

## Informations-Highways – Die Rolle von Datenbussen für zukünftige Raumschiffe

FH-Prof. Dr. Holger Flühr  
Avionics & ATC Technology  
Luftfahrt / Aviation  
FH JOANNEUM Graz



10/09/10, Holger Flühr

## Datenbusse für zukünftige Raumschiffe

### Übersicht

- Warum Datenbusse?
- Technologie von Datenbussen
- Beispiele „ziviler“ Datenbusse
- Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt
- Integration und Zuverlässigkeit



Blick in das Cockpit des Space Shuttles Atlantis  
(© NASA)



Flühr: Datenbusse für zukünftige Raumschiffe

10/09/10  
-1-

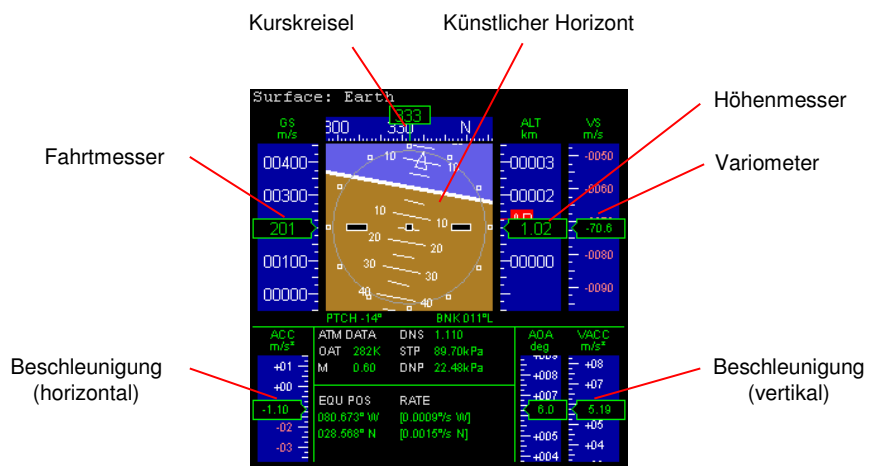
## Warum Datenbusse?



Flühr: Datenbusse für zukünftige Raumschiffe

10/09/10  
-2-

## Warum Datenbusse?



Flühr: Datenbusse für zukünftige Raumschiffe

10/09/10  
-3-

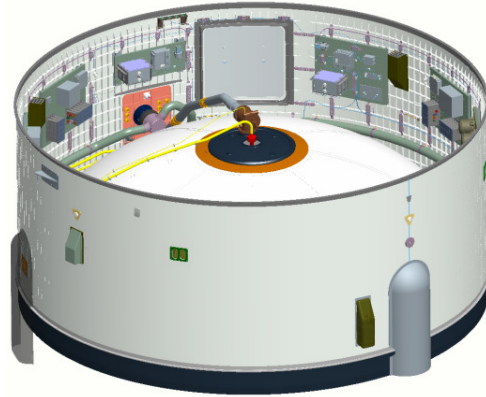
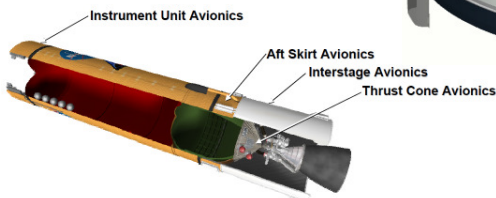
## Warum Datenbusse?



## Warum Datenbusse?



## Warum Datenbusse?



Avionik-Konzept Ares I Crew Launch Vehicle  
(© NASA)

## Warum Datenbusse?



## Datenbusse für zukünftige Raumschiffe

### Übersicht

- Warum Datenbusse?
- **Technologie von Datenbussen**
- Beispiele „ziviler“ Datenbusse
- Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt
- Integration und Zuverlässigkeit



Artist's concept of NASA's Orion crew exploration vehicle in lunar orbit  
(© NASA)

## Technologie von Datenbussen

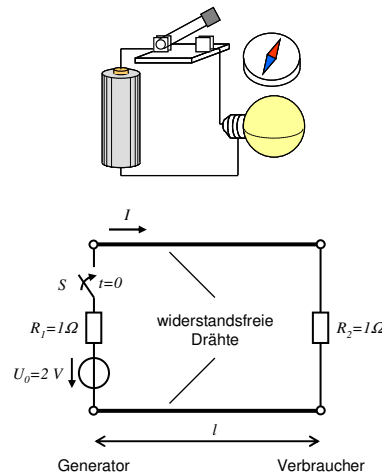
Bezeichnung	Längsschnitt	Querschnitt	
Einfachdraht			
Paralleldrahtleitung			
Koaxialleitung			
Streifenleitung			

## Technologie von Datenbussen

Wie schnell kann an einem Datenbus Information übertragen werden?

Beispiel: Lichtschalter

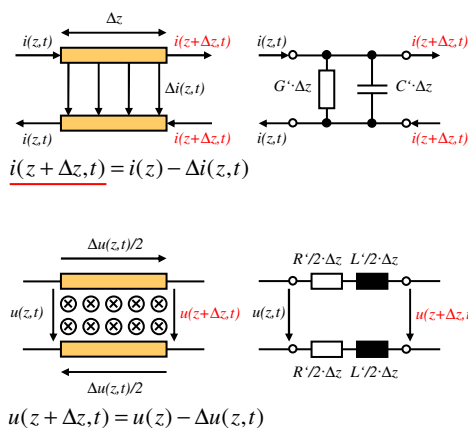
- Wird der Schalter geschlossen, fließt elektrischer Strom, das Leuchtmittel leuchtet
- Schnellster Ausbreitungsvorgang: Lichtgeschwindigkeit
- Woher weiß die Quelle, welche Stromstärke im Leiter fließen darf?



