

## 8. Universal Serial Bus – USB

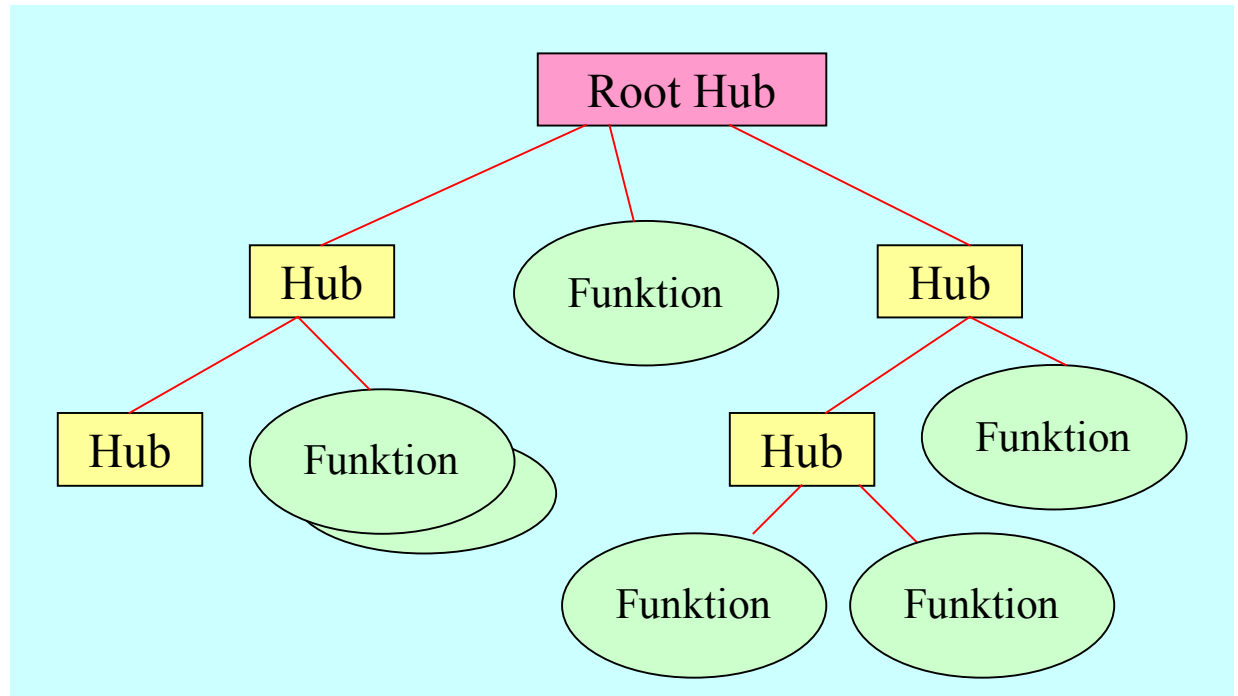
### 8.1 Allgemeine Charakteristiken:

- Anschlußtechnik für externe Geräte:
  - Maus & Tastatur,
  - Kameras & Scanner,
  - Drucker & Telephone,
  - Modems & ISDN Adapter,
  - Disketten und Bandlaufwerke ...
- Zentrale Steuerung (Polling):
  - Periodische Abfrage im 1 Millisekunden Takt,
  - Durch Hostrechner mit Root-Hub,
  - Automatische Konfigurierung,
  - Stromsparmodi (Suspend),
  - Hot-pluggable.
- Datenübertragungsmodi:
  - Isochrone Transfers,
  - Interrupt-Transfers,
  - Control-Transfers,
  - Bulk-Transfers.

USB Datenraten	
Low speed:	1.5 MBit/sec,
Full speed:	12 MBit/sec,
High speed (nur USB 2.0)	480 MBit/sec

