal für die Verwendung mit leitfähigen Farben geeignet. Das sind sehr kleine Bauelemente wie LEDs, Sensoren und Blinkschaltungen, die man auf Leitungen aufkleben kann. Ursprünglich wurden sie mit dem Gedanken entwickelt, dass man auch Kupferklebeband als Leitung verwenden kann. Die Stifte mit der leitfähigen Tinte hingegen erlauben es, die Leitungen wesentlich vielfältiger zu gestalten. Allerdings sind die Chibitronics Sticker sehr teuer.

Will man Bauteile miteinander verbinden, ohne den Lötkolben einzusetzen, wird das mit den hier genannten Methoden schwierig. Am besten funktioniert es, SMD-Bauelemente gemeinsam auf gemalte Kontaktpunkte zu setzen. Kupferklebeband hält zwar gut, stellt aber keinen zuverlässigen Kontakt zwischen zwei Bauteilen her. Mit den Silber-Leitlacken und Bare Conductive aneinander geklebte Bauelemente brachen im Test schnell wieder auseinander.

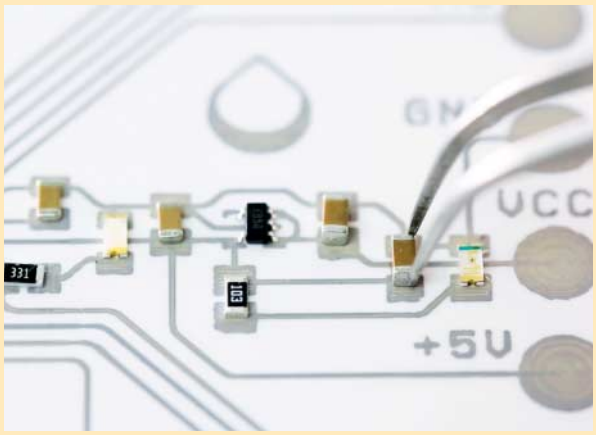
Die Leitungen aus Farbe kann man in jeder beliebigen Form ausführen – mit ihnen kann man Schaltungen aus Designerperspektive ästhetisch gestalten. Dabei gilt

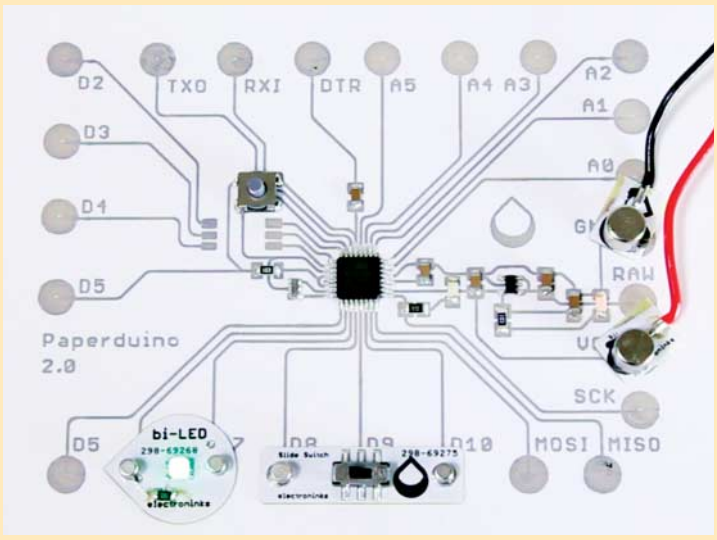


Eine interaktive Wandgrafik mit Bare-Conductive-Farbe und dem Touch Board

Bild: Bare Conductive

© Copyright by Maker Media GmbH
Persönliches PDF für alle Leser des Make Magazins aus 30625 Hannover





Bilder: Circuit Scribe

Der Paperduino – ein Mikrocontroller, dessen Leitungen mit dem Circuit Scribe gemalt wurden. Die Grundlagen zu diesem Projekt gibt es auf Instructables.

es folgende Dinge zu beachten: Die Leitunge sind erst dann leitfähig, wenn die Farbe getrocknet ist. Da, wo Leitungen sich kreuzen, muss man zwischen ihnen isolieren. Dafür kann man zum Beispiel kleine Aufkleber oder eine isolierende Farbe zwischen die beiden Leitungen setzen. Und die Farbe muss die Leitungen deckend ausfüllen. Bei manchen Produkten ist das schwierig – vor allem die silberhaltigen Tinten sind nicht immer einfach gleichmäßig zu verteilen.

