

Von Christof Windeck

USB-C ist als Universalanschluss für PC, Notebook, Smartphone, Tablet, Netzteil und Peripheriegeräte gedacht [1]. An-

lässt sich einerseits per USB-PD laden, liefert aber auch Energie, etwa ans Lade-Etui für drahtlose Kopfhörer. Auch bei der USB-Urfunktion, der Datenübertragung, hat USB-C Vorteile: Die schnellsten Transfermodi USB 3.2 Gen 2x2 und Gen 3x2 mit 20 respektive 40 GBit/s lassen sich mit den „alten“, viereckigen USB-A-Steckern nicht mehr nutzen.

Theorie und Praxis

So weit die Theorie. In der Praxis gibt es allerdings weiterhin Probleme und Missverständnisse. Das fängt damit an, dass nicht jede USB-C-Buchse sämtliche Funktionen beherrscht. Viele Geräte machen es unnötig schwer, den tatsächlichen Funktionsumfang ihrer Buchsen herauszufinden – obwohl es dafür festgelegte Symbole gibt, die Hersteller neben den Buchsen anbringen sollten. Wenn dann noch Bugs hinzukommen, wird die Fehlersuche schwierig.

Manche glauben, dass USB-C-Buchsen immer „besser“ wären als USB-A und mindestens 10 GBit/s schaffen – aber das ist falsch: Einerseits kann der 10-GBit/s-Transfermodus USB 3.2 Gen 2 auch an USB-A-Buchsen funktionieren, andererseits schaffen die USB-C-Buchsen vieler Geräte bloß USB 3.2 Gen 1 alias USB 3.0 mit 5 GBit/s. Viele aktuelle Smartphones mit USB-C liefern sogar bloß USB-2.0-Geschwindigkeit (480 MBit/s).

Für schnelle USB-Datentransfers und USB-C-Zusatzfunktionen benötigen die jeweiligen Geräte Zusatzchips; die sparen

USB-C kann alle anderen Anschlüsse dieses Notebooks ersetzen: Stromversorgung, HDMI, USB-A, Audio-Klinke.



manche Hersteller schlichtweg ein. Dann bringt USB-C nicht mehr, als auch mit USB-A oder Micro-USB möglich wäre. Einige Firmen versammeln sogar zielgenau den prominentesten Vorteil der Technik: Ihre USB-C-Peripheriegeräte arbeiten nur in einer der beiden Orientierungen des Steckers richtig. Ärgerlich sind billige USB-C-Ladekabel, die keine Adernpaare für schnelle Datentransfers haben: Sie bringen höchstens USB-2.0-Verbindungen zustande und übertragen erst recht keine Displaysignale. Wenn es also bei USB-C hakt, klappt vielleicht mit einem anderen Kabel oder an einer anderen Buchse. Für USB-C-Netzteile mit mehr als 60 Watt Leistung braucht man elektronisch markierte Kabel, die einen winzigen Chip im Stecker haben: Nur wenn es einen solchen erkennt, liefert das Netzteil mehr als 3 Ampere Strom.

Für den vollen Funktionsumfang von USB-C sind auch ausführliche Kompatibilitätstests durch den jeweiligen Geräteher-

steller nötig sowie sorgfältige Pflege der Firmware. Denn die Docking- und Lade-funktionen arbeiten adaptiv: Die beteiligten Geräte „unterhalten“ sich beim Verbindungsaufbau miteinander und ermitteln dadurch die gemeinsamen Funktionen, die beide Seiten beherrschen. Die große Flexibilität erkaufte sich USB-C also durch hohe Komplexität, die Fehlerquellen birgt.

