



USB 3.0 – Hintergründe, Neuerungen und Einsatzmöglichkeiten als Kameraschnittstelle

Whitepaper

© 2012 IDS Imaging Development Systems GmbH. Alle Rechte vorbehalten.



IDS Imaging Development Systems GmbH
Dimbacher Str. 6-8
74182 Obersulm
Tel. +49-(0)7134-96196-0
Fax +49-(0)7134-96196-99

sales@ids-imaging.de
www.ids-imaging.de

Inhalt

1	Einleitung	2
2	Entwicklung	3
2.1	Stand der Entwicklung	3
2.2	Entwicklungsziele und Neuerungen	3
3	Technologie	4
3.1	Abwärtskompatibilität	4
3.2	Energiemanagement	5
3.2.1	High-Power-Modus	5
3.2.2	Neue Standbymodi	5
3.3	Protokoll	5
3.3.1	Polling und Übertragungsverfahren	5
3.3.2	PC-Hostcontroller	6
3.4	Hardware – Verkabelung und Hubs	7
3.4.1	Kabel	7
3.4.2	Stecker	8
3.4.3	Hubs	10
4	Einsatz als Kameraschnittstelle	11
5	Quellen und weiterführende Links	12

1 Einleitung

Unter den heutigen digitalen PC-Schnittstellen besitzt USB die mit Abstand weiteste Verbreitung. Aktuelle Verkaufsstatistiken nennen weltweit mehr als 10 Milliarden verkaufter Geräte mit USB-Anschluss. Dank der integrierten Spannungsversorgung über das USB-Kabel eignet sich die Schnittstelle vor allem für Geräte, die keine eigene Spannungsversorgung bieten.

Der USB-Standard wurde 1996 zunächst in der Version 1.0 und kurz darauf in der leicht überarbeiteten Version 1.1 vorgestellt. Funktionen wie Hot-Plugging (d. h. das Entfernen und Verbinden von Geräten im laufenden Betrieb), integrierte Spannungsversorgung mit 5 V und einfache Erweiterbarkeit mit USB-Hubs hoben die neue Technologie von den bisher vorhandenen PC-Schnittstellen ab. Gleichzeitig bestimmten diese Merkmale die Ausrichtung auf Peripheriegeräte wie Mäuse, Tastaturen und Drucker – die Anbindung von Geräten mit hohem Datenaufkommen war bei „Full-Speed USB“ mit einer maximalen Bandbreite von 12 Mbit/s (etwa 1,5 MByte/s) nicht vorgesehen.

Die Version 2.0 des Standards mit der Bezeichnung „Hi-Speed USB“ wurde 2001 vorgelegt und beinhaltete als wesentliche Verbesserung eine Erhöhung der maximalen Bandbreite auf 480 Mbit/s. Mit in der Praxis erreichbaren 40 MByte/s fand USB 2.0 weite Verbreitung im Bereich externer Massenspeicher sowie bei Scannern und Kameras.

Zehn Jahre nach der Veröffentlichung von USB 2.0 bieten aktuelle PCs mit Hochgeschwindigkeitsschnittstellen wie Gigabit Ethernet Bandbreiten, die die Leistung von USB 2.0 um ein Vielfaches übersteigen. Externe Festplatten mit Größen im TByte-Bereich oder beispielsweise die weiter steigende Auflösung – und damit erzeugte Datenmenge – von Kameras ließen den Ruf nach einer schnelleren Version von USB laut werden.

Im November 2008 wurde mit der Spezifikation für „SuperSpeed USB“ eine verbesserte und vor allem deutlich schnellere Version der beliebten Schnittstelle vorgestellt. Neuerungen sowohl auf der Protokollebene als auch auf der Hardwareseite beheben wesentliche einige Limitierungen der Version 2.0.

Dieser Artikel stellt die wesentlichen Merkmale von USB 3.0 sowie deren Vorteile für den Einsatz als Kameraschnittstelle in der Bildverarbeitung vor.

2 Entwicklung

2.1 Stand der Entwicklung

Am 12. November 2008 stellte das „USB Implementers Forum“ (kurz: USB-IF) um die Firmen HP, Intel und Microsoft die erste Revision der neuen Spezifikation vor. Parallel zur Fertigstellung des Standards lief die Entwicklung von USB 3.0-Chipsätzen an, die ersten Chips waren ab der Jahresmitte 2009 verfügbar. Mittlerweile hat USB 3.0 als Schnittstelle bei PCs und Peripheriegeräten Einzug gehalten.