## 8.2 Physikalische Baumstruktur

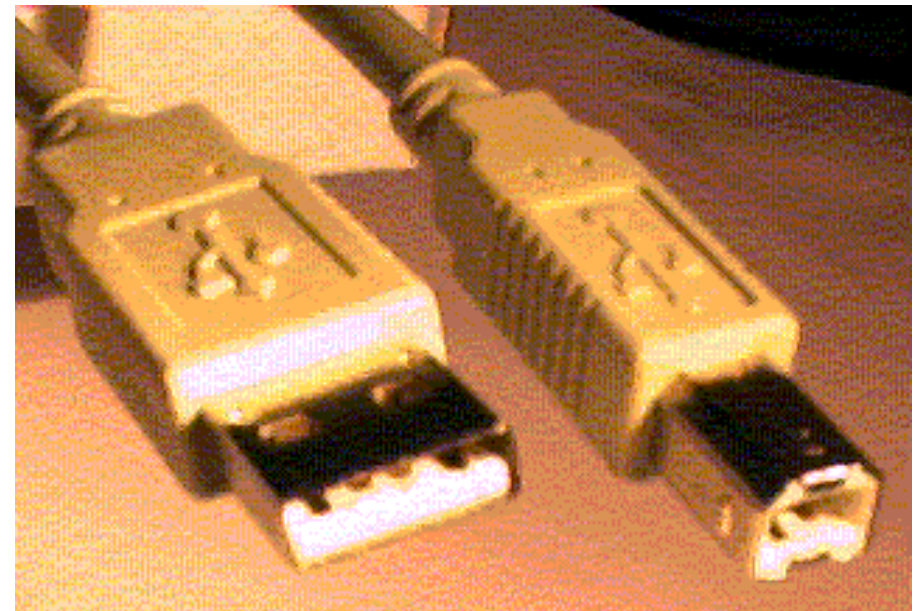
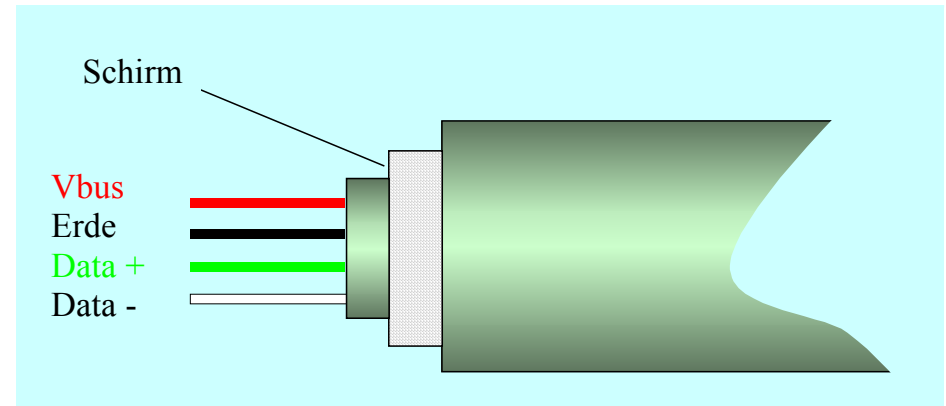
- Wurzelknoten (Root Hub).
- Verzweigungsknoten (Hubs).
- Endgeräte (Functions).
- Randbedingungen:
  - Maximal 7 Ebenen,
  - Ebene 7 nur noch für Devices,
  - Max. 127 Knoten und Funktionen.
- Steuerungsaufgaben der Hubs:
  - Geräteerkennung,
  - Adressenumeration,
  - Optionale Stromversorgung,
  - Konfigurierung des Endgerätes,
  - Geschwindigkeitsanpassung für USB 2.0.



