



Kneten statt löten

Mit leitfähiger Knetmasse Elektronik gestalten

Leitfähige Knetmasse vereint Kunst mit Volt und Ohm. Damit können sogar kleine Kinder schon eigene Elektronik-Experimente gestalten.

Von Andrea Trinkwalder

Viele Elektronik-Baukästen sind eher was für den Ingenieurs-Nachwuchs, der auf Schaltpläne statt Bilderbücher konditioniert wurde. Es gibt aber auch eine optisch und haptisch ansprechende Alternative zu den oft billig gefertigten Plastik-Steckbrettern: leitfähige Knete. Mit einem gut sortierten Knete-Vorrat sind kleine Elektroniker klar im Vorteil. Sie ist bunt. Sie ist Kunstwerk, Kabel und Steckbrett in einem. Notfalls dient sie

auch als Sensor oder Stromquelle. Und sogar Kindergartenkinder kommen damit klar.

Pionierarbeit auf dem Feld der „Squishy Circuits“ (matschigen Schaltkreise) leistete eine Projektgruppe um Annmarie Thomas, die das Playful Learning Lab der Universität St. Thomas in Minnesota leitet. Nach umfassenden Experimenten mit diversen Rezepturen hatten die Forscher perfekte Mischungen für eine leitende und isolierende Masse ausgetüftelt. Beide lassen sich mit günstigen Hausmitteln wie Salz, Zucker, Öl und Mehl herstellen (siehe Kasten „Leit-Rezepte“ auf S. 139). Die Forscher haben sogar deren Widerstände ausgemessen und ihre Ergebnisse in einem Paper veröffentlicht (siehe c't-Link).

Interessant: Die selbstgekochte leitfähige Knete wies im Test mit unterschiedlichen Stichproben einen recht konstanten Widerstand auf, während die Leitfähigkeit kommerzieller Play-Doh-Knete stark von der gewählten Farbe abhing. Sowohl Kosten, Spaß als auch Materialeigenschaften sprechen also dafür, die Masse selbst beziehungsweise zusammen mit den Kindern herzustellen.

Als Stromquelle dient eine handelsübliche 9-V-Blockbatterie oder ein Satz Akkus, die in einen Batteriehalter geklipst werden. Die Verbindung stellen – abhängig von der verwendeten Batterie – entweder Kabel mit Krokodilklemmen oder ein Batterieclip her. Für erste einfache bis mittelschwere Experimente, die wir hier zeigen, genügen ein paar Leuchtdioden

(LEDs). Fortgeschrittene können ihre Kreativität mit Motoren, Transistoren, Sensoren, Summern sowie programmierbaren Bauteilen wie dem Makey-Makey-Kit ausleben. Notfalls lässt sich sogar eine Batterie aus mehreren Schichten Knete, Nägeln und Kupferdraht herstellen, wobei der Block schon sehr groß geraten muss, um eine LED mit Strom zu versorgen.

Erste Erleuchtung

Der einfachste Stromkreis besteht aus einer Batterie, zwei Kabeln mit Krokodilklemmen, zwei Kugeln aus Knetmasse und einer LED. Zu beachten ist hier und bei allen anderen Experimenten, dass man die Leuchtdioden und andere Bauteile niemals direkt mit der Stromquelle verbinden darf. Weil die LEDs nur geringe Spannungen und Ströme vertragen, benötigen sie einen Vorwiderstand, der den Stromfluss reguliert. Betreibt man sie ohne Vorwiderstand, leben sie nicht lange. Bei den folgenden Experimenten dient die Knetmasse als Vorwiderstand.

Für einen einfachen Stromkreis formen Sie also zwei Kugeln, legen sie in geringem Abstand nebeneinander und überbrücken die Lücke mit einer LED. Anschließend verbinden Sie die Kabel mit den Polen der Batterie und den Knetekugeln. Dabei muss der längere Draht der LED mit dem Pluspol (Anode) und der kürzere mit dem Minuspol (Kathode) verbunden werden. Falschrum macht nichts kaputt, bleibt aber dunkel. Mit solch einfachen Stromkreisen können die Kinder

Reihen- und Parallelschaltungen bauen sowie den Effekt unterschiedlich dicker und langer Knetmasserollen experimentell studieren. Steckt man das Birnchen einfach nur direkt in eine Knete-Kugel und verbindet diese mit der Batterie, leuchtet es übrigens nicht. Warum? Weil sich der Strom den Weg des geringsten Widerstands sucht, also direkt durch die Knete fließt.