Mit Hilfe von FPGAs realisierte Host-Controller erreichten dabei Datendurchsätze um die 400 MByte/s.

2.2 Entwicklungsziele und Neuerungen

Die Hauptziele bei der Entwicklung des neuen Standards waren:

- Erhöhung der Datenrate um etwa Faktor zehn auf 5 Gbit/s
- Beibehaltung und Unterstützung bestehender USB-Infrastruktur
- Optimierung des Energiemanagements der angeschlossenen Geräte
- Umgehung des Polling-Verfahrens des bisherigen USB-Protokolls: angeschlossene Peripheriegeräte durften bisher nicht eigenständig Daten senden, sondern mussten auf Anforderungen des Host-Controllers warten.

Mit diesen Punkten werden die wesentlichen Limitierungen von Hi-Speed-USB überarbeitet und verbessert.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Unterschiede zwischen USB 2.0 und 3.0:

	USB 2.0 „Hi-Speed“	USB 3.0 „SuperSpeed“
Bandbreite (nutzbar):	480 Mbit/s (ca. 40 MByte/s)	5 Gbit/s (ca. 400 MByte/s)
Stromversorgung maximal:	500 mA bei 5 V (2,5 W)	900 mA bei 5 V (4,5 W)
Datentransfer:	Polling/Hostgesteuert	Asynchron/Gerätegesteuert
Duplexverfahren:	Halb-Duplex: Eindirektionaler Transfer	Dual-Simplex: Getrennte Adernpaare für Senden/Empfangen
Kabellänge mit Standardkabeln*):	5 m	3 – 8 m

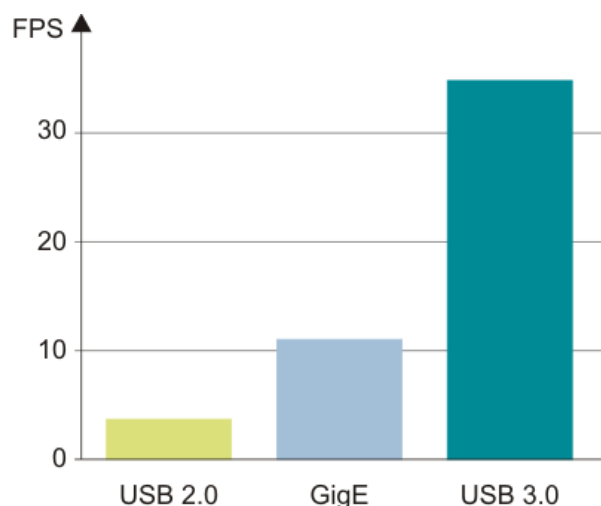
*) Eine maximale Kabellänge ist nicht spezifiziert. Es handelt sich hierbei um die Standardkabellänge. Mittels Repeater lassen sich Kabellängen bis 20 m realisieren, bei Signalumwandlung in optische Signale sind Kabellängen bis zu 100 m möglich.

Im Wesentlichen unverändert geblieben sind dagegen folgende Merkmale der USB-Schnittstelle:

- Topologie: Stern-Topologie auf bis zu fünf Ebenen mit USB-Hubs als Verteiler, Anschluss von bis zu 127 Geräten möglich
- Unterstützung niedrigerer Geschwindigkeiten (Low-, Full-, Hi-Speed)
- Transfer- und Pakettypen (Control, Bulk, Interrupt, Isochronous)

Anders als beim Erscheinen des Standards USB 2.0, der damals den existierenden Standard USB 1.1 ablöste, soll die Version 3.0 nicht den bestehenden Standard 2.0 ersetzen. Diese Entscheidung sorgt für mehr Klarheit für Verbraucher: Bei USB 2.0 dürfen Geräte auch dann als „USB-2.0-kompatibel“ bezeichnet werden, wenn sie nicht die hohe Datenrate von Hi-Speed-USB unterstützen – solange sie ansonsten dem Standard entsprechen. Im Falle von USB 3.0 muss ein Gerät tatsächlich die SuperSpeed-Datenrate unterstützen, um eine entsprechende Bezeichnung tragen zu dürfen.