## Technologie von Datenbussen

Analogiebetachtung:  
Elektrisches Schaltbild

- Leitung wird in kleine Stücke unterteilt gedacht
- Elektrische Vorgänge zwischen den Leitungsstücken: Ableitbelag, Kapazitätsbelag
- Elektrische Vorgänge entlang des Leitungsstücks: Widerstands-, Induktivitätsbelag



Netzwerkmodell der Leitung

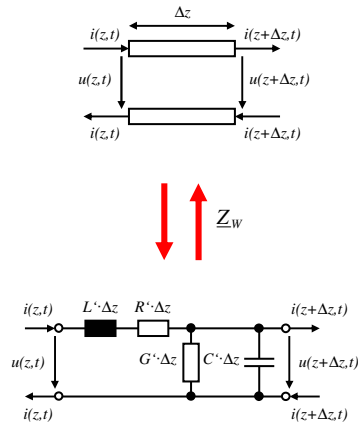
## Technologie von Datenbussen

Führt man die Modelle beider Effekte zusammen, erhält man das Ersatzschaltbild eines kurzen Leitungsabschnittes. Die Leitungsbeläge sind charakteristisch für die jeweils betrachtete Leitung:

- $R'$ : Widerstandsbelag ( $\Omega/m$ )
- $L'$ : Induktivitätsbelag ( $H/m$ )
- $C'$ : Kapazitätsbelag ( $F/m$ )
- $G'$ : Ableitbelag ( $S/m$ )

$$Z_w = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}}$$

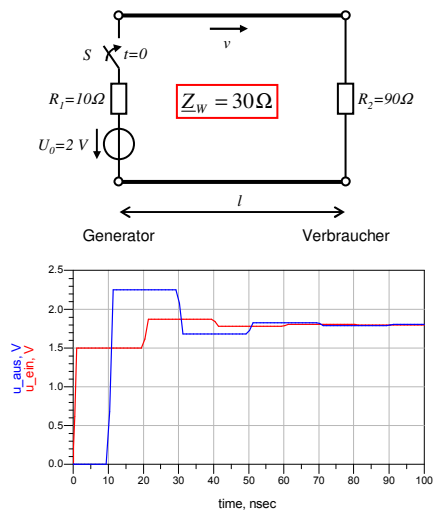
„Wellenwiderstand“ der Leitung



## Technologie von Datenbussen

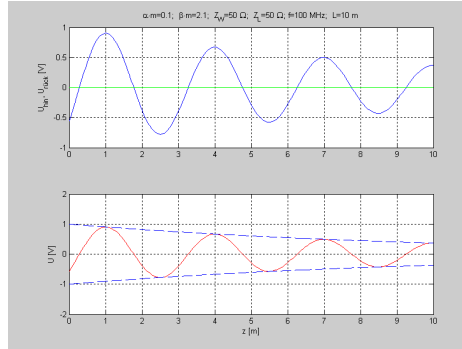
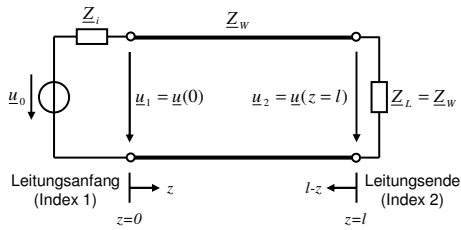
Wie schnell kann an einem Datenbus Information übertragen werden?

- Wird der Schalter geschlossen, fließt elektrischer Strom, das Leuchtmittel leuchtet
- Schnellster Ausbreitungsvorgang: Lichtgeschwindigkeit
- Woher weiß die Quelle, welche Stromstärke im Leiter fließen darf?

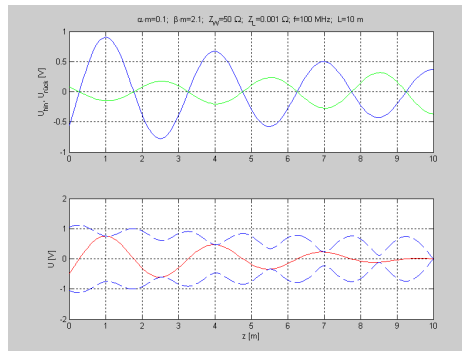
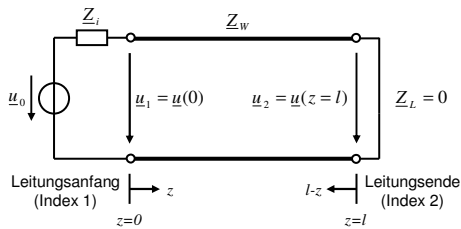




## Technologie von Datenbussen

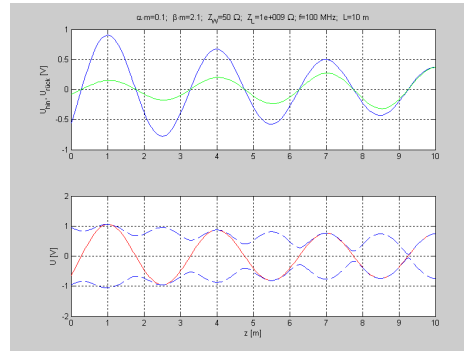
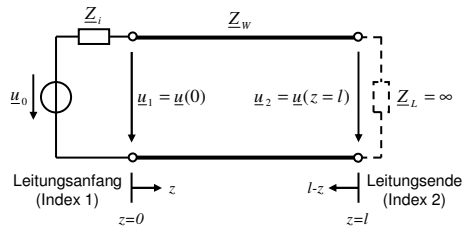


