



# USB-Grundlagen

## Teil 1

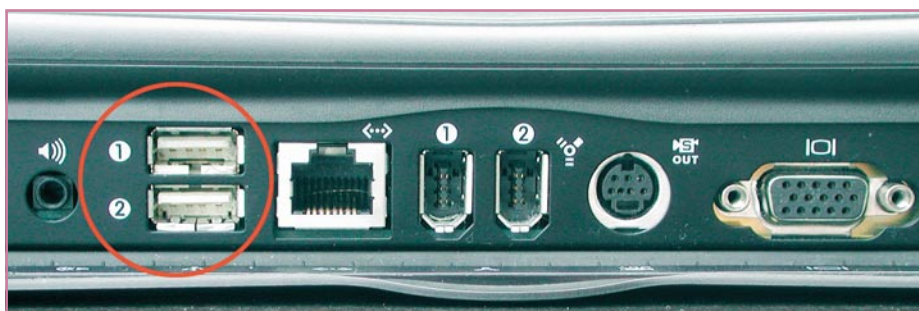
***Der USB (Universal Serial Bus) ist die Schnittstelle, um die sich derzeit in der Computerwelt (fast) alles dreht. Nähert der USB sich doch der Idealvorstellung des Computer-Benutzers von der wirklich universellen und einfachst benutzbaren Schnittstelle. Und mit der aktuell an Raum gewinnenden Spezifikation 2.0 wird die USB-Nutzung noch rasant an Tempo gewinnen, denn nun wird der USB-Port zur superschnellen Schnittstelle, die dem schnellen Firewire-Port zunehmend Konkurrenz macht. In unserer Artikelserie stellen wir die Grundlagen des USB und seine Anwendungen ausführlich vor.***

### Einer für viele

Jeder, der schon einmal auf die Rückseite eines PCs geschaut hat, kennt die große Vielfalt an verschiedenartigen Steckverbindern, die an dieser Stelle schon seit vielen Jahren zum Einsatz kommen. Der

unerfahrene Anwender ist damit zunächst überfordert und kann die entsprechenden Schnittstellen nicht zuordnen, da fast jedes Peripheriegerät über einen anderen Anschluss verfügt. Die Tastatur und die Maus werden über die (verwechselbare) PS/2-Schnittstelle, das Modem über die serielle RS-232-Schnittstelle und der Drucker an

die parallele Schnittstelle angeschlossen. Diese Liste kann fast endlos fortgeführt werden. Damit der normale Computerkäufer wenigstens bei der Erstinbetriebnahme eine Übersicht bekommt, hat man vor einigen Jahren die Schnittstellen und die zugehörigen Stecker farblich gekennzeichnet. Dieses System gerät aber spätestens mit



**Bild 1: Die Schnittstellenansicht eines modernen Laptops zeigt USB-Schnittstellen als Universal-Ports (links, 1 und 2), rechts sind hier 2 Firewire-Ports zu sehen.**

dem Anschluss eines Druckers aus den Fugen, denn in dessen Karton findet sich (wenn überhaupt) ein computergraues Kabel mit ebensolchem Stecker...

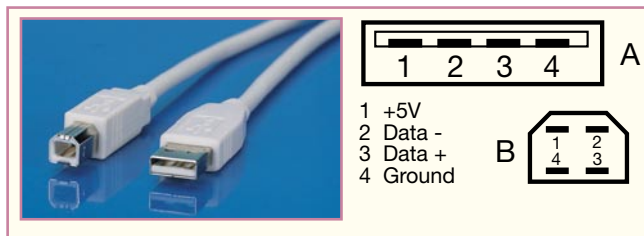
Die Inbetriebnahme etwa eines Scanners stellt den Benutzer vor weitere Schwierigkeiten, da diese Geräte wegen der hohen, zu übertragenden Datenmengen oft eine SCSI-Schnittstelle aufweisen, die durch die mitgelieferte Einsteckkarte zur Verfügung gestellt wird. Zum Einbau dieser Karte muss man das PC-Gehäuse, das meist schwer zugänglich irgendwo unter dem Schreibtisch steht, öffnen. Zuvor ist die Konfiguration der Schnittstelle jedoch hardwaremäßig über Jumper (Codierbrücken) einzustellen - hier kann man nach Murphy alles falsch machen, was falsch zu machen geht. Andere Einsteckkarten (z. B. Modems) bereiten ähnliche Probleme.