Von allen hier vorgestellten Produkten werden Bare Conductive und der Circuit Scribe am häufigsten für Maker-Projekte eingesetzt. Auf Webseiten wie Instructables und auf den Webseiten der Hersteller findet man Nachbau-Projekte mit leitfähiger Farbe. Dazu gehören meist aus der Tinte hergestellte Taster, Papierbasteleien mit LEDs oder kleine Audio-Projekte. Gut geeignet zum Nachbau mit leitfähiger Farbe wäre zum Beispiel die Reißzweckenorgel aus unserem letzten Heft.

Verbindet man die mit der leitfähigen Tinte oder Farbe hergestellten Bauelemente mit Mikrocontrollern, sind noch wesentlich komplexere Projekte möglich. Dafür geeignet ist grundsätzlich jeder Mikrocontroller, es gibt allerdings von Bare Conductive ein speziell entwickeltes Arduino-basiertes Board und eine Pi-Cap, mit der man seinen Raspberry Pi um einen Näherungssensor und eine qualitativ hochwertige Audio-Ausgabe erweitern kann. Beide haben – ähnlich wie Wearable Boards – große runde Anschlüsse, in die man die leitfähige Farbe direkt auftragen kann. Mit beiden kann man aus Flächen, die mit der leitfähigen Farbe bestrichen sind, Näherungssensoren und kapazitive Touchsensoren machen. Außerdem hat das Board einen MIDI-Eingangs-Pin, mit dem man Keyboard-Tasten aus mit der leitfähigen Farbe bestrichenen Flächen machen kann. Neben diesen speziell entwickelten Boards wird vor allem der Makey Makey (aufgrund seiner großen Anschluss-Pins) für DIY-Projekte mit leitfähiger Farbe eingesetzt. Mit dem Circuit Scribe ist sogar ein Mikrocontroller auf Papier, Paperduino genannt, hergestellt worden. Dazu musste der Stift allerdings in einen Plotter eingespannt werden – von Hand lassen sich derart feine und genaue Schaltungen nicht zeichnen.

REISSZWECKEN-ORGEL

Das zum Nachmalen geeignete Projekt finden Sie in der Ausgabe **Make 6/16** (kostenloser Download siehe Link).

LEITFÄHIGE TINTE SELBER MACHEN

Natürlich gibt es findige Leute, die leitfähige Tinte selbst herstellen. Am einfachsten scheint das mit Graphitpulver zu gehen. Einen schönen Vergleichstest hierzu hat der User *24Eng* auf Instructables gemacht: Er mischt das Graphitpulver mit Alleskleber, Weißleim und Acrylfarbe. Auch für die eigene Herstellung von Silbertinte gibt es Anleitungen, allerdings braucht man hierfür viele nicht einfach zu erhaltende Zutaten, eine sehr feine Waage und eine Zentrifuge.

Hingegen ganz leicht herzustellen, aber auch relativ hochohmig, ist leitfähige Farbe beziehungsweise Paste aus Holzkohle. Eine weitere Alternative ist Farbe aus Zitronensäure und Kupfersulfat. Alle Anleitungen, die wir gefunden haben, gibt es unter dem Link am Anfang des Artikels.

MAKEY MAKEY

Mehr zu diesem Mikrocontroller können Sie in unserer Ausgabe **Hacks 3/12** lesen (kostenloser Download siehe Link).