## Technologie von Datenbussen





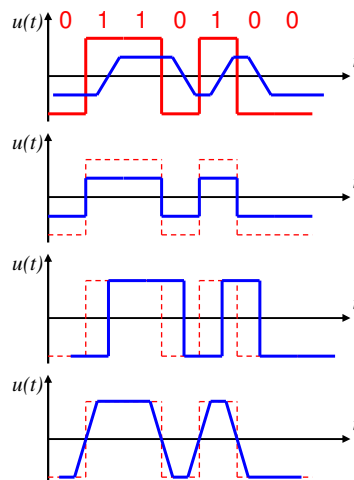
## Technologie von Datenbussen



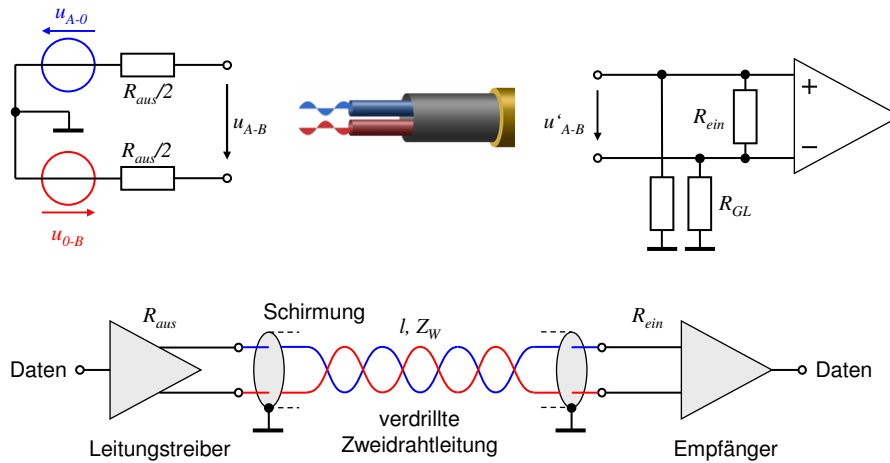
## Technologie von Datenbussen

Abhängig von den elektrischen Parametern beeinflussen Datenbusse die gesendete Information. Sie verzerren das Signal durch

- Dämpfung  
(ohmsche Verluste)
- Verzögerung  
(Ausbreitungsgeschwindigkeit)
- Begrenzung der Bandbreite  
(Tiefpass-Verhalten)



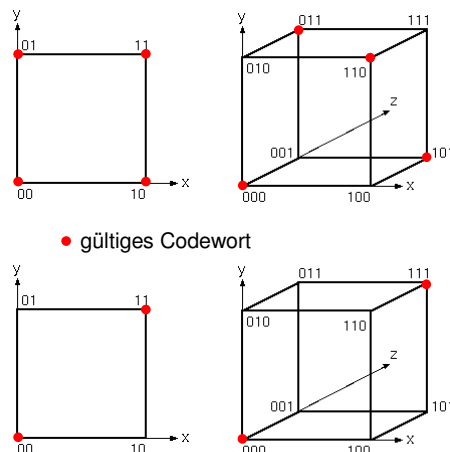
## Technologie von Datenbussen



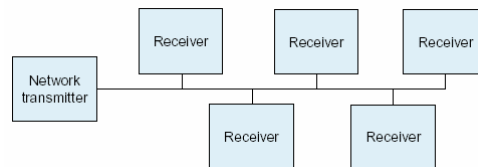
## Technologie von Datenbussen

Sicherung gegen Übertragungsfehler

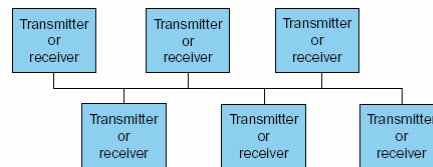
- Nachricht wird mit zusätzlicher Information versehen (Parität)
- Dadurch wird der Abstand (Hamming-Distanz) zwischen gültigen Codewörtern vergrößert
- Fehlerhafte Übertragungen können vom Empfänger nach dem Ausschlussprinzip erkannt und teilweise auch korrigiert werden



## Technologie von Datenbussen



Unidirektionale Busarchitektur



Bidirektionale Busarchitektur

## Datenbusse für zukünftige Raumschiffe

### Übersicht

- Warum Datenbusse?
- Technologie von Datenbussen
- **Beispiele „ziviler“ Datenbusse**
- **Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt**
- Integration und Zuverlässigkeit



Artist's concept of NASA's Orion crew exploration vehicle at ISS  
(© NASA)

## Beispiele „ziviler“ Datenbusse

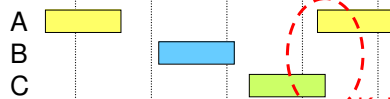
- EIA-232 (RS-232)
  - USB (Universal Serial Bus)
  - CAN (Controller Area Network)
  - IEC-625 (GPIB)
  - Ethernet
  - Fiber Distributed Data Interface
- 
- Bluetooth, WLAN, ZigBee, ...



## Beispiele „ziviler“ Datenbusse

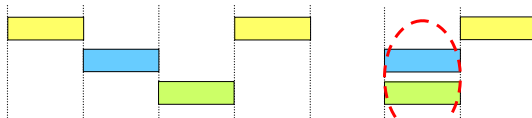
Ethernet – Grundidee von Protokollen

ALOHA



Kollision

Slotted ALOHA



Kollision

*p*-persistent CSMA/CD

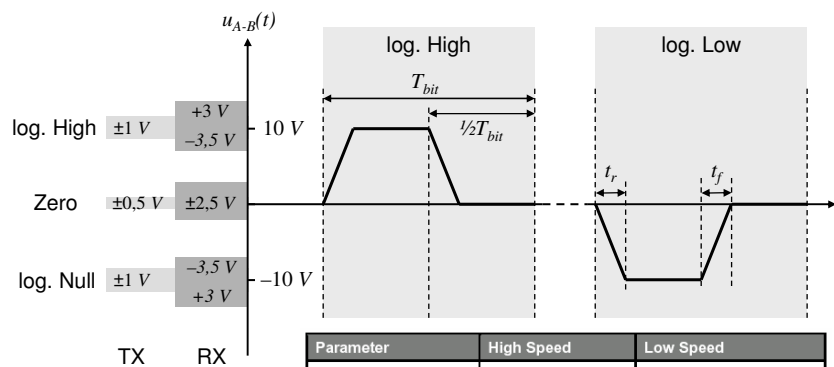
- Carrier Sense Multiple Access – Collision Detection
- Aussendung in einem freien Slot nur mit Wahrscheinlichkeit *p*

## Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt

Datenbus-Standards und exemplarische Implementierungen

- CSDB (Commercial/Collins Standard Digital Bus): General Aviation
- ARINC 429: B727/737/747/757/767, A310/320/340, MD-11
- ARINC 629 (DATAC): B777
- ARINC 664 (AFDX): A380, B787
- Mil-STD-1553: Space Shuttle, ISS, F16, AH-64A Apache
- TTP (Time-triggered Protocol): Orion, A380, B787
- ARINC 573: Flight Data Recorder-Bus
- ARINC 708: Wetterradar-Datenbus

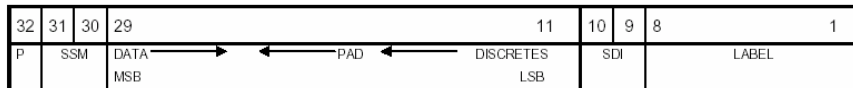
## Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt: ARINC 429



ARINC 429  
Spannungspegel

Parameter	High Speed	Low Speed
Bit Rate	100K bits/second	12.5K-14.5K bits/second
Time Y (one bit)	10 $\mu$ sec $\pm$ 2.5%	1-(bit rate) $\mu$ sec $\pm$ 2.5%
Time X	5 $\mu$ sec $\pm$ 5%	Y/2 $\mu$ sec $\pm$ 5%
Pulse Rise Time	1.5 $\pm$ 0.5 $\mu$ sec	10 $\pm$ 5 $\mu$ sec
Pulse Fall Time	1.5 $\pm$ 0.5 $\mu$ sec	10 $\pm$ 5 $\mu$ sec

## Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt: ARINC 429



- P: Paritätsbit:  $\Sigma(\text{Label} + \text{SDI} + \text{Data} + \text{SSM} + \text{P}) = \text{ODD}$
- SSM: Sign/Status Matrix
- Data: Datenfeld (BCD oder BNR-Code)
- SDI: Source/Destination Identifier
- Label: Datentyp und -parameter

ARINC 429  
Wortformat

## Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt: ARINC 429

Label	Equip ID (hex)	Parameter Name	Units	Range Scale	Digits	+	Res.	Min. Tx Rate (Msec)	Max. Tx Rate (Msec)
010	002	Present Position - Latitude	Degrees - Minutes	180N - 180S	6	N	0.1	250	500
	004	Present Position - Latitude	Degrees - Minutes	180N - 180S	6	N	0.1	250	500
	038	Present Position - Latitude	Degrees - Minutes	180N - 180S	6	N	0.1	250	500

Label	Equip ID (hex)	Parameter Name	Units	Range (Scale)	Bits	Res.	Min. Tx Rate (Msec)	Max. Tx Rate (Msec)
064	03C	Tire Pressure (nose)	psia	1024	10	1.0	50	250
102	002	Selected Altitude	feet	65536	16	1.0	100	200
	020	Selected Altitude	feet	65536	16	1.0	100	200
	029	DC Current (Battery)	amps	256	8	1.0	100	200

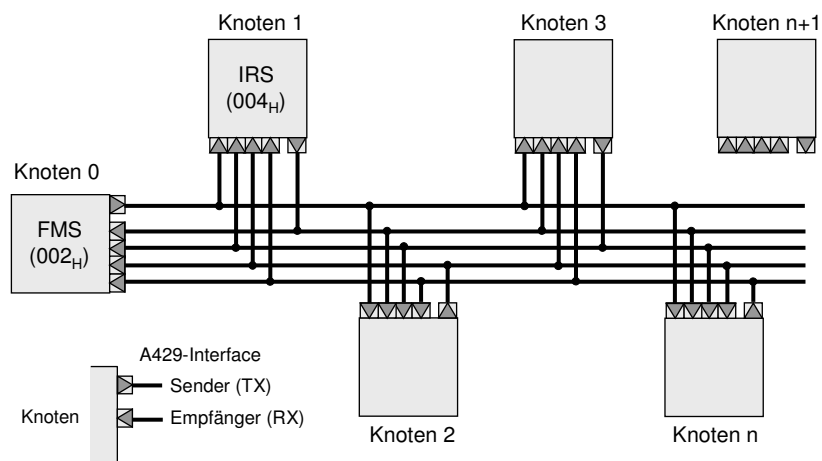
ARINC 429  
Beispiele für Label

## Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt: ARINC 429

Beispiele für Equipment-ID's (= Datenquelle):

Equipment ID (Hex)	Equipment Type
002	Flight Management Computer
004	Inertial Reference System
005	Attitude and Heading Reference System
020	DFS System
029	ADDCS and EICAS
038	ADIRS
03C	Tire Pressure Monitoring System
0A1	FCC Controller

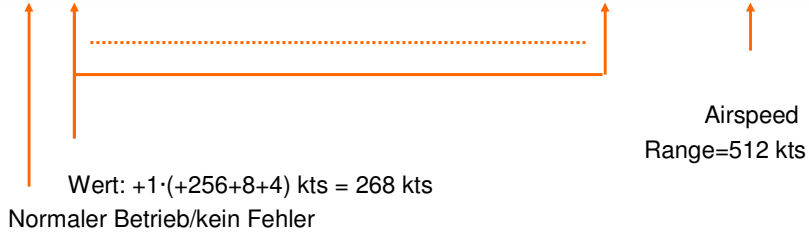
## Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt: ARINC 429





