

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)



Warum Datenbusse?



Flühr: Datenbusse für zukünftige Raumschiffe

10/09/10
-2-

Warum Datenbusse?



Flühr: Datenbusse für zukünftige Raumschiffe

10/09/10
-3-

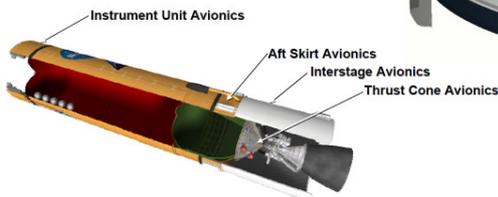
Warum Datenbusse?



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

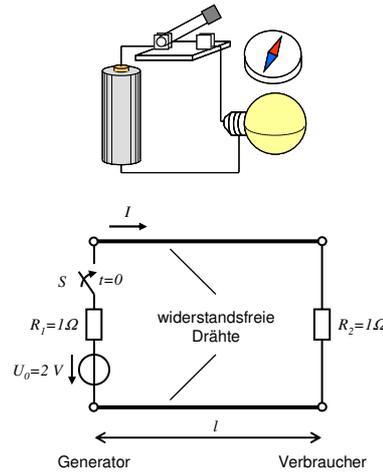
| Bezeichnung | Längsschnitt | Querschnitt | |
|----------------------|--------------|-------------|--|
| Einfachdraht | | | |
| Paralleldrahtleitung | | | |
| Koaxialleitung | | | |
| Streifenleitung | | | |

Technologie von Datenbussen

Wie schnell kann an einem Datenbus Information übertragen werden?

Beispiel: Lichtschalter

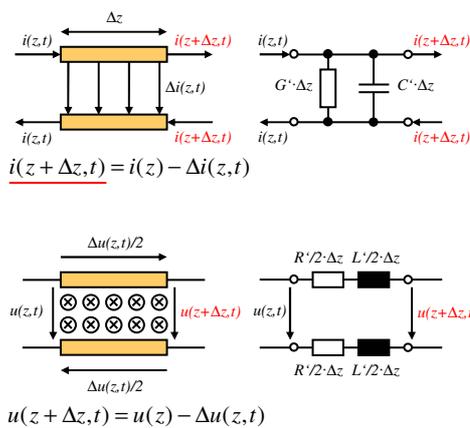
- Wird der Schalter geschlossen, fließt elektrischer Strom, das Leuchtmittel leuchtet
- Schnellster Ausbreitungsvorgang: Lichtgeschwindigkeit
- Woher weiß die Quelle, welche Stromstärke im Leiter fließen darf?



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

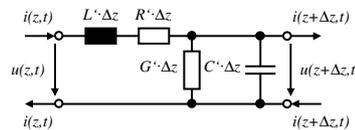
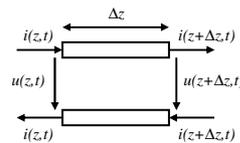
Technologie von Datenbussen

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 (Ω/m)
- L' : Induktivitätsbelag (H/m)
- C' : Kapazitätsbelag (F/m)
- G' : Ableitbelag (S/m)

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

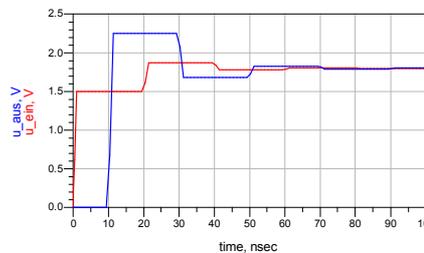
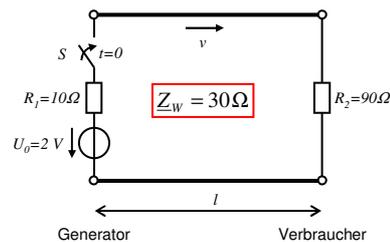
„Wellenwiderstand“ der Leitung



