Raspberry Pi Kompendium

Linux, Programmierung und Projekte

Sebastian Pohl

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Informationen sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

©2020 BMU Media GmbH
www.bmu-verlag.de
support@bmu-verlag.de

Lektorat: Ulrike Klein
Einbandgestaltung: Pro ebookcovers Angie
Druck und Bindung: Wydawnictwo Poligraf sp. zo.o. (Polen)

Taschenbuch: 978-3-96645-103-1
Hardcover: 978-3-96645-055-3
E-book: 978-3-96645-027-0

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.
Alle Rechte (Übersetzung, Nachdruck und Vervielfältigung) vorbehalten. Kein Teil des Werks darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlags in irgendeiner Form – auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung- reproduziert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Dieses Buch wurde mit größter Sorgfalt erstellt, ungeachtet dessen können weder Verlag noch Autor, Herausgeber oder Übersetzer für mögliche Fehler und deren Folgen eine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung übernehmen. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären.

Raspberry Pi Kompendium

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 8

2. Geschichte 10

2.1 Ursprung und Motivation ... 10
2.2 Entwicklung der unterschiedlichen Modelle ... 14
2.3 Weitere Varianten ... 29
2.4 Zubehör ... 32
2.5 Clones und Konkurenzprodukte ... 38

3. Einrichtung 42

3.1 Vorbereitung der Hardware ... 42
3.2 Linux Distributionen für den Raspberry Pi ... 45
3.3 Image auf eine SD Karte schreiben ... 53
3.4 Installation des Betriebssystems ... 62
3.5 Bedienung des Raspberry Pi ... 67

4. Linux 77

4.1 Über Linux ... 77
4.2 Die Desktopoberfläche ... 81
4.3 Konfiguration der Netzwerk- und Funkverbindungen ... 88
4.4 Grundlagen des Dateisystems ... 95
4.5 Arbeiten mit der Kommandozeile ... 99
4.6 Arbeiten mit Texteditoren ... 108
4.7 Benutzerrechte ... 112
4.8 Zugriff auf USB-Speicher und Kartenleser ... 121
4.9 Installation von Paketen und Programmen ... 125
4.10 Prozesse ... 130
4.11 Systemstart und Cron-Jobs ... 134
4.12 Fehlersuche, Logfiles und Statusausgaben ... 143
4.13 Arbeiten mit der Netzwerkverbindung ... 148
4.14 Einrichtung und Verwendung der Remotesteuerung SSH ... 154
4.15 Für Fortgeschrittene: Wechseln zur 64-Bit-Version ... 164

5. Grundlagen der Programmierung mit Python 166

5.1 Einführung ... 166
5.2 Formatierung und Grundregeln ... 172
5.3 Variablen und Konstanten ... 177
5.4 Module ... 184
5.5 Operatoren ... 187

5.6 Ein- und Ausgabe auf der Konsole 194
5.7 Bedingungen 200
5.8 Schleifen 205
5.9 Listen und Arrays 213
5.10 Zeichenketten und deren Operationen 220
5.11 Funktionen 230
5.12 Lesen und Schreiben von Dateien 237
5.13 Objektorientierte Programmierung 243
5.14 Grafische Ein- und Ausgabe 252
5.15 Ausblick: Programmierung in anderen Sprachen 267

6. Elektronik 271

6.1 Grundlagen 271
6.2 Übersicht der Bauelemente 277
6.3 Breadboard Prototyping 293
6.4 GPIO-Verwendung 299
6.5 Erweiterungen, HATs 308

7. Anzeigeelemente, Displays, LEDs 315

7.1 Leuchtdioden 315
7.2 Segmentanzeigen 318
7.3 Punkt-Matrix-Elemente 321
7.4 Zeichendisplays 327
7.5 Pixeldisplays 331

8. Sensoren 336

8.1 Temperaturfühler 336
8.2 Feuchtigkeitssensoren 337
8.3 Schallsensoren 342
8.4 Ultraschallsensoren 345
8.5 Photosensoren 349
8.6 Erschütterungssensoren 353
8.7 Hall-Sensoren 355
8.8 Reed-Switches 357
8.9 Bewegungssensoren 358
8.10 Lagesensoren 361
8.11 Beschleunigungssensoren 362
8.12 Weitere Sensoren 365

9. Aktoren 367

9.1 Elektromotoren 367
9.2 Bürstenlose Elektromotoren 371
9.3 Schrittmotoren 375
9.4 Servomotoren 380

9.5 Solenoide 383

10. Beispiele für erste eigene Projekte 387

11. Projekt: Netzwerkspeicher 389

12. Projekt: Media-Center 403

13. Projekt: MP3-Player mit Audio HAT 416

14. Projekt: Roboter 426

15. Projekt: Smart Mirror 441

16. Projekt: Game Streaming 450

17. Projekt: Distanzsensor mit Display 458

18. Projekt: Digitaler Bilderrahmen 469

19. Projekt: Wetterstation mit Webinterface 480

20. Projekt: RGB Matrix Display 494

21. Schlussbemerkung 505

22. Anhang: Bildquellen 506

23. Index 508

24. Autorenprofil 512

Alle Programmcodes aus diesem Buch sind als PDF zum Download verfügbar. Dadurch müssen Sie sie nicht abtippen:
https://bmu-verlag.de/raspberry-pi-kompendium/

Außerdem erhalten Sie die eBook Ausgabe zum Buch im PDF Format kostenlos auf unserer Website:

https://bmu-verlag.de/raspberry-pi-kompendium/
Downloadcode: siehe Kapitel 20

Kapitel 1
Einleitung

Fast jeder hat heutzutage einen kleinen Computer in der Tasche: Smartphones haben die Welt im Sturm erobert und sind omnipräsent geworden. Aus dem modernen Alltag sind sie nicht mehr wegzudenken. Unter einem modernen Computer versteht heute fast jeder ein Notebook oder auch ein Smartphone. Der Gedanke an alte, gelb-gräuliche Desktop-PCs gerät immer weiter in Vergessenheit.

Das klassische Gerät auf (oder unter) dem Schreibtisch ist aber lange noch nicht obsolet, denn für viele Aufgaben und Projekte ist es unersetzlich. Das gilt vor allem für solche Projekte, die über Freizeitbeschäftigungen hinausgehen. Nimmt man nur einmal die üblichen Office-Arbeiten als Beispiel, dann ist schon das Schreiben eines längeren Dokuments keine Aufgabe, die man auf einem handtellergroßen Touchscreen erledigen möchte.

Nun stehen einem interessierten Anwender natürlich nicht nur Notebook und Smartphone zur Verfügung. Vor allem wenn man nicht nur die üblichen Anwendungen zu Text- und Datenverarbeitung wie Word oder Excel und die Freizeitanwendungen wie Filme und Internet im Kopf hat, sondern das Interesse an der Technik vorherrscht.

Gerade experimentierfreudige Bastler stoßen bei einem normalen Desktoprechner schnell an die Grenzen, wenn es darum geht, zusätzliche Geräte, Sensoren oder andere Hardware anzuschließen, die keine genormte Massenware ist. In diesem Fall ist der Wunsch nach einem Gerät da, das ein hohes Maß an Konfigurationsoptionen und Erweiterkeit bietet. Glücklicherweise gibt es hier schon seit einiger Zeit eine kompakte Lösung, die sich sowohl für Einsteiger als auch für Profis eignet und endlose Möglichkeiten zum Experimentieren und Lernen bietet.

Die Rede ist vom Raspberry Pi. Dies ist ein Computer, der aus einer einzigen Platine besteht und nur etwa die Größe einer Kreditkarte hat. Schließt man Monitor, Tastatur und Maus an, hat man trotzdem einen kompletten Desktop-PC.

Der erschwingliche Preis und die kompakte Größe des Raspberry Pi machen ihn zum perfekten Werkzeug für alle, die gerne basteln, programmieren oder Musik machen.

Wie einfach der Einstieg hier sein kann, möchten wir in diesem Buch zeigen. Nach ein paar Hintergrundinformationen zum Raspberry Pi, den verschiedenen Modellen und der Organisation dahinter erklären wir, nach welchen Kriterien man die passende Variante für das eigene Vorhaben auswählen kann und wie man eines der zahlreichen Betriebssysteme installiert.

Nach einem Einstieg in die Bedienung des Betriebssystems Linux gibt es eine Einführung in die Programmierung mit Python, um dem Leser die Umsetzung komplexerer eigener Projekte zu erleichtern. Hierbei kann das Gelernte jeweils mit passenden Übungsaufgaben vertieft und die eigenen Lösungen mit den Musterlösungen verglichen werden.

Bevor Sie sich dann in die eigenen Projekte stürzen, geben wir Ihnen einige Projektbeispiele an die Hand, die mithilfe des Gelernten umgesetzt werden können. Wir erheben mit diesem Buch keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit, vielmehr wollen wir Ihnen ein Grundwissen vermitteln, mit dem Sie in die Welt des Raspberry Pi starten können.