© Copyright by Maker Media GmbH
Persönliches PDF für alle Leser des Make Magazins aus 30625 Hannover

WAS DIE VERSCHIEDENEN PRODUKTE KÖNNEN

Die von uns getesteten Produkte unterscheiden sich durch die Materialien, die sie leitfähig machen: Bei vier Produkten wird dafür Silber eingesetzt, ein Stift ist mit Nickellack gefüllt und zwei Produkte sind durch Graphit leitfähig. Wir haben untersucht, wie hoch der Widerstand der verschiedenen Farben und Tinten ist, wie einfach sie sich auftragen lassen und wie flexibel und haltbar die gemalten Leitungen sind.

Für die Widerstandsmessung haben wir nicht den spezifischen Widerstand ermittelt, da wir für diesen Wert eine einheitliche Schichtdicke benötigen. Da die Farben aber unterschiedlich dick- oder dünnflüssig sind und sich verschieden leicht auftragen lassen, haben wir uns dafür entschieden, den Widerstand von Leitungen zu messen, die entweder 10 oder 25 cm lang und 2–3 mm breit sind. Diese Rechteckfläche haben wir mit einer Schicht der Farbe gefüllt, ohne diese Schicht noch einmal aufzubessern und aufzufüllen. Die Leitungen sind damit wahrscheinlich ein wenig schlechter, als sie in einem Bastelprojekt – in dem man ja üblicherweise sehr ordentlich arbeitet – tatsächlich wären. Außerdem haben wir die Farben auf Papier und Overhead-Folie getestet, um zu sehen, wie sich der Untergrund auf die Leitfähigkeit auswirkt.

Die Widerstandswerte pro Farbe

Produkt	Papier: 10 × 0,3 cm		Papier: 25 × 0,3 cm		Folie: 10 × 0,3 cm	
	1. Leitung	2. Leitung	1. Leitung	2. Leitung	1. Leitung	2. Leitung
Circuit Scribe	1,95 Ω	1,7 Ω	2,9 Ω	3,5 Ω	nicht messbar	nicht messbar
Circuit Works Leitsilber-Lackstift	11,6 Ω	2,3 Ω	9,95 Ω	9,85 Ω	9,9 Ω	5,8 Ω
Silberleitlack	17,75 Ω	70,15 Ω	191 Ω	726 Ω	nicht messbar	nicht messbar
AgIC Silver Ink Marker	nur auf dem zugehörigen Spezialpapier messbar: 10 × 0,3 cm: 92 Ω					
Circuit Works Nickel Conductive Pen	29,6 Ω	23,8 Ω	758 Ω	169,85 Ω	84,8 Ω	81 Ω
Bare Conductive	973,5 Ω	1016 Ω	1361 Ω	1754 Ω	1611 Ω	2096 Ω
B6-Bleistift	115,15 kΩ	152,62 kΩ	180,2 kΩ	352,85 kΩ	nicht messbar	nicht messbar

LEITFÄHIGE TINTE IM DRUCKER

Auch für Tintenstrahldrucker gibt es leitfähige Tinte. Wir haben sie im Rahmen dieses Artikels nicht getestet, aber verschiedene Bezugsquellen gefunden. Ein Hersteller ist Agic, dessen „Prototype Ink Kit“ für 270 US-$ erhältlich ist. Auch Electroninks, der Hersteller des Circuit Scribe, produziert leitfähige Tinte für den Tintenstrahldrucker. Diese ist allerdings nur für Geschäftskunden erhältlich. Auch die Silbertinte von Inktec wird bisher nur an Geschäftskunden verkauft. Für 250 US-$ erhält man bei Novacentrix 50 ml Metalon Silbertinte. Günstiger ist die ebenfalls angebotene Kupfertinte mit 100 US-$. Die Produkte muss man selbst in Tintenpatronen einfüllen. Alle Bezugsadressen finden Sie unter dem Link am Anfang des Artikels.

ERST TROCKNEN LASSEN!

Die Leitungen aus flüssiger Farbe sind erst dann leitfähig, wenn sie komplett getrocknet sind. Am schnellsten geht das beim Agic Silver Ink Marker – dessen Leitungen leiten sofort.