Zu den Problemen beim Anschluss kommt dann noch hinzu, dass viele der Einsteckkarten und angeschlossenen Geräte wertvolle Systemressourcen (Interrupts, DMA-Kanäle, Speicheradressen usw.) belegen, die in einem solchen System jedoch nur begrenzt zur Verfügung stehen und oft schon für bestimmte Funktionen (Tastatur, COM-Schnittstellen, Soundoption usw.) reserviert sind. Hierdurch ist es häufig nicht möglich, alle Zusatzgeräte ohne Konflikte auf die Systemressourcen abzubilden. Und wer hat schon Lust (und die Kenntnisse), sich durch die Untiefen des Betriebssystems zu kämpfen, bis alle Einstellungen

vorgenommen und alle Konflikte beseitigt sind. Wer sich noch erinnern kann, wie er damals unter Windows 95 eine Soundkarte installiert hat, weiß, was ihn bei jeder neuen Hardware erwartet...

Alle diese Probleme und Unzulänglichkeiten sind schon seit vielen Jahren be-

**Bild 3: Die Steckerbelegung der USB-Stecker, das Foto zeigt die beiden Typen A und B.**



kannt. Aus diesem Anlass haben sich Anfang der neunziger Jahre mehrere Firmen zu einem Konsortium zusammengeschlossen und ein völlig neues und modernes Konzept erarbeitet, welches 1995 als USB-Spezifikation in der Version 1.0 veröffentlicht wurde. Damit wird ein Datendurchsatz bis zu 12 MBit/s erreicht, für viele Anwendungen völlig ausreichend. Schneller geht es mit der aktuellen Spezifikation 2.0, die im Übrigen abwärtskompatibel zum „alten“ Standard 1.1 ist. Ebenso sind 1.1-Geräte am 2.0-Bus betreibbar, natürlich mit ihrer „langsamen“ Datenrate. USB 2.0-Konfigurationen erreichen Datentransferraten bis zu 480 MBit/s und treten damit in die direkte Konkurrenz zum bisher als schnellsten Bus geltenden Firewire-Bus nach IEEE 1394 (400 MBit/s). Damit ist

der Schritt getan, um auch schnelle Festplatten, Scanner, digitale Camcorder usw. per USB anschließen zu können.

Der USB (Universal Serial Bus) bietet eine einheitliche Lösung für den Anschluss der unterschiedlichsten Geräte an den PC und hat sich schon seit einigen Jahren für die meisten Neuentwicklungen im PC-Bereich durchgesetzt. Dies geht mittlerweile schon soweit, dass die meisten neuen Laptops über gar keine RS-232-Schnittstelle mehr verfügen, sondern dass alle entsprechenden Geräte fast ausschließlich über den USB angeschlossen werden (Abbildung 1). Peripheriegeräte werden heute (außer für Spezialanwendungen) nahezu immer mit USB-Schnittstelle geliefert, egal, ob dies Digitalkameras sind, Drucker, Scanner, Tastaturen, Mäuse, Modems...

Bei der Spezifikation des USB wurde besonders auf einfache Anwendbarkeit für den Benutzer geachtet, so dass der An-

schluss der Peripheriegeräte ohne größere Probleme, bei modernsten Betriebssystemen sogar ohne manuelle Treiberinstallation, durchgeführt werden kann. Dieses liegt hauptsächlich an den „revolutionären“ Eigenschaften, die der USB aufweist.

### Eigenschaften des USB

Im Folgenden sollen die wichtigsten Eigenschaften des „Universal Serial Bus“ aufgezeigt werden, die die einfache Anwendung für den Endanwender erst möglich machen.

Bei den herkömmlichen Schnittstellen ist es nicht erlaubt, weitere Geräte während des Betriebs anzuschließen oder vom Rechner zu trennen - ein Systemabsturz kann die geringste Folge sein.

Beim USB hingegen darf weitere Peripherie auch im laufenden Betrieb angeschlossen werden. Der PC bzw. das Betriebssystem erkennt das Anschließen des Gerätes, lädt selbstständig den entsprechenden Treiber, ohne dass der Benutzer eingreifen muss, und das Gerät ist sofort einsatzbereit.