⇒ **Rekursive Hardware und Software!**

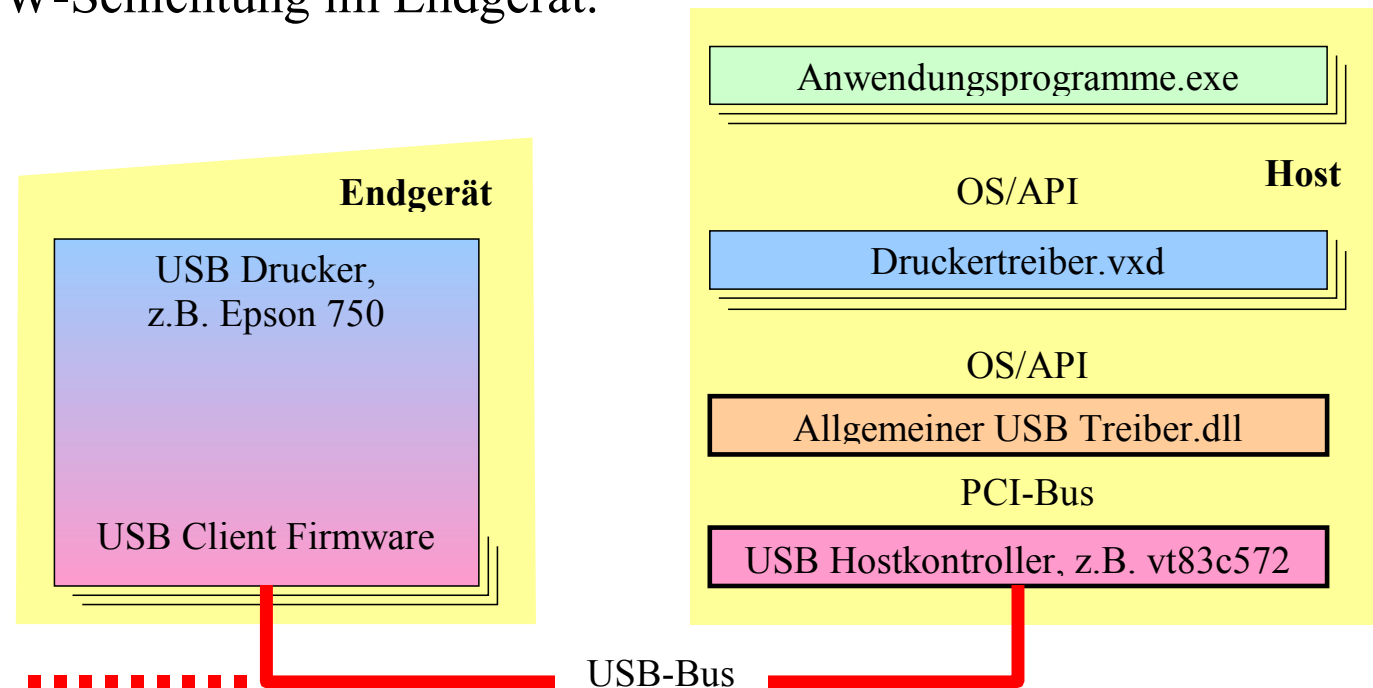
## 8.3 Physikalische Schnittstelle

- USB Kabel:
  - Abschirmung Kupfergeflecht verzinnt,
  - Adernpaare verdrillt (twisted),
  - Differentielle Daten.
  -
- Farbcodierung:
  - **Rot:** „Vbus“ +5 Volt Speisung,
  - **Schwarz:** Erde/Masse,
  - **Grün:** Data plus
  - **Weiß:** Data minus
- USB Stecker:
  - Upstream und Downstream unterschiedlich,
  - Kein DCE / DTE Dilemma:



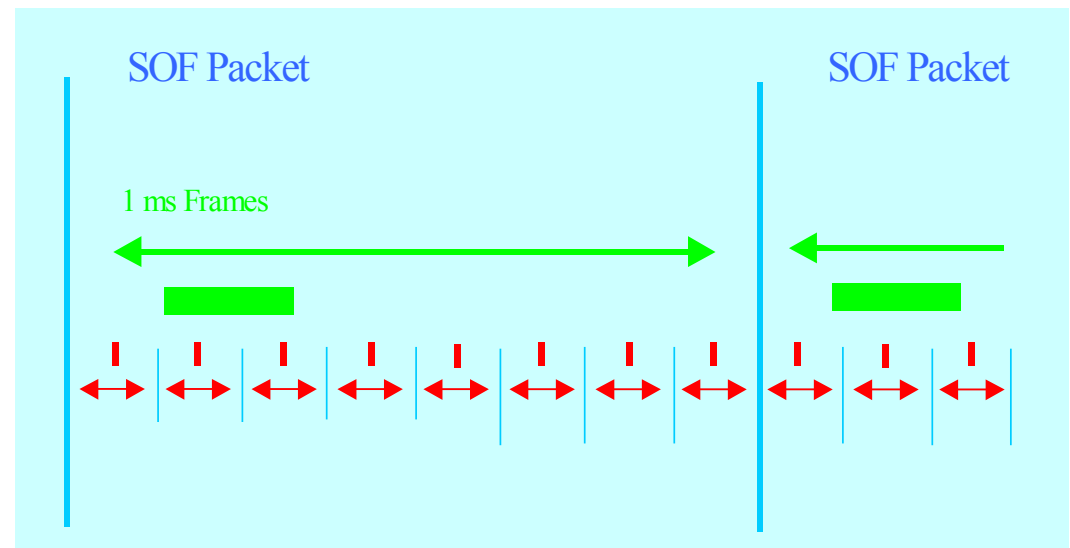
## 8.4 HW/SW-Architektur

- Universal Serial Bus mit lokalem Rechnernetz vergleichbar.
- SW Schichten ähnlich geschichtet wie ein Protokollstack.
- Endgeräteunabhängige USB-Steuerfunktionen als DLL.
- USB-Hostkontroller meist in der Südbrücke integriert.
- Entsprechende HW/SW-Schichtung im Endgerät.