Kapitel 2
Geschichte

2.1 Ursprung und Motivation

Einige Jahre nach der Jahrtausendwende sanken die Einschreibungszahlen der Informatikstudiengänge an der Universität von Cambridge in England auf ungefähr ein Drittel der bis dahin üblichen Zahlen. Eine Gruppe um den späteren Mitgründer der Raspberry Pi Foundation, Eben Upton, nahm sich damals vor, diesem Trend entgegenzuwirken.

Die Idee war einfach: Genauso wie in den 1980er Jahren das Aufkommen der ersten Heimcomputer vielen Kindern den spielerischen Einstieg in den Umgang mit Computern und das Programmieren ermöglicht hat, sollte eine Hardwareplattform geschaffen werden, die wieder einen ähnlichen Effekt hat. Die Plattform bekam den Namen Raspberry Pi.

Als Vorlage diente der BBC Micro, ein 8-Bit „Home-Computer" aus den frühen 1980er Jahren. Der Hersteller war die BBC (British Broadcasting Corporation) und diese könnte eventuell ein guter Partner bei der Vermarktung der neuen Platform werden. Wie der BBC Micro sollte der Raspberry Pi reguläre PCs nicht ersetzen, sondern als Ergänzung dienen und die Nutzer zum Experimentieren und ersten Programmierversuchen anregen.

Die ersten Prototypen wurden 2006 noch auf Basis von Mikrocontrollern entwickelt. Da die verwendeten Atmel[1] ATmega644 Chips deutlich simpler als die später verwendeten Prozessoren waren, genügte eine einlagige Lochrasterplatine zum Aufbau. Der einfache Aufbau führte

[1] Atmel war ein amerikanischer Hersteller von Mikrocontrollern. 2016 wurde Atmel von Microchip Technology übernommen.

aber leider zu einer relativ niedrigen Leistungsfähigkeit, mit der kaum einer der am Projekt Beteiligten zufrieden war.

Abhilfe kam durch den zu dieser Zeit rasant wachsenden Smartphone-Markt, denn für die immer kompakteren und leistungsfähigeren Mobiltelefone mussten auch entsprechend kleinformatige Prozessoren entwickelt werden. Mit dem BCM2835 SoC (System on Chip) von Broadcom gab es bald eine kostengünstige und vergleichsweise sehr leistungsfähige Alternative zum Atmel Chip.

Abb. 2.1 Das SoC Paket auf einem Raspberry Pi 4 B

Diese Prozessoren boten eine höhere Leistungsfähigkeit, außerdem handelte es sich hierbei um ein sog. „System on Chip“. Dadurch waren einige Änderungen notwendig. Da hier alle Komponenten und Schnittstellen aus einem Baustein kamen, ließ sich der Aufbau nicht mehr als einlagige Platine ausführen – die neuen Prototypen mussten mehrlagig angelegt werden. Zum Vergleich: Die Bauform des Atmega644 hat 44 Anschlusspins, beim BCM2835 sind es bereits über 300.

Neben den physikalischen Modifikationen musste auch auf der Softwareseite einiges an Zusatzaufwand betrieben werden. Da der neu ge-

wählte Chip ein ARM[2] Prozessor war, musste auch ein passendes Betriebssystem geschaffen werden. Eben Upton nahm dazu Kontakt mit der RISC OS-Community auf und konnte dort unter anderem einen Broadcom-Mitarbeiter für das Projekt begeistern. Die zu dieser Zeit entwickelte Variante des RISC OS-Betriebssystems wurde später in das heute sehr populäre NOOBS-Betriebssystem integriert.

Mit neuer Hardware, einem neuen Betriebssystem und neuem Layout konnte dann ein deutlich leistungsfähigerer Prototyp entwickelt werden, von dem 2011 circa 50 Exemplare ausgegeben wurden. Bei diesen Modellen war die Platine größer als bei den späteren Verkaufsmodellen, da zusätzliche Schnittstellen zur Fehlererkennung der Hardware untergebracht wurden. Auf diesen Vorab-Boards konnte aber bereits die Leistungsfähigkeit demonstriert werden, indem verschiedene Linux-Distributionen, 3D-Computerspiele und hochauflösende Videos gezeigt wurden.

Ursprünglich hatt man ja vor allem das Ziel, den sinkenden Einschreibungszahlen entgegenzuwirken. Dazu sollten ungefähr Tausend Einheiten produziert und verkauft werden. Die Zielgruppe waren interessierte Kinder und Jugendliche, andere Absatzmärkte waren bis dahin nicht in Betracht gezogen worden.

Mit der Maker Faire[3] 2011 in New York sollte sich das allerdings schlagartig ändern.

Auf diesem Event konnte Upton sehen, wie sehr die Integration von Mikroelektronik in sehr unterschiedliche Projekte zugenommen hatte. Zu sehen waren nicht nur Projekte aus den Händen von Erwachsenen,

---

[2] ARM ist die Abkürzung für Advanced RISC Machine bzw. Acorn RISC Machine und bezeichnet eine Prozessorfamilie, die auf einer Architektur mit dem Kürzel RISC aufbaut. RISC steht für Reduced Instruction Set Computing und ist eine Alternative zur x86 / x64 Architektur, die die meisten modernen Computer und Notebooks verwenden.

[3] Die Maker Faire ist eine Veranstaltung des Make Magazins, die in verschiedenen amerikanischen Städten seit 2006 stattfindet und das Ziel hat, Kunst, Handwerk, Wissenschaftsprojekte und den DIY-Gedanken zu fördern. Seit 2013 gibt es eine Variante der Veranstaltung in Deutschland.

sondern auch Kinder, die ihre Spielzeuge mithilfe von Mikrocontrollern automatisiert hatten. Das Interesse an Projekten, die mit kompakter Rechenkraft realisieren werden sollten, war in der Maker-Szene deutlich höher als Upton es erwartet hatte.

Dieses Interesse spiegelte sich in der Nachfrage wieder. Daraufhin entschloss sich die 2009 gegründete Raspberry Pi Foundation dazu, ihr Produkt in die Massenfertigung zu bringen, anstatt wie geplant lediglich 1000 Exemplare herzustellen.

Bereits zum Verkaufsstart im Februar 2012 konnten 10 000 Exemplare verkauft werden, bis zum Ende des Jahres war die Millionenmarke fast erreicht. Im Folgejahr konnte diese Zahl nochmals mehr als verdoppelt werden, sodass zum zweijährigen Jubiläum bereits über zweieinhalb Millionen Raspberry Pi-Computer in den Modellvarianten 1 A und 1 B verkauft waren.

Ebenfalls 2014 wurden die Modelle 1 A+ und 1 B+ veröffentlicht, insgesamt wurden so bis zum Verkaufsstart des Raspberry Pi 2 im Februar 2015 über vier Millionen Einheiten abgesetzt. Zusammen mit dem Pi Zero, der ebenfalls 2015 herausgebracht wurde, stieg die Zahl auf 8 Millionen, dies war der Stand bei derVeröffentlichung des Pi 3 im Februar 2016.

Nach etwas mehr als vier Jahren wurde am 9.9.2016 dann die Zahl von zehn Millionen Verkäufen erreicht. Eine beeindruckende Zahl, doch die Wachstumsrate der Verkäufe sollte in den kommenden Jahren noch lange nicht nachlassen.

Bis zum nächsten Modell dauerte es etwas länger, genauer gesagt bis in den März 2018. Mit der Veröffentlichung des Pi 3 B+ war dann bereits die Verkaufszahl von 19 Millionen überschritten.

Im März 2019 verkündete die Raspberry Pi Foundation den Verkauf von 25 Millionen Einheiten.

In nur sieben Jahren ist aus dem Versuch, mit einer kleinen vierstelligen Zahl an kompakten Rechnern die Studierendenzahlen einer Universität in England aufzubessern, ein Projekt geworden, das die Maker und DIY-Szene weltweit nicht nur unterstützt, sondern massiv vergrößert hat. Die Raspberry-Pi-Rechner sind etwas so groß wie eine Kreditkarte.

In all ihrer Modellvielfalt tragen sie nicht nur zu Bastelprojekten bei, sondern sind für die Wissenschaft im Einsatz, finden in Kunstprojekten Verwendung, steuern Industriemaschinen oder ermöglichen Schülern den Einstieg in STEM[4]-Themengebiete.

Im Juni 2019 wurde schließlich der Raspberry Pi 4 veröffentlicht. Auf dem gleichen Preisniveau und im gleichen Formfaktor wie seine Vorgänger, bietet der Pi 4 eine deutlich höhere Leistung, die für die Zukunft weitere Einsatzmöglichkeiten eröffnen wird. Es bleibt also auch hier weiterhin spannend.