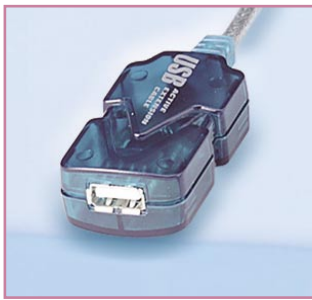
Gleiches gilt auch für das Entfernen des entsprechenden Gerätes vom Busanschluss. Es ist kein Neustart erforderlich, das System läuft normal weiter. Diese Eigenschaft wird als „hot-plug-and-play“ bezeichnet.

USB-Speichergeräte, z. B. Speicherkarten in CompactFlash-Readern oder andere externe Speichergeräte, sind auch genau so



**Bild 2: Das kann USB - Mini-Speicherstick für das äußerst einfache Auslagern von wichtigen Daten.**





**Bild 4: Ein Repeater ist ein kleiner Mini-Hub, der höhere Kabellängen erlaubt.**

einfach beschreib-, les- und löschar, wie man es von der Diskette her kennt. Für die ganz persönlichen Daten gibt es hier sogar kleine Memory-Sticks (Abbildung 2), die bestimmte Daten allein auf dem internen Flash-Speicher ablegen. Der gerade daumenlange Stick wird einfach abgezogen und in die Tasche gesteckt, schon sind alle Daten sicher außerhalb des Rechners deponiert.

Doch zurück zum USB selbst. Der Bus ist sternförmig aufgebaut und es können bis zu 127 Geräte angeschlossen werden. Jedoch müssen bei dieser Anzahl die zwingend notwendigen Hubs (Sternkoppler) mitgezählt werden.

Der Anschluss erfolgt über einheitliche Steckverbinder und Kabel, die die bisher unübersichtliche Vielfalt an Steckern und Buchsen der herkömmlichen Schnittstellen ablösen. Durch die Form der Steckverbinder werden unerlaubte Verbindungen verhindert (z. B. direkte Verbindung zweier PCs, Schleifen usw.).

Eine weitere Eigenschaft des USB ist die, dass die angeschlossenen Geräte keine Systemressourcen (Interrupts, DMA-Kanäle usw.) belegen und so eine konfliktfreie Konfiguration und einen stabilen Betrieb des gesamten PC-Systems unterstützen.

Der USB verfügt des weiteren über Routinen zur Fehlererkennung und -behandlung, um eine sichere und fehlerfreie Übertragung zu unterstützen.

In der USB-Spezifikation sind drei Geschwindigkeitsklassen festgelegt (angegeben ist die max. Übertragungsrate):

|                                     |
|-------------------------------------|
| Low-Speed: 1,5 MBit/s               |
| Full-Speed: 12 MBit/s               |
| High-Speed: 480 MBit/s (ab USB 2.0) |

Die Low-Speed-Variante findet ihre Anwendung hauptsächlich in Geräten, bei denen der niedrige Preis eine wichtige Rolle spielt, da hier u. a. günstigere Kabel zum Einsatz kommen können. Diese Geräte erfordern auch einfach keine hohen Datenraten. Beispiele hierfür sind Tastaturen, Mäuse, Joysticks usw.

Die meisten derzeitigen USB-Geräte arbeiten mit der Full-Speed-Version, etwa Drucker, externe Modems und Laufwerke.

Die jetzt immer mehr Raum greifende High-Speed-Variante steht in direkter Konkurrenz zur IEEE-1394-Schnittstelle, welche auch unter der Markenbezeichnung von Apple als „Fire-Wire“ bekannt ist. Die Anwendung erfolgt vor allem bei Geräten, die hohe Übertragungsraten fordern (z. B. Videobearbeitung oder externe Festplatten).