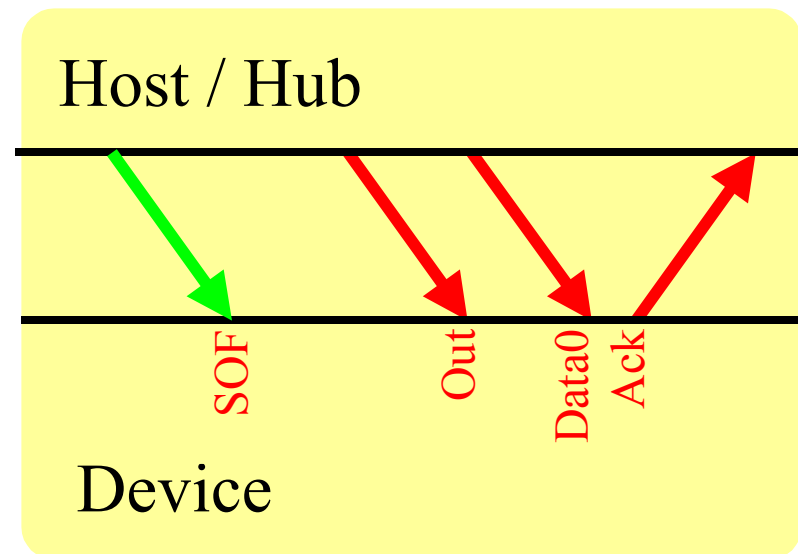
## 8.5 Paket-Protokoll

- Autonome Steuerung durch USB Host Kontroller.
- Kontroller erzeugt Start-Of-Frame Pakete mit begrenzten Latenzzeiten:
  - für Interrupt-Transfers und periodische Isochron- Transfers,
  - 1 Millisekunde für Low- und Full-speed,
  - 125  $\mu$ sec für high-speed Betrieb:
- Start-Of-Frame Paket:
  - 8 Bit Präambel (32 Bit für High-speed),
  - 8 Bit Paket-Identifikation (PID) = \$5A,
  - 11 Bit Zeitstempel,
  - 5 Bit CRC.
- Translator Hubs übernehmen von der Wurzel her High-speed Pakete und geben diese evtl. als full-speed/low-speed Pakete weiter.
- ...usb\_20.pdf im Netz.



## 8.6 USB Protokoll - version 1.1

- Endgeräte und Hubs werden durch ein Token-Paket vom Host-Kontroller gepollt.
- Transaktionen werden über ein Token eingeleitet (Setup, In, Out, Sof).
- Kurze Latenzzeiten für Devices gefordert.
- Nachfolgendes Datenpaket separat.
- Unterschiedliche Protokolle für:
  - Isochrone Übertragung (kein Ack),
  - Kontroll & Bulk Übertragung.
  - Interrupt Übertragung,



