

# Editorial

---

## Ein Zeitalter der Maker

---

Als ein Affe einen Stock anspitzte, um einen Speer zu bauen, begann das Zeitalter der Menschheit. Seitdem bauen Menschen immer aufwendigere Dinge, um sich das Leben leichter und angenehmer zu machen. Viel hat sich seit dem ersten Speer verändert: Nie war es so einfach, komplexe und tolle Dinge selbst herzustellen. Mit kleinen Computern baut man nützliche und mitdenkende Geräte und programmiert sie exakt nach eigenen Wünschen.

Genau in diesem Punkt sind Selbstbau-Projekte viel besser als gekaufte Gadgets: Wer selbst entwickelt, erschafft Dinge, die perfekt den eigenen Bedürfnissen entsprechen und die zum eigenen Geschmack passen.

Für das perfekte Gadget muss man zum Maschinenbauer, Elektroniker und Produktdesigner werden. Aber auch das war noch nie so einfach wie jetzt. Mit den Projekten, die wir in diesem Heft gesammelt haben, lernen Sie in Windeseile die wichtigsten Komponenten kennen:

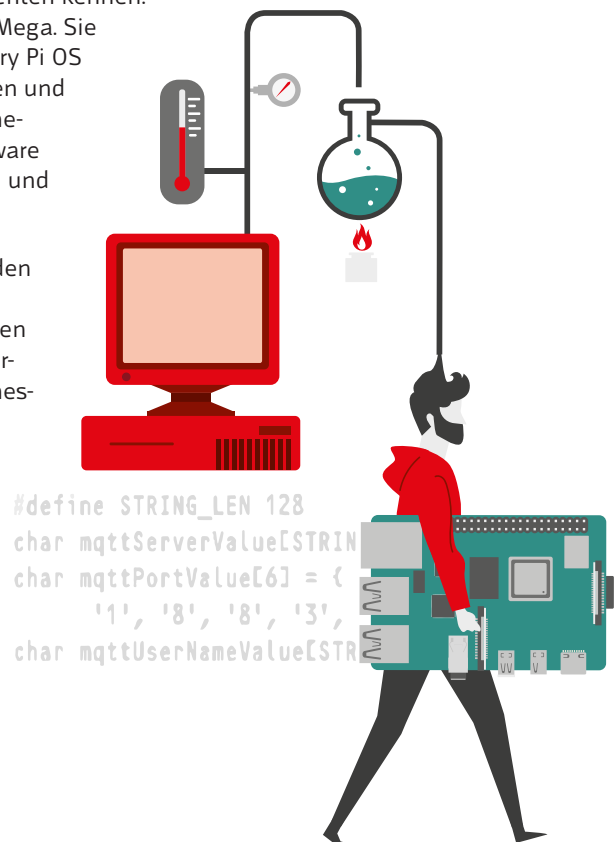
Raspberry Pi, ESP8266, Arduino Micro und Mega. Sie finden einen schnellen Einstieg in Raspberry Pi OS für Multimedia-Projekte, GRBL für CNC-Fräsen und IoTWebConf für selbst gebaute Smart-Home-Sensoren. Und Sie lernen die richtige Software zum Programmieren, Flashen, Konstruieren und Planen kennen.

Alle unsere Projekte können Sie in Dutzenden vergnüglichen Stunden in Ihrer Werkstatt nachbauen. Oder Sie lassen sich von unseren Basteleien ganz bequem auf der Couch lehrreich unterhalten. Vergessen Sie dabei keinesfalls die vielen Videos zu den Artikeln.

In jedem Fall sollten Sie Ihre Ideen verwirklichen und nach der Lektüre eigene Projekte starten!

*Pina Merkert*

Pina Merkert



# Inhalt

---

## LOSLEGEN MIT DEM RASPI

---

Der Raspberry Pi ist der beliebteste Einplatinencomputer auf dem Markt. Bevor Sie mit ihm eigene Projekte starten, müssen Sie sich um Stromversorgung, Betriebssystem und Netzwerk kümmern. Mit diesen Tipps gelingt das zügig und sicher.

- 6 Der Raspberry Pi
- 10 Grundlagen zur Einrichtung
- 14 Stromversorgung
- 18 Elektronik anschließen
- 22 FAQ: Raspberry Pi
- 26 Raspi 400 im Tastature Gehäuse
- 30 Compute Module 4

---

## BASTELN MIT ELEKTRONIK UND HOLZ

---

Mit diesen Projekten bauen Sie nützliche Dinge für mehr Bequemlichkeit, mehr Sicherheit und mehr Spaß. Dabei dienen die Projekte auch als Anregungen für Ihre eigenen Ideen, denn das Vorgehen ist immer ähnlich, auch wenn Sie einen anderen Sensor verwenden möchten.

