

USB-Ladegeräte – kompatibel oder purer Ärger?



Was ist ein USB-Ladegerät?

- es liefert 5 Volt DC und mindestens 500 mA
- es ist seit 2011 in der EU standardisiert
- es hat eine (oder mehrere) USB-A-Buchse(n)
- es gibt sie als Steckernetzteil, DC-DC-Wandler
- auch im Auto gibt es zuweilen USB-Ladeanschlüsse

Was kann man damit laden?

- Mobiltelefone
- und neuerdings auch Verbraucher mit höheren Ladeströmen (z. B. SmartPhones)

Sind alle Geräte kompatibel?

- NEIN!

Was hilft dagegen?

- mein USB-Adapter (so hoffe ich wenigstens!)

Der USB-Adapter

Der USB-Adapter erlaubt die Anpassung eines (fast) beliebigen 5-Volt-Ladegerätes an die Bedürfnisse (fast) jedes aufzuladenden Gerätes. Fast – weil es immer etwas geben kann, was es eigentlich nicht geben sollte.



Einleitung: Wie funktioniert der USB-Bus

Der USB-Bus dient der **Datenübertragung** zwischen einem **Master** – meist ein Computer – und einem **Slave**. Als Slave kommen beispielsweise in Frage: Speicherstick, Maus, Drucker, Scanner, Tastatur, externe Festplatte, Monitore und vieles mehr.

Wenn diese Geräte keine eigene Stromversorgung haben, werden sie aus dem Master über die 5 Volt der USB-Verbindung mit Strom versorgt. Dazu stehen an einem **USB-Port minimal 100 mA und maximal 500 mA** zur Verfügung. Sobald ein USB-Gerät an den Computer angesteckt wird, stellt der PC im sogenannten **Enumeration Process** fest, um was für ein Gerät es sich handelt und legt dabei auch fest, wie viel Strom der Master dem angeschlossenen Gerät zur Verfügung stellen muss. Dieses Verfahren setzt voraus, dass Master und Slave über einige Intelligenz verfügen.

Eine am Laptop angeschlossene USB-Beleuchtung hat diese Intelligenz natürlich nicht und sie bekommt daher auch nur den Minimalstrom zur Verfügung gestellt. Den Minimalstrom bekommen auch Geräte, die an einem passiven USB-4-fach-Hub betrieben werden, da sich der Hub und die 4 angeschlossenen Geräte die 500 mA teilen müssen. Das reicht aber für viele Geräte wie USB-Speicherstick, Maus, Drucker usw. in der Regel aus.

Anders ist es, wenn ein Mobiltelefon an den PC angeschlossen wird. 100 mA reichen natürlich aus, wenn nur Daten ausgetauscht werden sollen. Will man aber den Handyakku aus dem USB-Port aufladen, ist das mit 500 mA nur an einem Standard-Port möglich.

Außerdem muss der Laptop in Betrieb sein, sonst liefert er keinen Strom.

Es sei denn, man besitzt ein Gerät, das über einen USB-Ladeanschluss verfügt, der auch bei ausgeschaltetem Gerät Strom liefert – sofern der Laptopakku noch liefern kann.



Ein USB-A-Stecker für Printmontage, wie er im USB-Universal-Adapter verwendet wurde. (Vgl weiter unten)

USB-Steckverbindungen

Abgesehen von einigen proprietären Verbindungssystemen, die alle nicht im internationalen Standard definiert sind, gibt es drei verschiedene USB-Steckverbindungsfamilien.



Am bekanntesten ist die USB-A-Steckverbindung. Sie ist als Buchse (Bildmitte als Buchse eines Verlängerungskabels) an jedem PC und Laptop zu finden und sie ist auch immer der Master. Den entsprechenden Stecker (2. von rechts) haben die allermeisten Slaves, wenn sie direkt angesteckt werden können. Bei dieser Verbindung liegen die Anschlüsse +5V, D-, D+ und Minus nebeneinander.



Drucker und Scanner können nicht direkt angeschlossen werden und besitzen eine USB-B-Buchse und benötigen ein Kabel mit USB-A-Stecker an der PC-Seite und USB-B-Stecker an der anderen (rechts). Geräte mit USB-B-Buchse sind immer ein Slave, was durch den Buchstaben B kenntlich gemacht wird. Bei der USB-B-Steckverbindung liegen die 4 Leitungen paarweise in zwei Ebenen übereinander. Eine Vertauschung beider Stecker ist also ausgeschlossen.

Die zweite Familie besteht aus USB-A Buchse und Stecker auf der Master-Seite und USB-B-Mini-Buchse und Stecker (3. v.l.) auf der Slave-Seite. Diese Verbindung wurde inzwischen aus der Norm entfernt, findet sich also nur noch an älteren Geräten, bei denen die voluminöse USB-B-Buchse keinen Platz hatte.



Ersetzt wurde die Mini-Verbindung durch das Mikro-Steckersystem. Es besitzt neben den bisherigen 4 Leitungen einen fünften Pin der die Bezeichnung ID (Identifikation) trägt. Die USB-B-Mikro-Buchse findet man an **fast** allen seit etwa 2007 im Handel angebotenen Mobiltelefonen, vor allem zum Datenaustausch mit Laptop und PC.

