

## USB 3.0-Schnittstelle und USB3 Vision Standard – Daten, Fakten, Setup und Tipps zum Wechsel

1. Einführung von USB 3.0.....	1
2. Der USB3 Vision Standard.....	2
3. Wie sieht ein USB 3.0-Kamera-Setup im Systemverbund aus?.....	3
4. Wechsel von einem älteren Interface auf USB 3.0.....	4
5. Fazit.....	5

beträgt ca. 400 Mbytes/s. Das ist ungefähr zehnmal mehr als die Bandbreite von USB 2.0 und fünfmal mehr als die Bandbreite von IEEE 1394b (FireWire-b). USB 3.0 bietet zudem die Möglichkeit die angeschlossenen Geräte mit mehr Strom zu versorgen. Mit 900 mA gegenüber 500 mA bei USB 2.0 ist dies ein wesentlicher Vorteil, der es ermöglicht viele Geräte ohne eine aktive Stromzufuhr zu betreiben. Gleichzeitig wurde auch das Energiemanagement verbessert. Bei USB 3.0 können Geräte in verschiedene Standby-Modi bis hin zu einem Suspend-Modus versetzt werden und damit signifikant Energie sparen.

USB 3.0 benutzt insgesamt neun Pins/Drähte (fünf Pins mehr als USB 2.0) in den USB 3.0-Steckern und -Kabeln und verwendet ein „Unicast Dual-Simplex Data“-Interface, das die bidirektionale Übertragung von Daten ermöglicht. Das stellt eine Verbesserung im Vergleich zum unidirektionalen Übertragungsmodell von USB 2.0 dar und ähnelt dem Übertragungsmodell von Standards wie FireWire/DCAM und GigE Vision. USB 3.0 ist zudem ein „Hosted Device“-Protokoll, das Meldungen asynchron versendet. Somit können Kameras den Host über die Bereitschaft der Datenübertragung benachrichtigen. Dieser Mechanismus reduziert System-Overhead und CPU-Last im Vergleich zum „Polling“-Mechanismus von USB 2.0 erheblich und macht USB 3.0 gleichzeitig vergleichbar mit FireWire.

Ähnlich wie bei USB 2.0 hat sich das USB IF („Implementers Forum“) der Einführung von USB 3.0 und damit konformer Endverbraucher-Hardware verschrieben und dafür klare Regeln aufgestellt. Ein zertifiziertes USB 3.0 Produkt nach USB IF trägt das folgende Symbol:



Die Liste der USB 3.0-Unterstützer ist lang und reicht von Microsoft über Intel bis zu Renesas oder Texas Instruments.



Mittlerweile gehört USB 3.0 zum Standard bei PC-Hardwareherstellern und die Zahl der USB 3.0-Peripheriegeräte steigt steil an. Auch bei Industriekameras wird USB 3.0 als Kameraschnittstelle eingeführt. Ziel dieses White Papers ist es, USB 3.0 als Interface für den industriellen Kameramarkt vorzustellen. Es beschreibt die Vorteile des USB3 Vision Standards und es zeigt, wie USB 3.0-Kameras in ein System zu integrieren sind und für wen sich ein Wechsel des bisherigen Kamera-Interfaces lohnt.

### 1. Einführung von USB 3.0

USB 3.0, auch bekannt als SuperSpeed USB, ist die nächste Generation der populären „Plug & Play“ Universal Serial Bus Spezifikation, die auf die Stärken von USB 2.0 aufbaut und dessen Schwächen ausbügelt. Die zur Verfügung gestellte effektive Bandbreite von USB 3.0 unter Verwendung der Bulk Transfer Methode