- 38 Lüftersteuerung mit PWM, Poti und WLAN
- 46 Luftreiniger mit sehr feinem HEPA-Filter
- 56 AeVOC misst Aerosole & Feinstaub
- 64 ESP-Projekte mit und ohne WLAN
- 68 Mehr GPIO-Pins am Mikrocontroller
- 76 Arduino Micro lernt Lautstärkeregler
- 80 Arduino-Cockpit für den Flugsimulator



---

## PRODUZIEREN MIT CNC-MASCHINEN

---

CNC-Maschinen bringen Perfektion und Präzision in die Werkstatt. Wenn man sie mit dem richtigen Code versorgt, fräsen sie Teile aus Holz und Metall oder drucken sie aus Kunststoff. Damit das rund läuft, sollten Sie die wichtigsten Parameter kennen.

- 86 Kaufberatung CNC-Fräse
- 90 MPCNC gegen OX-CNC
- 96 G-Code programmieren und generieren
- 102 Eigene Portalfräse selbst ausdrucken
- 110 Stabile Portalfräse OX-CNC selbst bauen
- 114 Optimale Parameter für die CNC-Fräse
- 122 CNC-Oberfräse mit Shaper Origin

---

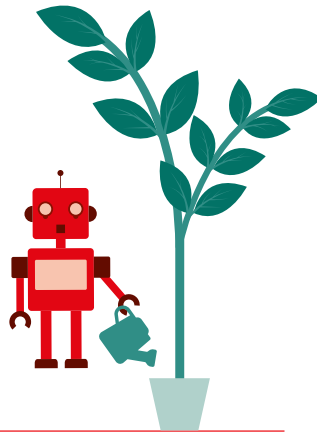
## KONSTRUIEREN MIT CAD-SOFTWARE

---

Eigene Ideen in 3D am Computer umsetzen oder Ersatzteile nachbauen – davon träumen viele Bastler. Mit einsteigerfreundlichen CAD-Programmen ist das kein Problem mehr.

- 126 CNC-Programme mit Fusion 360 erzeugen
- 136 Onshape: 3D-Designs im Browser
- 146 Ersatzteile konstruieren mit Onshape





---

## GÄRTNERN MIT DEM FARBOT

---

Der Gartenbau-Roboter FarmBot gießt zum Sonnenaufgang, jätet im Regen und überwacht das Beet, wenn man im Urlaub ist. Ein so schlauer Garten nimmt Arbeit ab und pflegt die Pflanzen so regelmäßig wie nie. Bevor das alles klappt, muss man allerdings basteln – vom Wasseranschluss bis zur Energiekette.

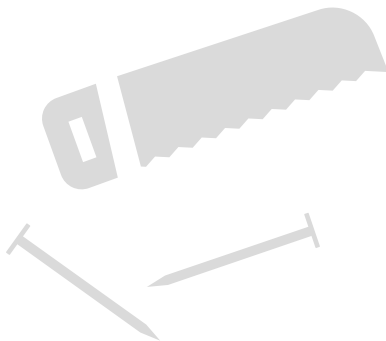
- 154 Vollautomatisch gärtnern
- 158 Tipps für den Bau eines FarmBot
- 166 Roboter programmieren ohne Code
- 172 Der FarmBot im Praxiseinsatz
- 177 Mit dem Raspi besser bewässern

---

## ZUM HEFT

---

- 3 Editorial
- 178 Impressum



## c't-Projekt-Videos mit Tipps zum Nachbauen

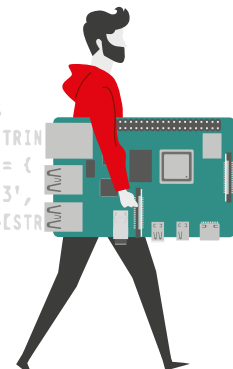
Zu vielen Projekten in diesem Heft gibt es zusätzliche praktische Tipps und Anleitungen per Video. Die jeweiligen Links zu den Videos las-