Die USB-Mikro-Verbindung gibt es auch als USB-Mikro-A-Buchse und Stecker (im nebenstehenden Foto der linke Stecker; daneben der USB-Mikro-B-Stecker) .

Geräte mit USB-Mikro-A-Buchse können sowohl Master als auch Slave sein. Sie gehören dann zu einer Gerätefamilie die **USB-OTG (on the go)** genannt werden.



Es handelt sich dabei um Geräte die kein PC sind, aber über entsprechende Intelligenz verfügen wie zum Beispiel ein kleiner Drucker, der Fotos direkt vom Mobiltelefon oder einer Kamera ausdrucken kann. Der USB-Mikro-B-Stecker passt auch in eine Mikro-A-Buchse – aber nicht umgekehrt. Damit das Gerät mit der Mikro-A-Buchse weiss, dass es Master sein soll, ist beim USB-A-Mikro-Stecker der ID-Pin mit dem Minusanschluss verbunden.

Der USB-Mikro-Stecker als Ladebuchse

Da fast jedes Handy neben der USB-Mikro-B-Buchse noch einen weiteren Hersteller- und Modell-spezifischen Ladeanschluss – und damit auch ein spezielles Ladegerät - hatte, obwohl zum Teil auch über die USB-Verbindung geladen werden konnte, verständigten sich die Hersteller auf Druck der EU darauf, dass die Handies generell nur noch über die USB-Mikro-B-Buchse geladen werden sollten. Da dieser Betriebsfall aber im USB-Standard überhaupt nicht vorgesehen war, musste darauf also bei der Entwicklung eines Standards für ein einheitliches USB-Ladegerät Rücksicht genommen werden. Schließlich soll es ja für alle im Handel erhältlichen Handies universell verwendbar sein.

Mit dem in-Kraft-treten der neuen Norm sollten Ladegeräte zu Mobilgeräten also nicht mehr automatisch mitgeliefert werden. Und das Standardladegerät muss mindestens 500 mA liefern können, kann aber meist etwas mehr.

Entstehungsgeschichte des USB-Ladegerätes für Mobiltelefone

Die Erfolgsgeschichte des EU-einheitlichen USB-Ladegerätes für Mobilfunkgeräte begann in **China am 14. Juni 2007** durch die Festlegung, dass alle in China verkauften Mobilfunkgeräte eine USB-Mikro-B-Buchse zum Aufladen haben müssen und dass das Ladegerät zur Kennung und Unterscheidung von einem USB-Port an einem Computer eine leitende Verbindung zwischen den Datenleitungen D+ und D- haben muss.

Während dieser Zeit dachte man in Brüssel darüber nach, ob man den „Müllberg aus obsoleten und veralteten Ladegeräten“ durch Standardisierung ein Ende machen könnte. Bis dahin hatte fast jedes neue Mobiltelefon neue Anschlüsse und daher auch neue Ladegeräte, während die alten bestenfalls beim Wertstoffhof landeten.

Zwischen September 2007 und April 2009 raufte sich die verschiedenen Mobilfunkhersteller-Verbände zusammen und empfahlen den USB-Mikro-B-Anschluss als einheitlichen Anschluss zur Kommunikation und zum Aufladen aus einem standardisierten Ladegerät.

Die Einigung:

Im Juni 2009 schließlich unterzeichneten die meisten Hersteller in Brüssel ein Memorandum of Understanding (MoU) nach dem alle in der EU ab Januar 2011 verkauften Mobilfunkgeräte sich durch das einheitliche Ladegerät (common External Power Supply EPS) aufladen lassen sollten. Die dabei erstellte Norm EN 62684:2010 hat die IEC inzwischen als IEC 62684:2011 herausgegeben, womit sie weltweite Geltung hat.

Dieses Ladegerät unterscheidet sich praktisch nicht vom Chinesischen Pendant, denn es verwendet ebenfalls die leitende Verbindung zwischen D+ und D-, deren Widerstand unter 200Ω liegen muss. Der Widerstand beider Leitungen gegen Masse und Plus muss mindestens $2 \text{ M}\Omega$ betragen.

Allerdings hat sich die Einführung dann aber doch noch bis Ende 2011 verzögert. Nur wer ein Mobiltelefon gekauft hat, das nach diesem Termin auf den Markt kam, konnte darauf vertrauen, dass das Versprechen erfüllt sein würde. Und wenn nicht? Dann muss der Hersteller einen Adapter anbieten, mit dem es dann möglich sein muss.

Preis des Adapters? Ratet mal.....

Das Schlimme ist aber, dass diese Adapteritis und die schon vor dieser Zeit entstandenen eigenen Lösungen der Mobilfunkhersteller immer noch zu den vielen Inkompatibilitäten beiträgt!