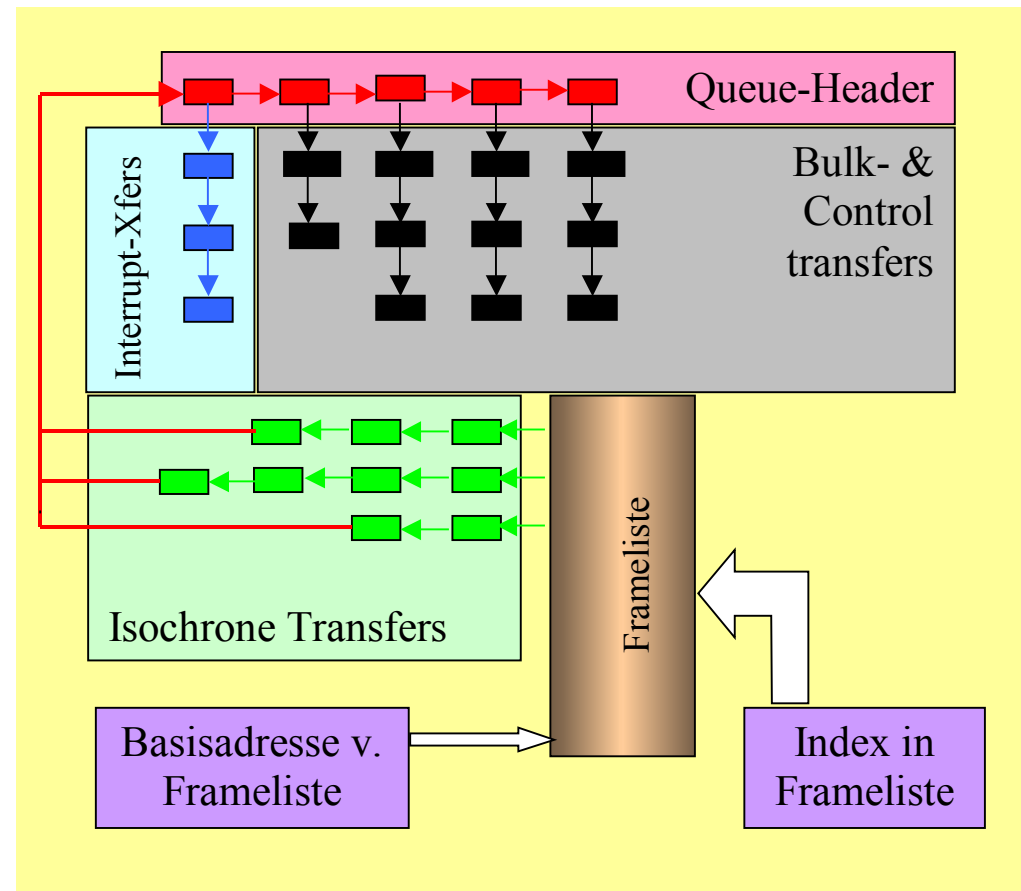
## 8.6.1 Paketcodierung

<ul style="list-style-type: none"><li>• Token Pakete ( xx01 B):<ul style="list-style-type: none"><li>0101 B: SOF (Frame-Nummer),</li><li>0001 B: OUT (Adresse &amp; Endpunkt),</li><li>1001 B: IN (Adresse &amp; Endpunkt),</li><li>1101 B: SETUP (Adresse &amp; Endpunkt).</li></ul></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Daten Pakete ( xx11 B):<ul style="list-style-type: none"><li>0011 B: Data0, even Packet,</li><li>1011 B: Data1, odd Packet,</li><li>0111 B: Data2, High-speed Packet,</li><li>1111 B: Mdata, High-speed split Packet.</li></ul></li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Spezial Pakete ( xx00 B):<ul style="list-style-type: none"><li>1100 B: PRE, Anfang Low-speed Phase,</li><li>1100 B: ERR, Fehlerbestätigung, upstream</li><li>1000 B: SPLIT, High-speed split Token,</li><li>0100 B: PING, High-speed Flußkontrolle</li></ul></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Adressierung von Knoten und Geräten:<ul style="list-style-type: none"><li>- 7-Bit Adresse für Hubs und Funktionen,</li><li>- 4-Bit Endpunktadr. pro Funktion möglich,</li><li>- Default Kontroll-Pipe am Endpunkt #0.</li></ul></li></ul>

- Handshake Pakete ( xx10 B):
  - 0010 B: ACK,
  - 0110 B: NAK, nicht sendebereit / kein Empfang,
  - 1010 B: STALL, Endpunkt stoppt oder ungültiger Request,
  - 1110 B: NYET, Noch keine Antwort.

## 8.7 Universal Host Controller Interface - UHCI

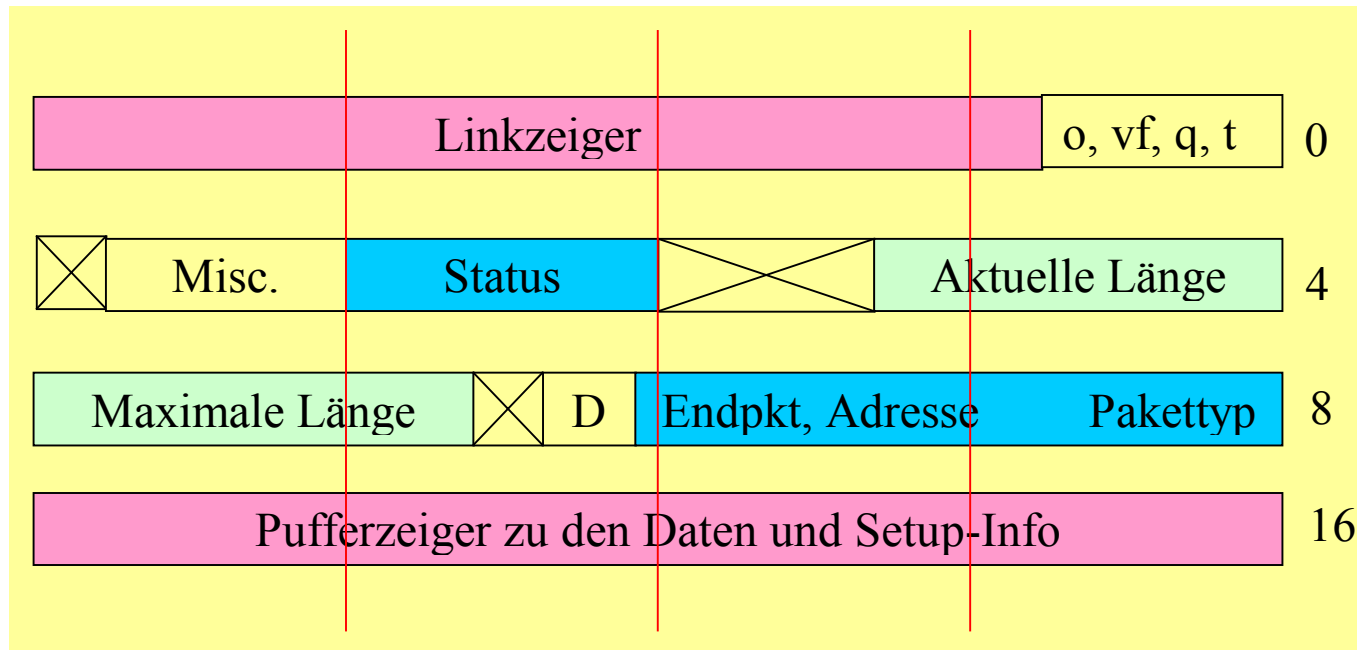
- Selbständige Abarbeitung einer Frameliste im Hauptspeicher mit 1024 Einträge.
- Hier USB Version 1.1 (kein High-Speed).
- Bus Master Device z.B. am PCI-Bus.
- 1 ms pro Framedeskriptor .