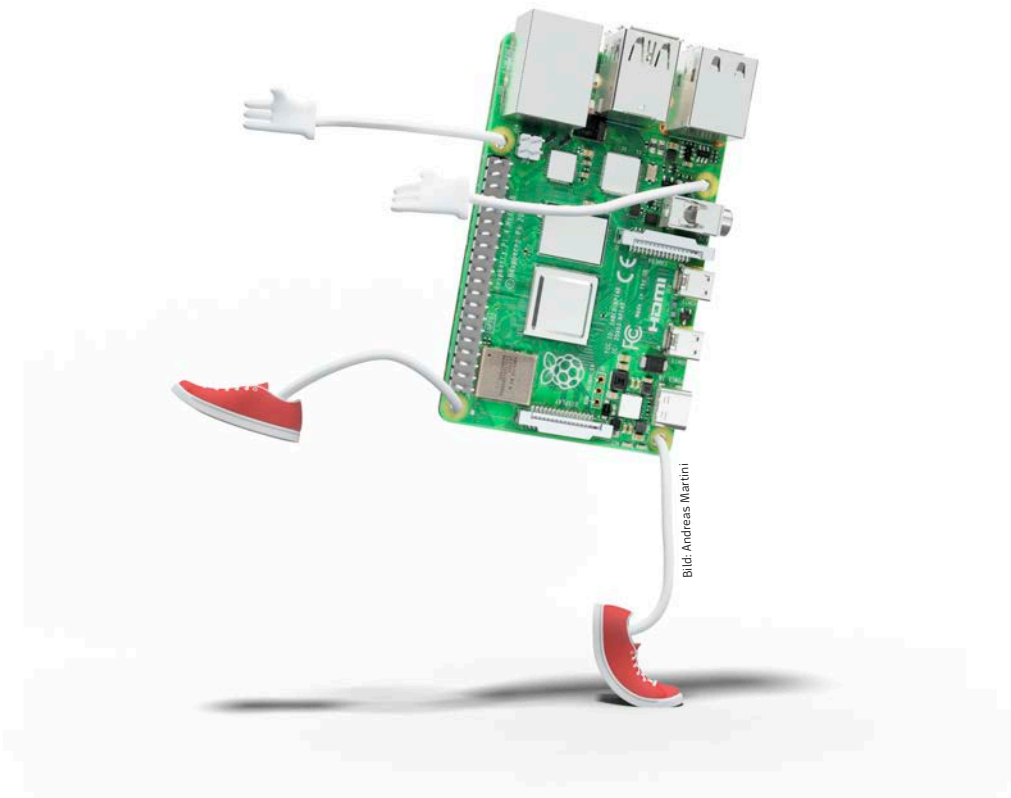


sen sich innerhalb der Artikel über den abgedruckten QR-Code mit dem Smartphone oder Tablet direkt aufrufen. Eine Gesamtübersicht aller Videos finden Sie über den hier abgebildeten QR-Code.



```
#define STRING_LEN 128
char mqttServerValue[STRING_LEN] = "192.168.1.1";
char mqttPortValue[6] = {
    '1', '8', '8', '1', '3', '\0'
};
char mqttUserNameValue[STRING_LEN] = "admin";
```





# Die ersten Schritte mit dem Raspberry Pi

Falls Ihr Erstkontakt zu einem Raspi bislang nur daran scheitert, dass der angeblich so kompliziert einzurichten ist: Probieren Sie es ruhig mal! Die Installation ist einfach und Sie haben den Raspi bestenfalls in weniger als 15 Minuten am Start.

Von **Lutz Labs** und **Ronald Eikenberg**

**D**er Einstieg in die Welt des Raspi geht auch Laien schnell von der Hand. Man muss nicht groß in Konfigurationsdateien herumfuhrwerken oder komplexe Programme beherrschen. Wir zeigen, wie Sie den Raspi mit einem Betriebssystem versorgen, sein WLAN einrichten und ihn fit für die Fernsteuerung vom PC aus machen.

Einsteiger sollten sich nicht nur den Raspberry Pi zulegen, sondern am besten gleich ein Raspi-Paket. Das besteht meistens aus dem Raspi selbst (2 GByte RAM reichen für die meisten Anwendungen völlig aus) und einigem Zubehör: dem Netzteil, einem Gehäuse, einer MicroSD-Karte und einem HDMI-Kabel für den Monitoranschluss. Das HDMI-Kabel ist recht

speziell, weil es auf der Raspi-Seite einen eher seltenen Micro-HDMI-Stecker hat – mit einem Adapter würde es auch klappen, aber nur mit einer der beiden HDMI-Buchsen des Raspi, denn diese liegen sehr nah beieinander. Wenn Sie planen, den Raspi über das Netzwerk zu steuern, noch eine MicroSD-Karte in Ihrem Fundus haben und auf das Gehäuse keinen Wert legen, kommen Sie günstiger weg. Das Netzteil sollte mindestens 10, besser 15 Watt leisten.

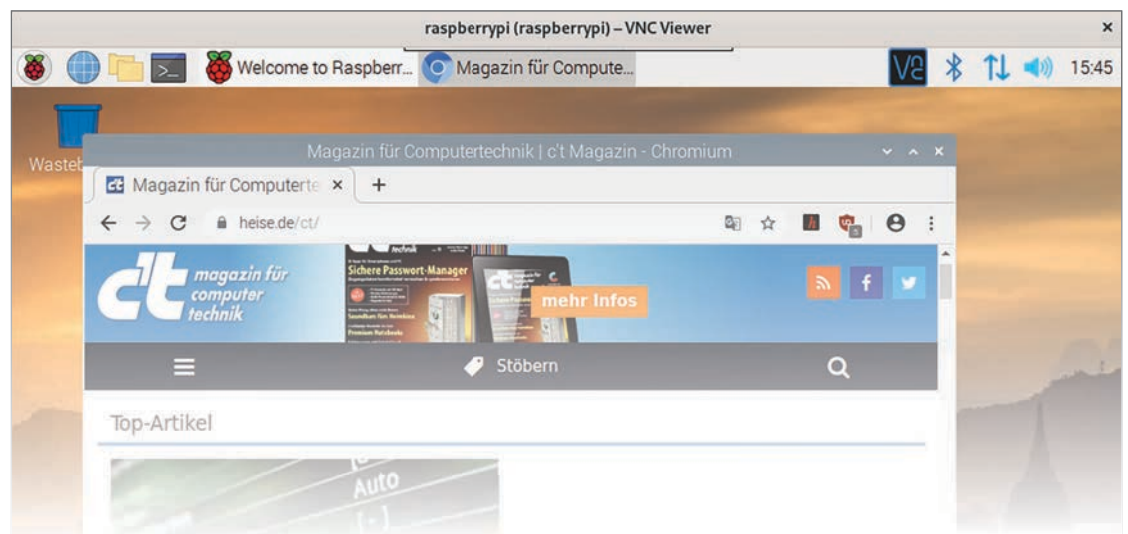
Die Mindestgröße für die MicroSD-Karte beträgt 8 GByte, mehr schadet nicht. Die Installation des Betriebssystems – im einfachsten Fall das von der Raspberry Pi Foundation bereitgestellte – erfolgt über das Schreiben des Image auf die Speicherkarte. Das erledigen Sie mit einem PC, für den benötigen Sie also noch einen Speicherkartenleser.