Spezifikation des USB-Ladegerätes im Detail

USB-Ladegeräte besitzen in der Regel keine Intelligenz, können also mit dem angeschlossenen Verbraucher keine Absprache über den zu liefernden Strom treffen. Deshalb hat man in der Norm festgelegt, dass am Ladegerät die Datenleitungsanschlüsse D+ und D- leitend miteinander verbunden sein sollen, wobei diese Verbindung erfrei sein muss (Isolationswiderstand $> 2M\Omega$) und der Widerstand zwischen beiden Datenleitungen unter 200Ω (meist also eine Direktverbindung) zu liegen hat. Das gibt einem Mobiltelefon die Gelegenheit zu erkennen, dass es sich nicht um einen USB-Anschluss am Laptop sondern um ein „dummes“ Ladegerät handelt. Es darf dann soviel Strom „saugen“ bis die Klemmenspannung bei 4,75 Volt angelangt ist. Das Netzgerät muss ab dieser Klemmenspannung bei noch niederohmigerer Last in die Strombegrenzung gehen. Damit wird sowohl eine Zerstörung des Ladegerätes als auch des angeschlossenen Verbrauchers vermieden.

Weiterentwicklung der Norm

Der Erfolg der USB-Ladegeräte brachte es mit sich, dass die Technologie auch bei Geräten mit größerem Akku Eingang fand. Dazu zählen außer den Smart-Phones auch Tablet-PCs, netzunabhängige Lautsprecher oder MP3-Player. Damit die Ladezeiten in akzeptablem Rahmen bleiben, benötigen diese Geräte Ladegeräte, die höhere Ströme liefern können.

Das USB-Consortium hat den Standard inzwischen überarbeitet und die Grenze liegt jetzt bei 1,5 A. Der maximal mögliche Strom könnte wegen der maximalen Belastbarkeit des USB-A-Steckers bei 5 A liegen. Beim USB-Mikro-Stecker liegt dieser Wert angeblich bei 1,8 A. [2]

Steckt man ein Mobiltelefon an ein solches Ladegerät, sollte es keine Probleme geben. Umgekehrt wird ein stromhungriger Verbraucher an einem Ladegerät für Handies entweder viel länger zum Laden brauchen oder aber das Laden einfach ablehnen: „Zubehör nicht geeignet“. Das ist zum Beispiel bei meinem iPad der Fall.

Abweichungen von der Norm

Leider fehlt die vereinbarte Verbindung zwischen den Leitungen D+ und D- oft. Dann wird unter Umständen wenigstens ein Spezialkabel mitgeliefert, das am USB-Mikro-B-Stecker eine interne Brücke hat.

Leider gibt es viele Ladegeräte bei denen die Datenleitungen mit Widerständen unterschiedlicher Größe nach Masse oder +5 Volt gezogen werden oder die Leitungen sind völlig anderes beschaltet. Der Phantasie sind da offenbar keine Grenzen gesetzt. Und hier liegt auch der Grund dafür, dass nicht jedes USB-Ladegerät von jedem Verbraucher akzeptiert wird.