Weil der Gestaltungsspielraum mit voneinander getrennten Knetekugeln oder -rollen recht begrenzt ist, benötigt man isolierende Knete, die mit Zucker statt Salz und destilliertem statt Leitungswasser hergestellt wird. Verbindet man die leitfähigen Kugeln mit diesem Material, fließt der Strom aufgrund des hohen Widerstands durch die LED-Brücke. Übrigens leitet auch die Zuckerknete Strom, nur deutlich schlechter als die salzige. Theoretisch lässt sich also auch allein mit Komponenten aus der „isolierenden“ Knete eine Leuchtdiode betreiben, die dann allerdings nur schwach glimmt.

Tiere mit Leuchtaugen

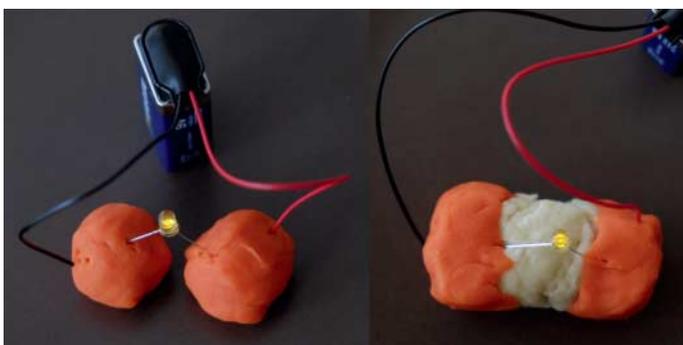
Mit raffiniert geschichteten Lagen aus isolierender und leitender Knete können Kinder Tiere und Skulpturen mit glühenden Augen gestalten oder interaktive Figuren konstruieren, die aufleuchten, wenn sie sich berühren. Auch die Drähte lassen sich trickreich verstecken. Der Aufbau erfordert dann etwas mehr Planung und Abstraktionsvermögen, um die leitenden Bahnen sauber voneinander zu trennen. Weil der Nachwuchs seine Ideen

Der c't-Tipp für Kinder und Eltern

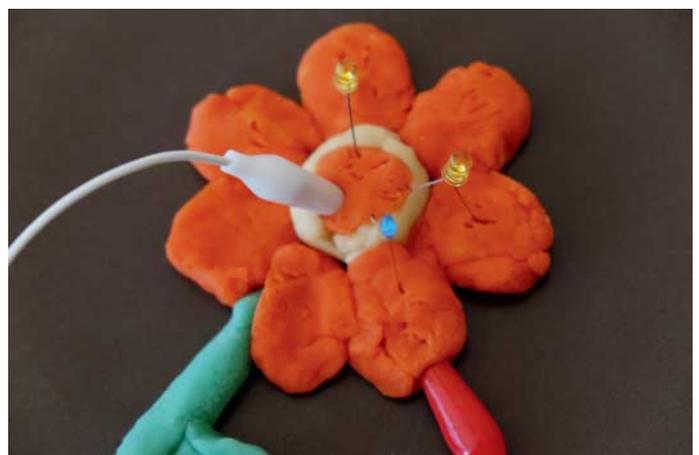
Schaltkreise mit leitfähiger Knetmasse

-  Knetmasse (selbst hergestellt oder Play-Doh), 9-V-Batteriehalter mit Akkus und Kabel mit Krokodilklemmen (alternativ: 9-V-Batterieblock mit Batterieclip), LEDs
-  keine
-  Die Herstellung einer Portion Knetmasse dauert etwa zehn Minuten, einfache Schaltkreise sind in wenigen Minuten zusammengesteckt. Für Planung und Gestaltung von Tieren und Skulpturen sollte man mindestens eine Stunde einplanen.
-  Kinder ab etwa 5 Jahren können einfache Experimente unter Aufsicht selbst durchführen, brauchen für komplexere Modelle aber Hilfe von Erwachsenen.
-  ca. 15 Euro für Zutaten, Batterie und ein etwas größeres LED-Sortiment