## 8.8 Bus Enumerierung

- Hub erkennt ein neues Gerät am Port.
- Ratenerkennung „gleichstrommässig“.
- Mitteilung an den USB-Treiber im Host.
- Setup-Befehl an Hub bezüglich Port.
- Immer nur ein Device über Defaultadresse 0 adressierbar.
- Nach der Adressenzuweisung Konfigurierung mithilfe verschiedener Deskriptoren.
- Device-Zustände:
  - Ausgesteckt,
  - Eingesteckt,
  - Unter Spannung,
  - Adressierbar,
  - Konfiguriert,
  - Suspendiert.

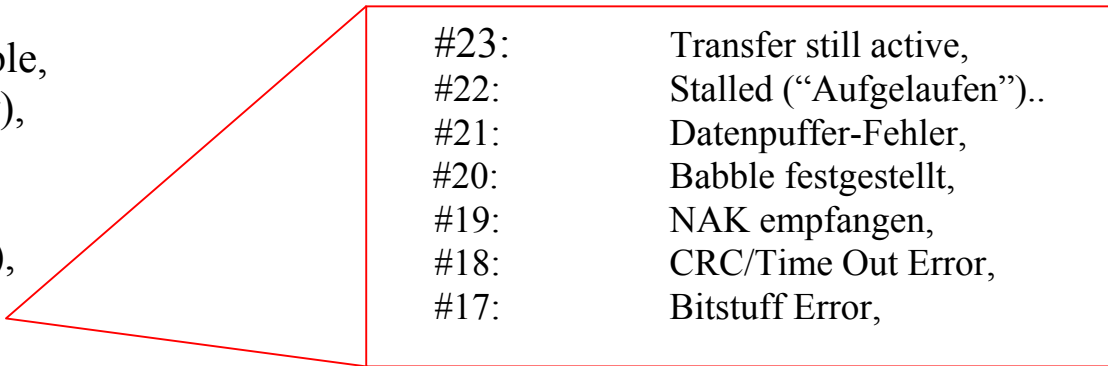
## 8.8.1 Transfer Deskriptor:



- LINK Zeiger:
  - 30 Bit Adresse auf einen Folgedeskriptor,
  - ein Nullbit,
  - 1 Bit=1 falls Vertikale Verarbeitung (vf),
  - 1 Bit=1 falls Link auf Queue Header (q),
  - 1 Bit=1 falls Ende der Verkettung (t).

- **CONTROL und STATUS Bits:**

- #29: Short Packet Detect, 1=Enable,
- #28..27: Fehler-Retries (00B=forever),
- #26: Low Speed Device (LS),
- #25: Isochronous Select (IOS),
- #24: Interrupt on Complete (IOC),
- #23..16: Status dieser Übertragung.
- #10..0: Anzahl transportierte Bytes.



- #23: Transfer still active,
- #22: Stalled (“Aufgelaufen”).
- #21: Datenpuffer-Fehler,
- #20: Babble festgestellt,
- #19: NAK empfangen,
- #18: CRC/Time Out Error,
- #17: Bitstuff Error,

- **TOKEN Bits dienen zur Konstruktion eines USB-Tokens,**

- #31..21: Max. Länge-1 (<1024 oder <1280),
- #19: Data Toggle (D, 1-Bit Sequenz#),
- #18..15: Endpunkt,
- #14..8: USB Adresse,
- #7..0: Funktionskennung (nur IN, OUT, SETUP).

- **Pufferzeiger:**

- #31:0: Zeiger in den phys. Hauptspeicher.

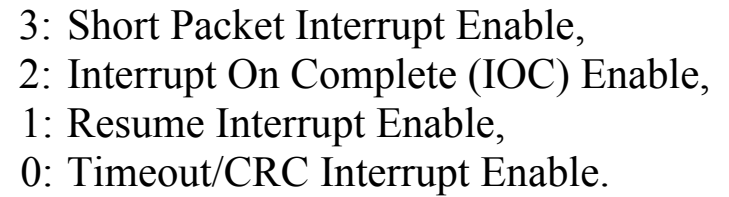
- **Weitere 4 Doppelwörter sind reserviert für die Treibersoftware.**

## 8.9 Hardware-Register im Kontroller

- 8 E/A-Register im Kontroller.
- Basisadresse für E/A-Register im PCI Konfigurationsraum @ 20-23h (zB. \$d400).
- Programmierung nach UHCI v1.1:
  - <ftp://download.intel.nl/design/usb/uhci11d.pdf>
- Befehls-Register (Offset \$00):
  - 7: Max Packet (MAXP). 1=64 bytes. 0=32 bytes am Rahmenende,
  - 6: Configure Host Controller Flag (CF),
  - 5: Software Debug = 1, Normal = 0,
  - 4: Force Global Resume,
  - 3: Enter Global Suspend Mode,
  - 2: Global Reset für den gesamten USB,
  - 1: Host Controller Reset,
  - 0: Run/~Stop (RS).