Nicht immer sind superhohe Datenraten nötig. Schon mit dem steinalten „Highspeed“-Übertragungsmodus von USB 2.0 sind fast 50 MByte/s möglich; das ist mehr, als die schnellsten DSL-Anschlüsse erreichen sowie auch viele billige USB-Sticks und SD-Karten. USB 3.0 alias USB 3.2 Gen 1 (5 GBit/s) wiederum schafft bis zu 440 MByte/s; das genügt für externe SSDs mit SATA-Technik, für sämtliche Festplatten mit Magnetscheiben sowie für Gigabit-Ethernet- und WLAN-Adapter. Erst superschnelle externe SSDs mit eingebauter NVMe-Technik reizen USB 3.2

Kennzeichnung von USB-Typ-C-Buchsen

Kleine Logos verraten, was die jeweilige USB-C-Buchse kann. Leider fehlen die Logos oft.

		USB 2.0	USB 3.2 Gen 1 (USB 3.0)	USB 3.2 Gen 2	USB 3.2 Gen 2x2	USB 3.2 Gen 3x2
		High Speed 480 MBit/s	SuperSpeed 5 GBit/s	SuperSpeedPlus 10 GBit/s	20 GBit/s	40 GBit/s
ohne Power Display	ohne DisplayPort					
	mit DisplayPort					
mit Power Display	ohne DisplayPort					
	mit DisplayPort					
Thunderbolt mit Power Delivery, mit DisplayPort						

Von Christof Windeck

USB-C ist als Universalanschluss für PC, Notebook, Smartphone, Tablet, Netzteil und Peripheriegeräte gedacht [1]. An-

ders als die älteren USB-A- und Micro-USB-Buchsen eignet sich eine USB-C-Buchse außer für USB-Datenübertragung auch für die Stromversorgung mit bis zu 100 und später sogar 240 Watt (Power Delivery, PD), als Display-Anschluss (DP-Alt Mode), für Audiosignale und – dank Thunderbolt-Technik – sogar für PCI Express (PCIe). Zudem ist es bei USB-C egal, in welcher Orientierung man den Stecker in die Buchse schiebt: Multiplexer in den verbundenen Geräten schalten die Kontakte passend um. Bei der Stromversorgung lassen sich sogar die Rollen vertauschen: Ein Smartphone oder Notebook

Kontaktbelegung USB Typ-C (USB-C)

Eine USB-C-Buchse hat viel mehr Kontakte als eine USB-A-Buchse, nämlich 24. Acht dienen der Stromversorgung, was Ströme bis zu 5 A ermöglicht. Vier „High Speed“-Kontaktpaare lassen sich flexibel nutzen, entweder als zwei Duplex-Kanäle für USB oder Thunderbolt oder zur Ausgabe von bis zu vier DisplaySignalkanälen. Außer zwei Kontaktpaaren für USB 2.0 gibt es noch welche für je einen Steuer- und einen Nebkanal (Configuration Channel/CC, Sideband/SBU). Per CC erkennen USB-C-Geräte etwa die Orientierung des Steckers und handeln aus, welche Rolle sie bei der Stromversorgung spielen, also Quelle oder Senke.

Pinbelegung Typ-C-Buchse

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
GND	TX1+	TX1-	Vbus	CC1	D+	D-	SBU1	Vbus	RX2-	RX2+	GND
B12	B11	B10	B9	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1
GND	RX1+	RX1-	Vbus	SBU2	D-	D+	CC2	Vbus	TX2-	TX2+	GND

 Masse	 High Speed Datenpfad (1)	 High Speed Datenpfad (2)	 USB 2.0
 Stromversorgung	 Nebkanal (Sideband)	 Configuration Channel	

Gen 2 mit rund 1 GByte/s aus oder gar USB 3.2 Gen 2x2 mit über 2 GByte/s (siehe S. 78). Verwirrend: Mit USB 4 kam zwar der bisher schnellste Transfermodus mit 40 GBit/s, der heißt aber USB 3.2 Gen 3x2. USB löst also leider das Bezeichnungschaos bei USB nicht auf [2].