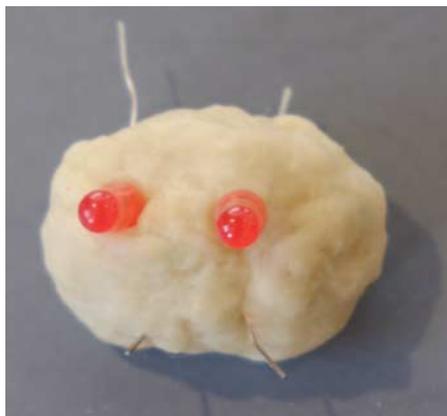
wahrscheinlich nicht gleich beim ersten Anlauf in ein funktionsfähiges Objekt umsetzen kann, sollten Sie zumindest technische Pannen weitgehend ausschließen. Schalten Sie dazu vorab alle verwendeten Bauteile in einem einfachen Stromkreis zusammen, um sicherzustellen, dass sie funktionieren.



Der einfachste Stromkreis besteht aus zwei leitfähigen Knetekugeln, LED und Batterie. Der längere LED-Kontakt muss mit dem Pluspol der Batterie verbunden werden. Will man ein massives Objekt zum Leuchten bringen, benötigt man eine isolierende Trennschicht.



Hübsche 2D-Knetebilder mit vielen bunten LEDs schaffen Kinder alleine durch Ausprobieren.



Eine Kugel isolierender Knete bildet den Alien-Kopf. Die Anoden der LEDs ragen unten, die Kathoden hinten heraus.



Beim Umhüllen mit leitfähiger Knete bleiben die Anoden frei. Zwischen Kathoden und Augen darf die Hülle dicker sein.



Stecken Sie eine Rolle leitfähige Knete so auf die Anoden, dass sie die „Kopfhaut“ nicht berührt.

Um etwa ein Alien mit glühenden Augen zu gestalten, empfiehlt sich eine Parallelschaltung, die nach demselben Prinzip aufgebaut ist wie der einfache Block im obigen Beispiel: zwei durch eine isolierende Schicht getrennte leitfähige Schichten, verbunden durch zwei LEDs und die beiden Batteriekabel. Formen Sie zunächst eine Kugel aus isolierender

Knetmasse und stecken beide LEDs so hindurch, dass die Minuspole nach hinten und die Pluspole nach unten zeigen. Umhüllen Sie den Kopf des Außerirdischen mit einer Schicht aus leitfähiger Knete. Vergessen Sie nicht zwei Aussparungen für die Augen. Zwischen den Augen und den Kathoden darf die „Haut“ richtig dick sein. Diese Stelle dient später als An-

schluss für die Krokodilklemme. Die nach unten gerichteten Anoden bleiben frei. Formen Sie nun eine längliche kurze Rolle aus leitfähiger Knete, die Sie auf die Anoden stecken und fest an den isolierenden Teil der Kopfes dranmodellieren. Umhüllen Sie diese Rolle mit einer isolierenden Schicht, wobei der hintere Teil als Anschluss frei bleibt. Testen Sie am besten jetzt, ob der Stromkreis funktioniert, indem Sie die Anode mit der unteren Rolle verbinden und die Kathode mit der „Kopfhaut“. Nun können Sie aus dünner leitfähiger Knete die restliche Hülle nach Gusto gestalten. Lassen Sie dabei am besten eine kleine Lücke zwischen Kopf und Körper. Falls die Augen nur schwach glimmen oder kurz aufleuchten, benötigen Sie eine zusätzliche Batterie oder versuchen Sie, den Widerstand innerhalb des Stromkreises zu verringern, indem Sie die Wege verkürzen.

Um möglichst lange Spaß mit den süßsalzigen Stromkreisen zu haben, bewahren Sie die Knetmasse luftdicht verschlossen am besten im Kühlschrank auf. Biegen Sie die LED-Kontakte so, dass sie nicht direkt an der Birne abknicken und biegen Sie sie nicht mehrmals hin und her. Vergessen Sie nicht, Klemmen, LED-Kontakte und andere Metallteile nach Gebrauch zu reinigen (beispielsweise mit Isopropylalkohol). Sie korrodieren extrem schnell, wenn Reste von Salzteig daran kleben bleiben. (atr@ct.de) **ct**

