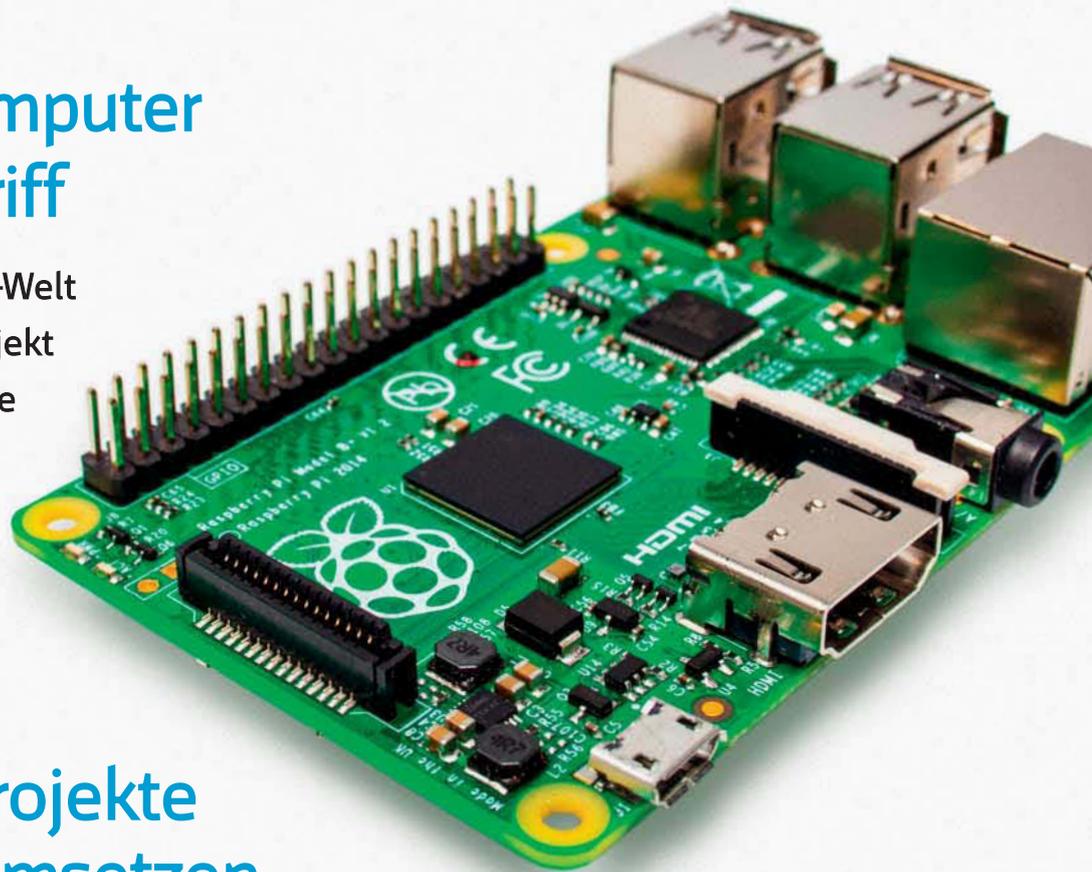


## Den Mini-Computer perfekt im Griff

Einführung in die Raspi-Welt  
Schritte zum ersten Projekt  
So geht Kommandozeile

**Sets mit Raspberry 2**  
Zum Sonderpreis und nur hier  
**Basispaket • Komplettpaket**



## 16 kreative Projekte erfolgreich umsetzen

Mediencenter und Streaming  
Raspi als 38-€-PC-Ersatz  
Spielekonsole von Gameboy bis Doom  
Die eigene, sichere Cloud  
Die Pi-Kamera einsetzen  
Windows 10 auf dem Raspi  
...

# GNADENLOS DURCHLEUCHTET.

THEMEN UND TESTS MIT LEIDENSCHAFT.

4x  
c't PLUS  
FÜR 14,20 €\*



## JETZT 2 MONATE DAS c't-PLUSABO TESTEN:

- 4 x c't als **HEFT + DIGITAL\*\*** + Online-Zugriff auf das **ARTIKEL-ARCHIV** für nur 14,20 €\*
- Bereits **freitags** lesen
- Nach der Testphase erwartet Sie die **c't-NETZWERKKARTE** mit exklusiven Vorteilen.

## IHR GESCHENK: KINGSTON-STICK

Für Ihre Testbestellung bedanken wir uns mit dem **Kingston-Stick Data Traveler G4** (32 GByte und USB 3.0-Flashspeicher)



**Sie sind bereits Abonnent** und möchten für 18,20 € auf das Plus-Abo umsteigen? Unser Leserservice hilft Ihnen gern beim Wechsel – mit einem Kingston-Stick als Dankeschön.