Sonderweg von Apple

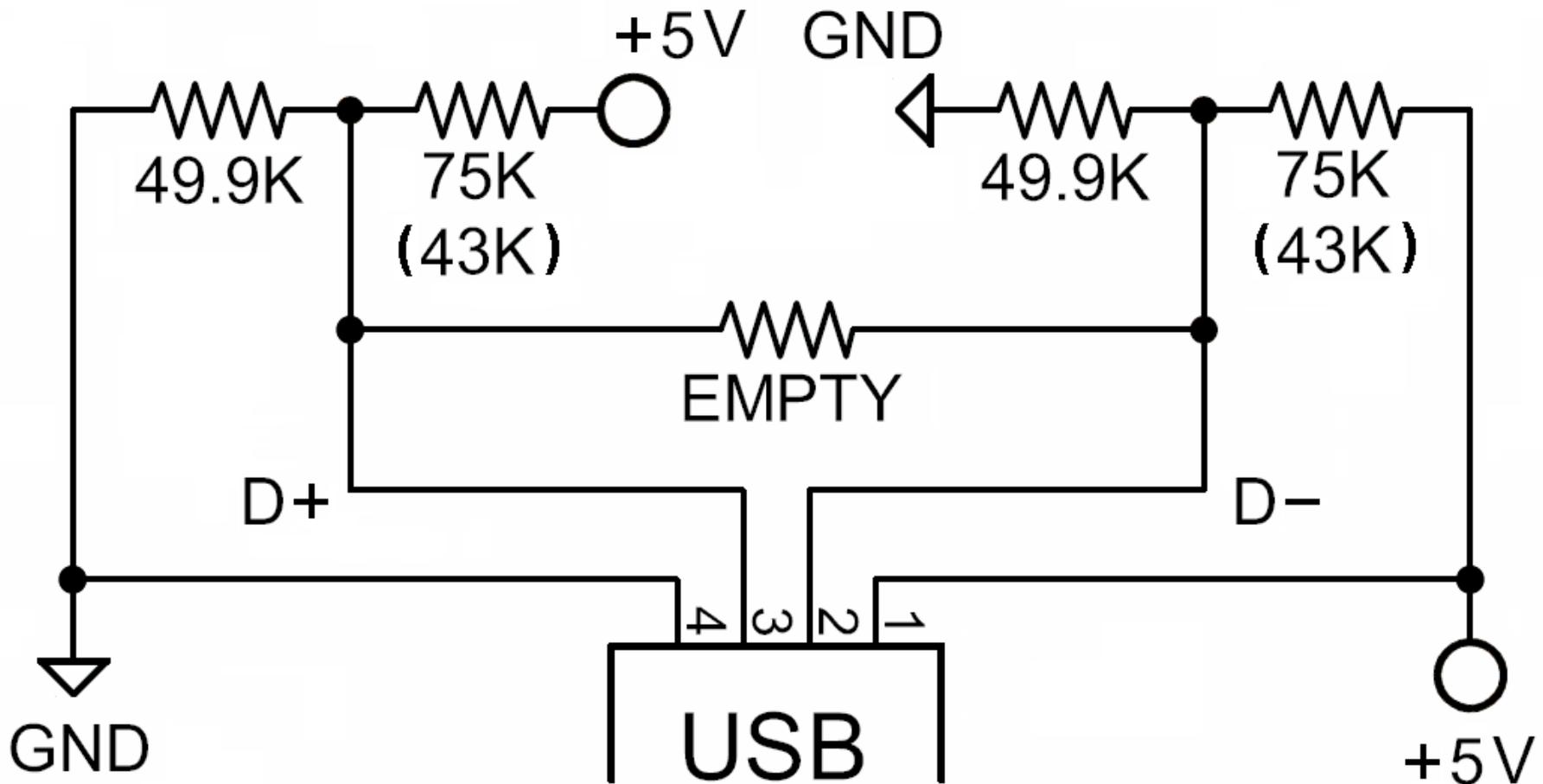


Apple verwendet bis heute statt des USB-Mikro-B-Anschlusses seine eigenen firmenspezifischen Stecker. Bis zum iPhone4 einen 30-poligen und ab iPhone5 und iPad (ab 2013) den so genannten Lightning-Stecker. Für beide gibt es Adapter auf die USB-Mikro-B-Buchse.



Außerdem benutzt die Firma Apple für die von ihr gelieferten und unter ihrer Lizenz vertriebenen Ladegeräte eine Kodierung, die über den maximal verfügbaren Strom, den das Ladegerät liefern kann, Auskunft gibt. Auswerten kann diese Kodierung aber nur eines der Geräte von Apple und kein anderes Gerät. Die Kodierung selbst ist Firmengeheimnis. Alles was darüber bekannt ist, stammt aus messtechnischen Untersuchungen (verbunden mit Mutmaßungen) und der genauen Analyse von geöffneten Ladegeräten, letztlich also aus „reverse engineering“ [4].

Danach erfolgt die Kodierung durch je einen Spannungsteiler an der D+ und D-Leitung. Die Spannungen betragen entweder 2,0 oder 2,7 Volt und der Widerstand gegen Masse beträgt immer nominell 49,9 k Ω (bei anderen Quellen 51 k Ω), der gegen 5 Volt entweder 75 k Ω (für 2,0 Volt) oder ca. 43 k Ω für 2,7 Volt.



Schaltungsauszug (editiert) aus [8] Ken Shirriff's blog:
 Apple iPhone charger teardown: quality in a tiny expensive package.

Hinweis: Würde man die 4 Widerstände nicht bestücken und dafür bei EMPTY einen Null-Ohm-Widerstand einbauen, hätte man ein EU-konformes Ladegerät.

Ob auch der Innenwiderstand der Spannungsteiler ausgewertet wird, ist nicht bekannt. Mit diesen Spannungen wird die Stromlieferfähigkeit wie folgt kodiert:

Kodierung	Spannung an D+	Spannung an D-	Maximalstrom
A	2,0 V	2,0 V	500 mA
B	2,0 V	2,7 V	1 A
C	2,7 V	2,0 V	2,1 A *)
D	2,7 V	2,7 V	2,5 A *)

*) Die angegebenen Stromstärken sind lediglich Schätzwerte

Die Kodierung D besitzt mein Ladegerät für das iPad, wobei im Betrieb nur rund 1,4 A benötigt werden. Dabei verspricht der Aufdruck, dass das Ladegerät 2,5 A liefern kann. Die Angabe 2,1 A fand ich im Internet bei [3]. Sie entspricht auch dem Nennstrom des Apple Ladegerätes Typ 1394 für die älteren iPad und verwandte Geräte.

Aber auch andere Hersteller wie z. B. LogiLink verwenden diese Kodierung. Die Kodierung C fand ich bei einem Ladegerät, das zusammen mit einem 2,2-Ah-Akku von LogiLink angeboten wurde. Mit dem Akku kann man unterwegs sein Handy aufladen. Das Ladegerät hat 4 USB-A-Buchsen und kann gemäß Aufdruck 2,4 A liefern. Auch aus diesem Ladegerät zieht das iPad nur 1,4 A.

Überraschung

Beide Ladegeräte versagen aber, wenn man ein Nicht-Apple-Handy aufladen möchte! Es sei denn, man verwendet ein Spezialkabel mit nur zwei Adern, bei dem die Datenleitungen im USB-Mikro-B-Stecker mit einer internen Brücke verbunden sind. Am USB-A-Stecker bleiben die Datenleitungsanschlüsse natürlich unbeschaltet. Dann glaubt das Handy ein Standardkonformes Ladegerät vor sich zu haben.

Benutzt man ein ganz normales 4-adriges Kabel, wie man es zur Datenübertragung zwischen Handy und PC benötigt, funktioniert es nicht!