DIE PRODUKTE IM EINZELNEN

Unsere ersten Testergebnisse zeigen also: Was die Leitfähigkeit betrifft, liegen die Stifte mit silberbasierter Tinte vorne. Der zweite Schwerpunkt unserer Produkttests ist die Handhabung. Denn nicht alle Stifte und Farben sind so konzipiert, dass man mit ihnen wirklich einfach Leitungen malen kann. Neben diesen beiden Aspekten haben wir natürlich nach dem Preis-Leistungs-Verhältnis geschaut, danach, wie schnell die Farbe trocknet, wie haltbar die Leitungen sind und wie schmal die schmalste Leitung ist, die wir von Hand mit dem Stift hinbekommen. Die Ergebnisse pro Produkt finden Sie auf den folgenen Seiten.

GÜNSTIGES PRODUKT VON ALIEXPRESS

Ein Kollege aus der Redaktion hatte noch ein Schnäppchen von Aliexpress herumliegen: leitfähige Farbe in einer Spritze. Wir versprachen uns davon ein günstiges Vergleichsprodukt zu den hier üblicherweise erhältlichen Produkten. Doch die Farbe, silberbasiert wie die meisten anderen Produkte, stellte sich als Paste heraus, die sich partout nicht durch die Spritzenspitze pressen lassen wollte. Ergebnis war eine mittlere Sauerei auf unserem Testblatt und kein vergleichsfähiges Produkt. Haben Sie andere Erfahrungen mit solchen Produkten gesammelt? Dann schreiben Sie uns an mail@make-magazin.de!

© Copyright by Maker Media GmbH
Persönliches PDF für alle Leser des Make Magazins aus 30625 Hannover

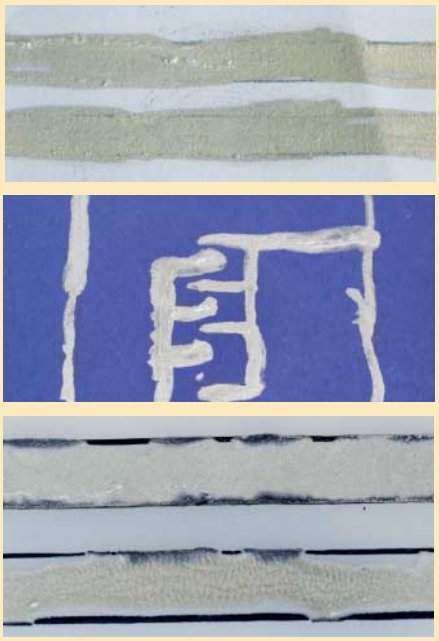
SILBERLEITLACK

Der altehrwürdige Silberleitlack aus dem Modelleisenbahn-Bedarf ist in kleinen 3 ml-Fläschchen erhältlich. Zusammen mit einem gleich großen Fläschchen Verdünner liegen die Kosten bei circa 12 €. In den Deckel des Lackfläschchens ist ein Plastikstäbchen integriert, mit dem man den Lack auftragen oder auf eine Unterlage löffeln kann, um ihn dort mit einem Pinsel aufzunehmen. Mit dem Verdünner kann man den Lack auch wieder entfernen, wenn man sich vermalt hat.

Benutzbarkeit: Der Leitlack ist recht einfach zu verwenden. Das Fläschchen muss vor jedem Gebrauch geschüttelt werden, dann kann der Lack einfach auf jede Fläche aufgetragen werden. Bauelemente kann man recht einfach mit dem Lack selbst befestigen, da man durch das Auftragen mit dem Pinsel oder Plastikstäbchen die gewünschte Menge selbst bestimmt. Beim Auftrag mit dem Plastikstäbchen gelingt die Fläche der Leitung nicht gleichmäßig. Ist der Lack getrocknet, haften die Bauteile weiterhin fest an der Leitung. Die Trocknungszeit liegt unter 10 Minuten. Der Leitlack ist giftig und daher nicht gerade kindersicher.