[ct.de/plusabo](http://ct.de/plusabo)

0541/80 009 120

[leserservice@heise.de](mailto:leserservice@heise.de)

\*Preis in Dt. inkl. MwSt. Auslandspreise können abweichen.

\*\*Verfügbar für Android (Tablet, Smartphone, Kindle Fire) und iOS (iPad, iPhone)

Folgen Sie uns auf:   

Bitte bei Bestellung angeben: 1CEA1501

# Editorial

---

## Liebe Leserinnen, liebe Leser,

---

bei uns in der c't-Redaktion wird man von den allerneuesten Technikprodukten überflutet. Doch nach ein paar Jahren Gadget-Overkill nimmt die Begeisterungsfähigkeit ab. Irgendwie ist es ja doch immer wieder das Gleiche, nur mit höherer Auflösung, mehr CPU-Leistung, mehr Hochglanzpolitur.

Doch dann war sie auf einmal wieder da, die längst verschollen geglaubte kindliche Begeisterung: Als im Februar überraschend der Raspberry Pi 2 kam, leuchteten die Augen etlicher Kollegen, und noch am selben Tag wurden die Sammelbestellungen losgeschickt. Auf den Gängen schwärmten alle von den spannenden Projekten, die sie realisieren wollten.

Rational erklären kann man den Charme der Pi-Platine nicht. Ist es der minikleine Scheckkarten-Formfaktor? Liegt es daran, dass das Teil nicht von einem großkapitalistischen Konzern hergestellt wird, sondern von einer gemeinnützigen Stiftung? Ist es der tolle User-Support im Netz?

Was ich allerdings weiß: Das Basteln mit dem Raspi macht einen Heidenspaß. Zumindest ich habe mich wahnsinnig gefreut, als ich auf dem kleinen Computerchen auf einmal einen ausgewachsenen Homeserver, ein ruckelfreies Nintendo-64-Spiel und sogar ein 1080p-Video zum Laufen bekam. All das hätte man natürlich genauso gut mit einem „normalen“ PC machen können. Aber der kostet zehnmal mehr – und so viel Charme hat er auch nicht.

Wir hoffen, dass Sie beim Raspibasteln – und mit diesem Heft – genauso viel Spaß haben wie wir.

Herzlichst, Ihr



Jan-Keno Janssen

# Inhalt

---

## Raspberry Pi im Überblick

---

In dem kleinen 38-Euro-Computer stecken große Möglichkeiten. Was kann der Raspi und wie legt man los? Unsere beiden Einstiegsartikel machen Sie mit der Raspi-Welt vertraut und begleiten Ihren Start.

- 6 Die rasende Himbeere
- 14 Erste Schritte mit dem Raspi

---

## Interessante Anwendungen

---

Der Raspberry Pi läuft, Zeit für die ersten Anwendungen. Wir stellen einige Projekte vor und geben Tipps zu Installation und Konfiguration.

- 20 Mediacenter mit Kodi
- 28 Musikanlage aufrüsten
- 32 Musik-Programmierung mit Sonic Pi
- 34 Emulator-Spielkonsole mit RetroPie
- 36 Günstige PC-Alternative
- 38 Owncloud installieren
- 42 Sparsamer Mailserver

---

## Know-how für eigene Projekte

---

Richtig spannend wird es mit dem Raspi, wenn man eigene Projekte umsetzt. Unsere vertiefenden Informationen zu Soft- und Hardware rund um den Raspi und erste ausführliche Beispielprojekte helfen beim Einstieg.

- 50 Windows 10 auf dem Raspi
- 56 Die Kommandozeile
- 66 Musik-Streaming mit Mpd
- 72 Hardware-Beschleuniger in ARM-SoCs
- 74 Soundkarten für den Raspi
- 80 Kameramodul und Sensor

---

## Cooler Bastelprojekte

---

Sie suchen noch mehr Anregungen, wie Sie Ihren Raspi einsetzen können? Probieren Sie doch unsere Lieblingsprojekte aus.

- 90 Streaming-Ziel Ghettablaster
- 94 Anbindung an Telefonanlage
- 96 Funksteckdosen steuern
- 98 Einschlaferkennung
- 102 Fotoautomat
- 110 Noch mehr coole Raspi-Projekte

---

## Zum Heft und Aktionen

---

Mit den speziell für c't wissen Raspberry Pi zusammengestellten Sets können Sie sofort loslegen.