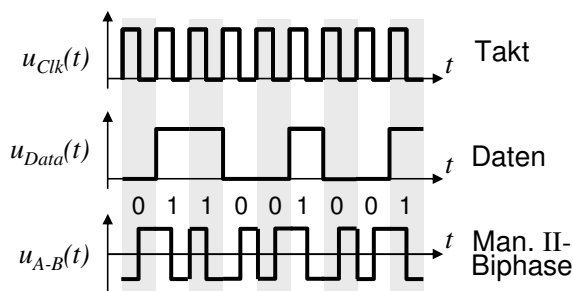
## Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt: ARINC 429

32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	1	
P		SSM		Data																Pad		SDI		LABEL		
0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	103



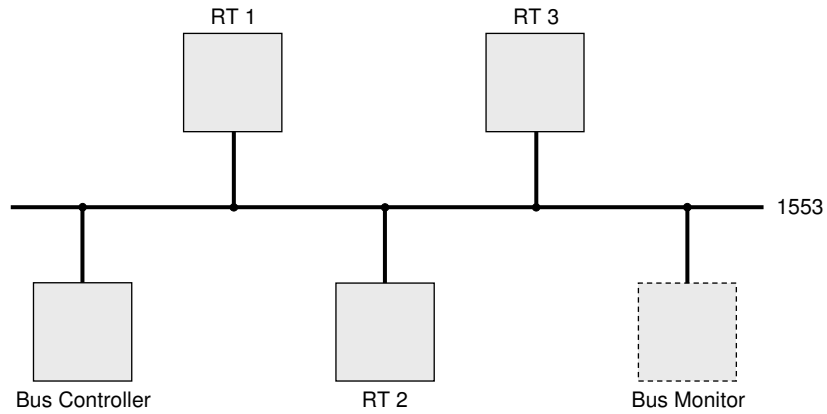
ARINC 429  
BNR-Wortformat

## Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt: Mil-STD-1553



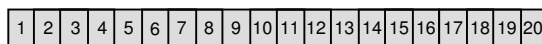
Mil-STD-1553:  
Leitungscode

## Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt: Mil-STD-1553

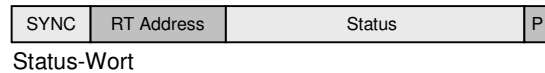
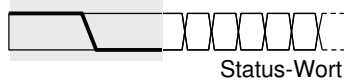
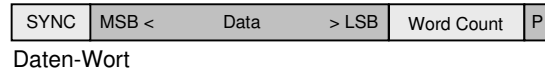
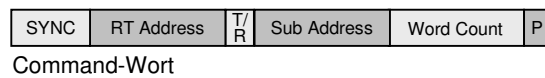
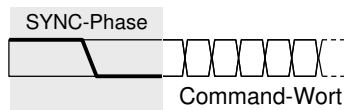


Mil-STD-1553:  
Busteilnehmer

## Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt: Mil-STD-1553

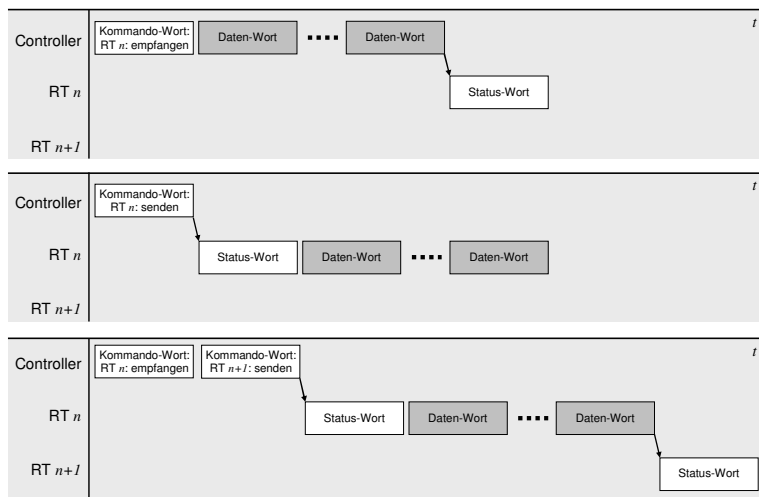


Mil-STD-1553-Wortaufbau

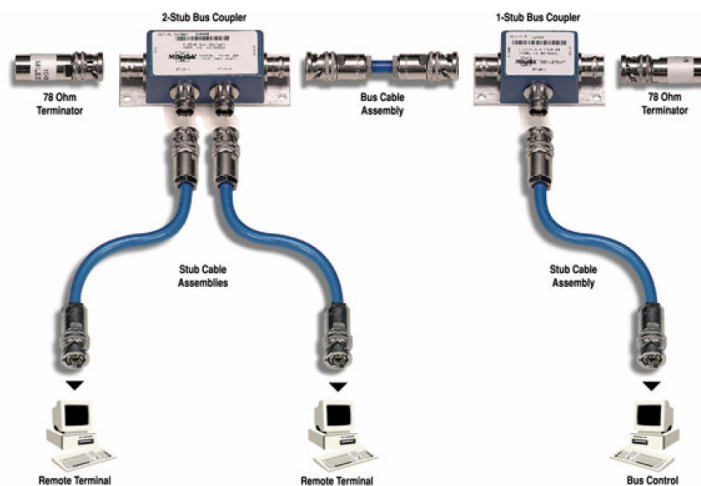


Mil-STD-1553:  
Wortaufbau

## Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt: Mil-STD-1553



## Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt: Mil-STD-1553



## Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt: AFDX (ARINC 664)

Avionics Full Duplex Switched Ethernet

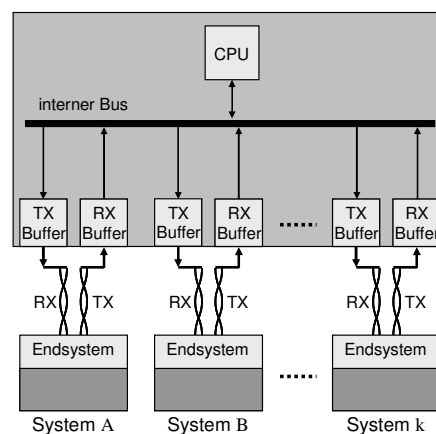
- Aufbau:
  - Link: 2x Twisted Pair
  - Switches
  - Endsysteme
- Übertragung: Voll-Duplex
- Bitrate: 100 MB/s
- Netz-Protokolle: basierend auf IP/UDP, IEEE 802.3
- 20 Sender/Empfänger pro Switch
- Max. 5000 Service Access Ports
- Erstmaliger Einsatz im A380
- Hauptkritikpunkt: Ethernet als deterministisches System?