Thunderbolt ist noch schneller – unten mehr zu den Eigenheiten von Thunderbolt 3 (TB3) und 4 (TB4) –, doch das ist nicht der wesentliche Vorteil [3]. Vielmehr eignet sich Thunderbolt noch besser als USB-C als Dockinganschluss für Monitor, Netzteil und mehrere USB-Geräte zu-

gleich [4]. Allerdings setzt das einen Thunderbolt-Controller im Hostcomputer voraus, obwohl TB3 und TB4 USB-C-Buchsen nutzen und zu USB-C kompatibel sind. Anders gesagt: Jedes Gerät mit TB3 oder TB4 kann auch USB-C, aber nicht umgekehrt. Zudem braucht man für Thunderbolt auch Thunderbolt-Kabel – reine USB-C-Kabel reichen nicht. Das spielt fürs Docking oft keine Rolle, weil viele TB3- und TB4-Docks fest angeschlossene Kabel haben. Thunderbolt-Controller stecken vor allem in teureren Notebooks mit Core-i-Prozessoren von Intel sowie in

Apple-Rechnern, aber sehr selten in Billig-notebooks und fast nie in Geräten mit AMD-CPU.

Mehr Leitungen

Der technische Hintergrund dafür, dass USB-C mehr kann als USB-A, ist simpel: USB-C bietet mehr Steckkontakte sowie Kabeladern und ist für höhere Frequenzen und Ströme ausgelegt. Gut gemachte USB-C-Stecker und -Buchsen verkraften zudem die zehnfache Anzahl an Steckzyklen – also Ein- und Ausstöpselvorgängen – wie gewöhnliche USB-A-Buchsen, obwohl letztere robuster aussehen.

Allerdings steckt auch eine Menge zusätzlicher Digitaltechnik hinter der Flexibilität von USB-C. Für den simplen Fall einer reinen USB-Datenverbindung lässt sich die Verdrehbarkeit noch durch geschickte Beschaltung der 24 Kontakte in der Buchse lösen. Doch für die Übertragung anderer Signale wie DisplayPort braucht man ziemlich komplizierte Multiplexer. Denn wie der Name des „DisplayPort Alternate Mode“ (DP-Alt Mode) schon andeutet, werden dabei die normalerweise für USB-Daten genutzten Signalleitungen schlichtweg mit DP-Signalen vom Grafikprozessor beschaltet. Für gleichzeitige USB-Transfers bleiben dann weniger Leitungen übrig, im Extremfall beim Anschluss von 4K-Displays mit 60 Hertz Bildrate sogar nur die für USB 2.0. Deshalb haben manche 4K-Displays mit USB-C-Eingang nur einen USB-2.0-Hub. Bei niedrigeren Auflösungen bleibt immerhin USB 3.2 Gen 2 möglich, USB 3.2 Gen 2x2 oder mehr aber meistens nicht.

Richtig kompliziert wird es bei USB Power Delivery – vor allem, wenn noch ein Hub ins Spiel kommt. Denn um genügend Ladeleistung zu liefern, handelt das Netzteil mit dem Notebook beispielsweise 20 Volt aus. Doch USB-Geräte, die an „Downstream“-Ports des zwischengeschalteten USB-Hubs hängen, vertragen nur 5 Volt. Der Hub braucht also einen eigenen Wandler und verheizt ein paar Watt selbst.

Das USB-Industriegremium USB Implementers Forum (USB-IF) hat sich bewusst dafür entschieden, dass Nutzer von USB-C-Hardware kaum Möglichkeiten bekommen, in die Konfiguration von USB-C-Verbindungen einzugreifen. Die komplizierten Abläufe sollen die beteiligten USB-Controller hinter den Kulissen automatisch erledigen. Bei Pannen sollte man zunächst nach Updates für Treiber,

Eingebaut oder angeflanscht

Display- und Audio-Adapter für USB gab es schon lange vor USB-C. Sie arbeiten jedoch anders als die alternativen USB-C-Übertragungsmodi für DisplayPort (DP-Alt Mode), HDMI und Audio. Das verwirrt, zumal auch USB-Adapter mit „alter“ Technik an USB-C-Hosts funktionieren. Der Witz am DP-Alt Mode (und dem konzeptionell eng verwandten, aber bisher nirgends genutzten HDMI-Alt Mode) ist, dass die Signale vom ohnehin vorhandenen Grafikprozessor stammen. Sie kommen nur an einer anderen Buchse heraus.