Und dabei sind die Kabel rein äußerlich (abgesehen von der Länge) nicht zu unterscheiden!

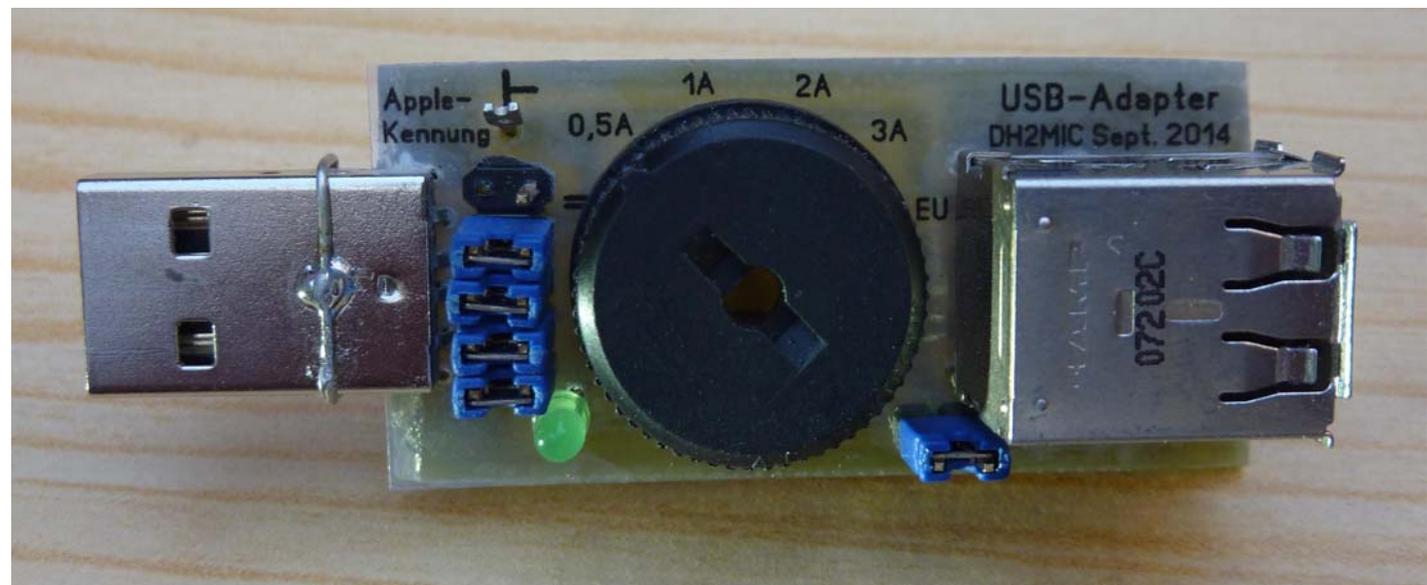
Ich fand diesen Zustand - gelinde gesagt - unbefriedigend

... und sann auf Abhilfe !

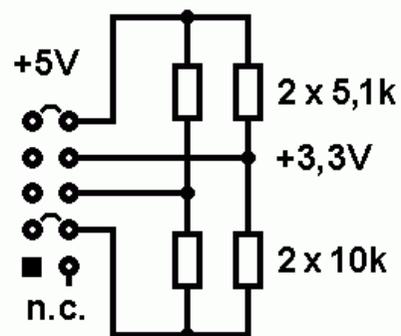
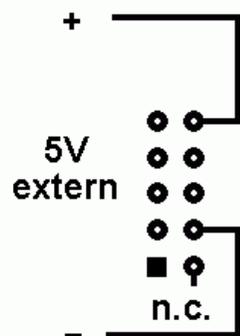
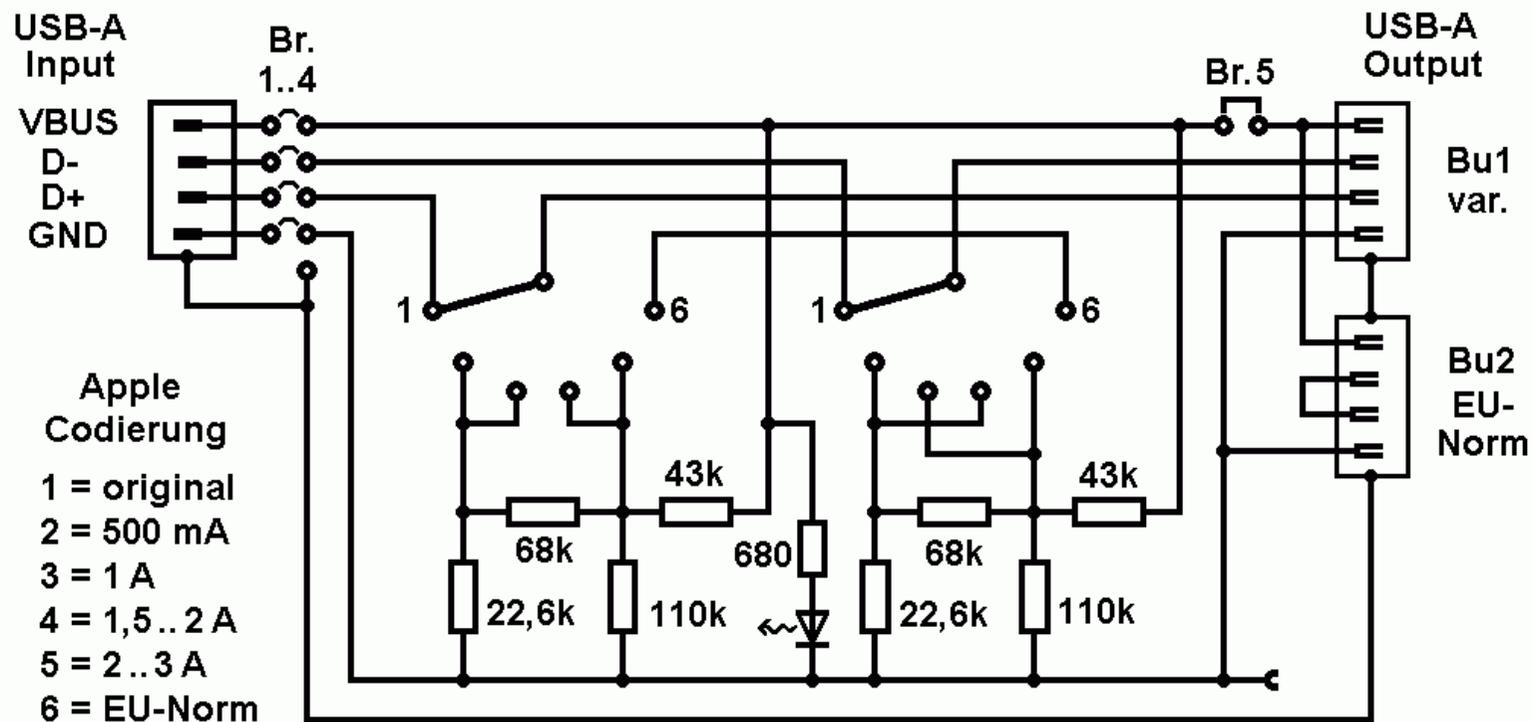
Der USB-Adapter