2.2 Entwicklung der unterschiedlichen Modelle

2.2.1 Raspberry Pi 1 Modell B, Februar 2012

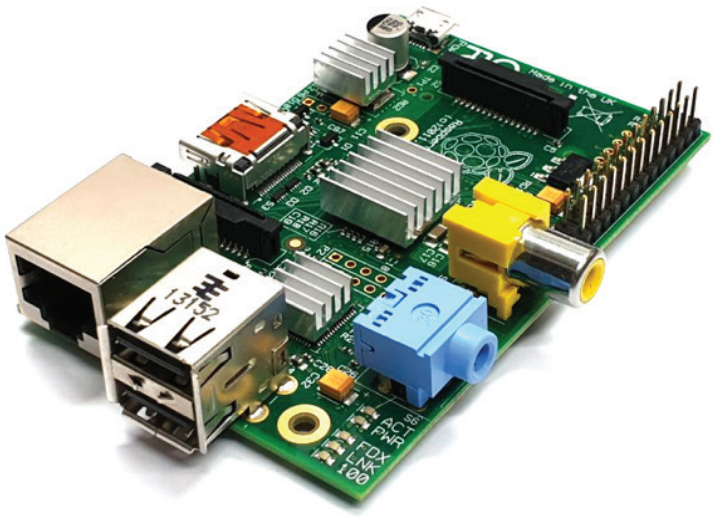

Abb. 2.2 Raspberry Pi 1 Modell B mit Aluminiumkühlkörpern[5]

[4] STEM steht für Science, Math, Engineering and Technologie – übersetzt also Wissenschaft, Mathematik, Ingenieurswissenschaften und Technologie (Deutsch: MINT-Fächer).

[5] Kühlkörper wurden oft nachträglich aufgebracht, um die Lebensdauer der Komponenten zu steigern.

- 93 mm x 63,5 mm x 20 mm (L x B x H)
- CPU: Single Core BCM2835 SoC, 700 MHz
- GPU: Broadcom Dual Core Video Core, 250 MHz
- Arbeitsspeicher: 256 Mb, ab Oktober 2012: 512 Mb
- Netzwerk: 10/100 Mbit/s Ethernet
- Preisempfehlung: 35 $[6]

Im Vergleich zu seinen Nachfolgern erscheint das erste Modell noch sehr spartanisch ausgerüstet. Zu Beginn hatte es lediglich 256 Mb Arbeitsspeicher, dies wurde im Oktober 2012 mit einem Upgrade auf 512 Mb aufgestockt. Das Betriebssystem wird auf einer SD-Karte untergebracht, die seitlich deutlich über die Platine hinausragt. Da die CPU im BCM2835 lediglich 32-Bit-fähig ist, können auch nur Betriebssysteme verwendet werden, die darauf ausgelegt sind.

An internen Anschlüssen bringt der Pi 1B insgesamt 26 Pins mit, von denen 17 als GPIO[7] verwendet werden können. Darüber hinaus gibt es Schnittstellen, um über Flachbandkabel Kamera oder Display direkt mit der Platine zu verbinden.

Weitere Optionen für den Anschluss von Anzeigegeräten sind ein HDMI Typ A und ein Composite Video Port. Audiosignale werden entweder über die HDMI-Verbindung oder einen 3-poligen analogen Anschluss ausgegeben. Die maximale unterstützte Auflösung für Anzeigegeräte ist Full-HD (1920 x 1080 Pixel)

Kabellose Verbindungen wie Bluetooth oder W-Lan sind in diesem Modell noch nicht vorhanden. Externe Geräte können über zwei USB 2.0-Anschlüsse mit dem Pi verbunden werden.

Die Stromversorgung erfolgt über einen Micro-USB-Anschluss und benötigt 5 Volt bei maximal 700 Milliampere.

---

[6] Alle Preisempfehlungen sind in US Dollar angegeben und beziehen sich auf den Nettopreis. Die landesüblichen Mehrwertsteuern und andere Abgaben sind nicht mit eingerechnet.

[7] GPIO General Purpose Input/Output – Pins deren Funktion über ein Skript oder Programm von Benutzer frei gewählt werden kann.

2.2.2 Raspberry Pi 1 Modell A, Februar 2013

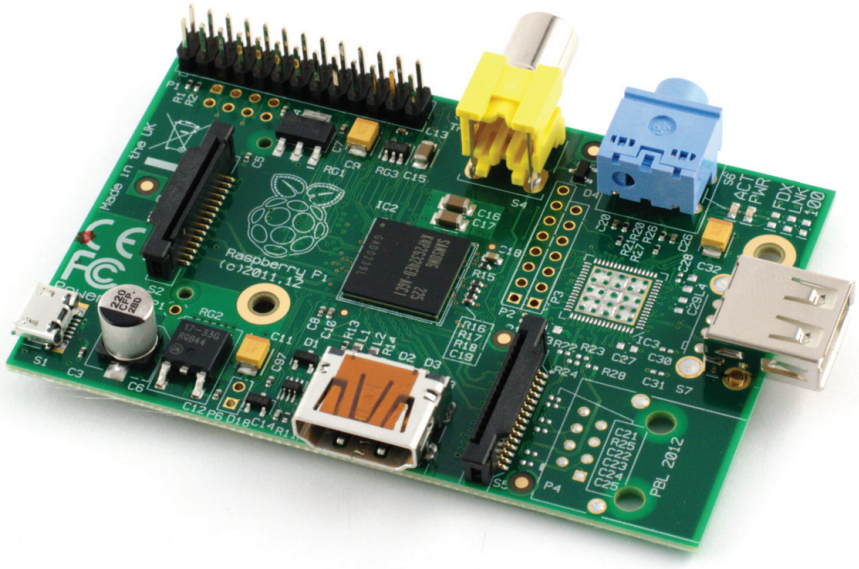

Abb. 2.3 Raspberry Pi 1 Modell A

- 93 mm x 63,50 mm x 17 mm (L x B x H)
- CPU: Single Core BCM2835 SoC, 700 MHz
- GPU: Broadcom Dual Core Video Core, 250 MHz
- Arbeitsspeicher: 256 Mb
- Netzwerk: nicht vorhanden
- Preisempfehlung: 25 $

Dieses Modell gleicht in den meisten Leistungsdaten seinem Vorgänger, spart jedoch ein paar Features ein: Ein USB Port und der Netzwerkanschluss wurden entfernt und der Arbeitsspeicher wieder auf 256 Mb reduziert.

Dadurch wurde ein günstigerer Preis und eine geringere Stromaufnahme von nur noch 500 mA bei 5 V erreicht.

2.2.3 Raspberry Pi 1 Modell B+, Juli 2014

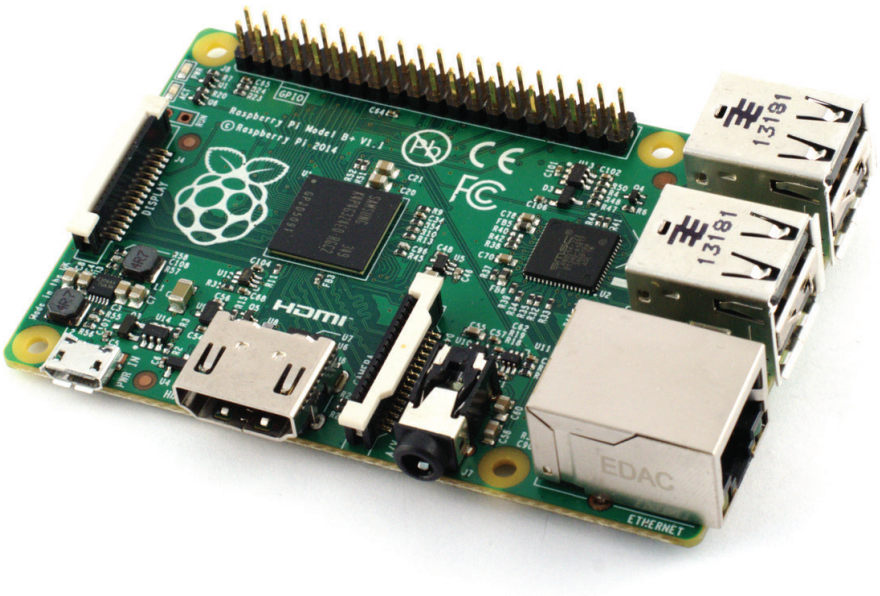

Abb. 2.4 Raspberry Pi 1 Modell B+

- 93 mm x 63,5 mm x 20 mm (L x B x H)
- CPU: Single Core BCM2835 SoC, 700 MHz
- GPU: Broadcom Dual Core Video Core, 250 MHz
- Arbeitsspeicher: 512 Mb
- Netzwerk: 10/100 Mbit/s Ethernet
- Preisempfehlung: 35 $

Gegenüber dem Vorgänger wurde die Anzahl an Pins auf dem Board auf 40 erhöht, von diesen können nun 26 als GPIO verwendet werden.

Es gibt bei diesem Modell nun vier USB 2.0 Ports. Statt eines 3-poligen Audio-Anschlusses wird ein 4-poliger Anschluss verwendet.

Die Stromaufnahme wurde um ca. 100 Milliampere gesenkt und statt der großen SD-Karten werden jetzt microSD-Karten genutzt.