- 3 Editorial
- 112 Aktion: Günstige Raspi-2-Sets
- 114 Impressum

### Sets mit Raspberry 2

Zum Sonderpreis und nur hier  
Basispaket • Komplettpaket

**c't wissen** **Raspberry Pi**  
Praxis-Einstieg • Spannende Projekte • Die beste Software

**Den Mini-Computer perfekt im Griff**

- 6 Einführung in die Raspi-Welt
- 14 Schritte zum ersten Projekt
- 56 So geht Kommandozeile

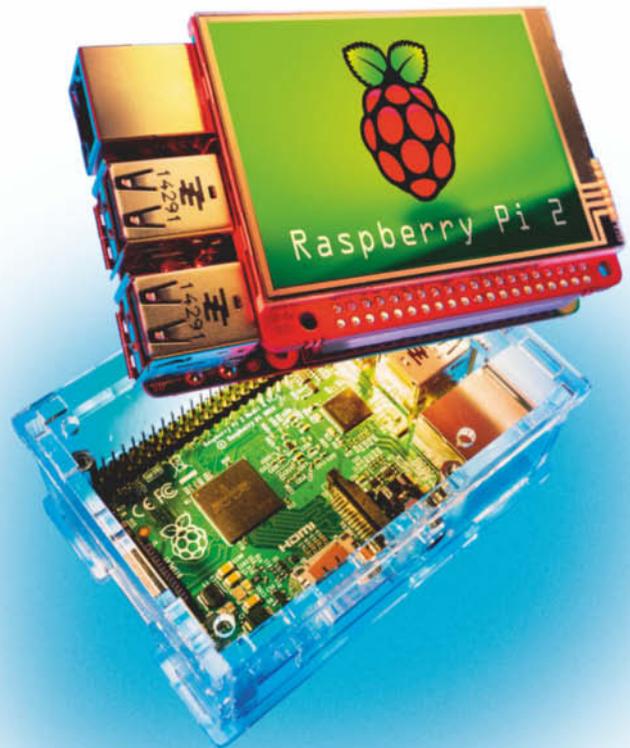
**16 kreative Projekte erfolgreich umsetzen**

- 20 Mediacenter und Streaming
- 36 Raspi als 38-€-PC-Ersatz
- 34 Spielekonsole von Gameboy bis Doom
- 38 Die eigene, sichere Cloud
- 80 Die Pi-Kamera einsetzen
- 50 Windows 10 auf dem Raspi
- ...

€ 8,40  
www.ctspecial.de

# Die rasende Himbeere

Die Kleinstcomputer-Platine Raspberry Pi 2 löst endlich das Versprechen der Vorgänger ein: Für 38 Euro bekommt man tatsächlich einen vollwertigen PC – (fast) ohne Kompromisse.



Von **Jan-Keno Janssen** und **Ingo T. Storm**

**E**s ist lange her, dass eine Produktankündigung in der c't-Redaktion einen so heftigen „Haben-wollen“-Reflex ausgelöst hat. Ein Drittel des c't-Teams bestellte sich noch am Tag der Raspberry-Pi-2-Verkündung den 38-Euro-Kleinstcomputer, privat, versteht sich. Und das, obwohl die meisten gar nicht so genau wussten, was sie überhaupt mit der Platine machen wollen. Aber einen Raspberry kann man halt immer gebrauchen – außerdem hatte sich herumgesprochen, dass Raspi-Basteln einen Heidenspaß macht.

Sogar etwas Gutes tut man mit dem Kauf: Der Hersteller, die Raspberry Pi Foundation, ist kein gewinnorientiertes Unternehmen, sondern eine Wohltätigkeitsorganisation, die sich der Förderung der Informatik an Schulen verschrieben hat. Trotz des niedrigen Verkaufspreises wird der Löwenanteil der Raspberry-Platinen nicht in China, sondern im britischen Wales gefertigt. Tatsächlich prangte auf allen in der c't-Redaktion aufge-

tauchten Zweier-Raspis ein „Made in the UK“-Aufdruck.

Während man bei den ersten Raspi-Modellen leistungsmäßig (freundlich ausgedrückt) kompromissbereit sein musste, kann man die zweite Version tatsächlich als vollwertigen PC bezeichnen. Sogar Windows soll darauf laufen: Microsoft hat im Rahmen des „Internet of Things“-Entwicklerprogramms eine offizielle Windows-Variante für den Raspberry P2 herausgebracht, offizieller Name: Windows 10 IoT Core (mehr dazu auf S. 50).