Nachdem ich das Problem annähernd verstanden hatte, suchte ich nach einer Lösung derart, dass ich durch einen universellen Adapter jedes denkbare Ladegerät so „anpassen“ kann, dass jeder nur denkbare Verbraucher das „getarnte“ Ladegerät akzeptiert. Und zwar unter Verwendung von Standardverbindungskabeln mit 4 Adern und ohne interne Beschaltungen.

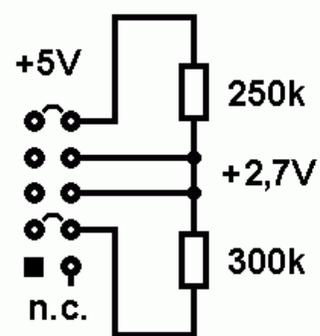
Es sollte sogar an einem normalen Labornetzgerät funktionieren und natürlich die speziellen Apple-konformen Typen, USB-Ladebuchsen im Auto, mobile Akkusspeicher und EU-konforme Ladegeräte für alle Arten von Verbrauchern anpassen können. Natürlich nur in den jeweils durch den lieferbaren Strom möglichen Applikationen.



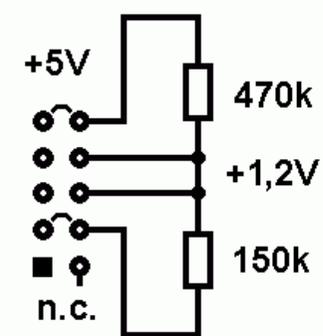
Ansicht von oben



Sony Codierung



HP TouchPad 2A



+1,2-V-Codierung

Stromlauf des Adapters sowie von 4 steckbaren Modifikationen

Kernstück des Adapters ist ein zweipoliger Schalter mit 6 Stellungen, der in Stellung 1 die Datenleitungen vom USB-A-Stecker auf eine der beiden USB-A-Buchsen unverändert durchschaltet. Die andere Ausgangsbuchse ist fest auf EU-Standard verdrahtet. Bei Stellung 6 hat auch die erstgenannte Ausgangsbuchse nach EU-Norm eine Verbindung zwischen D+ und D-.

In den Stellungen 2 bis 5 sind die Datenleitungen der variablen Ausgangsbuchse wie in Tabelle 1 beschaltet. Man kann also vorgeben, wie viel Strom ein angeschlossener Verbraucher, der die Apple-Beschaltung erwartet, maximal ziehen darf. Damit wird daraus zwar kein offizielles Apple-Zubehör, so dass die Firma sich im Schadenfall damit heraus reden kann. Ob also ein Leser dieses Beitrages seinem guten Stück Strom über diesen Adapter anbieten will, muss er selbst entscheiden. Eine Garantie kann ich nicht übernehmen!