2.2.4 Raspberry Pi 1 Modell A+, November 2014

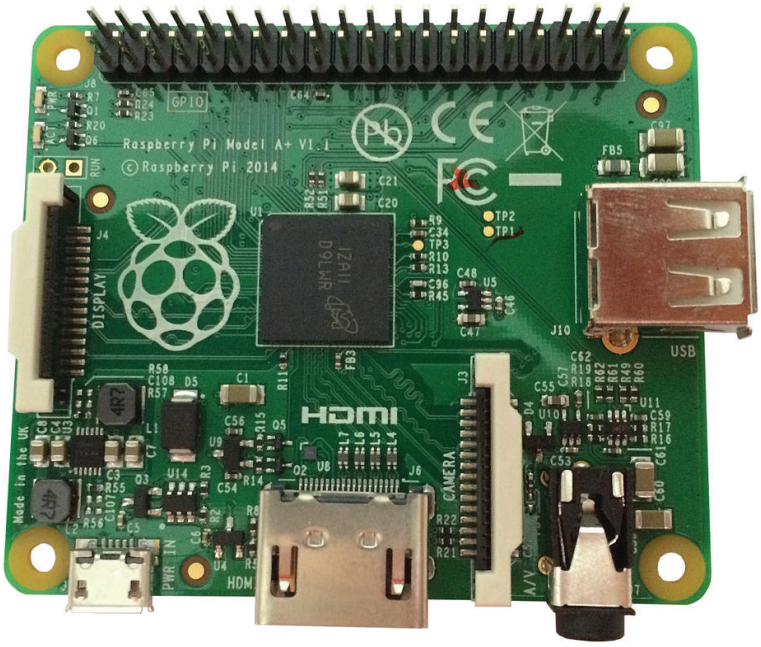

Abb. 2.5 Raspberry Pi 1 Modell A+

- 70,4 mm x 57,2 mm x 10 mm (L x B x H)
- CPU: Single Core BCM2835 SoC, 700 MHz
- GPU: Broadcom Dual Core Video Core, 250 MHz
- Arbeitsspeicher: 256 Mb, ab August 2016: 512 Mb
- Netzwerk: n.V.
- Preisempfehlung: 20 $

Wie auch der Pi 1B+ erhält diese Variante ein Upgrade auf 40 Pins, davon ebenfalls 26 als GPIO nutzbar. Ebenso wurde hier der Audio-Anschluss auf eine 4-polige Verbindung geändert.

Auch hier werden nun microSD-Karten verwendet.

Die Leistungsaufnahme konnte mit dieser Variante gegenüber dem Pi 1 A mehr als halbiert werden.

2.2.5 Raspberry Pi 2 Modell B, Februar 2015

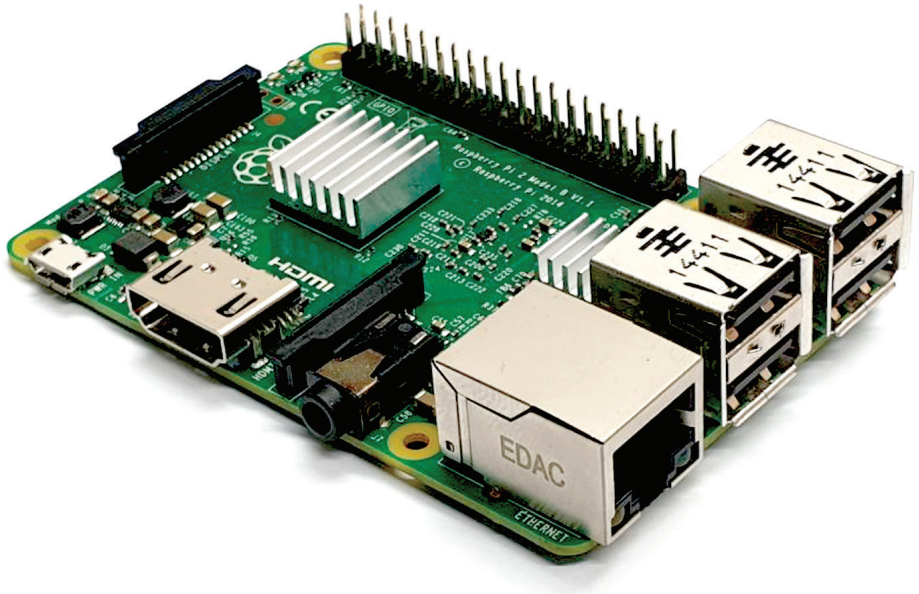

Abb. 2.6 Raspberry Pi 2 Modell B mit Aluminiumkühlkörpern

- 93 mm x 63,5 mm x 20 mm (L x B x H)
- CPU: Quad Core BCM2836 SoC, 900 MHz
- GPU: Broadcom Dual Core Video Core, 250 MHz
- Arbeitsspeicher: 1024 Mb
- Netzwerk: 10/100 Mbit Ethernet
- Preisempfehlung: 35 $

Mit der zweiten Modellreihe erfolgt der Umstieg vom Single Core BCM2835 auf den Quad Core BCM2836 Chip mit einem höheren Kerntakt[8]. Erwartungsgemäß ist damit die Rechenleistung des Raspberry Pi 2 deutlich höher, sowohl bei Anwendungen, die nur einen Kern benötigen als auch bei solchen, die alle vier Kerne gleichzeitig verwenden.

[8] Der Kerntakt bestimmt, wieviele Operationen der Prozessor pro Sekunde ausführen kann.

Erkauft wird dieser Gewinn mit einer deutlich höheren Leistungsaufnahme. Im Vergleich zum direkten Vorgänger 1 B+ sind es ungefähr 200 mA mehr, insgesamt damit bis zu 800 mA. Dies macht die Auswahl eines passenden Netzteils etwas aufwändiger.

Ein Vorteil dieses Modell ist der vergleichsweise große Arbeitsspeicher, der nun nicht mehr 512 Mb umfasst, sondern auf 1024 aufgestockt wurde.

Nahezu alle Schnittstellen sind im Vergleich zum Vorgängermodell gleich geblieben und auch die Anzahl der USB Ports ist unverändert.

Kabellose Verbindungsoptionen gibt es auch in dieser Iteration noch nicht.

Ab dem Pi 2 Modell B sind nicht nur die bekannten Linux Betriebssysteme, sondern auch Windows 10 IoT Core[9] auf dem Rechner lauffähig.

2.2.6 Raspberry Pi Zero, November 2015

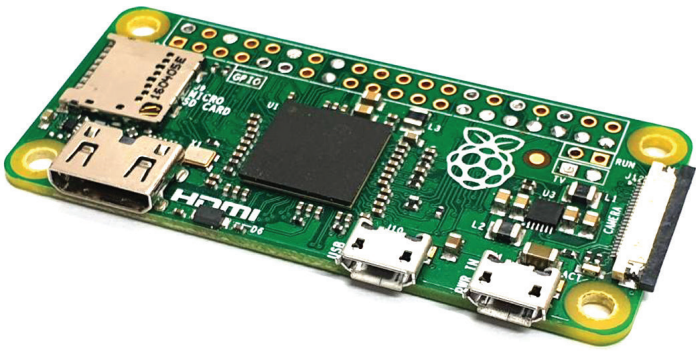

Abb. 2.7 Raspberry Pi Zero

- 65 mm x 31,2 mm x 5 mm (L x B x H)

[9] Windows 10 IoT ist eine Version von Windows, die für den Bereich IoT bzw. Internet of Things (Das Internet der Dinge) vorgesehen ist. Die vorgesehenen Einsatzzwecke liegen in der Heimautomation, bei Überwachungssystemen usw. Die Core Variante von Windows 10 IoT ist kostenfrei.

- CPU: Single Core BCM2835 SoC, 1000 MHz
- GPU: Broadcom Dual Core Video Core, 400 MHz
- Arbeitsspeicher: 512 Mb
- Netzwerk: n.V.
- Preisempfehlung: 5 $

Der Pi Zero ist die kompakte und kostengünstige Variante der Raspberry-Reihe. Auf das nötigste reduziert, stellt er dennoch mehr Rechenpower bereit als die 1 B/+ und 1 A/+ Varianten. Dies wird durch eine schneller getaktete CPU und GPU erreicht.

Äußerlich ist auf den ersten Blick erkennbar, dass hier nicht nur die Netzwerkschnittstelle, sondern auch die USB A Ports, die Audioschnittstelle und der Flachbandkabelverbinder für den Anschluss eines Displays weichen mussten.

Anstelle des großen HDMI-Anschlusses ist ein Mini-HDMI verbaut. Das analoge Video-Signal kann nur über Pads direkt auf der Platine erreicht werden.

Für die Stromversorgung gibt es nach wie vor einen Micro-USB Anschluss, für alle externen Geräte gibt es einen Micro-USB OTG[10] Port.

Die Anzahl der Verbindungspins ist gleich geblieben, es gibt insgesamt 40, von denen 26 als GPIO zur Verfügung stehen.

Wie auch alle bisherigen Modelle bietet der Pi Zero keinerlei kabellose Verbindungsoptionen.

[10] USB OTG bzw. On-The-Go ist eine Erweiterung des USB Standards die es Geräten ermöglich direkt miteinander zu kommunizieren.