Bei USB-Geräten muss man zwischen „self-powered-devices“ und „bus-powered-devices“ unterscheiden. Die Erstgenannten verfügen über eine eigene Stromversorgung. Die zweite Klasse bezieht die Versorgungsspannung (5 V) aus dem Bus, so dass kein zusätzlicher Anschluss, z. B. eines Steckernetzteils erforderlich ist, was somit wiederum zur Verringerung des „Kabelsalats“ hinter dem PC führt. Diese Geräte nehmen nur wenige Milliampere auf und verhalten sich, wenn sie exakt gemäß USB-Spezifikation entworfen sind, sehr „solidarisch“ am Bus - sobald eine Inaktivität am Bus von 3 ms Länge auftritt, gehen sie in den Schlafzustand, währenddessen sie nur 2,5 mA Strom aufnehmen.

### USB Hardware

Hier soll nicht die Schaltungstechnik beschrieben werden, die hinter dem USB steht, sondern es soll das notwendige und spezifizierbare Zubehör (Hardware) für einen problemlosen Aufbau eines USB-Systems vorgestellt werden, da im Handel immer noch nicht spezifikationsgemäßes Zubehör angeboten wird.

### Stecker

Die USB-Steckverbinder sind in Abbildung 3 zu sehen. Links ist der USB-Stecker Typ B, rechts der USB-Stecker Typ A zu sehen. Diese verfügen jeweils über vier Anschlüsse (Spannungsversorgung -, Spannungsversorgung +, Daten -, Daten +), wobei die Kontakte der Spannungsversorgung etwas länger ausgeführt sind, damit diese schon sicher verbunden ist, wenn die Datenleitungen kontaktiert werden.

Zum Anschluss von kompakteren Geräten, wie z. B. Digital-Kameras, PDAs usw., die keinen Platz für einen „großen“ Steckverbinder haben, gibt es einen USB-Stecker Typ B in

Miniaturform (Mini-B) mit deutlich geringeren Abmessungen.

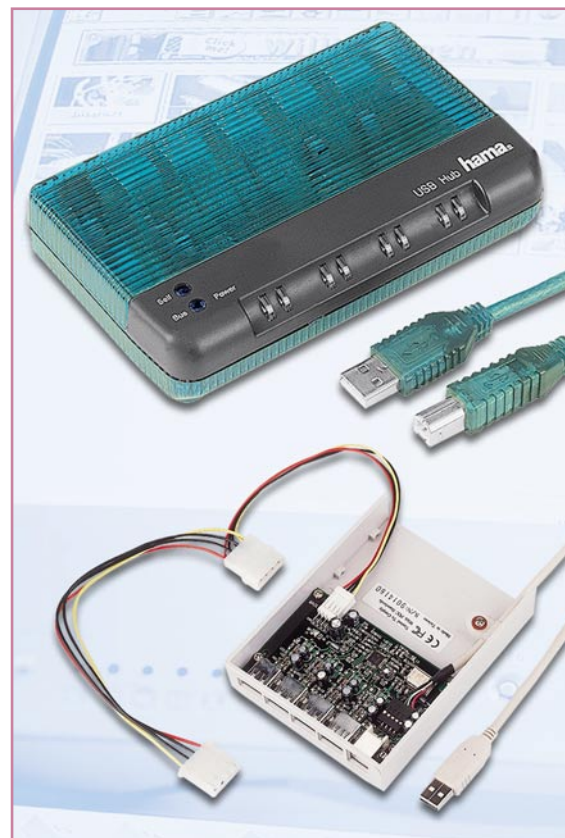
### Kabel

Die Kabel sind wichtige Elemente beim Anschluss von USB-Geräten und gewisse Grundkenntnisse sind von Vorteil, da im Handel auch nicht der USB-Spezifikation entsprechende Kabel vertrieben werden. Aus diesem Grund soll dieses Thema etwas ausführlicher behandelt werden.

Low-Speed-Geräte stellen geringere Anforderungen an die Anschlussleitung, welche aus diesem Grund häufig einen geringeren Durchmesser haben und flexibler sind. Diese Eigenschaft der Kabel kommt der Verwendung bei kabelgebundenen Mäusen zugute, da die Flexibilität den Bedienkomfort erhöht. Diese Leitungen müssen fest mit dem Gerät verbunden sein, damit ein Betrieb des Kabels mit Full-Speed-Geräten vermieden wird.

Full-Speed-Geräte verfügen über einen steckbaren Anschluss und stellen deutlich höhere Anforderungen an das verwendete Kabel. Aus diesem Grunde weisen die Kabel einen aufwendigeren Aufbau (verdrihte Adern, bessere Abschirmung) auf.