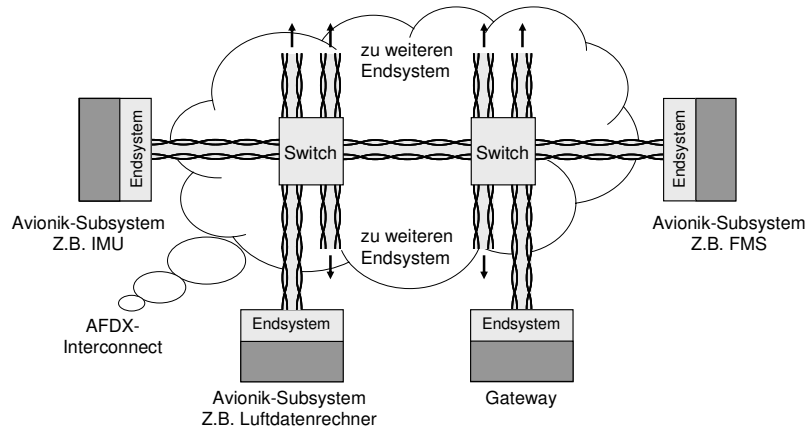
## Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt: AFDX (ARINC 664)

AFDX-Switch

- RX-Puffer
  - Switch verschiebt Nachricht in TX-Puffer des betreffenden Endsystems
- TX-Puffer
  - Nachricht wird an Endsystem weitergeleitet

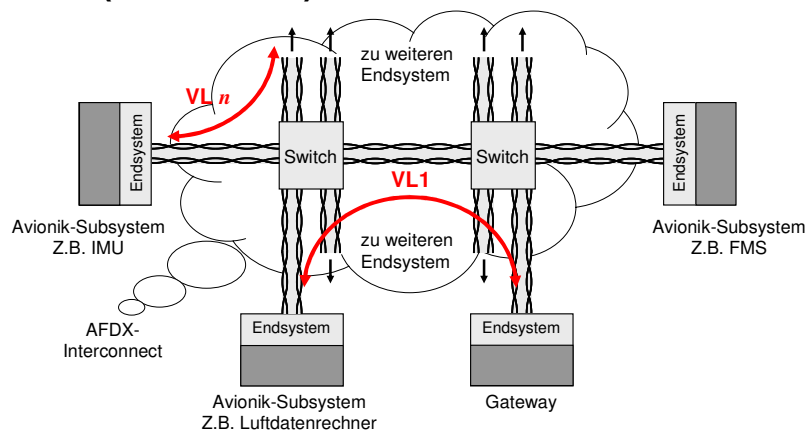


## Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt: AFDX (ARINC 664)



AFDX:  
Busarchitektur

## Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt: AFDX (ARINC 664)

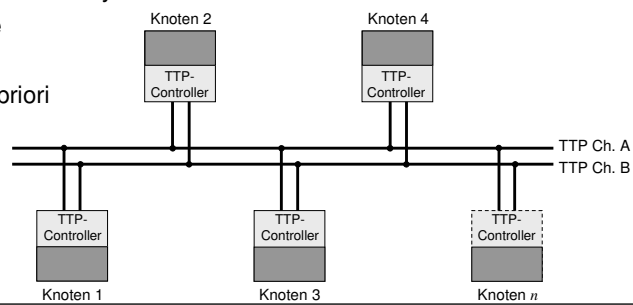


AFDX:  
Virtuelle Links

## Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt: TTP

TTP: Time-triggered Protocol

- 4 – 64 Rechnerknoten (= 1 Cluster)
- Bis zu 25 Mbit/s Übertragungsrate
- Verschiedene physikalische Layer
- Zwei parallele Kanäle
- Zeitlicher Ablauf der Kommunikation ist a-priori definiert



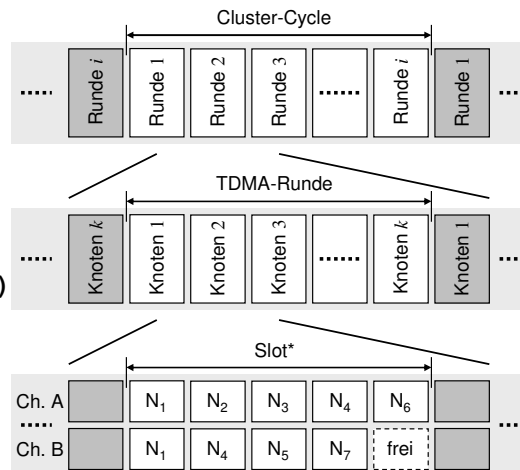
## Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt: TTP

TTP: Time-triggered Protocol

Definition des Kommunikations-  
ablaufs:

**Message Descriptor List (MEDL)**

**WER** sendet **WANN** welche  
Nachricht (**WAS**)?



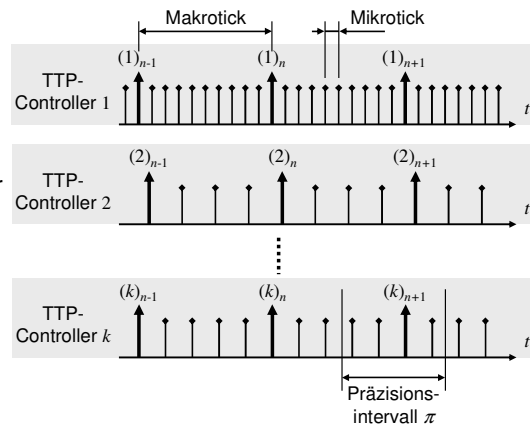
\* Die Belegung eines Slots kann sich von Runde zu Runde ändern

## Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt: TTP

TTP: Time-triggered Protocol

Bestimmung der globalen Zeit  
(ohne externe Referenz)

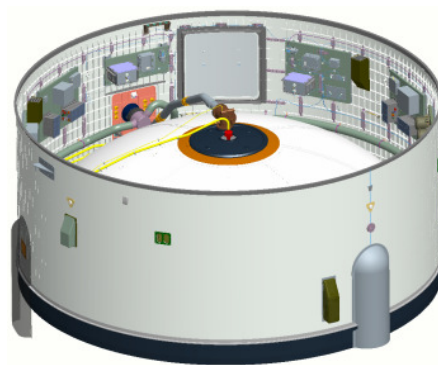
- Jeder Teilnehmer weiß, wer wann was sendet
- Abweichung der eigenen Uhrzeit zur Empfangszeit:  
**Präzisionsintervall**



## Datenbusse für zukünftige Raumschiffe

Übersicht

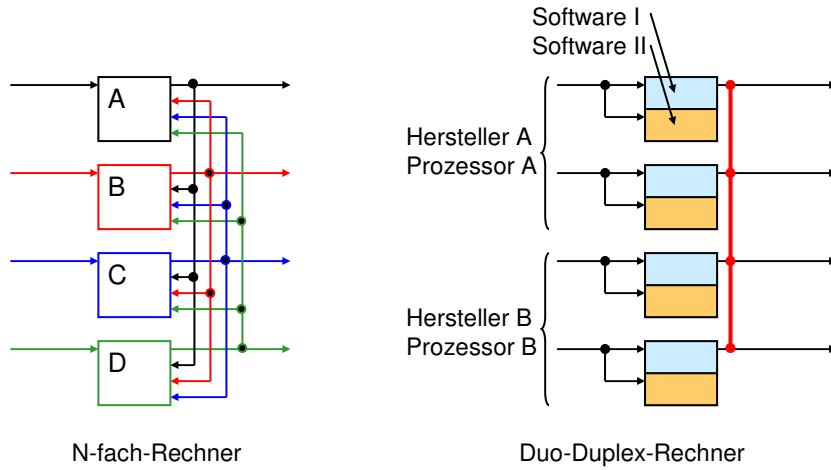
- Warum Datenbusse?
- Technologie von Datenbussen
- Beispiele „ziviler“ Datenbusse
- Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt
- **Integration und Zuverlässigkeit**



Instrument Unit Avionics, Ares I Crew Launch Vehicle  
(© NASA)

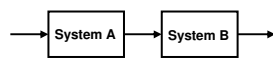


## Integration und Zuverlässigkeit



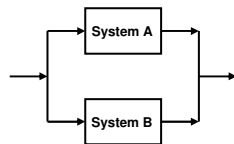
## Integration und Zuverlässigkeit

Verfügbarkeit eines Systems:



$$A_{ges} = A_{System A} \cdot A_{System B}$$

Systeme in Serie



$$A_{ges} = A_{System A} + A_{System B} - A_{System A} \cdot A_{System B}$$

$$A_{ges} = 1 - [(1 - A_{System A})(1 - A_{System B})]$$

(bei 1-aus-2-Redundanz)

Systeme parallel

## Integration und Zuverlässigkeit

Einige Zuverlässigkeitsparameter:

- MTBF (vereinfachte Berechnung)

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\sum_n FIT_n}$$

- Failure rate  $\lambda$

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} = \sum_n FIT_n$$

- Failures in Time FIT

$$FIT = \frac{\# \text{ of failures}}{10^9 \text{ hrs}}; \approx \begin{cases} 1,5; & \text{resistor} \\ 3; & \text{Si-diode} \\ 200; & \text{LSI circuit} \end{cases}$$

- MTTR

Operationelle Systeme:

MTTR = Zeit zur Reparatur defekter Module  
→ Schätzwerte

- Availability (0-100%)

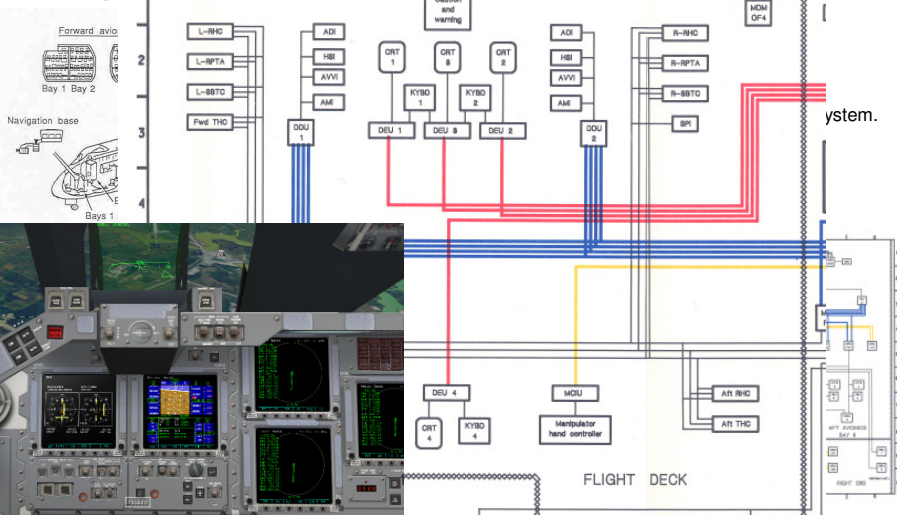
$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{MTBM}{MTBM + MDT}$$