Abbildung 1: Das Balkendiagramm veranschaulicht den Geschwindigkeitsvorsprung von USB 3.0 am Beispiel der Übertragung von Bildern mit 10 Megapixel Auflösung (8 bit Farbtiefe).



3 Technologie

3.1 Abwärtskompatibilität

USB 3.0 ist grundsätzlich abwärtskompatibel, somit können bestehende USB 2.0 Systeme und Geräte problemlos weiterverwendet werden. Jedoch profitieren alte Geräte nur bedingt vom enormen Geschwindigkeitspotential. Zuwachsraten von etwa 10% sowie verbesserte Zugriffszeiten beim Betrieb eines USB 2.0 Gerätes an einem USB 3.0 Port sind jedoch in der Praxis möglich. Auch umgekehrt ist die Kompatibilität gewährleistet, allerdings kämpft das USB 3.0 Gerät dann mit dem Flaschenhals USB 2.0 Port und kann demzufolge nur die niedrigere Übertragungsrate nutzen.

Die universelle Verfügbarkeit der USB-Schnittstellen sowie die konkurrenzlos hohe Datenübertragungsrate garantieren langfristige Investitionssicherheit.

3.2 Energiemanagement

3.2.1 High-Power-Modus

Statt bisher 500 mA stellt ein SuperSpeed-USB-Anschluss nun bis zu 900 mA pro Gerät zur Verfügung. Auf Anfrage kann ein Gerät den sogenannten High-Power-Modus verwenden. Damit können auch leistungshungrige Geräte wie externe Festplatten oder aber auch hochauflösende CCD Sensoren ohne zusätzliche Stromversorgung verwendet werden.

3.2.2 Neue Standbymodi

USB 2.0 bietet die Möglichkeit, dass der Host ein Gerät in einen Standby-Modus mit niedrigerer Stromversorgung (bis zu 100 mA) setzt. Ein eigenständiges Energiemanagement auf Geräteseite ist nicht implementiert.

Mit SuperSpeed-USB wurde das sogenannte „Link Level“-Energiemanagement eingeführt, bei dem sich Geräte selbstständig in einen anderen Betriebsmodus setzen können. Dabei sind vier Modi vorgesehen, von U0 – dem normalen Betriebsmodus – bis U3, die progressiv durchlaufen werden. Je höher der Modus, desto mehr Funktionen schaltet das Gerät ab, braucht dementsprechend signifikant weniger Energie, aber auch länger zum Aufwachen. Im Standby-Betrieb werden keine Daten zum Host gesendet. Bei eingehender Kommunikation vom Host wacht das Gerät wieder auf und signalisiert Bereitschaft.

3.3 Protokoll

Wie bei den bisherigen USB-Standards teilen sich auch bei SuperSpeed-USB die an einem Bus angeschlossenen Geräte die verfügbare Bandbreite nach einem Host-gesteuerten Protokoll auf. SuperSpeed-USB bietet neben einer höheren Geschwindigkeit der Datenübertragung auch neue Mechanismen auf Protokollebene, die es ermöglichen, große Datenmengen effizienter zu übertragen.

3.3.1 Polling und Übertragungsverfahren

Die größte Limitierung der USB-2.0-Anbindung ist die Verwendung von Polling-Mechanismen zur Kommunikation des Hosts mit den angeschlossenen

Geräten. Auf Grund der Master-Slave-Hierarchie können Geräte nicht eigenständig Daten senden. Der Hostcontroller sendet stattdessen in regelmäßigen Abständen Anfragen, sogenannte „IN“-Token, an die Geräte. Haben diese Daten für den Host, werden die Daten an das IN-Token angehängt und zurückgesendet. Dieses Host-kontrollierte Verfahren verursacht zum einen Latenzen, zum anderen erhöhte Rechenlast auf Seiten des PCs.

Unter SuperSpeed-USB kommt dieses Polling-Verfahren daher nicht mehr zum Einsatz. Die Endgeräte können eigenständig Daten senden, ohne auf eine Anfrage des Hostcontrollers zu warten. Dieser kann nach wie vor Daten anfordern, wenn ein Geräte jedoch nicht sendebereit ist, kann es dies mit einem „Not Ready (NRDY)“-Paket signalisieren. Als Abschluss einer Datensendung vom Endgerät sendet dieses einen „Handshake“. SuperSpeed-USB unterstützt das Senden von Bursts, also Sequenzen aus mehreren Datenpaketen, die mit dem Handshake abgeschlossen werden.