2.2.7 Raspberry Pi 3 Modell B, Februar 2016

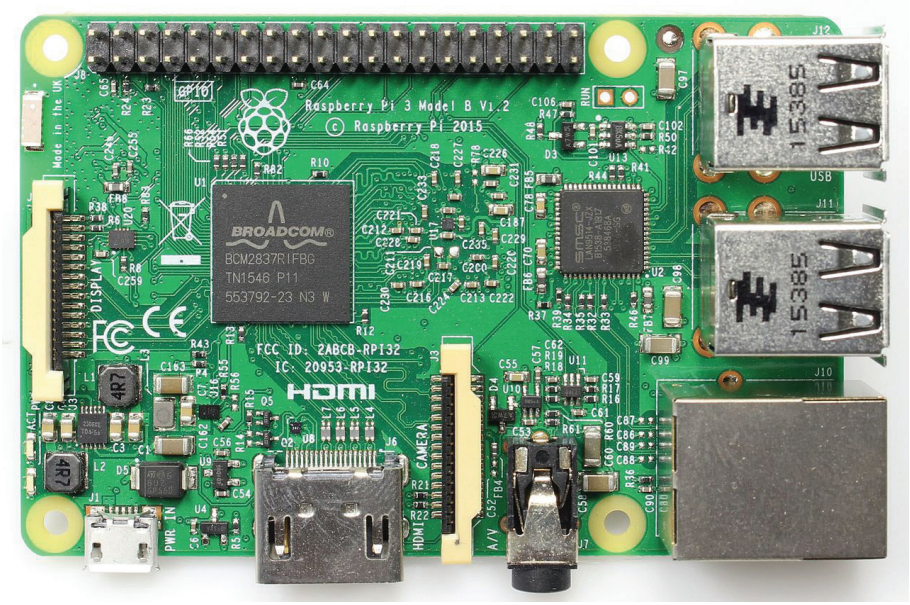

Abb. 2.8 Raspberry Pi 3 Modell B

- 93 mm x 63,5 mm x 20 mm (L x B x H)
- CPU: Quad Core BCM2837 SoC, 1200 MHz
- GPU: Broadcom Dual Core Video Core, 300 MHz (3D Core), 400 MHz (Video Core)
- Arbeitsspeicher: 1024 Mb
- Netzwerk: 10/100 Mbit Ethernet
- Funkverbindung: Bluetooth 4.1 LE, W-Lan 2.4 GHz b/g/n, 5 GHz n[11]
- Preisempfehlung: 35 $

Nur wenige Monate nach dem kleinen Pi Zero wurde die nächste Modellreihe des „großen Bruders“ veröffentlicht.

[11] Die IEEE 802.11 b/g/n Standards beschreiben W-Lan Verbindungen mit unterschiedlichen maximalen Übertragungsraten im 2.4 GHz (b/g/n) und 5 GHz Bereich (n). 802.11b ermöglicht bis zu 11 Mbit/s, 802.11g erhöht das Limit auf 54 Mbit/s und 802.11n erreicht bis zu 150 Mbit/s auf 2.4 GHz sowie 433 Mbit/s auf 5 GHz.

Mit der nächsten Generation des SoC Chips, dem BCM2837, konnte die Leistung nochmals um 50 % gesteigert werden. Dank der nun 64-Bit-fähigen CPU kann auch erstmals Android als Betriebssystem installiert werden.

Die weiteren Anschlussoptionen gleichen dem Vorgänger, allerdings gibt es in dieser Variante erstmalig integrierte Funkverbindungen.

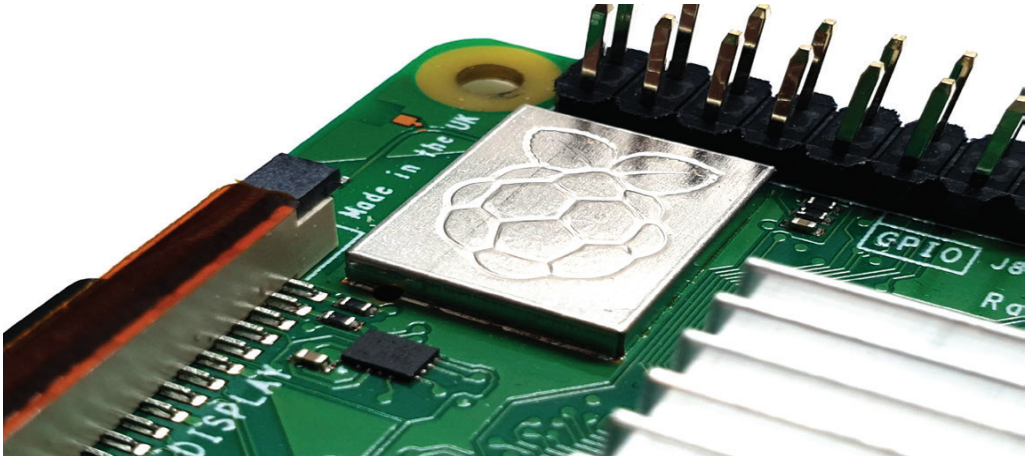

Abb. 2.9 Funkmodul mit Raspberry Logo

Ein kombinierter Chip von Broadcom stellt nicht nur Bluetooth in der Version 4.1 LE[12], sondern auch W-Lan im 2,4-und 5-GHz-Bereich nach den Standards 802.11b/g/n bereit.

Die Leistungsaufnahme ist mit 800 mA gegenüber dem Pi 2 B gleichgeblieben.

2.2.8 Raspberry Pi 2 Modell B v1.2, September 2016

- 93 mm x 63,5 mm x 20 mm (L x B x H)
- CPU: Quad Core BCM2837 SoC, 900 MHz
- GPU: Broadcom Dual Core Video Core, 250 MHz

[12] LE steht hier für Low Energie und bezeichnet einen besonders sparsamen Funkmodus für Bluetoothgeräte. Dieser Standard ist nicht mit älteren Geräten rückwärtskompatibel und ist auch in der Reichweite auf etwa 10 Meter beschränkt.

- Arbeitsspeicher: 1024 Mb
- Netzwerk: 10/100 Mbit Ethernet
- Preisempfehlung: 35 $

Die Version 1.2 ist eine kleinere Revision gegenüber dem Pi 2 B. Die Leistungsdaten sind nahezu identisch. Geändert wurde nur der SoC.

Anstelle des BCM2836 kommt nun der Nachfolger BCM2837 zum Einsatz, der den Pi 2 nun 64-Bit-fähig macht, ebenso wie auch schon den Pi 3 Modell B. Kerntakt und Arbeitsspeicher bleiben unverändert.

2.2.9 Raspberry Pi Zero W (WH), Februar 2017

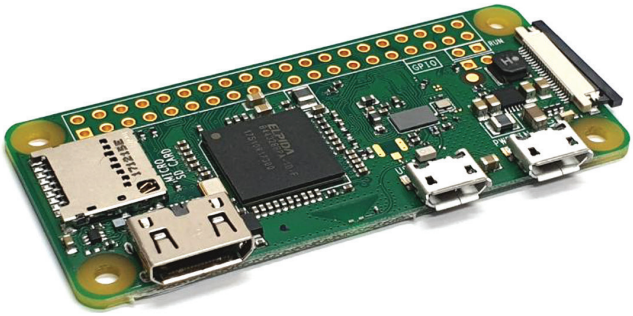

Abb. 2.10 Raspberry Pi Zero W

- 65 mm x 31,2 mm x 5 mm (L x B x H)
- CPU: Single Core BCM2835 SoC, 1000 MHz
- GPU: Broadcom Dual Core Video Core, 400 MHz
- Arbeitsspeicher: 512 Mb
- Netzwerk: n.V.
- Funkverbindung: Bluetooth 4.1 LE,
  W-Lan 2.4 GHz b/g/n
- Preisempfehlung: 5 $

Im Frühjahr 2017 erhält dann auch der Pi Zero ein kleines Lifting. Zusätzlich zu den bereits vorhandenen Features gibt es nun auch im „kleinen“ Pi ein kombiniertes Funkmodul für W-Lan und Bluetooth.

Eine zweite Variante mit der Bezeichnung WH mit aufgelötetem Pin-Header ist später ebenfalls verfügbar.

2.2.10 Raspberry Pi 3 Modell B+, März 2018

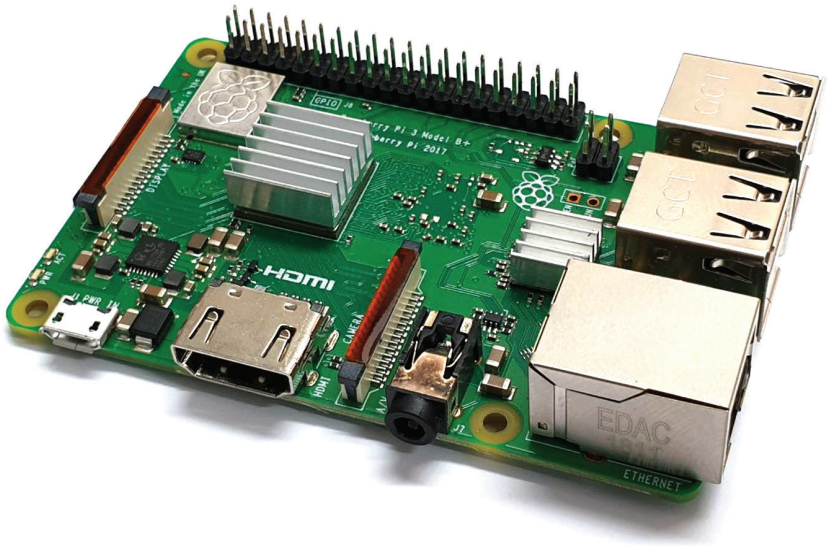

Abb. 2.11 Raspberry Pi 3 Modell B+ mit Aluminiumkühlkörpern

- 93 mm x 63,5 mm x 20 mm (L x B x H)
- CPU: Quad Core BCM2837B0 SoC, 1400 MHz
- GPU: Broadcom Dual Core Video Core, 300 MHz (3D Core), 400 MHz (Video Core)
- Arbeitsspeicher: 1024 Mb
- Netzwerk: 10/100/1000 Mbit Ethernet

- Funkverbindung: Bluetooth 4.2 LE,
  W-Lan 2.4 GHz/5 GHz ac[13]
- Preisempfehlung: 35 $

Mit einer Revision des SoC konnte in der Pi 3 B+-Variante der Kerntakt noch einmal gesteigert werden. Die CPU arbeitet noch effizienter und kann durch einen eingebauten Heatspreader[14] die entstehende Wärme besser abgeben.