Belastbarkeit: Auf Papier können die Leitungen aus Leitlack gebogen und geknickt werden, ohne dass sie nennenswert an Leitfähigkeit verlieren. Der Leitlack kann also auch auf beweglichen Untergründen aufgebracht werden. Allerdings halten mit dem Lack fixierte Bauelemente nicht, wenn man den Untergrund verformt.

Schmalste von Hand zeichenbare Leitung: 1,1 mm, kann mit einem dünnen Pinsel sicher noch optimiert werden.



Leitungen mit Silberleitlack auf Papier, Pappe und Folie

CIRCUIT SCRIBE

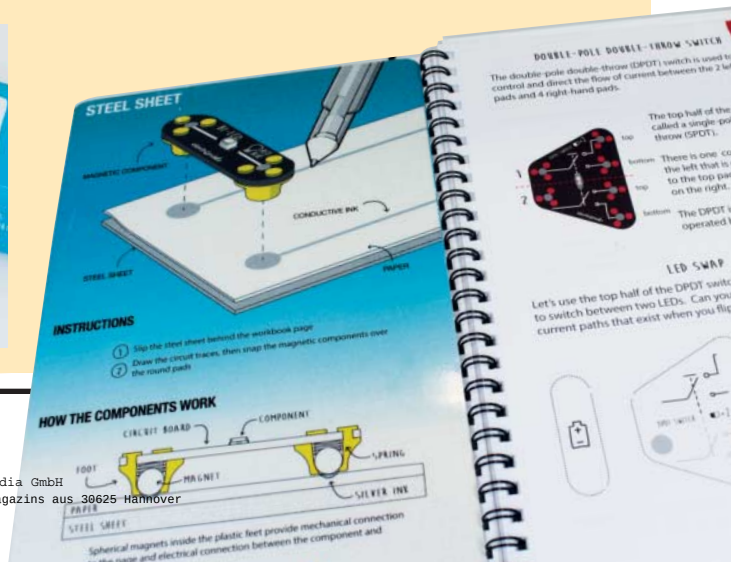
Der von der US-amerikanischen Firma Electroninks hergestellte Circuit Scribe sieht aus wie ein Gelstift und handhabt sich auch ähnlich. Ein Stift enthält 1 ml ungiftige leitfähige Silbertinte und kostet 25 €. Entstanden ist er aus einem Studien-Abschlussprojekt, das zum Ziel hatte, ein für Elektronik-Einsteiger beziehungsweise für Kinder geeignetes Werkzeug zum Erlernen von Elektronik-Grundlagen zu entwickeln. Dabei herausgekommen ist nicht nur der Stift, sondern auch eine ganze Reihe auf ihn abgestimmter Bausätze.

Zu jedem dieser Bausätze gehört ein Heft, in dem Grundlagen der Elektronik wie Parallel- und Reihenschaltungen erklärt werden und wie man die ersten einfachen Schaltungen zeichnen kann. Außerdem sind verschiedene Bauelemente enthalten, die speziell für die Verwendung mit dem Circuit Scribe entwickelt wurden. Diese Bauelemente sitzen auf Breakout-Boards aus Plastik, deren Anschlüsse aus recht großen magnetischen Metallpads bestehen.

Um die Bauelemente zu montieren, legt man unter das Papier, auf das man den Schaltplan gezeichnet hat, eine Metallplatte und setzt die Bauteile an der passenden Stelle auf die Leitungen. Will man den Circuit Scribe ohne diese speziellen – und teuren – Bausätze verwenden, arbeitet man am besten mit SMD-Bauteilen oder klebt die Bauelemente mit Kupferklebeband oder Wire Glue fest.