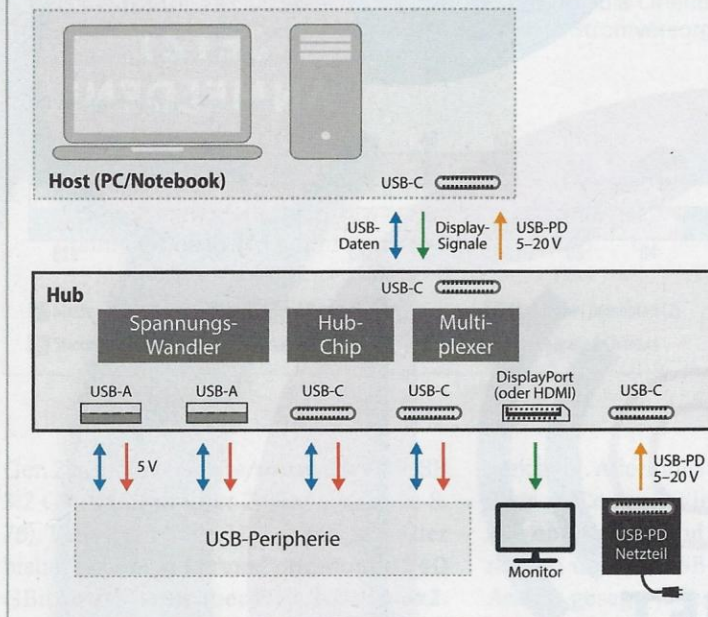
Ganz anders arbeiten die älteren USB-„Grafikkarten“ mit DisplayLink-Chips: Dafür muss man einen Treiber installieren, der eine zusätzliche, virtuelle Grafikkarte einrichtet. DisplayLink hat eine ge-

wisse Latenz und kaum 3D-Beschleunigung; es genügt aber, um einen zweiten Monitor für Büroarbeiten anzuschließen oder einen Beamer für Präsentationen. DisplayLink-Treiber gibt es zwar für Windows, macOS und Linux, aber nicht für iOS und Android.

USB-C Audio wiederum leitet das analoge Signal des internen Soundchips weiter. Weil dessen Qualität bei manchen Geräten eher mäßig ist, liefert eine „echte“ USB-Soundkarte mit eigenem Wandlerchip oft besseren Klang. Besonders gut klingen einige sogenannte USB-DACs (DAC für Digital-Analog Converter), die man ab etwa 20 Euro bekommt. Sie leeren die kleinen Akkus von Smartphones aber merklich.

USB-C-Dockingstation (Hub)

Ein USB-C-Hub, der auch Display-Signale weiterleitet und das Laden per USB Power Delivery (USB-PD) ermöglicht, ist wesentlich komplizierter aufgebaut als ein USB-A-Hub. Außer einem Hub-Chip braucht er einen Multiplexer, der die DisplayPort-Signale abtrennt (und je nach Buchse noch einen Umsetzer für HDMI/HDMI 2.0), sowie einen Spannungswandler, der aus der variablen PD-Netzteilspannung 5 Volt erzeugt.



PC-BIOS und Geräte-Firmware Ausschau halten. In vielen Fällen muss man jedoch Hardware, Kabel oder Hub tauschen.

USB 4 und Thunderbolt 3/4

Jahrelang entwickelten Apple und Intel ihre Thunderbolt-Technik parallel zu USB. Während Thunderbolt 2 (TB2) noch Mini-DisplayPort-Buchsen nutzte, wechselte man mit TB3 auf USB-C. Später gab Intel dann die Thunderbolt-Spezifikationen in die Hand des USB-IF-Gremiums und sie hielt Einzug in USB 4. Der jüngste USB-Standard vereint also USB- und USB-C-Funktionen mit TB3 und TB4. TB4 bringt keine höhere Geschwindigkeit als TB3, ermöglicht aber Hubs und stopft eine potenzielle (DMA-)Sicherheitslücke; letztere ist allerdings nur für gezielte Angriffe auf einzelne Notebooks nutzbar, auf die der Angreifer auch physischen Zugriff hat.