Sie brauchen den Raspi nicht unbedingt mit einer eigenen Tastatur, Maus und einem Monitor versorgen. Er kann auch ganz ohne Peripherie ferngesteuert werden. Dazu später mehr.

## Raspberry Pi OS statt Raspbian

Lange Zeit hieß das bevorzugte Betriebssystem für den Raspberry Pi Raspbian, später hat die Raspberry Pi Foundation es umbenannt: Um Verwirrungen zu vermeiden, heißt es ab sofort Raspberry Pi OS. Das Betriebssystem ist eine angepasste Variante der Linux-Distribution Debian.

Gleichzeitig hat die Foundation eine frühe Beta-version einer 64-Bit-Variante von Raspberry Pi OS veröffentlicht. Einziger Vorteil dieser Version ist, dass sie den gesamten Speicher des Raspi einem einzelnen Prozess zuordnen kann – die 32-Bit-Version beschränkt den Speicher auf 3 GByte pro Prozess. Das war bislang noch kein großes Problem, denn den Raspi gab es nur mit maximal 4 GByte RAM. Seit kurzem liefert die Foundation auch eine Version mit 8 GByte RAM. Die 1-GByte-Version wird hingegen bereits seit Monaten nicht mehr produziert.



Lesen Sie mehr in c't Projekte 2021



Aerosolsensor

# AeVOC misst Aerosole & Feinstaub

Treffen in Corona-Zeiten verpflichtet zum häufigen Lüften, da sich das Virus über in der Luft schwebende Tröpfchen, die Aerosole, verbreitet. Im Winter öffnet man die Fenster aber nur ungern. Der WLAN-Sensor AeVOC mit ESP8266 warnt, wenn es höchste Zeit zum Lüften wird.

Von **Pina Merkert**

**A**erosole sind in aller Munde. Leider. Die winzigen Tröpfchen transportieren nämlich auch Coronaviren und sind daher für die meisten Ansteckungen mit Covid-19 in Innenräumen verantwortlich. Häufiges Lüften hilft, die Konzentration der Tröpfchen niedrig zu halten. Leider vergisst man aber

schnell, die Fenster aufzureißen und die möglicherweise ansteckenden Tröpfchen reichern sich an. Ein Sensor, der misst und warnt, könnte daran erinnern.

Es gibt aber leider keine Sensoren, die Aerosol-Konzentrationen direkt messen. Deswegen empfehlen Aerosol-Experten oft CO<sub>2</sub>-Sensoren, um die Raumluft

zu überwachen. In einem Raum mit wenigen Pflanzen sollte nämlich auch die CO<sub>2</sub>-Konzentration steigen, wenn sich durch Atemluft die Aerosole anreichern. Unsere Schwesterzeitschrift Make hat in Ausgabe 5/20 einen sehr günstigen CO<sub>2</sub>-Sensor gebaut, der ab 1000 ppm warnt [1]. Das ist die aktuelle Grenzwert-Empfehlung des Umweltbundesamts.

Auch wenn CO<sub>2</sub> und Aerosole in den meisten Fällen stark korreliert sind, gibt es dennoch keine Hinweise, dass just 1000 ppm CO<sub>2</sub> die magische Grenze darstellen, unter der es keine Corona-Ansteckungen gibt. Die Ergebnisse eines gemeinsamen Forschungspapiers von Aerosol-Experten zeigen, dass sich innerhalb von Minuten eine kritische Menge Tröpfchen anreichern kann [2]. Zu wissen, ob gerade mehr Aerosole als üblich im Raum schweben, würde aber bei aller Unwissenheit um genaue Grenzwerte trotzdem helfen.