Ergänzendes Material und Beispiele:
ct.de/y5sx

Von der Hüpfknete zum Hightech-Sensor

Knetmasse begeistert nicht nur kindliche Strom-Forscher, sondern auch die Hightech-Branche, in der gerade ein neuartiges Material namens Graphen heiß gehandelt wird. Graphen ist härter als Stahl, aber dennoch biegsam, und leitet elektrischen Strom unter bestimmten Bedingungen nahezu verlustfrei. Nun experimentieren die Forscher mit unterschiedlichen Zusatzstoffen und hoffen eine Mischung zu finden, in der sich die außergewöhnlichen Eigenschaften von Graphen besonders gut entfalten. Und genau das ist irischen und britischen Forschern jetzt gelungen, als sie winzige, hauchdünne Schichten aus Graphen in handelsübliche Hüpfknete aus dem Kinderzimmer einarbeiteten. Hüpfknete ist eine Masse auf Silikonbasis mit einem Borsäure-Anteil, die abhängig von der Kraft, die auf sie wirkt, ihre Viskosität verändert. Ist sie allein der Erdanziehung

ausgesetzt, zerfließt sie langsam. Wirft man sie auf den Boden, springt sie wie ein Gummiball.

Erwartungsgemäß wurde die Knete durch die Zugabe von Graphen leitfähig, aber auf eine überraschende Art und Weise. Sobald die getunte Knete berührt oder belastet wurde, änderte sich ihr Widerstand. In Ruhephasen regenerierte sich der Widerstand und nahm seinen ursprünglichen Wert an. Damit eignet sich das Material als elektromechanischer Sensor. In Tests konnte die sensible Graphen-Knete auf dem Nacken und der Brust von Probanden nicht nur Gelenkbewegungen, sondern auch Atmung, Puls und Blutdruck messen. Sie registrierte sogar die sanften Schritte einer kleinen Spinne. Möglicherweise macht die getunte Hüpfknete also bald Karriere in medizinischen Messgeräten.



Ummanteln Sie den Körper mit einer dicken Isolierschicht, wobei am Rücken der Anschluss für die Anode frei bleibt.



Gestalten Sie das Äußere mit leitfähiger Knete. Lassen Sie am besten eine Lücke zwischen Hals und Körper.



Verbinden Sie den Kontakt im Rücken mit dem Pluspol und die „Kopfhaut“ mit dem Minuspol der Batterie.

Leit-Rezepte

Leitfähige Knetmasse

1 Tasse Wasser
1 1/2 Tassen Mehl (ca. 200 g)
1/4 Tasse Salz
9 Esslöffel Zitronensaft
1 Esslöffel Pflanzenöl
Lebensmittelfarbe



Sobald die leitfähige Masse verklumpt, wird das restliche Mehl von Hand eingeknetet.

Eine halbe Tasse Mehl zur Seite stellen, alle anderen Zutaten in einem mittelgroßen Topf mischen und bei mittlerer Hitze unter Rühren kochen. Die Masse beginnt zu kochen und wird fester. Sobald die Knete zu einem Ball verklumpt, aus dem Topf nehmen und auf eine leicht bemehlte Arbeitsfläche legen. Vorsicht, heiß! Den Ball mit dem restlichen Mehl verkneten, bis die Konsistenz passt.

Isolierende Knetmasse

1 1/2 Tassen Mehl
1/2 Tasse Zucker
3 Esslöffel Pflanzenöl
1/2 Tasse destilliertes Wasser

Eine halbe Tasse Mehl beiseite stellen, dann die festen Zutaten mit dem Öl in einer Schüssel vermischen. Anschließend eine kleine Menge (etwa einen Esslöffel) des destillierten Wassers hinzugeben und verrühren. Wiederholen Sie diesen Schritt, bis ein Großteil des Wassers verbraucht ist. Dann zu einem Ball formen und nach und nach weiter Wasser einarbeiten, bis das Ganze eine kneteartige Konsistenz hat. Anschließend Mehl hinzufügen, bis die gewünschte Festigkeit erreicht ist. Für Tiere und andere Skulpturen sollte die Masse relativ fest sein. Ansonsten ver-

rutschen die Kontakte zu leicht, weil die Kunstwerke ihre Form schon während des Modellierens verlieren. Anstatt destillierten Wassers können Sie auch normales Leitungswasser verwenden, allerdings hat das Material dann einen niedrigeren Widerstand.



Isolierende Knete wird kalt angerührt. Wenn sich Klümpchen bilden, verkneten Sie die Masse zu einem Ball.