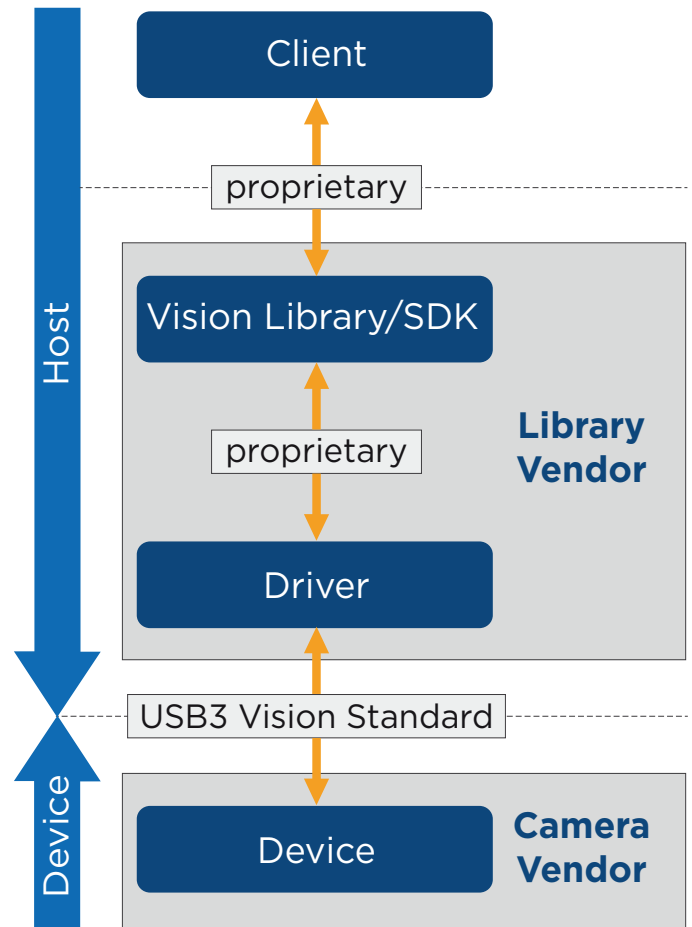
## 2. Der USB3 Vision Standard

Obwohl USB 2.0 seit Jahren schon ein anerkannter und breit akzeptierter Standard im Endverbraucher-Bereich ist, konnte sich USB 2.0 kaum im industriellen Umfeld durchsetzen. Insbesondere in der Bildverarbeitung gab es Bedenken. Ein Grund dafür war ein fehlender Standard, der Schnittstellen und Interoperabilitäten definiert. Daraus hat man gelernt: Alle namhaften Hersteller von Kameras, Kabeln und Softwarelösungen entschieden sich zur Gründung des USB3 Vision Standards zur Einführung der USB 3.0-Schnittstelle im Bildverarbeitungs-Markt. Dieser Standard wurde federführend durch Basler geprägt und vorangetrieben. Der Standard bietet jedem Anwender die Vorteile genau zu wissen, worauf er sich einlässt: Er bleibt flexibel, weil er weiß, dass Soft- und Hardware ausgetauscht werden können. Er hat Verlässlichkeit, dass alle Funktionen sicher zur Verfügung stehen und dass er Stabilität bei der Bildübertragung erwarten kann.

Die Automated Imaging Association (AIA) ist für den Standard und dessen Einhaltung verantwortlich. Das folgende Logo ist das offizielle Logo des USB3 Vision Standards und darf nur von Herstellern verwendet werden, die ihre Geräte oder Kabel konform getestet und registriert haben.



Das nachfolgende Schema zeigt den groben Aufbau des USB3 Vision Standards. Dieser Standard wird auch als „on-the-wire“ bezeichnet. Dies hat wesentliche Vorteile im Embedded-Systembereich und stellt der Software auf der Host-Seite volle Steuerung für die Bildübertragung zur Verfügung. Der USB3 Vision Standard schließt zudem die Kommunikation via GenICam zum Setzen und Lesen von Registern mit ein.



Anders als bei vorherigen Standards, wie Camera Link oder GigE Vision, werden bei USB3 Vision auch Kabelanschlüsse und wesentliche Anforderungen an die Kabel definiert. Dies hat den großen Vorteil, dass Anwender auf Stabilität und Verlässlichkeit vertrauen können, wenn sie standardkonformes Zubehör verwenden. Im USB3 Vision Standard sind die Kabelanschlüsse definiert. Der Standard spezifiziert hingegen keine maximale Kabellänge. Stattdessen beschreibt der Standard den Zusammenhang zwischen der Hochfrequenzeigenschaft und der maximalen Kabellänge, um den so genannten USB 3.0 „voltage drop“ zu erreichen. Demnach kann ein USB 3.0-Kabel bis zu 5,3 m lang sein und immer noch die USB 3.0 Spezifikation erfüllen. Basler testet und qualifiziert diverse Kabel von unterschiedlichen Herstellern, um bis zu 10 m lange passive Kabel mit Verschraubung anbieten zu können.