Mit einer modernen Variante des Broadcom-Funkchips sind nun auch Bluetooth 4.2 LE und W-Lan-Verbindungen nach dem 802.11ac Standard möglich.

Die kabelgebundene Netzwerkverbindung beherrscht auch den Gigabit-Ethernet-Standard und kann bis zu 1 Gb/s übertragen.

Durch diese Neuerungen steigt die Stromaufnahme auf den bisher höchsten Wert von 1400 mA.

[13] Der IEEE 802.11 ac Standard beschreibt W-Lan Verbindungen im 5-GHz-Bereich, die bis zu 1300 MBit pro Sekunde übertragen können.

[14] Ein Heatspreader ist ein metallener Deckel für Prozessoren, mit dem die Abwärme besser verteilt und abgegeben werden kann.

2.2.11 Raspberry Pi 3 Modell A+, November 2018

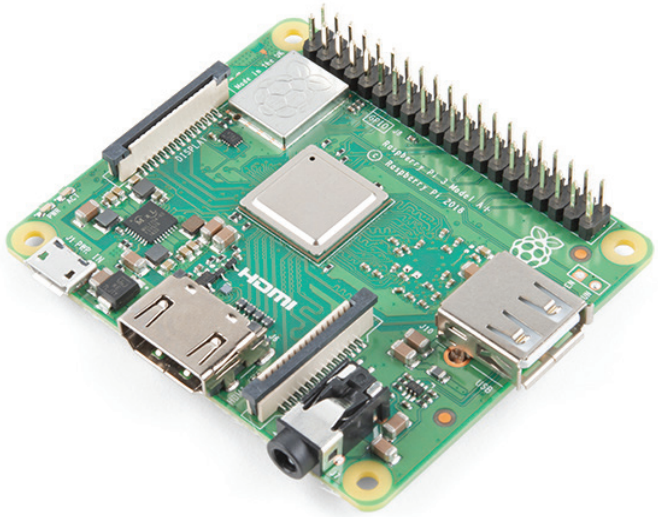

Abb. 2.12 Raspberry Pi 3 Modell A+

- 73 mm x 63,5 mm x 10 mm (L x B x H)
- CPU: Quad Core BCM2711 SoC, 1400 MHz
- GPU: Broadcom Dual Core Video Core, 300 MHz (3D Core), 400 MHz (Video Core)
- Arbeitsspeicher: 512 Mb
- Netzwerk: n.V.
- Funkverbindung: Bluetooth 4.2 LE, W-Lan 2.4 GHz/5 GHz ac
- Preisempfehlung: 25 $

Nachdem die Reihe der Raspberry Pi 2 ohne die Budgetvariante A auskommen musste, gibt es Ende 2018 auch hierzu wieder eine reduzierte Variante.

Wie schon bei den Pi 1 A/+-Exemplaren wurden hier einige Features gestrichen, um die Produktionskosten zu senken: Entfernt wurden drei

von vier USB 2.0 Anschlüssen und der Netzwerkanschluss. Außerdem wurde der Arbeitsspeicher von 1024 Mb auf 512 Mb reduziert.

Die Leistungsaufnahme ist etwas höher als die des Pi 3 B und kommt auf ca. 810 mA.

2.2.12 Raspberry Pi 4 Modell B, Juni 2019

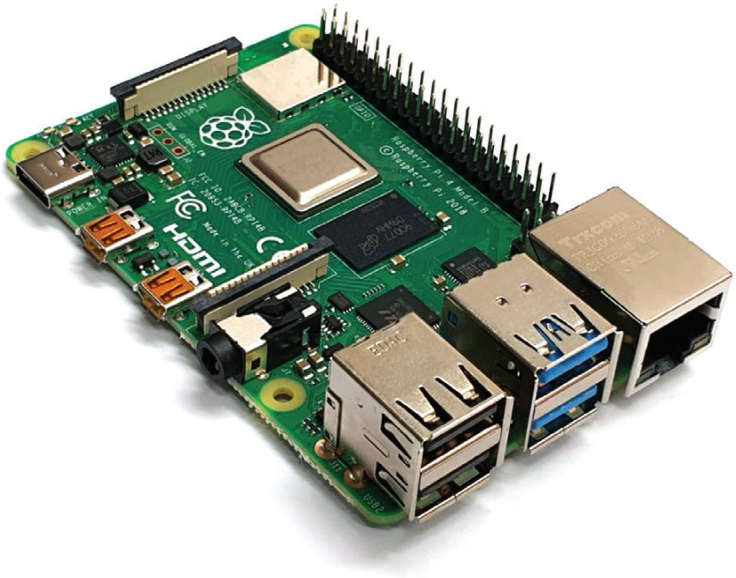

Abb. 2.13 Raspberry Pi 4 Modell B

- 93 mm x 63,5 mm x 20 mm (L x B x H)
- CPU: Quad Core BCM2711 SoC, 1500 MHz
- GPU: Broadcom Dual Core Video Core, 500 MHz
- Arbeitsspeicher: 1024 Mb, 2048 Mb, 4096 Mb
- Netzwerk: 10/100/1000 Mbit Ethernet
- Funkverbindung: Bluetooth 5.0 LE,
  W-Lan 2.4 GHz/5GHz b/g/n/ac
- Preisempfehlung: 35 $, 45 $, 55 $

Mitte 2019 wurde vorzeitig der Pi 4 veröffentlicht, ursprünglich sollte er nicht vor 2020 erscheinen. Er enthält zahlreiche Änderungen gegenüber seinen Vorgängern.

Mit der aktuellen BCM2711-Variante des SoC wurde nicht nur erneut der Kerntakt angehoben, es wurden auch eine ganze Reihe an modernen Features auf die Raspberry Plattform gebracht.

Die auffälligsten Änderungen sind die verfügbaren Anschlüsse. Der „große“ HDMI Port wurde durch zwei Micro-HDMI-Anschlüsse ersetzt und zur Stromversorgung wird nun ein USB-C Stecker genutzt.

Die vier USB-Anschlüsse sind aufgeteilt: Es gibt zwei nach dem alten USB 2.0-Standard und zwei im neuen 3.0-Format.

Aber nicht nur äußerlich hat sich einiges getan. Es ist nun möglich, zwei Displays mit jeweils bis zu 4K (3840 x 2160 Pixel) anzuschließen.

Die integrierte GPU wurde ebenfalls überarbeitet und kann nun auch modernere Befehlssätze verarbeiten, sodass grundsätzlich eine bessere Performanz zur Verfügung steht.

Gegenüber dem bereits sehr hungrigen Pi 3 B+ steigt die Leistungsaufnahme noch einmal etwas an und kann nun bis zu 1500 mA erreichen.

2.3 Weitere Varianten

Zusätzlich zu den klassischen Raspberry Pi-Modellen und den etwas neueren, kompakten Raspberry Pi Zero-Platinen gibt es noch eine weitere Reihe, die eher an industrielle und wissenschaftliche Einsatzzwecke angepasst ist.

Das sogenannten „Compute Module“ ist eine kleine Platine, die stark an frühere Arbeitsspeichermodule erinnert und prinzipiell nur die absolut notwendigen Bauteile enthält.

Auch hier gab es seit 2014 verschiedene Varianten.

2.3.1 Compute Module 1, Juni 2014

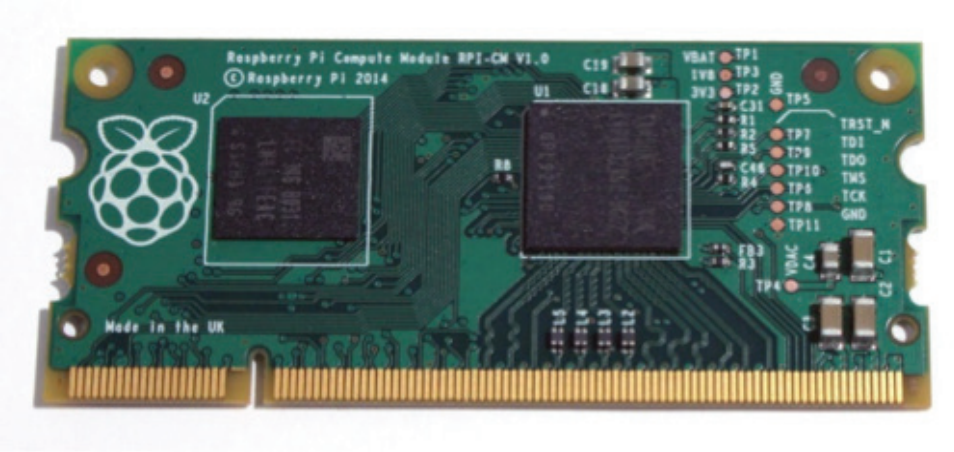

Abb. 2.14 Compute Module 1

- 67,6 mm x 30 mm x 3,7 mm (L x B x H)
- CPU: Single Core BCM2835 SoC, 700 MHz
- GPU: Broadcom Dual Core Video Core, 250 MHz
- Arbeitsspeicher: 512 Mb
- Speicher: 4 Gb
- Preisempfehlung: 30 $

An der Ausstattung erkennt man bereits, dass dieses Produkt eine andere Zielgruppe hat. Es gibt keinerlei Netzwerk- oder Funkverbindungen. Alle anderen Anschlüsse sind nur über den zum DDR2 SoDIMM kompatiblen Steckplatz zu erreichen.