## Aerosole im Feinstaubsensor

Kleine Tröpfchen und feiner Staub ähneln sich in einer für Sensoren wichtigen Eigenschaft: Sie brechen und reflektieren Laserlicht. Feinstaubsensoren wie ein SDS011 geben daher traditionell nach einem Regen zu hohe Werte aus. Dieser Effekt lässt sich für Aerosol-Messungen nutzen. Ein SDS011 misst Staub und Tröpfchen in den Größen PM10 (10 µm) und PM2,5 (2,5 µm). Dafür beleuchtet er die Partikel mit einem Laser, von dessen Licht bei klarer Luft nichts auf die eingebaute Fotodiode trifft. Zieht der Lüfter des Sensors aber Staub oder Tröpfchen in die Messkammer, streuen der Staub oder das Wasserkügelchen das Licht so, dass ein Teil die Fotodiode beleuchtet. Das klappt bis zu Schwebeteilchen von 2,5 Mikrometern Größe. Kleinere Staubpartikel und Tröpfchen kann der Sensor nicht in voller Konzentration erkennen.

Leider können auch Tröpfchen, die kleiner als PM2,5 sind, noch Coronaviren enthalten. Vermutlich spielen gerade die Tröpfchengrößen PM1 und PM0.1

bleibt. So lange sollte man momentan aber ohnehin nicht warten. Steigt die mit einem SDS011 messbare Menge großer Aerosole an, sollte man dringend Lüften und mit dem Lüften die kleinen Aerosole gleich auch in den Wind schicken. Ein schneller Abfall der Messwerte zeigt dann, dass das Lüften geklappt hat.

## Olfaktorische Belastung

Aerosole verbreiten sich turbulent in Mustern, die sich nur schwer vorhersagen lassen. Außerdem stoßen Menschen sehr unterschiedliche Aerosol-Mengen aus. Während viele nur 100 Tröpfchen pro Sekunde ausatmen, setzen andere in Extremfällen die 50-fache Menge frei. Im ungünstigsten Fall schlägt der Feinstaubsensor nicht Alarm, obwohl die Menschen im Raum schon so lange zusammensitzen, dass fünf Minuten Stoßlüften stark angeraten wäre.

Abhilfe schafft da ein günstiger VOC-Sensor. „VOC“ steht für „Volatile Organic Compound“, ein Sammelbegriff für verschiedene organische Moleküle, die Menschen ausdünsten oder ausatmen. Ein VOC-Sensor wie der CCS811 misst die Konzentration solcher Moleküle über eine Oberfläche, mit der diese chemisch reagieren. Durch die Reaktion ändert sich der elektrische Widerstand ein kleines bisschen und ein integrierter Mikrocontroller rechnet das in eine Konzentration um. Er berechnet aus dem gleichen Wert auch eine geschätzte CO<sub>2</sub>-Konzentration, in unserem Test wich diese Projektion aber erheblich von den Werten eines optischen CO<sub>2</sub>-Sensors ab.

Viele der vom Sensor gemessenen VOCs sind für Gestank verantwortlich. Wer sich vor hohen VOC-Werten warnen lässt, lüftet also nicht nur gegen ein Corona-Risiko, sondern auch für riechbar frische Luft.

## Warnleuchte im Buchformat

Egal ob Aerosole, Feinstaub oder VOC-Gestank: Steigende Werte geben Anlass, das Fenster aufzureißen.

Lesen Sie mehr in c't Projekte 2021



OX-CNC (Tag 1)

# Stabile Portalfräse OX-CNC selbst bauen

Die OX-CNC aus der Openbuilds-Community ist eine stabile Portalfräse zum Selberbauen. Die Konstruktion mit Rollen in Aluminiumprofilen, Nema-23-Motoren und GT3-Riemern ist stark und stabil genug für flottes Fräsen in Hartholz, Alu und Verbundmaterial. Wir haben sie gebaut.

Von **Pina Merkert**

**P**ortalfräsen für Profis kosten meist über 10.000 Euro. Kein Wunder, dass Hobby-Ingenieure solche Preise mit selbst gebauten Maschinen unterbieten möchten. Die ab Seite 102 vorgestellte Mostly Printed CNC lässt sich bereits für 650 Euro aufbauen, allerdings mit Motoren und Riemern in

3D-Drucker-Stabilität. Die von Mark Carew und der Openbuilds-Community entwickelte OX-CNC kommt Profigeräten dagegen erstaunlich nah, weil sie wie die meisten Profi-Fräsen ein maximal versteiftes Portal verfährt und alle Rahmenteile aus Metall bestehen.



Sie nutzt kräftige Nema-23-Schrittmotoren, fünf Millimeter dicke Aluplatten und sechs Zentimeter hohe Aluprofile für den Rahmen sowie spielfreie GT-3 Riemen für den Antrieb. Riemen und Schrittmotoren sind eine Nummer größer als bei 3D-Druckern. X- und Y-Achse laufen auf Rollen in den Einkerbungen der Profile, bei der Anzahl der Rollen übertrifft die OX den 3D-Drucker „Ender 3“ aber um Faktor 3. Viel stabiler als die OX lässt sich eine Portalfräse mit solchen Standardteilen gar nicht aufbauen. Wer für Hartmetall eine noch stabilere Maschine braucht, müsste sie wohl mit Stahlrahmen und Kugelumlaufspindeln bauen, was erheblich teurer wäre.