Die Geschwindigkeit eines Mittelklasse-PC darf man bei einem 38-Euro-Computer nicht erwarten. Trotzdem taugt der Raspi 2 problemlos als Office-Rechner, wenn man die richtige Software nutzt (siehe Artikel auf S. 36). Die Einser-Variante dagegen macht im Desktop-Betrieb nur sehr, sehr geduldfähigen Menschen Freude. Mehr zu den Vorgängern erfahren Sie auf Seite 11.



# Was ist wo beim Raspberry Pi?

**GPIO-Pins:** An die Pfostenleiste kann man Sensoren, Motoren und ähnliches anschließen. Oder man setzt hier eine Aufsteckplatine auf den Raspi, auch HAT-Modul genannt. Typisch sind dafür hochwertige Soundkarten oder das Raspi-Display von Watterott.

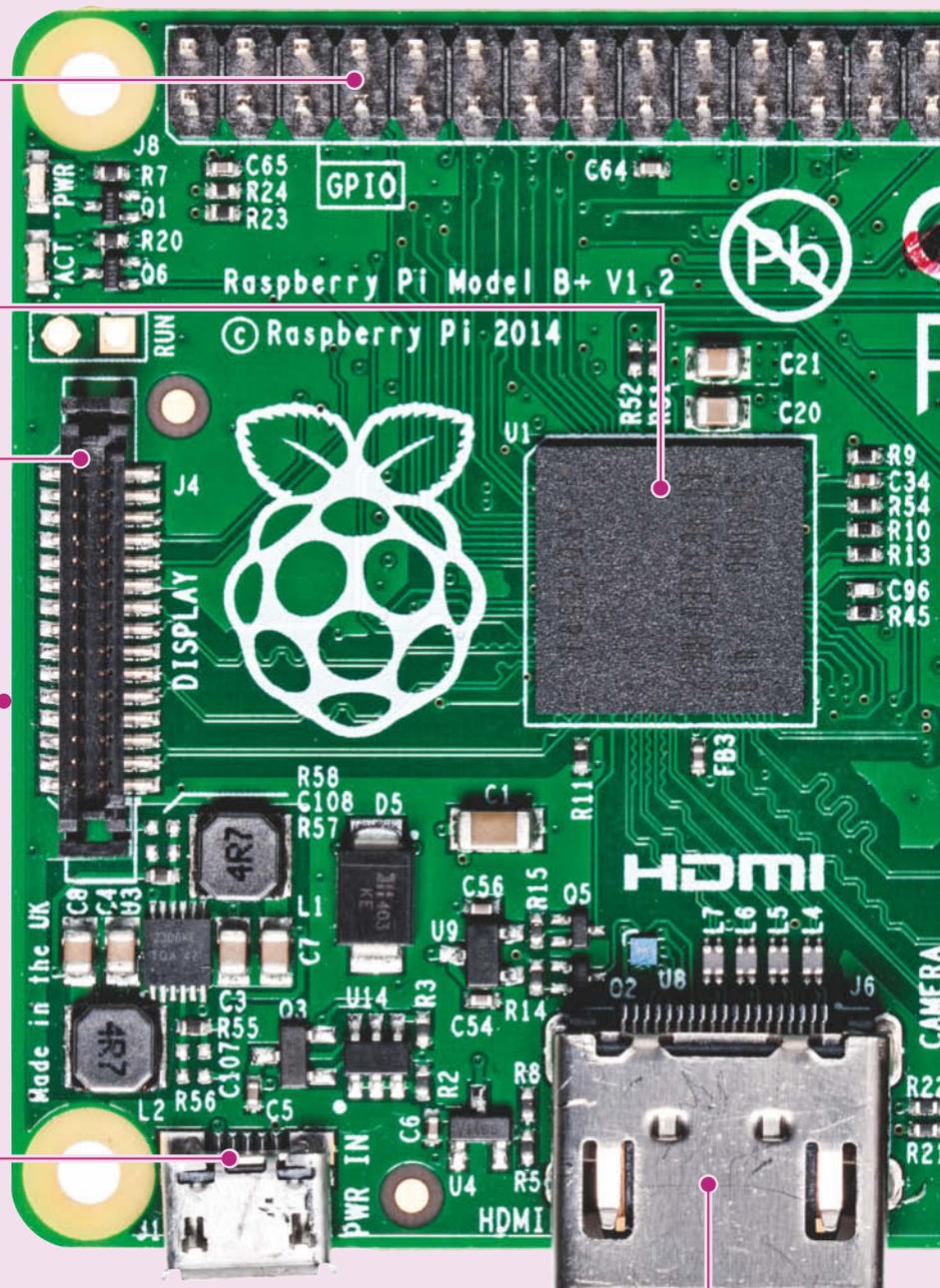
**Broadcom-CPU:** In der Mitte sitzt der Broadcom-SoC – das steht für System on Chip. Gemeint ist damit, dass neben dem reinen Prozessor fast alle Bausteine integriert sind, die so ein Klein-Computer sonst noch braucht. In diesem Fall ist das zum Beispiel der Grafikprozessor und bei älteren Raspis auch der Hauptspeicher.