Thunderbolt nutzt zwar USB-C-Buchsen, benötigt aber spezielle Kabel, in deren Steckern winzige Wandlerchips stecken. Ein TB-Kabel lässt sich auch für USB-C nutzen, aber nicht vice versa. Ein TB-Chip im Host „verpackt“ mehrere Datenströme – USB, Display, PCI Express (PCIe) – in einen gemeinsamen Strom, aus dem der TB-Chip im Peripheriegerät den

oder die für ihn selbst wichtigen extrahiert. Wegen der Zusatzchips sind viele TB-Peripheriegeräte etwas teurer als welche mit USB-C. TB ermöglicht in der Summe höhere Datentransferraten als USB-C, also etwa USB-3.2-Gen-1-Datentransfers gleichzeitig mit einem 4K/60Hz-Bildsignal. Außerdem wurden Features vereint: USB 4 kann jetzt auch PCIe-Geräte anbinden, etwa externe Grafikkarten, während Thunderbolt die USB-typische Hub-Topologie gelernt hat statt dem „Hintereinanderschalten“ (Daisy Chaining) mehrerer TB-Geräte.

Selbst wenn man keine TB-Hardware kaufen möchte, hat man bei einem System mit TB3/4-Controller die Gewissheit, dass

USB 3.2 Gen 2 funktioniert. Verwirrend ist hingegen, dass USB 4 nicht gleichbedeutend ist mit TB3 oder gar TB4. So haben viele (leider nicht alle) aktuellen Notebooks mit Intels elfter Core-i-Generation TB4 mit USB 4, während Apples jüngste iMacs und MacBooks mit M1-Chip USB 4 mit TB3 kombinieren [2]. Das liegt daran, dass Thunderbolt weitere Kriterien festlegt: TB4 setzt voraus, dass zwei 4K-Displays mit 60 Hz angesteuert werden können. Das (verwirrenderweise optionale) USB 3.2 Gen 2x2 mit 20 GBit/s kommt wiederum bei beiden nicht aus der Buchse, sondern nur USB mit 10 GBit/s oder gleich TB mit 40 GBit/s.

Lademeister

USB-A-Buchsen lieferten ursprünglich höchstens 0,5 Ampere Strom, was bei 5 Volt eine Leistung von 2,5 Watt ergibt. Das reicht für Tastatur, Maus, Webcam und USB-Stick. Doch der Akku eines modernen Smartphones fasst rund 15 Wattstunden (4500 mAh bei 3,7 Volt), weshalb „Volltanken“ mit 2,5 Watt sechs Stunden dauert. USB-3.0-Buchsen, die man meistens (leider nicht immer) am blauen Isolator erkennt, liefern immerhin schon 4,5 Watt (0,9 A), also fast doppelt so viel. Für flinkeres Laden gibt es schon seit Jahren Standards wie die USB Battery Charging Specification, die höhere Ströme ermöglichen. Wirklich flottes Laden klappt aber erst mit Schnellladetechniken wie Qualcomm Quick Charge (QC) und USB Power Delivery (PD). Deren wichtigster Trick: Netzteil und Mobilgerät handeln höhere Spannungen als 5 Volt aus, nämlich bis zu 20 Volt und mit USB-PD 4.0 eines Tages bis zu 48 Volt (USB-PD 3.1).