Wie groß die OX wird, darf man vor dem Bau selbst entscheiden. Wir haben uns für eine Fräse mit 75 Zentimeter Breite und 100 Zentimeter Tiefe entschieden. Alle mechanischen Teile kauften wir für 750 Euro als Bausatz bei der Firma „Ooznest“. Zum Redaktionsschluss war der Bausatz leider vergriffen, unserer Erfahrung nach liefert eine Suche bei eBay oder Aliexpress vergleichbare Angebote zutage. Die OX besteht aber ohnehin weitgehend aus Standardteilen für den Anlagenbau, einzig die im Bausatz mitgelieferten 5-mm-Aluplatten müssen nach den frei verfügbaren Konstruktionszeichnungen hergestellt werden. Aber auch die Aluplatten gibt es als Teilesatz bei Aliexpress. Die 750 Euro unseres Bausatzes kann man durchaus unterbieten, wenn man die Teile von den günstigsten Händlern bestellt.

750 Euro reichen aber leider nicht für eine ganze Maschine, da der Bausatz nur Profile, Verbinder,

Schrauben, Rollen, Riemen und Motoren enthält. Dazu kommen vier Schrittmotortreiber, ein Arduino Mega, Energieketten, Kabel, Endschalter und nicht zuletzt auch ein Fräsmotor. Wir haben letztlich 1200 Euro ausgegeben, weil wir die Fräse auch auf eine stabile Siebdruckplatte auf einem rollenden Ikea-Schrank namens „Enhet“ geschraubt haben. Den Bau unserer OX-CNC haben wir in elf Videos auf YouTube dokumentiert.

## Bauvergnügen mit Bauanleitung

Ooznest stellt die Bauanleitung samt vollständiger Teileliste zum Download bereit (siehe [ct.de/ws31](http://ct.de/ws31)). Die Anleitung ist hervorragend! Wer Ikea-Schränke aufbauen kann, wird den mechanischen Teil mit dieser Anleitung hinbekommen. Wie beim Möbelschweißen auch, kann man manche Teile seitenverkehrt zusammensetzen; da aber alles nur verschraubt ist, lassen sich Fehler leicht korrigieren. Wir genossen den Bau wie bei einem großen LEGO-Modell für Erwachsene. Auf der letzten Seite der Anleitung kamen wir am dritten Samstag an.

Nach dieser Zeit steht der Rahmen, und die Riemen samt Schrittmotoren sind installiert. Wir empfehlen, danach direkt an die Aufstellung der Fräse in der Werkstatt zu denken. Für maximale Stabilität greifen die Aufhängungen des Portalschlittens nämlich um die Profile herum, sodass man seitlich an die Rahmen nichts anschrauben kann. Setzt man die Fräse sofort auf eine Platte, kann man die Elektronik und die Befestigungen für die Energieketten



Lesen Sie mehr in c't Projekte 2021



Einstieg in Onshape



Techn. Zeichnung  
in Onshape

# Onshape: 3D-Designs im Browser

Das CAD-Programm Onshape läuft ohne Installation in jedem modernen Browser. Tausende Konstruktionen anderer Designer stehen zum Erkunden bereit und erleichtern den Einstieg. Mit wenigen Klicks exportieren Sie sie zum 3D-Druck oder als Zeichnungen für die Bastelwerkstatt.

Von **Pina Merkert**

**K**ennen Sie den FarmBot? Wir auch noch nicht, aber wir lernen ihn gerade kennen (siehe S. 154 bis 176). Der FarmBot ist ein Gartenbau-Roboter, der wie eine große CNC-Fräse aussieht und vollautomatisch ein Hochbeet bewirtschaften soll. Ein amerikanisches Start-up hat die Maschine entwickelt und sämtliche CAD-Daten als Open Hardware im Internet veröffentlicht. Um sie zu sehen, muss man kein teures CAD-Programm installieren.


Der Aufruf einer etwas kryptischen URL im Browser reicht (siehe [ct.de/wsab](http://ct.de/wsab)).

Es öffnet sich „Onshape“ [1], ein umfangreiches CAD-Programm, das komplett im Browser läuft. Das Geschäftsmodell von Onshape erinnert an das von GitHub: Wer alles veröffentlicht, darf die Software kostenfrei nutzen. Wer seine Designs lieber nicht jedem zeigen möchte, zahlt für den Cloud-Service. So wie die privaten Repositorys bei GitHub viele