Hohe Datenmengen, wie sie von USB-Kameras entstehen, werden im Bulk-Modus übertragen. Dieser erlaubt zum einen das Senden großer Datenpakete und bietet zum anderen eine Fehlerkorrektur, die bei Übertragungsfehlern Pakete neu anfordert. Im Bulk-Modus ist es nicht möglich, einem Gerät bzw. einer Verbindung feste Bandbreite zuzuweisen, sondern es wird die vorhandene Bandbreite ausgenutzt. Ein isochroner Modus ist ebenfalls vorhanden, der eine feste Bandbreitenzuweisung ermöglicht, allerdings keine Fehlerkorrektur besitzt.

Zur weiteren Verbesserung der Transferleistung teilen SuperSpeed-Geräte dem Host ihre spezifische Latenz-Toleranz mit, so dass dieser die Kommunikation mit diesem Gerät optimieren kann.

3.3.2 PC-Hostcontroller

Der USB-3.0-Hostcontroller trägt die Bezeichnung xHCI für Extended Host Controller Interface. Hostcontroller für USB 2.0 erkennt man am Kürzel EHCI, USB-1.1-Controller heißen OHCI oder UHCI. Mainboard-Chipsätze besitzen demnach für jede USB-Generation einen Hostcontroller im Southbridge-Chip, der sogenannte USB-Root-Hub leitet die Daten an die entsprechenden Hostcontroller weiter.

3.4 Hardware – Verkabelung und Hubs

3.4.1 Kabel

Ein Hi-Speed-USB-Kabel besitzt neben den beiden Adern für die Stromversorgung ein verdrehtes Adernpaar für die Datenübertragung (mit D+/D- bezeichnet). Über diese werden die Daten differenziell übertragen, um Störungen durch Addition der Signale zu eliminieren. In der Regel ist das komplette Kabel mit einem zusätzlichen Schirm versehen. Über das Adernpaar erfolgt die Datenübertragung im Halbduplex-Verfahren, also in jeweils die eine oder die andere Richtung.

Für SuperSpeed-USB werden ebenfalls Kupferleitungen verwendet, allerdings kommen für Sende- und Empfangsrichtung getrennte Adernpaare zum Einsatz, die Verbindung ist also Vollduplexfähig. Im Gegensatz zum Aufbau des Hi-Speed-Kabels müssen die Adernpaare bei SuperSpeed-USB jeweils eine zusätzliche Schirmung besitzen, um die Störsicherheit der hochfrequenten Signale zu erhöhen.

Aus Gründen der Abwärtskompatibilität besitzt ein USB-3.0-Kabel sowohl Leitungen für Hi-Speed als auch für SuperSpeed. Die Leitungen für SuperSpeed werden mit SSTX+/- und SSRX+/- (für SuperSpeed Transmit bzw. Receive) bezeichnet.