inherent                      operational

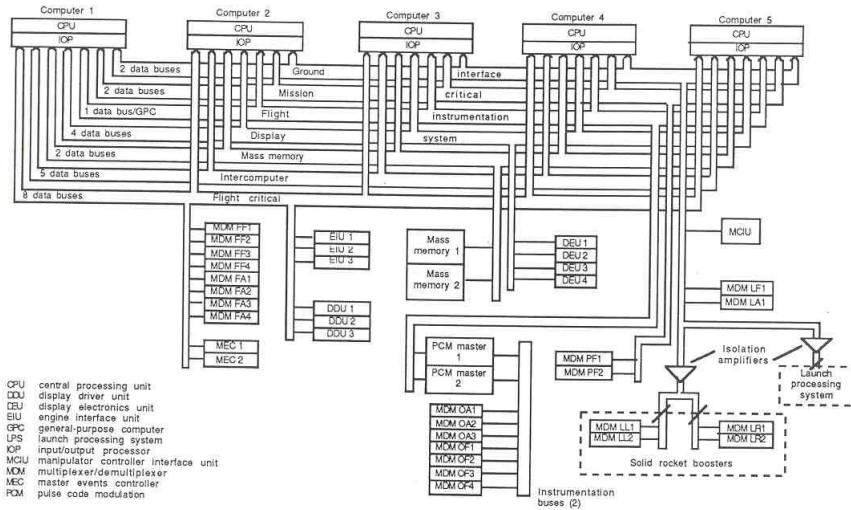
- Downtime DT

$$DT = A / \text{time}$$

## Integ



## Integration und Zuverlässigkeit



CPU central processing unit  
 DEU display driver unit  
 EIU engine interface unit  
 GPC general-purpose computer  
 IOP input/output processor  
 MCIU manipulator controller interface unit  
 MCM multiplexer/demultiplexer  
 MEC master events controller  
 PCM pulse code modulation

## Integration und Zuverlässigkeit

Fehlerklassifizierung	Design Assurance Level (DAL)	Wahrscheinlichkeit	Zuverlässigkeit
Catastrophic (katastrophal)	A	$< 1 \cdot 10^{-7}$	Improbable (unwahrscheinlich)
Hazardous (gefährlich)	B	$< 1 \cdot 10^{-6}$	Very remote (sehr gering)
Major (schwerwiegend)	C	$< 1 \cdot 10^{-5}$	Remote (gering)
Minor (gering)	D	$< 1 \cdot 10^{-3}$	Reasonable remote (vereinzelt)
No effect (-)	E	$\geq 1 \cdot 10^{-3}$	Frequent

A: Ausfall der Flugsteuerung  
 (Häufigkeit: einmal im Leben der Welt-Flugzeugflotte, Folge: größere Anzahl Schwerverletzter oder Todesfälle)  
 B: Wahrscheinlichkeit: einmal im Flugzeugleben, Folge: Unbehagen bis hin zu leichten Verletzungen

## Datenbusse für zukünftige Raumschiffe

### Zusammenfassung

- Warum Datenbusse?
- Technologie von Datenbussen
- Beispiele „ziviler“ Datenbusse
- Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt
- Integration und Zuverlässigkeit



Blick in das Cockpit des Space Shuttles Atlantis  
(© NASA)

## Events – [www.fh-joaanneum.at/lav](http://www.fh-joaanneum.at/lav)

### Der Weg ins All - wie wird man Astronaut?

**Herr DI Dr. Peter Woditschka, Teilnehmer ESA-Astronautenselektion und Lehrbeauftragter Studiengänge Luftfahrt/Aviation**

#### Der Weg ins All - wie wird man Astronaut?

Erfahrungsbericht vom österreichischen Finalrunden-Teilnehmer an der ESA-Astronauten-Selektion 2008/09

Inhalt: Schwerpunkt sind die Erfahrungen im Laufe der einjährigen ESA-Selektion; insbesondere die Voraussetzungen - welche Möglichkeiten sind (für einen Studierenden) für diese Richtung gegeben. Es folgt ein Überblick über die Astronauten-Selektion der NASA, das Astronaut-Pilot Programm von Richard Branson bei VirginGalactic/VirginAtlantic und der grobe Ablauf der Astronauten-Ausbildung.

**FH JOANNEUM, Studiengänge Luftfahrt/Aviation**

**10.11.2010 | 18:00 | HS 6, 2. Stock,  
FH JOANNEUM, Alte Poststraße 149, 8020 Graz**

### Bildnachweis

Folie 1: NASA, KSC-99PP-0412, [http://www.nasa.gov/centers/langley/images/content/70412main\\_KSC-99PP-0412.JPG](http://www.nasa.gov/centers/langley/images/content/70412main_KSC-99PP-0412.JPG)  
Folie 7: NASA Ares I Crew Launch Vehicle (...), [http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20090020393\\_2008048231.pdf](http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20090020393_2008048231.pdf)  
Folie 8: NASA, Constellation-Homepage: Orion Crew Exploration Vehicle, [http://www.nasa.gov/mission\\_pages/constellation/orion/index.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/constellation/orion/index.html)  
Folie 21: Lockheed Martin, JSC2006-E-43963, [http://www.nasa.gov/images/content/156334main\\_Orion\\_ISS.jpg](http://www.nasa.gov/images/content/156334main_Orion_ISS.jpg)  
Folie 35: [https://prof.hti.bfh.ch/uploads/media/Mil\\_Std\\_1553\\_gaumm1.pdf](https://prof.hti.bfh.ch/uploads/media/Mil_Std_1553_gaumm1.pdf)  
Folie 43: NASA Ares I Crew Launch Vehicle (...), [http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20090020393\\_2008048231.pdf](http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20090020393_2008048231.pdf)  
Folie 47: Hannaway, Moorehead: Space Shuttle Avionics System. NASA SP-504, 1989  
Folie 50: NASA, KSC-99PP-0412, [http://www.nasa.gov/centers/langley/images/content/70412main\\_KSC-99PP-0412.JPG](http://www.nasa.gov/centers/langley/images/content/70412main_KSC-99PP-0412.JPG)