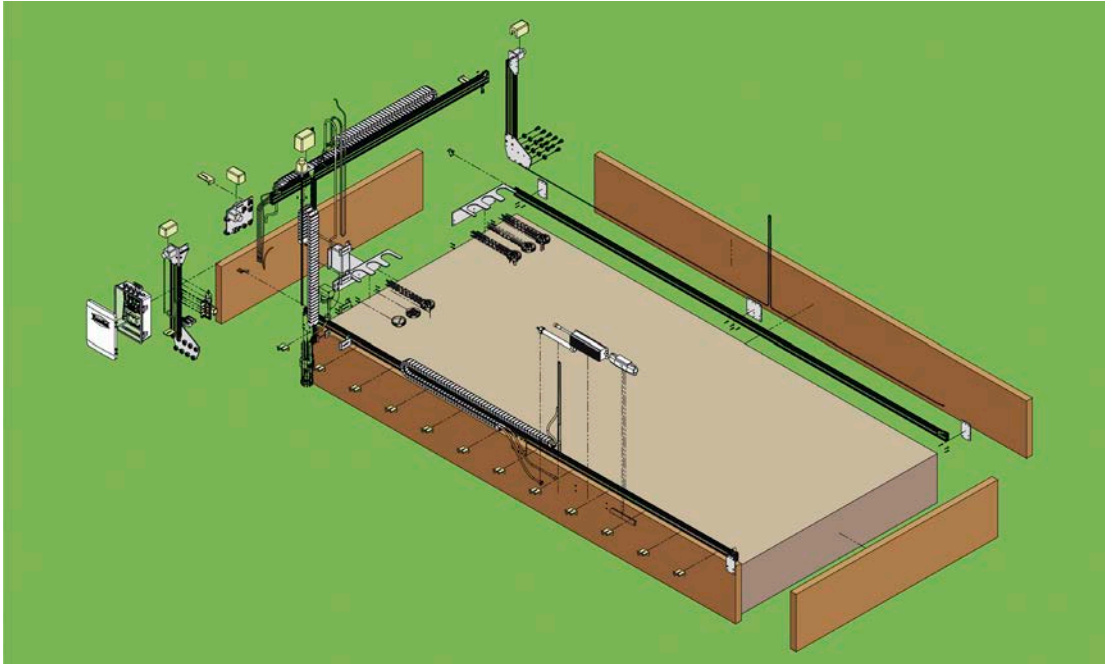
öffentliche Repositories von Open-Source-Projekten mitfinanzieren, finanzieren auch die Firmenkunden von Onshape, die ihre Designs ungern der Konkurrenz offenbaren wollen, die öffentlichen Designs von Open-Hardware-Enthusiasten mit. Auch die Struktur ähnelt sich: „Versionen“ entsprechen Commits und erlauben, frühere Bearbeitungsstände zurückzuholen. Es gibt auch Forks, da man die Designs von anderen Nutzern in den eigenen Workspace kopieren kann, um sie zu verändern oder zu ergänzen. Beispielsweise um eine technische Zeichnung zu erstellen, was wir im zweiten Teil des Artikels tun werden. Onshape erlaubt sogar, mit mehreren Anwendern parallel an der gleichen Konstruktion zu arbeiten. Der Cloud-Zwang der Software offenbart dort seine Vorzüge.

Onshapes Geschäftsmodell ist ideal für Maker: Sie wollen ihre Designs ohnehin mit der Welt teilen und planen nicht, mit ihnen Geld zu verdienen. Dass ein Konkurrent das Design übernimmt und es produziert, ohne Entwicklungskosten zu haben – die Angst der meisten Firmen –, würde ein Maker wohl als Auszeichnung für sein Design empfinden und sich freuen. Die Cloud-Software ist außerdem von vornherein für die Arbeit im Team ausgelegt, was Maker-Spaces und kleinen Projekten zugutekommt. Voraussetzung ist aber, dass die Maker sich in der umfangreichen CAD-Software zurechtfinden und beispielsweise STL-Dateien für den 3D-Drucker exportieren oder technische Zeichnungen anfertigen können. Genau darum geht es in diesem Artikel. Wir zeigen die ersten Schritte mit Onshape und lassen

### Your browser is compatible with Onshape

<b>Browser</b> <span style="float: right;">✓</span>	
User agent	Mozilla/5.0 (X11; Linux x86_64; rv:81.0) Gecko/20100101 Firefox/81.0
Platform	Linux
Browser	Firefox
Browser Version	81.0
<b>WebGL and extensions</b> <span style="float: right;">✓</span>	
Core WebGL	✓
Float textures	✓
Anisotropic texture filtering	✓
32-bit indices	✓
High precision fragment shaders	✓
<b>Renderer</b>	
GL renderer	GeForce RTX 2070 SUPER/PCIe/SSE2
GL vendor	NVIDIA Corporation
<b>Performance check</b> <span style="float: right;">✓</span>	
Recent selections*	

Lesen Sie mehr in c't Projekte 2021



# Tipps für den Bau eines FarmBot

Schon allein wegen der Abmessungen von  $1,5 \times 3$  Metern ist der FarmBot ein großes Projekt. Mit unseren Tipps und der guten offiziellen Anleitung bauen Sie den automatischen Gärtner zusammen, auch ohne Maschinenbaustudium.