Solche Spannungen würden herkömmliche USB-Peripheriegeräte sofort zerstören, weil sie eben nur 5 Volt vertragen. Daher ist ein kompliziertes elektronisches Verfahren nötig, um die höheren Spannungen sicher bereitzustellen. Doch

USB-Geschwindigkeitsstufen

Bezeichnung	kam mit USB-Version	höchste Transferrate		mit USB-A möglich	Anmerkung
		Bitrate	praktisch maximal		
USB 3.2 Gen 3x2	USB 4	40 GBit/s	> 3 GByte/s	–	stammt von Thunderbolt 3 ab
USB 3.2 Gen 2x2	USB 3.2	20 GBit/s	2 GByte/s	–	
USB 3.2 Gen 2	USB 3.1	10 GBit/s	1,1 GByte/s	✓	hieß ursprünglich USB 3.1 Gen 2 (SuperSpeed+)
USB 3.2 Gen 1	USB 3.0	5 GBit/s	440 MByte/s	✓	hieß ursprünglich SuperSpeed, dann USB 3.1 Gen 1
USB Highspeed	USB 2.0	480 MBit/s	48 MByte/s	✓	
USB Fullspeed	USB 1.1	12 MBit/s	1 MByte/s	✓	

Thunderbolt 3 (TB3) ermöglicht zusätzlich PCIe Express; TB4 ermöglicht TB-Hubs und Schutz gegen DMA-Angriff per VT-d (IOMMU)

es gibt Pannen: Einerseits finden sich immer wieder billige Netzteile mit schlichtweg parallelgeschalteten Ausgangsbuchsen, an denen dann für herkömmliche Geräte „tödliche“ Spannung anliegt. Andererseits scheitert manchmal der Aushandlungsvorgang und das Schnellladen klappt nicht. Mehr dazu ab Seite 96. Wichtig zu wissen ist jedoch: USB-PD 3.0 setzt ein Kabel mit USB-C-Steckern an beiden Enden voraus oder ein fest mit dem Netzteil verbundenes Kabel. Oder umgekehrt ausgedrückt: Ein Ladegerät mit nur USB-A-Buchsen kann kein USB-PD 3.0.

Adapterismus

Ältere USB-Geräte mit USB-A- oder Micro-USB-Steckern lassen sich per Adapter oder Hub leicht an USB-C-Rechner anschließen. USB-A-auf-C-Adapter gibt es für unter 5 Euro. Achtung: Manche sind als reine Ladeadapter gedacht und übertragen nur USB 2.0, weil sie keine schnellen Datenadern haben. USB-Sticks gibt es als „Doppelender“ mit USB-A- und USB-C-Steckern, die auch an Smartphones und Tablets passen.

USB-C-Hubs sind ab 15 Euro zu haben; die billigsten beherrschen aber nur 5 GBit/s (USB 3.2 Gen 1). Falls Sie eine sehr schnelle SSD via Hub anschließen möchten, achten Sie auf einen, der tatsächlich USB 3.2 Gen 2 durchleitet. Für USB 3.2 Gen 2x2 sind uns noch keine Hubs bekannt; das klappt im Grunde erst mit TB4-Hubs und -Docks. Letztere sind noch recht neu [4], deutlich teurer als viele USB-C-Docks und arbeiten nur an solchen Rechnern erwartungsgemäß (oder überhaupt), die Thunderbolt beherrschen.

Um ein Display an ein Notebook mit USB-C und DP-Alt Mode anzuschließen, braucht man kein USB-C-taugliches Display, sondern bloß einen USB-C-Adapter für 15 Euro mit HDMI oder DP. Alle schaffen Full-HD-Auflösung mit ergonomischen 60 Hz Bildrate. Möchte man aber einen 4K-Schirm mit 60 Hertz ansteuern lassen oder ein Gaming-Display mit über 60 Hz, muss man genauer ins Kleingedruckte schauen. HDMI-2.0-Adapter und welche mit DisplayPort findet man ab rund 20 Euro. Um alte VGA-Beamer anzusteuern, gibt es ebenfalls USB-C-Adapter.