Benutzbarkeit: Die Ähnlichkeit zum Gelschreiber beginnt direkt mit dem ersten Einsatz des Stifts: Manchmal fließt die Tinte, manchmal fließt sie nicht. Der Hersteller empfiehlt, den Stift zu schütteln, wenn Letzteres eintritt. Das muss man

Das Circuit Scribe Bausatz-Heft und die Bauteile



© Copyright by Maker Media GmbH
Persönliches PDF für alle Leser des Make Magazins aus 30625 Hannover

schon sehr gründlich machen, damit der Circuit Scribe wieder schreibt. Benutzt man ihn danach aber relativ regelmäßig, hat man das Problem nicht. Die besten Leitungen erhält man, wenn man einfache dünne Linien mit dem Stift zieht. Beim Ausmalen von Flächen muss man die Spitze des Stifts immer mal wieder abwischen, weil Tinten-Papier-Flöckchen daran kleben bleiben. Durch die harte Kugelschreiber-Spitze kratzt man beim Ausmalen auf Papier auch immer etwas Papier mit ab. Außerdem trägt die Spitze die Tinte auf der rauen Oberfläche von Papier nicht ganz flächig auf, da sich die Kugel in die gemalten Flächen drückt. Daher muss man breite Leiterbahnen nach dem Trocknen noch etwas auffüllen. Auf Folie kann man mit dem Stift keine Flächen ausmalen, da die Kugel in der Spitze hier den Auftrag der Farbe stellenweise verhindert. Die optimale Unterlage für den Circuit Scribe ist beschichtetes, möglichst glattes und festes Papier wie zum Beispiel die Motivseite von Postkarten. Die Circuit Scribe-Tinte trocknet in weniger als 10 Minuten.

Belastbarkeit: Auf Papier halten die Leitungen Biegen und Knicken gut aus.

Schmalste von Hand zeichenbare Leitung: 0,7 mm

Die mit dem Circuit Scribe gemalten Leitungen auf Papier (die Leitung ist mit blauem Hintergrund hinterlegt), Plastik und einer Postkarte

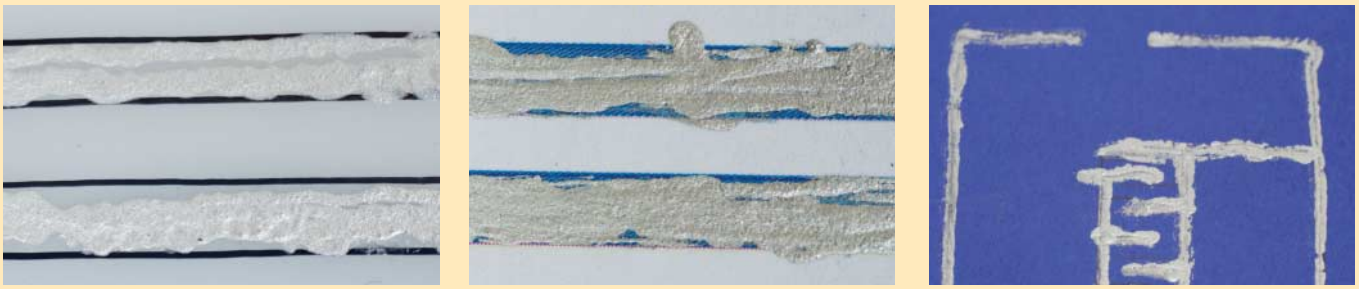
CIRCUIT WORKS SILBERLEITLACK-STIFT

Der Leitlack-Stift mit der Standard-Spitze (es gibt noch eine Ausführung mit Mikrospitze) enthält 8,5 g Lack und ist ab circa 54 € erhältlich.