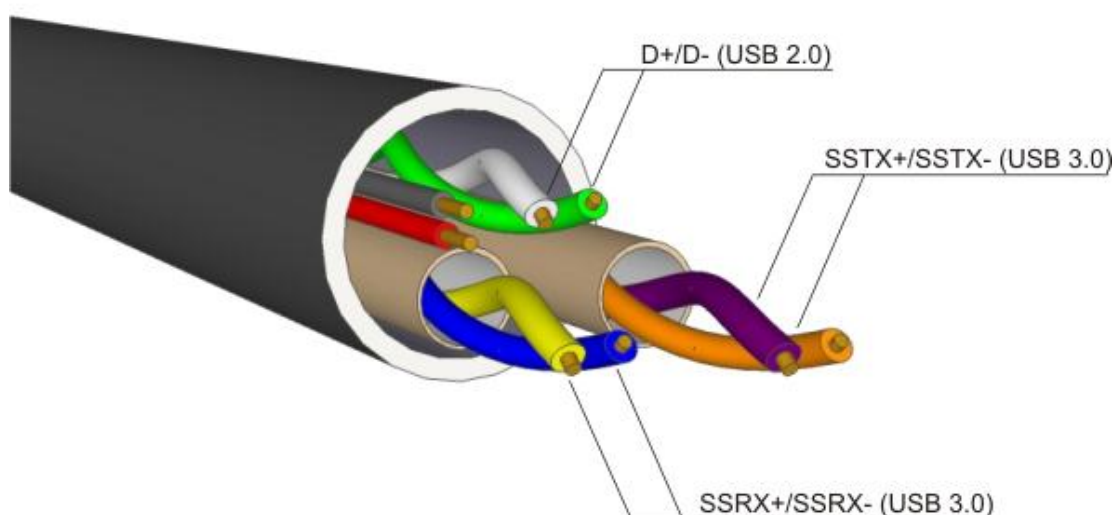


Abbildung 2: Querschnitt durch ein SuperSpeed-USB-Kabel

Die SuperSpeed-Spezifikation enthält – ebenso wie bei USB 2.0 – keine Festlegung der Kabellänge, sondern lediglich der elektrischen Eigenschaften wie Dämpfung, Übersprechen oder Laufzeit. Mit üblichen Kabelmaterialien lassen sich Kabellängen von 3 bis 8 m erreichen. Längere SuperSpeed-Kabel lassen sich mittel Repeater (bis 20) oder Signalumwandlung und Glasfaserkabel (bis 100 m) realisieren.

3.4.2 Stecker

Die USB-3.0-Spezifikation legt neue Steckertypen fest, die zusätzliche Pins für die SuperSpeed-Leitungen enthalten:

- Standard-A: Stecker und Buchse
- Standard-B: Stecker und Buchse
- Powered-B: Stecker und Buchse
- Micro-B: Stecker und Buchse
- Micro-A: Stecker
- Micro-AB: Buchse

Die folgende Tabelle zeigt, welche Stecker und Buchsen zwischen USB 2.0 und 3.0 kompatibel sind:

Buchsen		Kompatible Stecker	
USB 2.0	USB 3.0	USB 2.0	USB 3.0
Standard-A		Standard-A ✓	Standard-A ✓
Standard-B		Standard-B ✓	x
Micro-B		Micro-B ✓	x
Micro-AB		Micro-B ✓ Micro-A ✓	x
	Standard-A	Standard-A ✓	Standard-A ✓
	Powered-B	Standard-B ✓	Powered-B ✓ Standard-B ✓
	Standard-B	Standard-B ✓	Standard-B ✓
	Micro-B	Micro-B ✓	Micro-B ✓
	Micro-AB	Micro-B ✓ Micro-A ✓	Micro-B ✓ Micro-A ✓

USB 3.0 Standard-A

Dieser Stecker ist für den Anschluss am Host (i. d. R. der PC) definiert. Der Standard-A-Typ ist der einzige USB-3.0-Stecker, der mechanisch identisch mit dem USB-2.0-Typ ist. Die zusätzlichen vier Pins für die SuperSpeed-Leitungen sind im hinteren Teil des Steckers untergebracht, der bisher nicht genutzt wurde. Die Typ-A-Stecker sind zwischen USB 2.0 und 3.0 kompatibel.

Neu im SuperSpeed-Standard ist ein Kabel mit Standard-A-Anschlüssen auf beiden Seiten, das zur Verbindung von zwei Host-PCs genutzt werden kann. Bei diesem Kabel sind die Leitungen für USB 2.0 nicht belegt, damit bei versehentlicher Verwendung an Hi-Speed-Anschlüssen kein Schaden auftritt.

Standard-A-Stecker für USB 3.0 sind zur Unterscheidung blau gekennzeichnet.