### Zusammengefasst hat der USB3 Vision Standard die folgenden technischen Vorteile:

- **Geringe CPU-Last:** Durch zero copy (Direct Memory Access – DMA – steht zur Verfügung) ist die notwendige CPU-Auslastung für den Bildeintrag sehr niedrig
- **Variable Bildgröße:** Ermöglicht das Senden von Bildern in variablen Größen, indem der Host schon vorher die Informationen zum Bild bekommt
- **Geringe Latenz- und Jitter-Zeiten:** Durch die bidirektionale Kommunikationsmöglichkeit kann der Host jederzeit Aktionen initiieren ohne dass dabei Verzögerungen zu erwarten sind
- **Stabilität im System:** Durch die einheitliche Definition der Anforderungen an Kabel und sonstiges Zubehör wird potenziellen Fehlfunktionen in der Datenübertragung vorgebeugt.

### 3. Wie sieht ein USB 3.0-Kamera-Setup im Systemverbund aus?

Wer Kameras mit USB 3.0-Anschluss in seinem System verwenden will, sollte im Vorwege einige Überlegungen anstellen:

- Wie sieht die PC-Hardware aus? Welche Komponenten kommen zum Einsatz oder müssen nachgerüstet werden?
- Welcher Kabel bedarf es und sind aktive oder passive USB 3.0-Kabel notwendig?
- Sollen mehrere USB 3.0-Kameras verwendet werden?
- Welche Software zum einfachen Anschluss der Kameras kommt zum Einsatz?

#### Hardware

Die praktische USB 3.0-Bandbreite hängt vom verwendeten USB 3.0-Chipsatz und Motherboard-Chipsatz ab. Grundsätzlich gibt es die Möglichkeit über integrierte USB 3.0-Anschlüsse Kameras auf Mainboards anzuschließen (beispielsweise bei Intel ab Prozessoren der Ivy-Bridge-Reihe).

Sollten keine integrierten USB 3.0-Anschlüsse zur Verfügung stehen, geht die Nachrüstung am besten über PCI Express-Karten. Um damit die volle

Bandbreite ausnutzen zu können, empfiehlt Basler den Einsatz von Motherboards, die mindestens PCIe 2.0/2.1 unterstützen (bei einer Lane sind damit maximale Datenraten von bis zu 500 MB/s möglich). Für den Fall, dass das Motherboard nur einen PCIe 1.0/1.1-Anschluss unterstützt, ist die Datenrate auf max. 250 MB/s pro Lane reduziert. Basler empfiehlt in diesem Falle PCI Express-Karten mit mehreren Lanes zu verwenden (z.B. PCIe x4). Der PCIe-Steckplatz versorgt angeschlossene Geräte, z.B. einen USB 3.0-Adapter, in der Regel mit Strom. Laut Spezifikation beträgt die gelieferte Leistung für einen gewöhnlichen Steckplatz maximal 25 W, für Low-Profile-Karten jedoch höchstens 10 W. Je nach Kameramodell und -anzahl könnte diese Leistung jedoch u.U. nicht ausreichen und somit ein unerwartetes Kameraverhalten oder auch Bildverluste verursachen. Daher empfiehlt es sich, angesteckte PCIe-Karten zusätzlich über den vorhandenen Power Supply Connector mit +12 VDC vom internen Netzteil zu versorgen.

PCIe-Generation	Bandbreite mit PCIe x1 (Single Lane)	Bandbreite mit PCIe x4 (4 Lanes)
1.0 / 1.1	250 MB/s	1000 MB/s
2.0 / 2.1	500 MB/s	2000 MB/s
3.0	985 MB/s	3938 MB/s

Insgesamt ist es vorteilhaft bei der Auswahl der Hardware auf White-Lists der jeweiligen Kamerahersteller zurückzugreifen. Diese Listen stellen eine Empfehlung dar, um etwaigen Kompatibilitätsproblemen vorbeugen zu können.

#### Kabel und Mehr-Kamera-Setups:

Je nach Anwendung gibt es verschiedene Anforderungen an die Anschlusskabel. Auf Seiten der Kamera kommt ein verschraubbarer Anschluss mit micro-B-USB 3.0 zum Einsatz. Auf Seiten eines Hubs oder am PC lautet der Anschluss USB 3.0 Standard A. Da der USB 3.0-A-Stecker und die entsprechende Buchse USB 2.0 sich sehr ähnlich sehen, werden meist Symbole oder eine blaue Farbe am Stecker oder der Buchse zur Signalisierung der USB 3.0-Funktionalität verwendet. Das nachfolgende Symbol signalisiert in jedem Fall einen USB 3.0 Superspeed Anschluss:

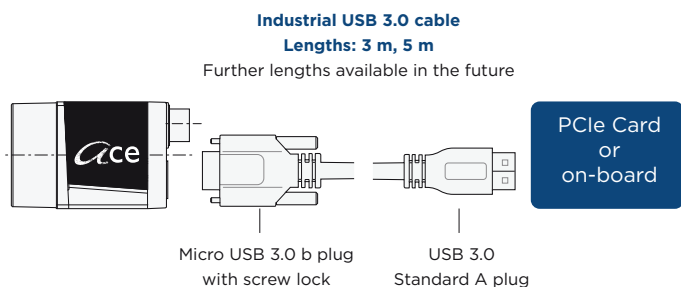


Bei der Länge der Kabel sollte im Vordergrund stehen, dass die Kabel USB3 Vision konform getestet wurden. Die Länge von passiven Kabeln wird bis maximal 10 m reichen. Aktive Kabel (Signal erfolgt innerhalb des Kabels) werden auch bis 20 m erhältlich sein, treiben

aber auch die Systemkosten in die Höhe. Hier sollte man abwägen, ob eventuell der Einsatz von GigE-Kameras günstiger sein könnte. Wenn sehr komplexe Setups mit vielen Kameras zum Einsatz kommen sollen, könnte es sich ebenfalls lohnen über die Verwendung von GigE-Kameras nachzudenken. Die GigE-Kameraschnittstelle ist bei sehr langen Kabeln und Mehr-Kamerasetups sicherlich die bessere Wahl. Basler erleichtert Anwendern solche Überlegungen, da in der ace Kameraserie beide Interfaces zur Auswahl stehen.

- Die Einsparungen im Gesamtsystem rechtfertigen den einmaligen Integrationsaufwand durch niedrigere Herstellkosten. Dies kann der Fall beim Wechsel von FireWire oder von Framegrabber-basierten Interfaces wie „analog“ oder „Camera Link base“ sein.

Neben diesen Überlegungen sollte man auch prüfen, ob neben USB 3.0 nicht auch ein anderes zukunftsfähiges Interface geeignet wäre. So ist etwa Gigabit Ethernet zwar in der Bandbreite auf 100 MB/s beschränkt, bietet aber Vorteile durch die Verwendbarkeit sehr langer Kabel (bis zu 100 m) oder den einfacheren Aufbau von Mehr-Kamera-Systemen. Camera Link Full basiert zwar auf einem Framegrabber-Setup, bietet aber eine Bandbreite bis 850 MB/s. Mehr zu Vor- und Nachteilen von Interfaces können Sie auch im Basler White Paper „Comparison of the Most Common Digital Interfaces“ nachlesen. Je nach Interface ist der Integrationsaufwand unterschiedlich hoch. Je näher die Schnittstellen in den technischen Grundzügen beieinander liegen, desto einfacher fällt meist der Wechsel. Bei USB 3.0 gilt dies insbesondere für einen Wechsel von USB 2.0 oder FireWire.



Typisches Setup einer Kamera

## Software

Eine gute USB3 Vision-konforme Software sollte den Wechsel zu USB 3.0 mit wenig Änderungsaufwand ermöglichen. Ein wichtiger Bestandteil der Software-Seite sollte ein Konfigurationstool sein. Solch ein Tool kann den Anschluss von USB 3.0-Kameras sehr einfach machen, da sowohl die entsprechende Treiberumgebung als auch zusätzliche Informationsmöglichkeiten wie die Topologie zur Hardware (Knotenpunkte und Controller) oder eine Bandbreitenmessung zur Verfügung gestellt werden. Basler stellt kostenfrei unter [www.baslerweb.com/pylon](http://www.baslerweb.com/pylon) die pylon Softwareumgebung zum Herunterladen bereit, die sowohl ein USB-Konfigurationstool als auch eine SDK (Software Development Kit)-Umgebung und einen Kameraviewer enthält.

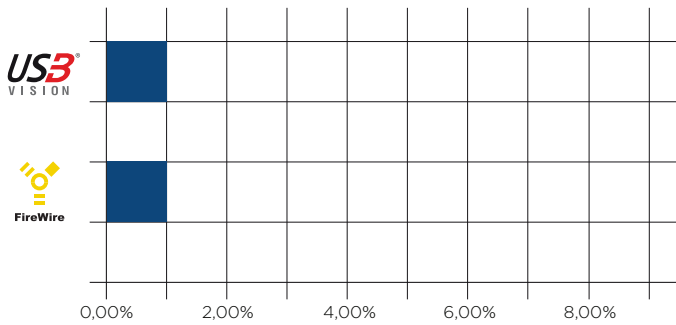
## 4. Wechsel von einem älteren Interface auf USB 3.0