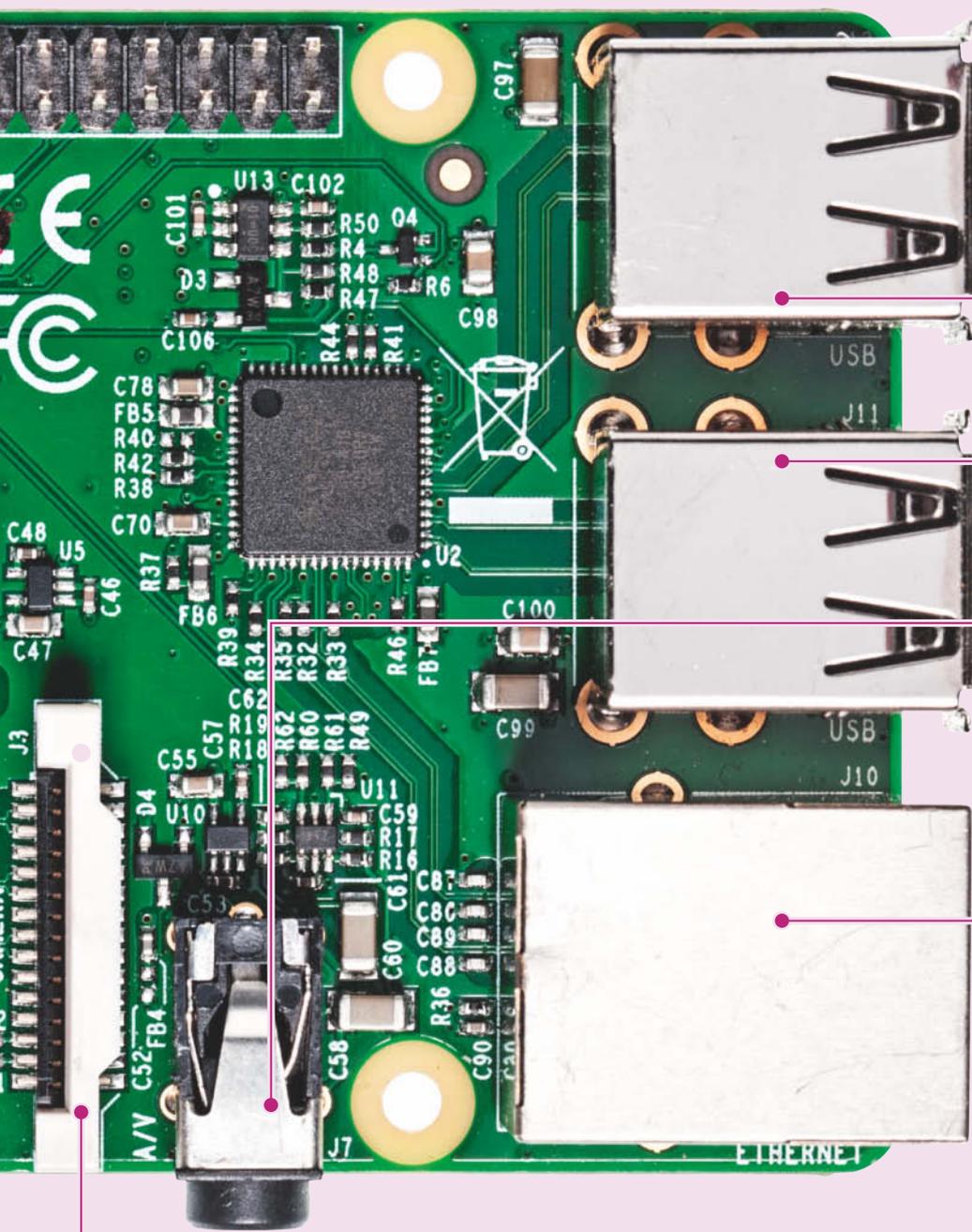
**DSI:** Stecker für das Flachbandkabel, über das Spezial-Displays angeschlossen werden.

**Micro-SD-Slot (auf der Unterseite):** Auf der Micro-SD-Karte, die auf der Unterseite der Platine eingesteckt wird, befindet sich das Betriebssystem des Raspis. Meistens ist das die Linux-Distribution Raspbian Wheezy. Doch es gibt Alternativen, insbesondere für Spezialprojekte wie Mediencenter (OpenELEC), Spiele-Raspis (Retro-Pie) oder Musik-Spieler (Pi Musicbox, SqueezePlug, etc.).