- Status-Register (Offset \$02):
  - 5: Host Controller angehalten,
  - 4: Abarbeitungsfehler für Host Controller,
  - 3: Host System Error (z.B. PCI),
  - 2: Resume Ereignis am USB festgestellt,
  - 1: Fehler am USB-Bus
  - 0: USB Interrupt (USBINT)

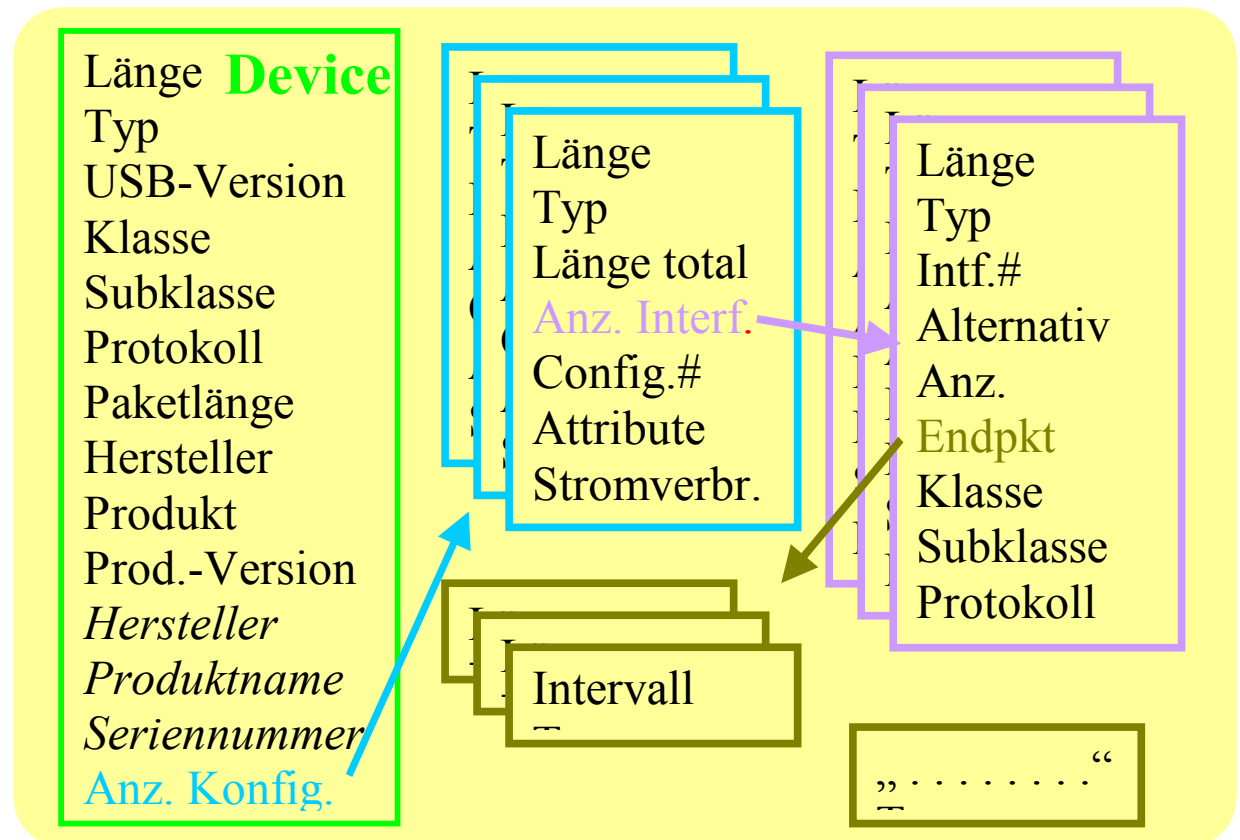
- Interrupt Aktivierungsregister (Offset \$04):
- Framenummer/-index (Offset \$06):
  - 11-Bit Index in die Frameliste.
- Basisadresse für Frameliste (Offset \$08):
  - 32-Bit Eintrag; unterste 12 Bit sind 0.
- SOF Modify justiert die 1 ms Periode um maximal 2% +/- (Offset \$0C).
- Port#1-Port#2 Status/Control (\$10/\$12):
  - 12: Suspend (lesen & schreiben),
  - 9: Port Reset (lesen & schreiben),
  - 8: Low Speed Device is Attached,
  - 6: Resume Detect/Initate (lesen & schreiben),
  - 5..4: Signalpegel auf D- und D+,
  - 3: Port Enable/Disable Change,
  - 2: Port Enable/Disable,
  - 1: Connect Status Change,
  - 0: Current Connect Status (Device present).



3: Short Packet Interrupt Enable,  
 2: Interrupt On Complete (IOC) Enable,  
 1: Resume Interrupt Enable,  
 0: Timeout/CRC Interrupt Enable.