Von **Pina Merkert**

**D**er Bau eines FarmBot besteht aus drei Schritten: Zuerst bereiten Sie den Bauplatz im Garten vor und zimmern ein Hochbeet zusammen. Da dieses einen Strom- und einen Wasseranschluss haben muss, ist dieser Schritt erstaunlich komplex. Danach schrauben Sie in der Werkstatt Baugruppen des FarmBots zusammen und verdrahten den größten Teil der elektrischen Komponenten. Im dritten Schritt installieren Sie Schienen und Portal im Garten, schließen Strom und Wasser an, rich-

ten das Betriebssystem ein und stellen den einwandfreien Lauf aller drei Achsen sicher.

Bei all diesen Schritten dient Ihnen die offizielle Dokumentation als Anleitung. Sie leitet Sie schrittweise durch den Bau und weist auf typische Fehlerquellen hin. Bei Problemen hilft Ihnen die offizielle FAQ weiter. Klärt auch diese das Problem nicht, sollten Sie nicht davor zurückschrecken, ins CAD-Design hineinzuschauen. Das wurde im browserbasierten CAD-Programm Onshape erstellt, sodass Sie es an-

schauen können, ohne ein Programm installieren zu müssen. Wie Sie in Onshape navigieren, haben wir am Beispiel vom FarmBot ab Seite 136 erklärt. Einen Link zu beiden Dokumenten und zum öffentlichen CAD-Design finden Sie über [ct.de/w95f](http://ct.de/w95f).

Wir haben einen knapp 1,5 × 3 Meter großen FarmBot Genesis in Version 1.5 gebaut und dabei genug über die Maschine gelernt, um Ihnen einige wertvolle Tipps für den Bau Ihres eigenen FarmBot auf den Weg geben zu können. Wenn Sie sich noch nicht sicher sind, ob Sie einen FarmBot bauen und besitzen möchten, erlaubt Ihnen unser Baubericht, einzuschätzen, ob Sie sich das Projekt zutrauen.

## Roboterwahl

Bevor es losgeht, müssen Sie sich zuerst für ein Modell entscheiden. Es gibt den FarmBot Genesis mit allen Funktionen, der selbst Werkzeuge wechseln kann, und den erheblich billigeren FarmBot Express mit einem nicht erweiterbaren Universalwerkzeug. Jede der beiden Maschinen können Sie auch als XL-Variante in doppelter Breite und mit doppelter Länge bauen. Da Sie die Größe Ihres FarmBot einfach in der Software einstellen, funktionieren auch kleinere Abmessungen, falls Sie ein bestehendes Hochbeet nachträglich automatisieren möchten.

Beim FarmBot Express sollten Sie bedenken, dass sein Portal einfach auf den Seitenbrettern des Hochbeets rollt. Diese müssen daher sehr gerade sein und eine glatte Oberseite aufweisen. Passendes Konstruktionsholz ist möglicherweise nicht leicht im Baumarkt zu bekommen. Drei Meter lange Bretter verbiegen oder verwinden sich schnell, besonders bei wechselnder Feuchtigkeit. Für den Genesis sind die Anforderungen ans Hochbeet geringer, da er auf Aluprofilen rollt, die an die Seiten des Hochbeets geschraubt werden. Wir dachten, wir hätten ein perfekt maßhaltiges Hochbeet gebaut, mussten nach dem Befüllen allerdings auf einer Seite Klötzchen zwischen Brett und Profilhalterung schrauben, um die verzogene Seitenwand auszugleichen.

Der zweite Faktor für den großen Preisunterschied ist der Werkzeugkopf. Beim Express ist dort ein Universalwerkzeug mit einem ausgehöhlten Kunststoffkegel angeschraubt. Durch das Loch kann er Samen mit einer Vakuumpumpe ansaugen. Da die Spitze aber auch als Jätwerkzeug dient, hinterlässt sie ein breites Loch im Boden. Beim Jäten pupft der FarmBot nämlich nicht nach Unkraut, sondern er ersticht es von oben.

Zum Gießen läuft Wasser beim Express einfach seitlich am Kegel entlang. Der Genesis hat an gleicher Stelle einen Werkzeughalter, an dem magnetisch Werkzeuge andocken. Zum Säen nutzt er Kanülen mit austauschbarer Dicke, sodass die Vakuumpumpe auch sehr kleine Samen ansaugen kann. Das Jätwerkzeug besitzt vier Kunststoffklingen statt einer breiten Spitze und das Bewässerungswerkzeug ähnelt mit vielen kleinen Löchern einer kleinen Gießkanne. Zum Standardrepertoire gehört außerdem ein Werkzeug mit einem Bodenfeuchtesensor, den der Express gar nicht besitzt. Der Werkzeughalter kontaktiert sogar noch zusätzliche elektrische Kontakte durch und neben Anschlüssen für Wasser und Vakuum gibt es einen freien Schlauchanschluss für Erweiterungen wie eine Düngerflüssigkeit. Beim Genesis kann man leicht eigene Werkzeuge konst-



Lesen Sie mehr in c't Projekte 2021