Benutzbarkeit: Die Stifte von Circuit Works sind mit Abstand am schwierigsten zu benutzen. Sie haben eine Spitze aus Hartplastik, an der die Tinte entlangläuft. Um den Stift zu aktivieren, muss man diese Spitze zuerst ein paarmal in den Stift drücken. Damit das Silber in der Tinte gut verteilt ist, muss man anschließend den Stift schütteln. Dann muss man, um eine Leiterbahn auszumalen, den Stift zusammendrücken und gleichzeitig immer wieder die Spitze in den Stift drücken, damit sie die Tinte aufnimmt. Das führt zu einer Punkt-Maltechnik und Fingerkrämpfen. Am einfachsten ist es, den Stift mit dem Daumen zu fixieren und durch Druck von der Außenseite des Zeigefingers etwas umzuknicken. So fließt die Tinte konstant. Grundsätzlich sind die Stifte aufgrund des Handlings aber tatsächlich – wie auch auf den Produkten angegeben – eher für kleine Reparaturen als für das Zeichnen großer Schaltpläne geeignet. Von den giftigen Produkten, die wir getestet haben, dünsten die Chemtronics-Produkte am langwierigsten aus. Die Angabe „For industrial use only“ auf den Stiften hat wohl ihren Grund.

Belastbarkeit: Leitungen aus dem Silberleitlack-Stift können brechen, wenn man sie knickt.

Schmalste von Hand zeichenbare Leitung: 1 mm



Auf Folie, Papier und Pappe: So sieht es aus, wenn man sich mit dem Stift von Circuit Works an Leitungen versucht.

© Copyright by Maker Media GmbH
Persönliches PDF für alle Leser des Make Magazins aus 30625 Hannover

AGIC SILVER INK MARKER

Das neueste Produkt auf dem Markt: Der Silbertinten-Marker von Agic. Er funktioniert laut Hersteller nur auf dem zugehörigen Spezialpapier, dort aber sehr gut. Der Stift kostet knapp 15 US-$, das Papier ist ab knapp 10 US-$ erhältlich. Da das Spezialpapier herkömmlichem Fotopapier stark gleicht, haben wir ausprobiert, ob der Stift auch mit diesem funktioniert. Wir können vermelden: Es klappt!

Sonst verfolgt das japanische Start-Up Agic mit seinem Silver Ink Marker ein ähnliches Prinzip wie das der Circuit-Scribe-Produkte. Die Bauelemente werden hier durch eine magnetische Platte fixiert, die man unter das Papier legt, auf das man die Schaltpläne zeichnet. Ähnlich wie die Circuit-Scribe-Produkte sind auch die Bausätze von Agic hauptsächlich für das Erlernen von Elektronik-Grundlagen gedacht – sie sind in Workshop-Paketen erhältlich, sodass man gleich für ganze Klassen bestellen kann. Anders als die Tinte aus dem Circuit Scribe trocknet die aus dem Agic-Marker sofort und – und das ist eigentlich das Beste – zu dem Stift gibt es einen Löschstift, mit dem man Fehler im Schaltplan direkt beheben kann.

Benutzbarkeit: Der Silver Ink Marker hat eine sehr einfache Handhabung: Kappe ab und Linie ziehen. Hier ist weder Schütteln, noch drücken oder knicken notwendig. Die gemalten Leitungen sind völlig frei von Löchern, Kratzern oder Ähnlichem. Mit diesem Stift kann man am saubersten arbeiten. Er ist, im Unterschied zu den beiden anderen neuen Produkten, durchaus giftig.

Belastbarkeit: Die Leitungen aus dem Marker sind sehr flexibel und können gebogen und geknickt werden.

Schmalste von Hand zeichenbare Leitung: 1 mm

Mit dem Silver Ink Marker kann man wirklich einfach sehr gut funktionierende Leitungen malen.

Anzeige

© Copyright by Maker Media GmbH
Persönliches PDF für alle Leser des Make Magazins aus 30625 Hannover

CIRCUIT WORKS NICKELLEITLACK-STIFT

Der Nickelleitlack-Stift ist bei einem Preis von circa 12 € mit Abstand das günstigste Produkt in unserem Test. Er enthält 9 g Farbe.

Benutzbarkeit: Ähnlich wie der Silberleitlack-Stift des gleichen Herstellers ist dieser Stift schwierig zu bedienen. Davon, dass – wie bei anderen Produkttests und vom Hersteller beschrieben – man nur leicht auf den Stift drücken muss, um Leitungen zu malen, kann nicht die Rede sein. Dafür sind die Nickel-Leitungen sauberer als die des vergleichbaren Silber-Stifts. Der Nickelstift ist ähnlich giftig wie der Silberstift des gleichen Herstellers.