**Micro-USB-Buchse:** Hier kommt das Kabel eines 5V-Netzteils rein. Gute USB-Ladegeräte für Smartphones und Tablets sind durchaus geeignet. Gut 1 Ampere Strom sollte es mindestens liefern können. Besser sind 2 Ampere, damit Reserven für angeschlossene Peripherie oder Aufsteckplatinen bleiben.

**HDMI-Anschluss:** Der Raspi kann an jeden Monitor oder Fernseher mit HDMI-Buchse direkt angeschlossen werden. Von vielen Fernsehern bekommt der Raspi auch Fernbedienungsbefehle durchgereicht (HDMI-CEC). Mit einem Adapter klappt auch der Anschluss an Displays mit DVI-Eingang.





**USB-Ports:** An die 4 USB-Anschlüsse können Sie Maus, Tastatur, USB-Sticks, Soundkarten oder auch WLAN-Sticks anstöpseln. Wenn die Geräte viel Strom brauchen, wie zum Beispiel externe Festplatten, sollten Sie einen aktiven USB-Hub dazwischen schalten.

**3,5-mm-Klinkenbuchse:** Hier kommt analoger Ton raus, der allerdings nicht so toll klingt. Für einfache PC-Lautsprecher reicht es, aber Musik möchte man darüber nicht hören. Mit speziellen Adaptern kann man hier zur Not auch ein analoges Videosignal auslesen.

**Ethernet-Buchse:** Die Netzwerkbuchse schafft Fast-Ethernet-Tempo – das sind gut 10 MByte pro Sekunde. WLAN hat der Raspi nicht eingebaut, das muss man per USB nachrüsten.

**CSI-Kamera-Anschluss:** Für den Raspi gibt es spezielle Kamera-Module, die mit einem Flachbandkabel hier angeschlossen werden. Ihre Bildqualität ist besser, als der Preis von gut 25 Euro vermuten lässt.

eingblendet. Diesen Warnhinweis bekamen wir während unserer ausführlichen Tests allerdings kein einziges Mal zu sehen – trotz Übertaktung, die sogar ganz offiziell erlaubt ist: Wer ausschließlich die Overclocking-Voreinstellungen im Konfigurationsmenü nutzt, riskiert keinen Garantieverlust. Erst wenn man außerhalb der vorgegebenen Grenzwerte manuell übertakkt, setzt der Raspi ein nicht rücksetzbares „Garantie erloschen“-Bit. Die Übertaktungs-Presets erhöhen Frequenz und Spannung nur, wenn die Mehrleistung tatsächlich benötigt wird und die Temperatur der CPU unter 85 Grad Celsius liegt.

Das Overclocking-Menü findet man im allgemeinen Raspbian-Einstellungs Menü, das mit `sudo raspi-config` aufgerufen wird. In unseren Tests hatten wir mit der „Pi2“-Option (CPU-Takt von 900 auf 1000 MHz, RAM von 450 auf 500 MHz) keinerlei Stabilitäts- oder Hitzeprobleme. Die „Turbo“-Voreinstellung mit noch höherem Speichertakt und erhöhter Spannung führte dagegen bei allen getesteten Zweier-Raspis zum Absturz.

Für Raspi-2-Besitzer kann das Übertakter-Menü etwas verwirrend wirken, denn die Namen der Voreinstellungen beziehen sich auf die Einser-Pi-Varianten: Übertakktet der „Medium“-Preset den Pi 1 von 700 auf 900 MHz, bezeichnet er beim Pi 2 den Standardtakt. „None“ bedeutet beim Pi 1 „keine Übertaktung“, beim Pi 2 dagegen Untertaktung.

## Gleiche Optik

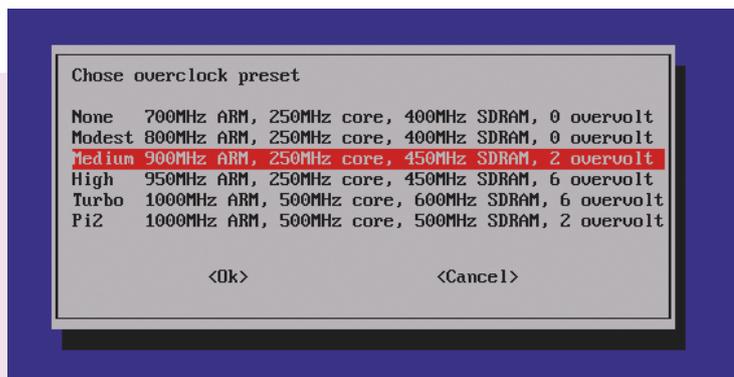
Abgesehen von der schnelleren CPU und dem größeren Arbeitsspeicher blieb der Raspberry Pi