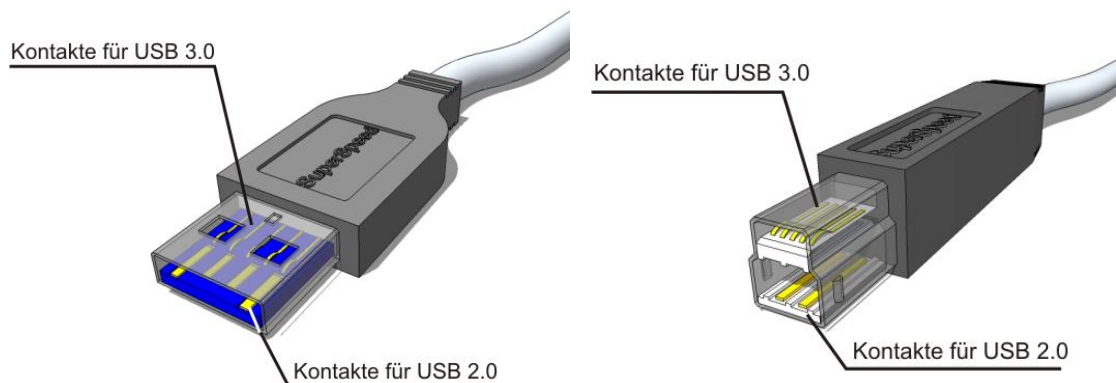


Abbildung 3: SuperSpeed-Stecker Typ Standard-A und -B

USB 3.0 Standard-B

Wie bei USB 2.0 ist der B-Typ für den Anschluss größerer stationärer Geräte wie Drucker oder externer Festplatten definiert. Der neue Standard-B-Stecker besitzt einen kleinen Aufsatz, der die zusätzlichen SuperSpeed-Leitungen enthält. Es ist nicht möglich, diesen Stecker an einem USB-2.0-Anschluss zu verwenden.

USB 3.0 Powered-B

Der Powered-B-Typ ist bei USB 3.0 neu hinzugekommen und ist mechanisch identisch mit dem Standard-B-Typ. Er stellt an zwei zusätzlichen Pins einen höheren Strom bis zu 1 A zur Verfügung. Der Powered-B-Anschluss dient dazu, externe Geräte ohne Stromversorgung zu betreiben, beispielsweise um einen Drucker mit einem WLAN-Adapter auszustatten.

USB 3.0 Micro-B

Dieser Steckertyp ist für den Anschluss kleiner Geräte, beispielsweise Kameras, definiert. Es ist nicht möglich, diesen Stecker an einem USB-2.0-Anschluss zu verwenden. Der USB-2.0-Typ kann jedoch an einem USB-3.0-Anschluss verwendet werden.

USB 3.0 Micro-AB/ Micro-A

Dieser Steckertyp ist mechanisch identisch mit dem Micro-B-Typ und ausschließlich für die Nutzung an Produkten mit USB-On-The-Go-Schnittstelle definiert.

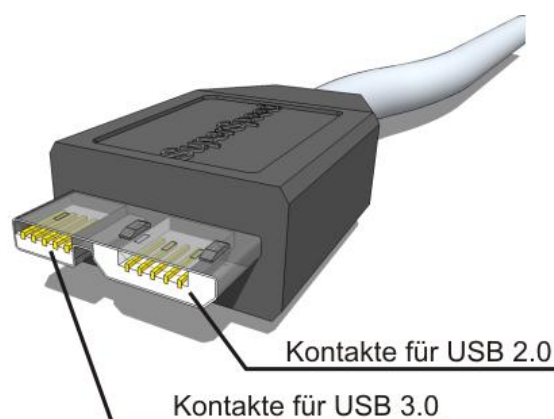


Abbildung 4: SuperSpeed-Stecker Micro-B

3.4.3 Hubs

Hubs für USB 3.0 bestehen intern aus zwei Hubs, wovon einer für die SuperSpeed-Verbindungen, der andere für USB 2.0 (also Lo-, Hi- und Full-Speed) Verbindungen zuständig ist. Diese Aufteilung erfolgt jedoch intern, so dass keine unterschiedlichen Ports nach außen geführt werden. Typischerweise würde ein Hub einen oder mehrere SuperSpeed-Standard-A-Ports sowie einen vom Typ Standard-B besitzen, die Aufteilung auf die Unter-Hubs erfolgt selbstständig. Die Hubs für USB 2.0 und 3.0 können simultan verwendet werden.

Im Gegensatz zu USB-2.0-Hubs, die eingehende Daten an alle ausgehenden Ports senden, besitzen SuperSpeed-Hubs Routing-Funktionen für die Downstream-Ports (d. h. in Richtung Gerät). Die Datenpakete enthalten Informationen über den Port, an dem sich das entsprechende Gerät befindet und können damit an dem richtigen Port ausgegeben werden. Umgekehrt sammeln SuperSpeed-Hubs in Upstream-Richtung gesendete Pakete, um diese gesammelt zu senden.