Belastbarkeit: Die Leitungen aus diesem Stift halten Knicken und Biegen gut aus.

Schmalste von Hand zeichenbare Leitung: 1 mm

Die Leitungen aus dem Nickelstift sind farblich mal was anderes. Leiten tun sie aber nicht so gut.

BARE CONDUCTIVE

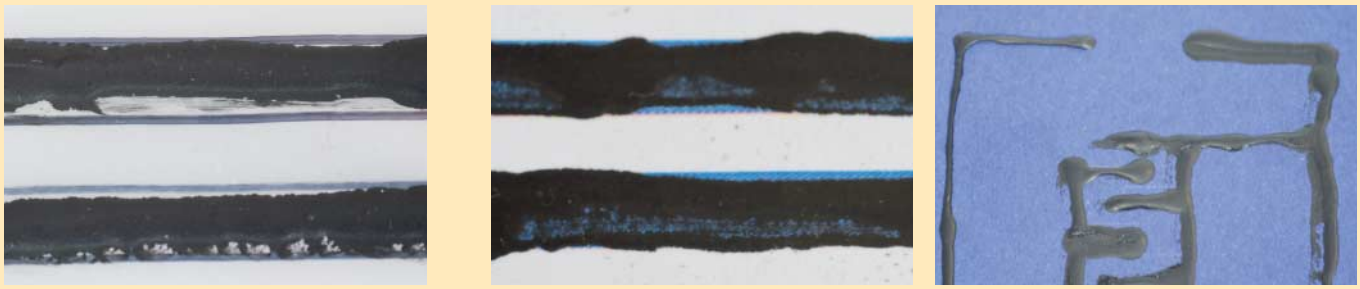
Die Farbe von Bare Conductive gibt es in der 10 ml-Tube und dem 50 ml-Schraubglas. Die Kosten liegen bei knapp 10 beziehungsweise 30 €. Den Herstellern war es so wichtig, ein ungiftiges Produkt herzustellen, dass einer der Mitarbeiter sogar probiert hat, ob sie essbar ist. Er empfiehlt, das nicht nachzumachen.

Bare Conductive verfügt über eine Produktpalette, die nicht nur die Farbe in verschiedenen Packungsgrößen, sondern auch Bastelsets für die Herstellung von beleuchteten Postkarten oder Papphäuschen und ein selbst entwickeltes Board für komplexere Projekte enthält. Auf der Webseite zum Produkt finden sich zahlreiche Projekte und Anleitungen, in denen zum Beispiel gezeigt wird, wie man mit leitfähiger Farbe Näherungs- oder Touchsensoren herstellt. Die leitfähige Komponente der Farbe ist Graphit.

Benutzbarkeit: Bare Conductive ist ein sehr einfach zu benutzendes Produkt. Entweder man drückt die 10 ml-Tube leicht zusammen und gibt die Paste so auf das Papier, den Stoff, das Plastik oder Holz, oder man trägt die Farbe aus dem 50-ml-Schraubglas mit dem Pinsel auf. Die Konsistenz der Farbe gleicht der von Acrylfarbe – man kann sie dick auftragen und so Bauteile recht einfach befestigen. Ein Auftrag reicht, um eine problemlos leitfähige Bahn herzustellen.

Belastbarkeit: Bare-Conductive-Leitungen brechen, wenn man sie knickt.

Schmalste von Hand zeichenbare Leitung: 0,8 mm, allerdings kann man die Liniendicke nicht immer ganz einfach beeinflussen. *—esk*



Schwarze Paste statt silbernem Lack: Bare Conductive überzeugt durch das Preis/Leistungsverhältnis und die Handhabung.

© Copyright by Maker Media GmbH
Persönliches PDF für alle Leser des Make Magazins aus 30625 Hannover