USB-Kabel haben auf der einen Seite einen Stecker vom Typ A, auf der anderen Seite der Leitung befindet sich ein Typ-B-Stecker. Alle anderen Konfigurationen ent-



**Bild 5: USB-Hubs gibt es in den verschiedensten Formen, hier ein externer Hub und ein Hub für den Laufwerksschacht, der die USB-Schnittstellen bequem von vorn erreichbar macht.**

sprechen nicht der USB-Spezifikation (z. B. Stecker Typ A auf Stecker Typ A, Stecker Typ B auf Stecker Typ B, Stecker Typ A auf Buchse Typ A). Der Stecker vom Typ A stellt immer die Verbindung mit dem Port eines Hubs bzw. Root Hubs dar (Downstream), der Stecker vom Typ B stellt stets die Verbindung zum USB-Gerät hin her (Upstream). Das einheitliche Anschlusskabel macht einen großen Teil des Erfolgs des USB aus, da mit den korrekten Kabeln keine unerlaubten Verbindungen (Schleifen, Kurzschlüsse) realisierbar sind. Wird z. B. ein nicht erlaubtes Kabel mit beidseitigem Typ-A-Stecker verwendet und verbindet man damit zwei PCs, so werden die Netzteile beider PCs kurzgeschlossen, was u. U. zur Zerstörung aller beteiligten Geräte führen kann.

Weiterhin ist die maximale Länge der USB-Kabel auf 5 Meter (bei Low-Speed-Anwendungen sogar auf nur 3 m) begrenzt. Diese Länge ergibt sich aus der Signallaufzeit und dem Spannungsabfall auf den Versorgungsleitungen. Aus diesem Grunde sind USB-Verlängerungskabel, auch wenn zwei zusammengesteckte Kabel 5 Meter Länge nicht überschreiten, nicht spezifikationsgemäß. Ebenso sind etwa „Gender-Changer“ wie sie von der RS-232-Schnittstelle bekannt sind, im USB-System nicht erlaubt.

Abhilfe schaffen hier so genannte USB-Repeater (Abbildung 4), die einen kleinen Hub und einen Speicher beherbergen und so dafür sorgen, dass das Signal quasi „aufgefrischt“ wird. Mit solchen Repeatern, die allerdings unbedingt den USB-Spezifikationen entsprechen müssen (sieht man schon am Preis - Gutes kostet eben...), kann man dann tatsächliche Kabellängen bis 25 m realisieren.

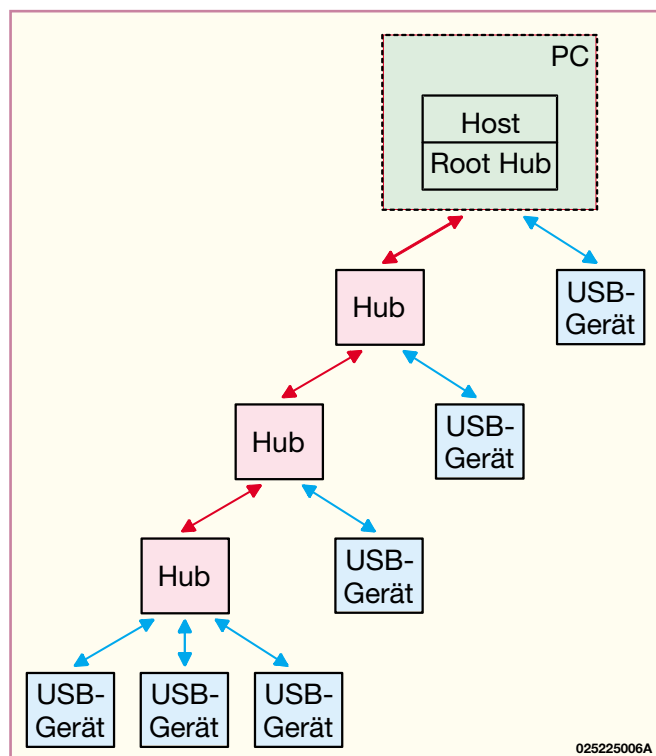
Anschlussleitungen, die der Spezifikation für Full-Speed-Kabel entsprechen, sind auch für den High-Speed-Mode geeignet. Es müssen für den USB-2.0-Standard keine teuren Spezialkabel angeschafft werden.