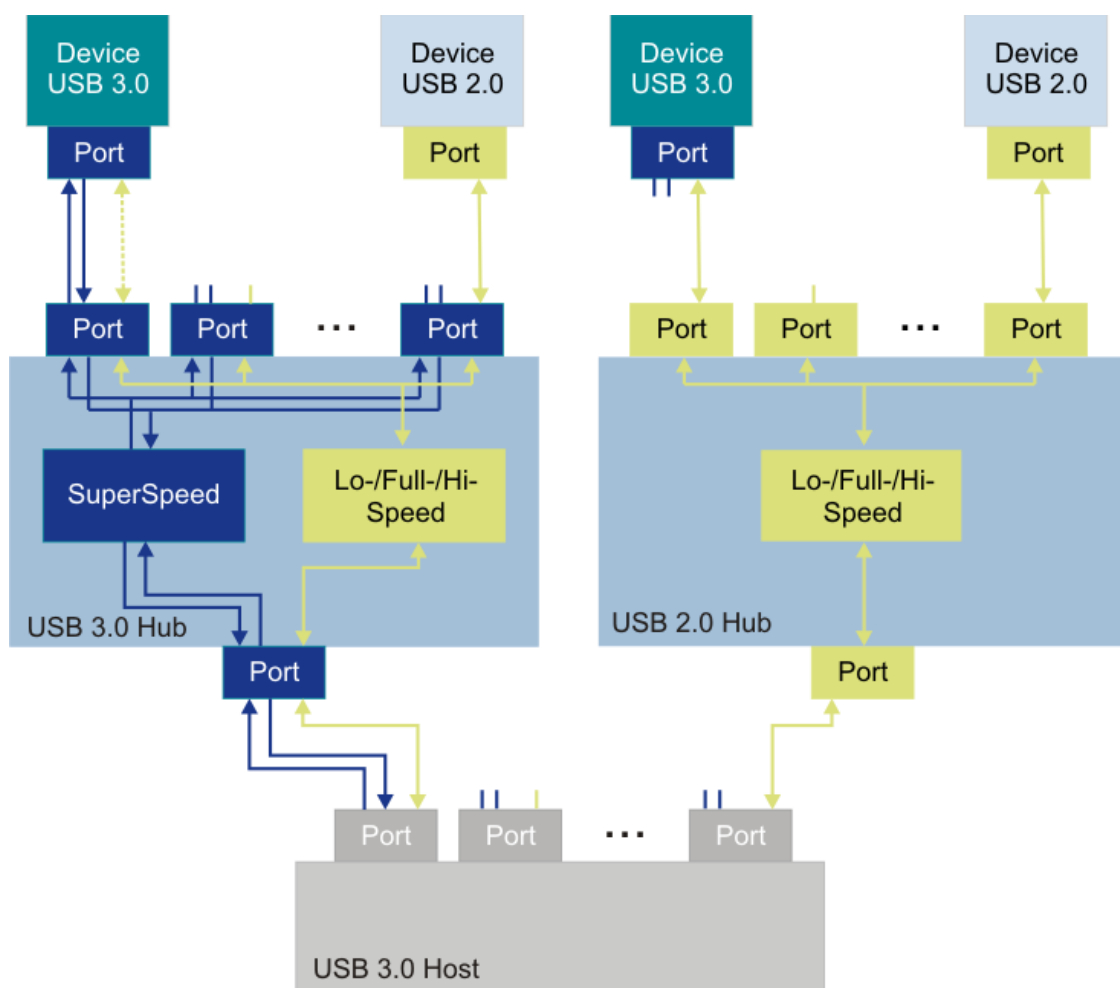


Abbildung 5: Anschluss von USB-2.0- und 3.0-Hubs

4 Einsatz als Kameraschnittstelle

Bereits jetzt vereint USB in der Version 2.0 viele Vorteile, mit denen sich diese Schnittstelle sehr gut für den Einsatz in der industriellen Bildverarbeitung eignet: Genügend Bandbreite, um selbst von mehreren Kameras gleichzeitig Livebilder zu übertragen, weite Verbreitung an PCs und Embedded-Systemen, einfache Anschlussmöglichkeiten ohne externe Spannungsquellen und Chipsätze, die den Bau kompakter und günstiger Kameras erlauben. Mit diesen Merkmalen liegt die USB-2.0-Schnittstelle laut einer Marktbefragung¹ derzeit bei Anwendern der industriellen Bildverarbeitung auf dem ersten Platz, wenn auch Gigabit Ethernet auf Grund der höheren Bandbreite bereits einiges aufgeholt hat.