## Raspberry Pi 2 Model B

Hersteller	Raspberry Pi Foundation, raspberrypi.org
SoC	Broadcom BCM2836 (ARMv7-Quadcore mit 900 MHz)
GPU	Broadcom VideoCore IV
RAM	1 GByte
Flash	–
<b>Schnittstellen</b>	
Video	HDMI, Composite
Audio	Stereo-Klinke
Netzwerk	Fast Ethernet (via USB)
Speicher	MicroSD
Peripherie	4 × USB 2.0
Erweiterungen	26-Pin-GPIO, Kamera
Stromversorgung	MicroUSB
Preis	38 €

2 Model B (ein „Model A“ gibt es übrigens noch nicht) unverändert: Er hat die gleichen Schnittstellen wie sein Vorgänger und ist genauso groß. Man kann Gehäuse für den B+ also problemlos weiterbenutzen. Leider wurde auch der fürchterliche Analog-Audioausgang unverändert übernommen: Dieser rauscht so heftig, dass man ihn eigentlich nur als Notlösung verwenden kann. Aus Kostengründen ist kein echter Digital-Analog-Wandler (DAC) eingebaut, das Analogsignal wird mit Pulsweitenmodulation erzeugt.

Wer eine saubere, analoge Audioausgabe braucht, bekommt für 30 Euro eine Raspi-Soundkarte für den GPIO-Port (siehe S. 74). Auch ein USB-Dongle für 5 Euro klingt schon eine Klasse besser als der Onboard-Sound. Die rein digitale Tonabgabe per HDMI ist vom Rausch-Problem nicht betroffen.

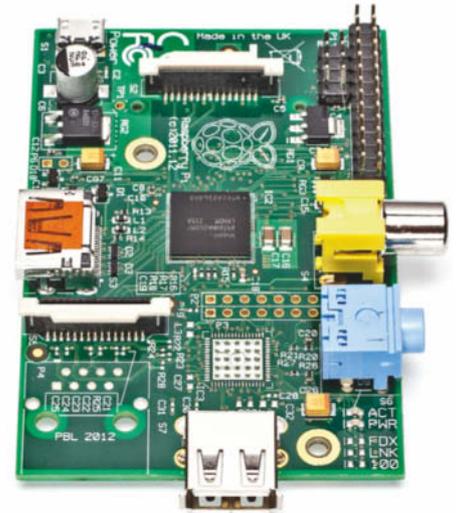


**Das Overclocking-Menü in der Raspi-Konfiguration ist für Pi-2-Nutzer verwirrend: Die Bezeichnungen beziehen sich auf die erste Raspi-Version.**

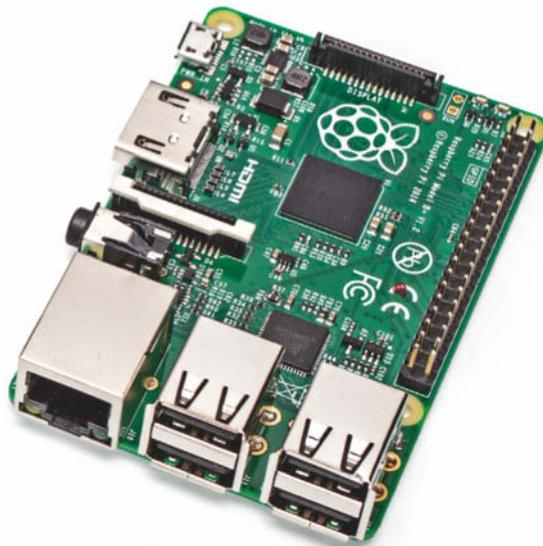
# Die Raspberry-Pi-Familie



Der erste Raspberry Pi (links) hatte 2 USB-Anschlüsse, eine Netzwerkbuchse und brauchte große SD-Karten. Heute heißt er zur Unterscheidung „Raspberry Pi Modell B“. Dieses Modell ist immer noch für viele Anwendungen zu gebrauchen und günstig zu bekommen. Achtung: Neuere Aufsteckplatinen mit nur einer langen Buchsenleiste passen hier aber nicht mehr drauf.