Ein Wechsel des bisher verwendeten Kamera-Interfaces ist immer mit Integrationsaufwand im System verbunden. Dieser Aufwand kann sich allerdings lohnen, wenn folgende Kriterien erfüllt sind:

- Die Technologie ist am Ende ihres Lebenszyklus. Die Hardware wird teurer und ist immer schwieriger zu beschaffen. Dies ist derzeit bei FireWire der Fall.
- Die Bandbreite reicht nicht mehr aus, um aktuelle oder zukünftige Anforderungen an das Vision-System abzudecken (höhere Bildraten, höhere Auflösung oder anderes Bildformat). Dies gilt beispielsweise für FireWire (IEEE1394b: max. 64 MB/s) und USB 2.0 (max. 40 MB/s).

Insbesondere FireWire soll an dieser Stelle einmal genauer mit USB 3.0 in den Grundzügen verglichen werden. In vielen Aspekten ist nämlich USB3 Vision dem FireWire Standard, einem der populärsten und weit verbreiteten industriellen Interfaces, ähnlich. Genauso wie FireWire liefert USB 3.0 Daten und Strom über dasselbe Kabel. Die verbesserte Leistung von 4.5 W ermöglicht die Integration von vielen hochauflösenden und schnellen Sensoren, die heute bereits verfügbar sind. Der Vergleich von Latenz- und Jitterzeiten beim Senden eines Software-Triggers führt zu leichten Vorteilen von USB 3.0 gegenüber FireWire. Des Weiteren unterstützt USB 3.0 den sogenannten DMA-Modus. Dieser ermöglicht das direkte Schreiben in den Speicher bzw. das Lesen des Speichers ohne Prozessorleistung zu beanspruchen. Das asynchrone Senden von Nachrichten, das den „Polling“-Mechanismus von USB 2.0 ersetzt, reduziert weiterhin die CPU-Last, was die Ähnlichkeiten zwischen USB 3.0 und FireWire noch einmal unterstreicht und USB 3.0 als „natürlichen“ Ersatz für FireWire prädestiniert. Die nachfolgende Grafik wurde mit der gleichen PC-Hardware und gleichen Testbedingungen auf der Kameraseite durchgeführt und kann beispielhaft für einen Vergleich der CPU-Last zwischen FireWire und USB 3.0 stehen. Faktisch konnte in mehreren Testdurchläufen gezeigt werden, dass die CPU-Last konstant niedrig um ein Prozent lag und keine messbare Differenz zwischen FireWire und USB 3.0 besteht. In einem weiteren Test konnte für USB 3.0 bei einer Erhöhung der Datenmenge um das Dreifache keine merkliche Erhöhung der CPU-Last festgestellt werden.

### CPU-Last in %



Vergleich CPU-Last

<sup>1</sup>HP Rechner, Windows 7 Professional, x86Intel Core i5 650, nur ein Core aktiv, kein Hyperthreading, 4GB RAM, USB3.0 Host Controller: Renesas Electronics (5Gb/s), Die CPU-Last wurde gemessen mit „perfmon“, einem Standard Windows Tool, Durchschnittswerte über 10 min Messungen, Driver: Win USB 3.0 und IEEE 1394 Basler Pylon

<sup>2</sup>AOI= 1600x1000, Pixel Format= Mono12 (16 bit pro Pixel), Framerate= 16 fps bei 48,8 MB/s

Neben diesen Überlegungen sollte man auch die mechanische und optische Integration beachten. Basler bietet mit der ace USB 3.0 eine Kameraserie an, die sowohl mit Abmaßen (29 mm x 29 mm x 29 mm) und Bohrschema, als auch mit den zur Verfügung stehenden Sensoren (CCD und CMOS) einen Wechsel von einem älteren digitalen oder analogen Interface so einfach wie möglich macht. Je nach Anwendung müssen so keine Anpassungen bei den Objektiven oder der mechanischen Positionierung vorgenommen werden. Dies spart Zeit und Geld bei der Integration von USB 3.0-Kameras.

## 5. Fazit

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die USB 3.0-Kameraschnittstelle mit ihren Vorteilen die Lücke zwischen Gigabit Ethernet und Camera Link schließt und die älteren Interfaces USB 2.0 und FireWire verdrängen wird. Dabei fällt dem USB 3 Vision Standard eine zentrale Rolle zu: er garantiert Anwendern die Stabilität und Flexibilität im Setup eines Vision-Systems.