### Hubs

Hubs (Abbildung 5) sind ein wichtiger Teil eines USB-Systems und dienen zur Erweiterung der verfügbaren Ports zum Anschluss weiterer Geräte. Einen Hub könnte man auch als „Sternkoppler“ beschreiben, der aus einem „Upstream“-Port üblicherweise 2 bis 7 „Downstream“-Ports zur Verfügung stellt. Im PC (Host) befindet sich immer ein Hub, welcher als „Root-Hub“ bezeichnet wird. Oftmals sind Hubs in USB-Geräte integriert (z. B. Tastatur oder Monitor mit integriertem Hub), die als „Compound-Devices“ bezeichnet werden.

Hubs spielen eine wichtige Rolle für den USB beim Anschließen und Entfernen von USB-Geräten. Bei USB 2.0 hat der Hub

**Bild 6:  
Die Topologie  
des USB**



zusätzlich die Aufgabe der Umsetzung zwischen High-Speed und Full-/ Low-Speed-Datenverkehr auf dem Bus. Derartige Hubs erkennen automatisch die vom angeschlossenen Gerät benötigte Datentransferrate und stellen diese ein. Zusätzlich schützen Hubs PC und angeschlossene Geräte auch vor Überspannungen, Kurzschlüssen usw. Hubs können sowohl Bus-powered sein (üblich bis max. 4 Downstream-Ports) als auch Self-powered über ein eigenes Netzteil. Spezialfälle stellen direkt in den Rechner montierbare Hubs dar. Diese werden entweder vom PC-Netzteil oder vom PCI-Bus direkt versorgt.

### USB-Topologie

Unter Topologie versteht man die Anordnung von Geräten und Kabeln, in der ein solches System aufgebaut wird.

Der USB ist ein „single-master-bus“, d. h. es gibt nur einen Master, der die komplette Datenkommunikation steuert. Dieser Master ist der „host-controller“, der alle Transaktionen auf dem Bus initiiert. Dem „host-controller“ ist der „root-hub“ nachgeschaltet, dessen Ports die Schnittstellen nach außen darstellen. Hier werden die externen Peripheriegeräte, oder, falls notwendig, auch Hubs angeschlossen. In Abbildung 6 ist die kaskadierte Sternstruktur zu erkennen, in der die USB-Geräte und die Hubs miteinander verschaltet sind. Es dürfen maximal 5 externe Hubs hintereinander geschaltet werden. Die Gesamtanzahl der Geräte an einem Host ist auf 127 begrenzt, wobei die Hubs mit in die Zählung eingehen. Man kann aber wohl trotzdem mehr als genug Geräte an den USB

anschließen. Die maximale Ausbaustufe mit 127 angeschlossenen Geräten wird man mit einem normalen Rechnersystem nicht benötigen.

Gerade diese einfache Topologie macht die Anwendung für den Benutzer so unproblematisch, da nur ganz wenige Punkte beachtet werden müssen.

Der Aufbau eines USB-Systems ist im Großen und Ganzen sehr einfach und auch für den unerfahrenen Anwender kein Problem. Jedoch können durch unzulässiges Zubehör Fehler auftreten. Mit dem gegebenen Hintergrundwissen können solche Fehler schon im Vorfeld ausgeräumt werden. Die wohl häufigste, wenn auch seltene Fehlermeldung bei der Nutzung des USB wird die Erinnerung an einen noch nicht installierten Treiber sein. Neue Betriebssysteme wie Windows XP erfordern oft nicht einmal diese Installation, sondern binden fast jedes USB-Gerät automatisch ins System ein, sofern der entsprechende Treiber vom Betriebssystem mitgeliefert wird.

Im zweiten Teil des Artikels erfolgt ein Überblick über die Technik, die hinter diesem modernen Buskonzept steht. **ELV**

#### Weiterführende Informationen:

- [1] Homepage des USB-Implementers Forum  
<http://www.usb.org>
- [2] USB 2.0, H.-J. Kelm (Hrsg.), Franzis' Verlag
- [3] USB-Handbuch für Entwickler, Jan Axelson, mitp-Verlag