Unter dem Namen Raspberry Pi A (oben rechts) folgte ein Modell mit niedrigerem Stromverbrauch, damit auch ein Akku ausreicht, um den Raspi über längere Zeit zu versorgen. Der Nachteil: Eine Netzwerkbuchse fehlt, man muss also einen WLAN-Stöpsel in den einzigen USB-Anschluss stecken. Es gibt inzwischen auch ein Modell A+ mit der längeren Pfostenleiste für moderne Aufsteckplatinen.



Der Raspberry Pi Modell 1 B+ kam im Sommer 2014 und war nur eine aufgebrelzte Fassung des RPi 1 B. Wichtigstes Merkmal: Die lange Pfostenleiste, auf die alle modernen Aufsteckplatinen für den Raspi passen. Dazu kommen jetzt 4 USB-Buchsen und ein Micro-SD-Slot. Der neue Raspberry Pi Modell 2 B sieht genauso aus, ist aber viel schneller.

## Geblitzdingst: Raspberry 2 ist kamerascheu

Der Raspberry Pi 2 hat einen kuriosen Hardware-Bug: Richtet man einen Kamerablitz oder einen Laserpointer im laufenden Betrieb auf die Platine, hängt sich der Rechner auf. Der „Abschuss“ funktioniert sogar, wenn die Platine in einem (halb-)transparenten Gehäuse steckt. Der Grund für die Kamera-Antipathie: Das für die Onboard-Spannungsversorgung zuständige Bauelement U16 hat aus Kostengründen kein Gehäuse spendiert bekommen und wurde blank auf die Platine gelötet. Blitzt man es an, bringt die hohe Lichtmenge die

Spannungsregelung aus dem Tritt. In kommenden Hardware-Revisionen soll der Bug behoben werden, ansonsten hilft auch ein Klecks Sugru oder Patafix auf U16.



**Raspi 2: Blitzt man ihn an, hängt er sich auf.**

Der Grafikprozessor ist ebenfalls gleich geblieben: In Raspi 1 und 2 werkelt ein OpenGL-ES-kompatibler VideoCore IV von Broadcom, der Videos bis zu einer Auflösung von 1080p per Hardware dekodieren kann (H.264, MPEG-2, VC-1). Gebräuchliche Frameraten (24 beziehungsweise 30 fps) laufen flüssig, Videodateien mit mehr Bildern pro Sekunde sind auf unübertakteten Raspis (1 und 2) dagegen problematisch. Für den Einsatz als Media

Center reicht der Raspi 2 aber allemal (siehe Artikel auf S. 20).

Apropos problematisch: Über den schon bei der ersten Pi-Generation häufig kritisierten Daten-Flaschenhals ärgern sich die Fans auch beim Zweier-Raspberry. Die USB-Schnittstellen und der 10/100-Netzwerk-Adapter teilen sich einen einzigen USB-2.0-Host-Port. USB 2.0 schafft inklusive USB-Overhead maximal 480 MBit/s, was einer nutzbaren

## Leistungsdaten von Kleinstrechnern

	Coremark (Single/Multi-Thread) besser ▶	SunSpider 1.0.2 mit Iceweasel [ms] ◀ besser	Transferrate interner Speicher, Sysbench (Sequential Write/Sequential Read) [MByte/s] besser ▶	Kopieren von USB 2.0 auf Netzwerkfreigabe [MByte/s] besser ▶	Bootzeit bis Login [Sekunden] ◀ besser	Leistungsaufnahme <sup>1</sup> (Idle/Last) [Watt] ◀ besser
Cubietruck Cubieboard 3 (120 €)	■ 2669/5162	■ 2095	17,9/18,3	■ 23,0	■ 43	■ 1,8 / 3,7
Raspberry 1 Model A+ (20 €)	■ 1401/1395	■ 8202	16,8/18,7	■ 3,8	■ 43	■ 0,7 / 0,9
Raspberry 1 Model B+ (29 €)	■ 1401/1395	■ 8202	16,8/18,7	■ 3,8	■ 43	■ 1,4 / 2,1
Raspberry 2 Model B (39 €)	■ 2282/8918	■ 2166	18,7/19,6	■ 10,8	■ 17	■ 1,4 / 2,8
Banana Pi (38 €)	■ 2307/4494	■ 2484	18,6/19,5	■ 26,0	■ 27	■ 1,5 / 3,2
Intel NUC NUC5i3RYK (280 €)	■ 13466/39241	■ 232 <sup>2</sup>	■ 590,0/727,0	■ 108,8	■ 14	■ 6,1 / 22,2

<sup>1</sup> alle bis auf NUC mit USB-Netzteil Samsung EP-TA20EWE gemessen

<sup>2</sup> mit Firefox unter Windows 8.1 64 Bit

<sup>3</sup> kein USB 2.0 vorhanden, daher USB 3.0 gemessen