Zwischen dem USB-A-Stecker und der eigentlichen Schaltung ist ein Steckfeld mit 4 Jumpers angeordnet. Entfernt man diese, kann eine 2x5-Buchsenleiste mit Spezialbeschaltung aufgesteckt werden. Denkbar ist beispielsweise ein Adapter mit einer 2,1/5,5-DC-Rundsteckverbindung zum Anschluss eines passenden Netzteiles. Oder einer mit zwei Bananenbuchsen zur Verbindung mit einem Labornetzgerät. Möglich ist auch eine Aufsteckplatine, bei der die Datenleitungen noch anders beschaltet sind. Masse und 5 Volt stehen ja zur Verfügung. →

Im Stromlauplan beispielhaft dargestellt ist ein Modul für SONY-Geräte, eines für das HP TouchPad 2A und eines für Geräte, die +1,2V an den verbundenen Datenleitungen erwarten. Denkbar ist auch, hier zwei Ladegeräte parallel zu schalten, um genug Strom für einen hungrigen Verbraucher verfügbar zu haben. Natürlich müssen die Quellen diese Betriebsart auch vertragen.

Eine grüne LED signalisiert, dass das angeschlossene Ladegerät Strom liefern kann bzw. dass ein angeschlossenes Labornetzgerät nicht verpolt ist. Eine 2-polige Duo-LED statt der grünen LED würde im Fehlerfall also rot leuchten, was die Sicherheit erhöhen kann.

Ferner ist die Plusleitung vor den Ausgangsbuchsen über den Jumper Br. 5 geführt. Hier lässt sich recht einfach ein Strommessgerät anschließen, wenn man feststellen möchte, wie viel Strom der Verbraucher tatsächlich aufnimmt oder wann ein Ladevorgang abgeschlossen ist. Passende Kabel mit dem passenden 2-poligen Stecker fallen beim Ausschachten älterer PCs in ausreichender Menge an (Netztaster, Status-LEDs, Reset-Taster).

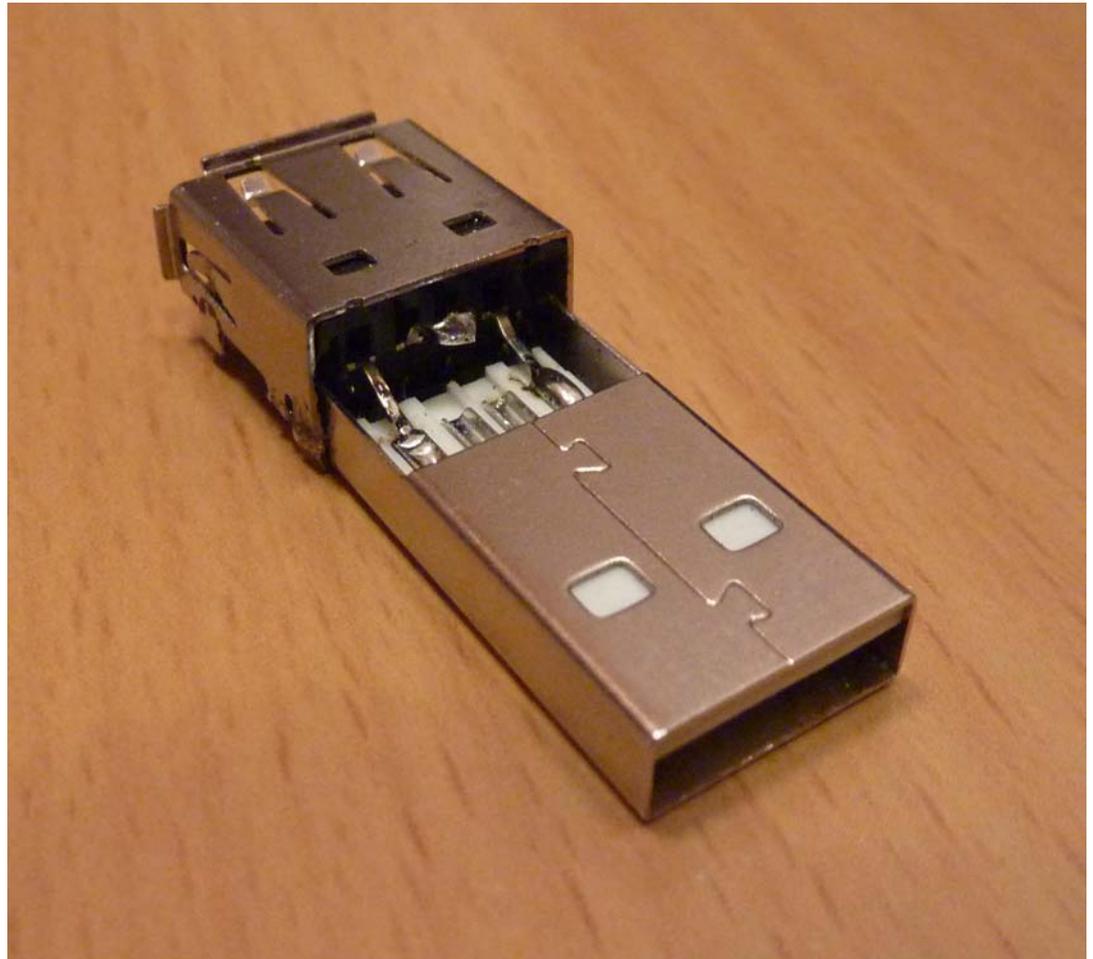
Und letztlich wurde auch an eine Lötöse gedacht, die auf Masse liegt und an der man gefahrlos ein Voltmeter oder einen Tastkopf anschließen kann, um die Pegel auf den anderen Leitungen zu untersuchen oder die Lastabhängigkeit und den Störpegel auf der 5-Volt-Leitung zu messen.