USB-C-Mini-Docks haben typischerweise drei Buchsen: eine für HDMI (Display), eine für USB-A und eine für USB-C. Letztere ist zum Anschluss des Netzteils gedacht, um das Notebook/Tablet im Be-



USB-C Power Delivery (PD) liefert Leistungen von über 60 Watt nur mit elektronisch markierten USB-C-Kabeln und via USB-C-Buchse – also nicht per USB-A.

trieb zu laden. Größere USB-C-Docks gibt es mit vielfältigen Anschlusskombinationen: HDMI oder DP, USB-A und USB-C fürs Netzteil sind fast immer dabei, aber es gibt auch welche mit weiteren USB-C-Buchsen, Audio-Klinke, SD-Kartenleser, Ethernet-Adapter. Manche dieser Docks haben mehrere Zusatzchips, die Strom schlucken und somit den Akku des Notebooks leeren, wenn man sie ohne Netzteil benutzt [4].

USB-C-Adapter, -Hubs und -Docks funktionieren auch an vielen Smartphones und Tablets mit USB-C-Anschlüssen. Da sich allerdings bei den Mobilbetriebssystemen Apple iOS und Android nachträglich keine Treiber installieren lassen, funktionieren nur solche USB-Geräte, für die der Hersteller des jeweiligen Smartphones/Tablets Treiber ins Betriebssystem eingebaut hat. Meistens klappt es beispielsweise mit USB-Audio-Adaptoren, USB-Sticks und Festplatten, die nicht zu viel Strom ziehen.

Die Funktionsfülle von USB-C lässt sich auch gegen den Strich bürsten. So gibt es etwa Steckadapter, um USB-PD-Netzteile als Universalnetzteile zu entfremden: Sie fordern vom Netzteil beispielsweise 9 oder 15 Volt an, um beliebige Geräte mit Niederspannung zu versorgen. Einige der praktischen Messadapter, die Spannung und Stromfluss auf dem USB anzeigen, können auch helfen, Schnellladefunktionen freizuschalten, wenn sich Netzteil und Mobilgerät nicht vertragen [5, 6].

Fazit

USB-C ist eine gute Idee, die viele Anschlussprobleme elegant lösen kann. Doch



USB-C-Docks gibt es von schlank bis kräftig; die Delock USB Type-C Docking Station bietet außer einem USB-Hub noch Ethernet-Adapter und SD-Kartenleser.



Für Thunderbolt braucht man spezielle Kabel mit winzigen Chips in den Steckern.

das klappt nur, wenn die Hersteller der jeweiligen Geräte sorgfältig arbeiten, eine ordentliche Dokumentation bereitstellen und die Firmware pflegen.

Ärgerlich ist der Bezeichnungswirrwarr [2], den die USB-Industrievereinigung nicht in den Griff bekommt. Wer USB-C optimal nutzen möchte, muss sich daher vor dem Einkauf genau informieren. Bei einem Notebook sollte mindestens eine USB-C-Buchse vorhanden sein, die Daten mit 10 GBit/s liefert und sowohl DP-Alt Mode als auch die PD-Ladefunktion beherrscht. Falls es das Budget erlaubt, liegt man mit Thunderbolt auf der sicheren Seite.

(ciw@ct.de) **ct**

Literatur

- [1] Florian Müssig, Alles kann, nichts muss, Technische Hintergründe zu USB Typ C, c't 4/2017, S. 124
- [2] Florian Müssig, USB 3.2 ist tot, es lebe USB 4, Das USB-Namenschaos geht weiter, c't 26/2020, S. 140
- [3] Florian Müssig, USB-Vollausbau, Spezifikation zu Thunderbolt 4 verabschiedet, c't 17/2020, S. 140
- [4] Lutz Labs, Schnell dran, Dockingstationen für USB-C und Thunderbolt, c't 15/2021, S. 74
- [5] Florian Müssig, Stromschniepel, Das USB-C-VA-Meter von Plugable, c't 10/2017, S. 58
- [6] Rudolf Opitz, Lade-Trickser, USB-Messadapter mit eigenem PD-Chip, c't 13/2020, S. 76