War die Bandbreite der mittlerweile zehn Jahre alten Schnittstelle bislang ausreichend, zeichnet sich nun ein deutlicher Bedarf nach schnellerer Datenübertragung ab. Die aktuelle Generation von CMOS-Sensoren liefert Bilder in einer Auflösung von 10 Megapixeln und mehr – damit lassen sich selbst in der bei USB-Kameras üblichen Farbtiefe von 8 Bit pro Pixel nicht einmal vier Vollbilder in der Sekunde übertragen. Zudem können viele Sensoren auch 10 oder 12 Bit Farbtiefe ausgeben, wodurch sich die mögliche Bildrate noch einmal halbiert. Weitere Trends sind Interpolation von Farbdaten in der Kamera oder sogar simultane Ausgabe von Farb- und Monochromdaten. Was bei leistungsfähigen GigE-Kameras bereits alles verfügbar ist, war in der USB-Welt mit einer Bandbreite von etwa 40 MByte/s bisher nicht praktikabel.

Gerade Anwendungen im Embedded-Bereich, wo hohe Kameraauflösung erforderlich ist, jedoch eine GigE-Kamera wegen der zumeist benötigten externen Stromversorgung oder des Fehlens einer GigE-Schnittstelle nicht geeignet ist, können von der einfachen und schnellen USB-3.0-Anbindung profitieren. Ebenso für Labor- oder Medizinsysteme, wo die hohen Anforderungen des industriellen Umfelds an Kabellänge nicht gegeben sind, wird sich die nächste Generation des Universalbusses ideal eignen.

Für Kamerahersteller ist SuperSpeed-USB allerdings nicht allein wegen der höheren Übertragungsgeschwindigkeit interessant – das überarbeitete und erweiterte USB-Protokoll erlaubt noch effizientere und ressourcenschonendere Datenübertragung. Durch die Abschaffung des Pollingverfahrens und die

¹ Quelle: INSPECT u. a., „Der Schleier gelüftet. Umfrage zu aktuellen Trends in der industriellen Kameratechnologie“ in: INSPECT 1-2/2009, S. 6

zukünftige Verwendung von DMA (Direct Memory Access)-USB-Controllern ist es möglich, Bilddaten von USB-Kameras nahezu ohne CPU-Last einzuziehen.

Die IDS Imaging Development Systems GmbH bietet mit der uEye®-Kamerafamilie eine Serie moderner USB- und GigE-Kameras für die Bildverarbeitung im industriellen und nichtindustriellen Umfeld. Auf der Leitmesse der Bildverarbeitung Vision in Stuttgart hat IDS 2011 die neue USB 3.0 uEye CP Kamerafamilie vorgestellt. Die USB 3.0 Industriekamera setzt neue Trends im Industriekamera-Markt und besticht durch vielfältige Leistungsmerkmale. Neben dem Einsatz im rauen Industrieumfeld bietet sich die leistungsstarke Kamera durch die schnelle und einfache USB 3.0 Anbindung und natürlich durch die integrierte Stromversorgung besonders in der Mikroskopie, in der Labor- und Medizintechnik sowie im Embedded-Bereich an.

Weitere Informationen zur neuen USB 3.0 uEye CP Kamerafamilie und alle weiteren USB 2.0 und GigE uEye Kameras finden Sie im Internet unter www.ids-imaging.de.

5 Quellen und weiterführende Links

- Offizielle SuperSpeed-USB-Spezifikation (<http://www.usb.org/developers/docs/>)
- USB 3.0 Developers FAQ (<http://www.lvr.com/usb3faq.htm>)
- SuperSpeed USB 3.0 FAQ (<http://www.everythingusb.com/superspeed-usb.html>)
- Sharp, Sarah: „USB 3.0 and Linux“, <http://sarah.thesharps.us/2008-12-07-13-35.cherry>, Stand: 12. Mai 2009
- Kidman, Angus: „USB in Windows 7: More reliable but no 3.0 speed boost“, <http://apcmag.com/Content.aspx?id=3177>, Stand: 12. Mai 2009
- Viswanath, Somnath: „USB 3.0: Ubiquitous Interconnect for Next generation Consumer Applications, Arasan Whitepaper