Ein einfacher EU-Adapter

Einen einfachen EU-Adapter kann man sich aus dem Innenleben eines USB-A-Steckers und einer USB-A-Buchse in SMD-Technologie selbst bauen. Damit ist man für alle eigenen EU-konformen Verbraucher immer gut gerüstet – egal bei welchem Freund man gerade Strom tanken möchte.

Doch aufpassen: wenn beim Stecker das Plastikteil oben liegt (wie im Foto), muss es bei der Buchse unten sein (oder umgekehrt).

Sonst würden im Adapter Plus und Minus sowie D+ und D- vertauscht: mit fatalen Folgen.



Sonstige Entwicklungen

Die erkennbare Hinhaltenaktik der Unternehmen bei der Akzeptanz des nur einmal verkaufbaren EU-konformen Ladegerätes ermunterte drei Unternehmen dazu, ziemlich intelligente Chips für universelle Ladegeräte zu entwickeln, die erkennen, welche Codierung der D+ und D- Leitungen ein Verbraucher erwartet.

Da ist zunächst die Bausteinreihe UCS1001, USC1002 und UCS1003 von **SMSC**. Diese Firma gehört inzwischen zu **MIKROCHIP**. Die Bausteine wurden aber weiter entwickelt und werden auch produziert.

Der zweite Hersteller ist **Texas Instruments** mit dem Baustein TPS2511 USB Dedicated Charging Port Controller and Current Limiting Power Switch. Einer Veröffentlichung von TI zur Einführung des Bausteins wurde übrigens das vielsagende Titelbild entnommen.

Die Bausteine der Firma **MAXIM** können ebenfalls neben dem universellen EU-Standard die Apple und Sony „Codierungen“ einstellen, je nachdem welchen Verbraucher sie erkennen. Die Bezeichnungen lauten: MAX14578AE bzw. MAX14578E USB Battery Charger Detector.

Literaturstellen

[1] UCS1001, USC1002 und UCS1003 von <http://www.smSC.com> besprochen von Bill Schweber: USB Port power controller ICs tackle pesky charging issues, 26.07.2011. www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1316717

SMSC gehört nun zu MIKROCHIP. Datenblätter:

<http://ww1.Mikrochip.com/downloads/en/DeviceDoc/UCS1001.pdf>

<http://ww1.Mikrochip.com/downloads/en/DeviceDoc/UCS1001-3%20and%20UCS1001-4%20Data%20Sheet.pdf>

<http://ww1.Mikrochip.com/downloads/en/DeviceDoc/UCS1002-1%20Data%20Sheet.pdf>

<http://ww1.Mikrochip.com/downloads/en/DeviceDoc/UCS1002-2%20Data%20Sheet.pdf>

<http://ww1.Mikrochip.com/downloads/en/DeviceDoc/20005346A.pdf>

[2] Tabelle mit Beschaltungen für Apple, Sony, HP TouchPad 2A und dedicated USB.

Gefunden in Ken Shirriff's blog: A dozen USB chargers in the lab: Apple is very good, but not quite the best, Notes and References [6].

<http://www.righto.com/2012/10/a-dozen-usb-chargers-in-lab-apple-is.html#ref6>

[3] N. N. Selbstbau eines iPod Ladegerätes.

www.mikrocontroller.net/articles/IPod_Ladegerät

[4] MAX14578E/MAX14578AE datasheet: USB Battery Charger Detectors

<http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX14578AE-MAX14578A.pdf>

[5] Adafruit's Minty Boost: A small battery-powered USB charger – oder - The mysteries of Apple device charging. <http://learn.adafruit.com/minty-boost>

Als pdf unter <http://learn.adafruit.com/downloads/pdf/minty-boost.pdf>

[6] Texas Instruments: TPS2511 USB Dedicated Charging Port Controller and Current Limiting Power Switch datasheet:

<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps2511.pdf>

[7] Wikipedia: USB Universal Serial Bus. (englische Ausgabe).

http://en.m.wikipedia.org/wiki/Universal_serial_Bus#Mobile_device_charger_standards

[8] Ken Shirriff's blog: Apple iPhone charger teardown: quality in a tiny expensive package.

<http://www.righto.com/2012/05/apple-iphone-charger-teardown-quality.html>

Der Betrag enthält auch das Schaltbild mit zwei Spannungsteilern zur Indikation von 500 mA sowie einen freien Platz für einen Null-Ohm-Widerstand an Stelle der Spannungsteiler, um daraus ein Standard-gemäßes Ladegerät zu machen.

<http://arcfn.com/files/charger-schematic.pdf>

[9] Jim Bird: Silicon based annoyance reduction made easy. Hinweis auf Baustein TPS2511 von TI. Der Beitrag enthält auch das Foto mit dem verärgerten Handy User von der Eingangsseite der Präsentation.

http://e2e.ti.com/blogs_/b/powerhouse//archive/2012/08/14/post-1.aspx

[10] USB Battery Charging Specification, Revision 1.2 /BC1.2)

[11] Chinese Telecommunications Industry Standard YD/T 1591-2009