Das Compute Module 1 bietet insgesamt 60 Pins, von denen 48 als GPIO verwendet werden können.

Es kann mit unterschiedlichen Spannungen zwischen 1,8 Volt und 5 Volt betrieben werden. Die Leistungsaufnahme ist abhängig von der gewählten Spannung.

2.3.2 Compute Module 3 (lite), Januar 2017

Abb. 2.15 Compute Module 3

- 67,6 mm x 31 mm x 3,7 mm (L x B x H)
- CPU: Quad Core BCM2837 SoC, 1200 MHz
- GPU: Broadcom Dual Core Video Core, 400 MHz
- Arbeitsspeicher: 1024 Mb
- Speicher: 4 Gb
- Preisempfehlung: 30 $ (25 $)

Da die Benennung der Compute Module sich immer am jeweils ähnlich ausgestatteten Raspberry Pi orientiert, folgt auf das CM 1 bereits das CM 3.

Mit dem deutlich leistungsfähigeren BCM2837 SoC mit vier Kernen und dem doppelt so großen Arbeitsspeicher ist diese Version deutlich schneller als sein Vorgänger. Ab der Variante CM3 ist das Compute Module auch 64 Bit-fähig.

Eine „lite“ Variante kam zeitgleich auf den Markt. Der einzige Unterschied ist hier der fehlende Speicher auf dem Compute Module. Der Preis konnte dadurch auf 25 $ reduziert werden.

2.3.3 Compute Module 3+ (lite), Januar 2019

- 67,6 mm x 31 mm x 3,7 mm (L x B x H)
- CPU: Quad Core BCM2837B0 SoC, 1200 MHz
- GPU: Broadcom Dual Core Video Core, 400 MHz
- Arbeitsspeicher: 1024 Mb
- Speicher: 8 Gb, 16 Gb, 32 Gb
- Preisempfehlung: 30 $, 35 $, 40 $ (25 $)

Die Plus-Variante ist auch für das CM 3 nur ein kleiner Schritt, in erster Linie wurden Komponenten ohne Änderung der Leistungsdaten auf modernere Varianten geändert.

Lediglich beim fest verbauten Speicher hat sich etwas getan, es gibt nun mehrere Optionen für die Größe (und damit auch den Preis). Auch gab es wieder eine „lite“ Variante ohne fest verbauten Speicher und mit reduziertem Preis.

2.4 Zubehör

Zusätzlich zu den verschiedenen Modellen des Raspberry Pi gibt es eine Vielzahl an Zubehörprodukten. Neben unzähligen Produkten von Drittanbietern hat aber auch die Raspberry Pi-Foundation einen kleinen Katalog an offiziellen Ausstattungsmöglichkeiten im Angebot.

2.4.1 Netzteile

Mit einer Leistungsaufnahme zwischen 100 mA und 1500 mA[15] ist die Auswahl eines geeigneten Netzteils sehr wichtig. Zwar sind alle Raspberry Pi-Modelle in der Lage, mit einer etwas schwächeren Stromversorgung auszukommen, zeigen dann aber ein kleines Warnsignal an. Sollte im Betrieb das Netzteil versagen, etwa weil es überbelastet wurde, kann der Pi aber auch unerwartet ausgehen.

Daher sollte immer ein passendes Netzteil verwendet werden, das die geforderte Leistung auch dauerhaft bereitstellen kann.

Glücklicherweise gibt es auch hier offizielle Produkte, zu jedem Modell wird ein passendes Netzteil angeboten.Alle Varianten bis einschließlich der Modellreihe 3 können mit dem Raspberry Pi Universal Power Supply versorgt werden. Es hat einen microUSB-Stecker und kann dauerhaft bis zu 2,5 Ampere (2500 mA) Leistung bei 5 Volt zur Verfügung stellen. Soll ein Pi 4 angeschlossen werden, kann dieses Netzteil ebenfalls zum Einsatz kommen, dann ist aber ein Adapter für einen USB C-Anschluss notwendig.

[15] 100 mA ist die minimale Leistungsaufnahme des Raspberry Pi Zero. 1500 mA ist die maximale Leistungsaufnahme des Raspberry Pi 4 Modell B.

Abb. 2.16 Offizielles Netzteil für den Raspberry Pi 4 mit USB-C Anschluss

Alternativ gibt es aber auch eine Netzteilvariante, die direkt mit einem USB-C Anschluss gefertigt wurde. Diese leistet sogar bis zu 3 Ampere (3000 mA) bei 5 Volt.

2.4.2 Maus, Tastatur und Gehäuse

Da sich als Farbschema für die Raspberry Pi-Produkte eine Kombination aus weiß und rot etabliert hat, sind die sichtbaren Zubehörteile alle in diesen Farben gehalten.

Die Gehäusevarianten für die verschiedenen Modelle haben dabei in der Regel einen roten Body und einen weißen Deckel.

Abb. 2.17 Raspberry Pi 4 Gehäuse

Da nicht alle Pi-Modelle mit einer größeren Anzahl an USB Ports ausgestattet sind, hat das offizielle Keyboard einen integrierten USB Hub, an dem zum Beispiel die Maus angeschlossen werden kann.

2.4.3 Kameras

Bereits das allererste Pi-Modell hatte einen Anschluss für eine Kamera direkt auf der Platine. Allerdings dauerte es bis Mai 2013, bevor ein entsprechendes Modul als offizielles Zubehör verfügbar war. Diese Kamera hat einen fünf-Megapixel-Sensor und kann über ein Flachbandkabel angeschlossen werden.

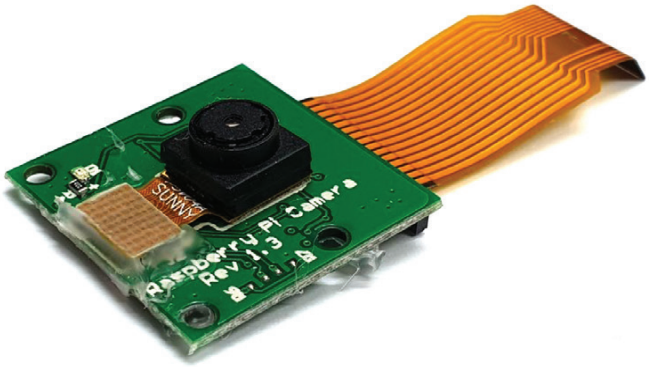

Abb. 2.18 Raspberry Pi Kamera, Revision 1.3 mit Flachbandkabel

Die Original-Kamera hat einen Infrarotlichtfilter, der es unmöglich macht, Nachtaufnahme mit Infrarotlichtquellen zu machen. Daher wurde wenige Monate später eine NoIR[16]-Variante ohne diesen Filter auf den Markt gebracht.

2016 wurde zu beiden Kameramodellen eine zweite Version herausgebracht, die nun einen acht-Megapixel-Sensor hat.

2.4.4 Weiteres Zubehör

Zusätzlich bietet die Raspberry Pi-Foundation weitere Produkte an, die an die verschiedenen Modelle angeschlossen werden können.

Seit September 2015 gibt es ein offizielles Display. Dabei handelt es sich um eine sieben Zoll große Anzeige mit einer Auflösung von 800 x480 Pixeln und Touch-Funktionalität. Bis zu zehn Finger kann das Display gleichzeitig erkennen. Es ist kompatibel mit allen Modellen außer dem

[16] NoIR steht für „No InfraRed“, also „Kein Infrarot“ – das ist eine etwas unglückliche Namensgebung, da die NoIR-Variante eben genau für die Aufnahme unter Infrarotlicht konzipiert ist und daher keinen Infrarotfilter enthält.

Pi Zero und Pi Zero W, da diese keinen Flachbandkabelanschluss für Anzeigegeräte haben.

Die Auswahl eines günstigen W-Lan Adapters kann etwas komplizierter werden, da nicht alle verwendeten Chipsätze unter allen Betriebssystemen funktionieren. Um dieses Problem zu beheben, gibt es einen offiziellen W-Lan-USB Adapter, der aber seit Anfang 2018 offiziell nicht mehr produziert wird. Ein solches Produkt wird immer weniger gebraucht, da alle Modelle außer den Reihen 1 und 2 über eingebaute Funkmodule verfügen.