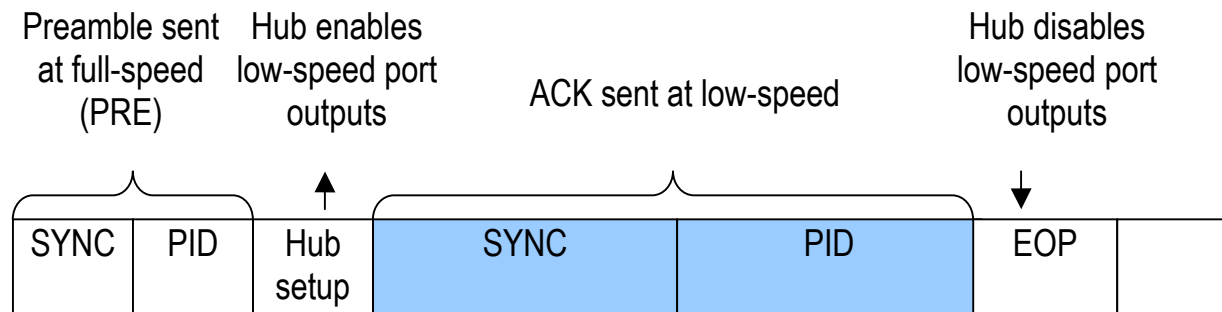
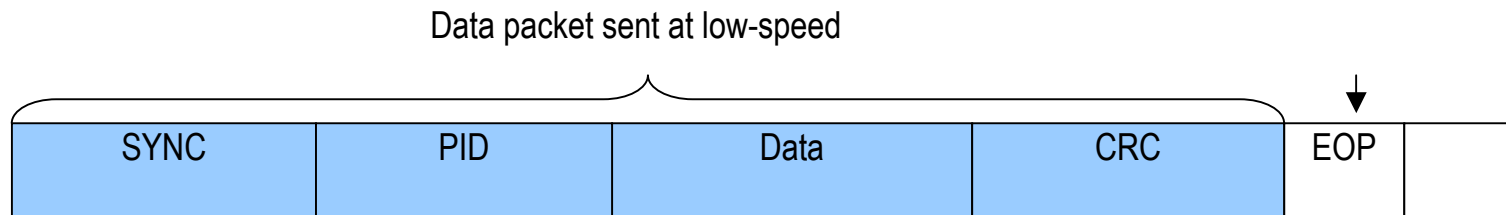
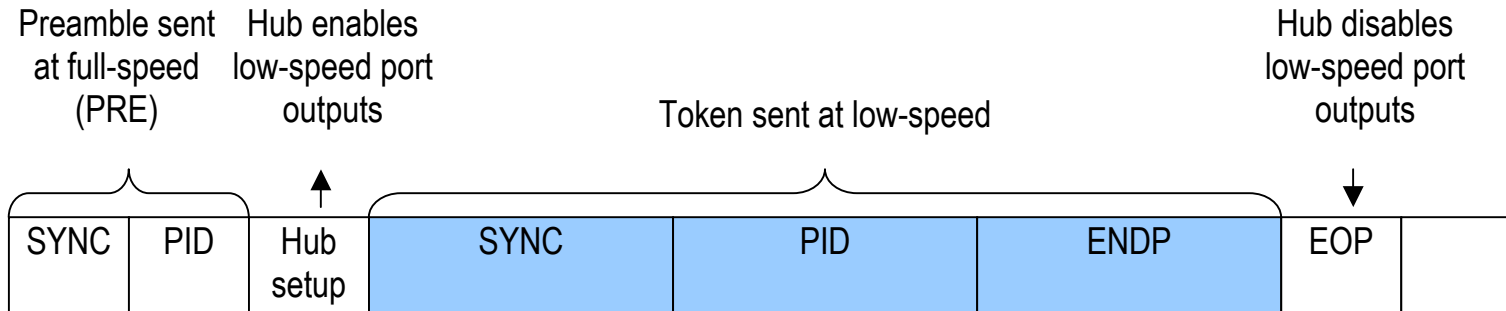
## 8.10 Device Deskriptoren

- Human Interface Deskriptoren (HID),
- Konfigurations-Deskriptoren,
- Interface-Deskriptoren,
- Endpoint-Deskriptoren,
- String-Deskriptoren ...



## 8.11 Low-Speed Transaktionen

- Eingebettet in Full-Speed Transaktionen und durch ein PRE Token eingeleitet:



## 8.12 Split Transactions unter USB 2.0

- Erlauben hohe Geschwindigkeit an der Wurzel und langsame Peripherie.
- Unterstützt durch Translating Hubs:
  - Beim Übergang von Hi-Speed auf Full/Low Speed,
  - Start-Split Token geht an einen High-Speed Hub,
  - Complete-Split holt die am langsamen Bus verzögerte Bestätigung ein.