Darüber hinaus gibt es einige wenige HAT[17]-Module, die offiziell vertrieben werden.

Der Raspberry Pi TV HAT erweitert einen beliebiges Pi-Modell, das über den Standard-40-Pin-Anschluss verfügt, um ein DVB-T(2)[18]-Empfangsmodul.

Um den Raspberry Pi über den Netzwerkanschluss mit Strom zu versorgen, gibt es für den Pi 3 B+ und 4 B den PoE[19] HAT.

Als letztes ist hier noch der Sense HAT zu erwähnen, der den Raspberry Pi um eine Reihe von Sensoren erweitert. Auf der Platine gibt es einen Lagesensor, einen Beschleunigungsmesser, einen Magnetsensor sowie Temperatur-, Luftdruck- und Luftfeuchtigkeitsfühler. Dieses Modul wird auf der Internationalen Raumstation ISS eingesetzt, zu der es im Dezember 2015 geschickt wurde, um dort Daten zu sammeln.

---

[17] HAT steht für „Hardware Attached on Top“ – gemeint sind Platinen, die direkt auf den Raspberry Pi aufgesteckt werden können, um dessen Funktionalität zu erweitern. Zumeist können diese direkt mit dem Pi verschraubt werden.

[18] DVB-T ist die Abkürzung für „Digital Video Broadcasting - Terrestrial“ und steht für den Empfang von digitalen Fernsehprogrammen über eine Antenne. DVB-T2 ist der Nachfolgestandard, der 2008 beschlossen wurde.

[19] PoE bedeutet „Power over Ethernet“ und ist ein Standard, der die Stromversorgung von Netzwerkgeräten direkt über die Netzwerkverkabelung ermöglicht.

2.5 Clones und Konkurenzprodukte

Mit dem Erfolg des Raspberry Pi war es nur eine Frage der Zeit, bis auch andere Hersteller ähnliche Produkte auf den Markt bringen. So gibt es heute eine riesige Anzahl an Pi-Kopien und Konkurrenzprodukten.

Teilweise sind diese an die gleiche Zielgruppe gerichtet, andere haben aber einen sichtbar anderen Fokus.

Nicht wenige Konkurrenten versuchen, über die Namensgebung eine Nähe zum Original herzustellen. Einige der bekanntesten Nachahmer möchten wir hier kurz vorstellen.

2.5.1 Orange PI

Der Orange Pi ist wie der Raspberry Pi ein Open-Source-Computer auf einer Platine. 2016 war er als Konkurrent für die Modelle der Raspberry Pi 3-Familie veröffentlicht worden und hatte gegenüber diesen einen kleinen Performanzvorteil, da die auf seinem SoC integrierte CPU einen um 100 MHz höheren Kerntakt hat. Sie läuft nicht mit 1200 MHz, wie der Pi 3 B, sondern mit 1300 MHz. Als wichtiges Unterscheidungsmerkmal wird häufig angeführt, dass der Orange Pi in allen Ausstattungsvarianten in der Lage ist, das Android-Betriebssystem auszuführen. Das konnten zu diesem Zeitpunkt nur die neuesten Pi-Modelle.

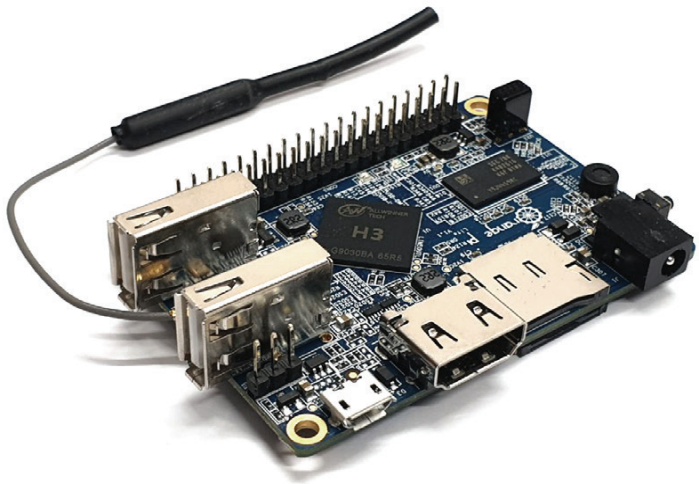

Abb. 2.19 Orange Pi Lite Version 1.1 mit W-Lan Antenne

Auch konnte der Orange Pi wegen seiner stärkeren GPU von Anfang an Anzeigegeräte mit bis zu 4K Auflösung bedienen.

Wie der Raspberry Pi hat auch der Orange Pi einen 40 Pin-Anschluss mit 26 GPIO Pins. Die Stromversorgung erfolgt über einen Netzteilstecker mit 5 Volt.

Den Orange Pi gibt es in einigen Varianten, unter anderem in einer Zero Variante, die kompakter ist und auf einige Ausstattungsmerkmale verzichtet. Es gibt teurere Varianten, die fest verbauten Speicher auf der Platine mitbringen.

Die günstigsten Modelle liegen unter dem Preisniveau der Raspberry Pi 3-Familie.

2.5.2 Banana Pi

Bereits im März 2014 kam der Banana Pi, auf den Markt, ebenfalls unter einer Open Source[20]-Lizenz. Zu dieser Zeit gab es lediglich die Modelle Pi 1 B+ und Pi 1 A+.

Im Vergleich mit diesen beiden Pi-Modellen konnte der Banana Pi mit deutlich besseren Leistungsdaten aufwarten. Statt eines einzelnen CPU-Kerns hatte er bereits zwei Kerne zur Verfügung, die zudem auch noch mit dem um 300 MHz höheren Takt von 1000 MHz liefen. Der verbaute Arbeitsspeicher war mit 1024 Mb doppelt so groß.

Zwar verfügt der Banana Pi über weniger GPIO Pins, kann dafür aber bereits in der ersten Variante mit einem Gigabit-Ethernet-Netzwerkanschluss punkten.

Weitere Ausstattungsmerkmale wie ein SATA[21]-Anschluss, ein Mikrofon-Eingang und ein eingebauter Infrarot-Empfänger setzen ihn weiter vom Raspberry Pi ab.

---

[20] Open Source bezeichnet Soft- und Hardware, deren Quelltexte und Pläne öffentlich einsehbar sind. Open Source-Projekte können frei von jedem kopiert, geändert und genutzt werden.

[21] SATA – „Serial ATA Interface“, ein Anschluss für Festplatten.

Alle diese Vorzüge machten den Banana Pi bei der Einführung ungefähr doppelt so teuer wie den Rapsberry Pi. Heute gibt es den Banana Pi in etlichen Varianten, darunter auch wieder eine an den Raspberry Pi Zero angelehnte kompakte Modellreihe.

2.5.3 Asus Tinker Board

Das Tinker Board ist ein 2017 erschienener Computer, der in seinen physischen Abmessungen und der Anordnung der GPIO Pins an den Raspberry Pi angelehnt ist.

Zur Veröffentlichung im April 2017 stand das Tinker Board nur dem Modell Pi 2 B v1.2 gegenüber und konnte dieses leistungstechnisch deutlich hinter sich lassen.

Ebenso wie im Pi 2 B wurde eine Vier-Kern-CPU verwendet, die hier aber mit dem doppelten Kerntakt lief. Statt 900 MHz war diese mit 1800 MHz getaktet und konnte im Turbomodus bis zu 2600 MHz erreichen. Auch die verwendete GPU war deutlich leistungsfähiger. Der Arbeitsspeicher war mit 2048 Mb doppelt so hoch wie beim direkten Pi-Vergleichsmodell.

Selbst dem später erschienen Pi 3 war das Tinker Board noch überlegen. Aber auch hier wurde der Vorsprung mit einem deutlich höheren Preis erkauft: Für den gleichen Preis konnte man fast zwei Raspberry Pi 2 kaufen.

Eine zweite Variante, das Tinker Board S wurde 2018 veröffentlicht und unterscheidet sich hauptsächlich durch den Einsatz von fest verbautem Speicher direkt auf der Platine.

2.5.4 Odroid

Hersteller derOdroid-Produktpalette ist die Firma Hardkernel. Es gab sie bereits vor dem Release des ersten Raspberry Pi und der „Open Droid“, kurz Odroid, ist heute als direkter Konkurrent des Pi platziert. Dies zeigt sich nicht zuletzt im verwendeten Formfaktor einiger Modelle, der sich stark an den Raspberry-Vorlagen orientiert.

Wie viele der anderen Konkurrenten ist auch der Odroid mit mehr Leistung ausgestattet als das zeitgleich verfügbare Pi-Modell. Die 2015 erschienene Reihen C1 und C0 haben einen deutlich höheren Kerntakt, eine schnellere Netzwerkverbindung und einen Steckplatz für Speichermodule zusätzlich zum microSD-Leser.

Die Vielzahl an Odroid Modellen macht einen genauen Vergleich allerdings schwer. Zum aktuellen Zeitpunkt (Anfang 2020) bietet der Hersteller 15 Varianten an. Bis auf wenige Ausnahmen sind allerdings auch diese alle teurer als der Raspberry Pi.