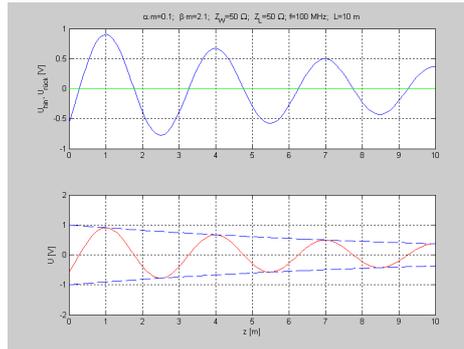
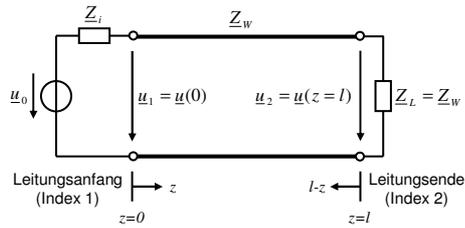
Technologie von Datenbussen

Wie schnell kann an einem Datenbus Information übertragen werden?

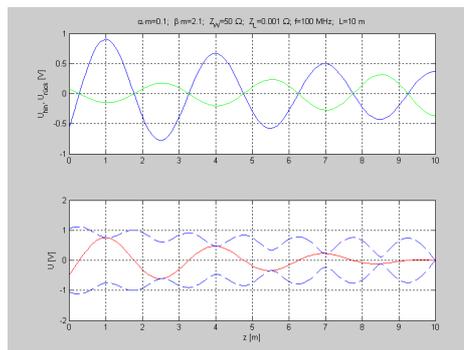
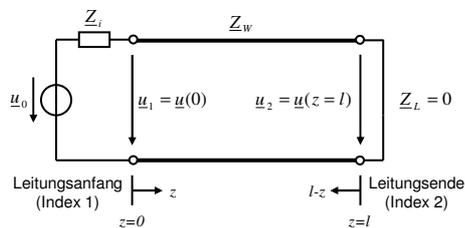
- Wird der Schalter geschlossen, fließt elektrischer Strom, das Leuchtmittel leuchtet
- Schnellster Ausbreitungsvorgang: Lichtgeschwindigkeit
- Woher weiß die Quelle, welche Stromstärke im Leiter fließen darf?



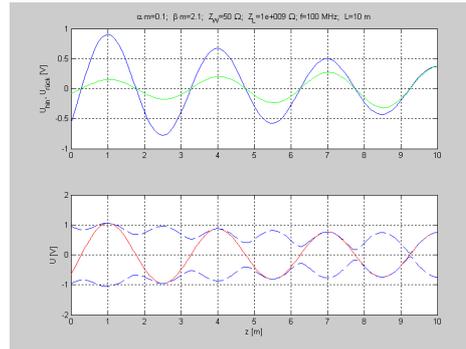
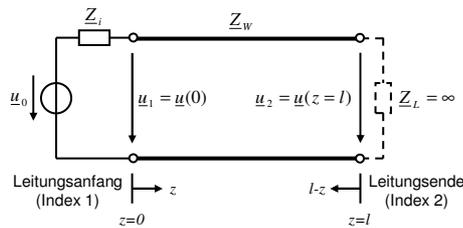
Technologie von Datenbussen



Technologie von Datenbussen



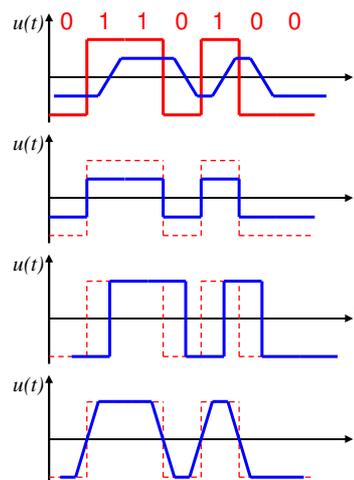
Technologie von Datenbussen



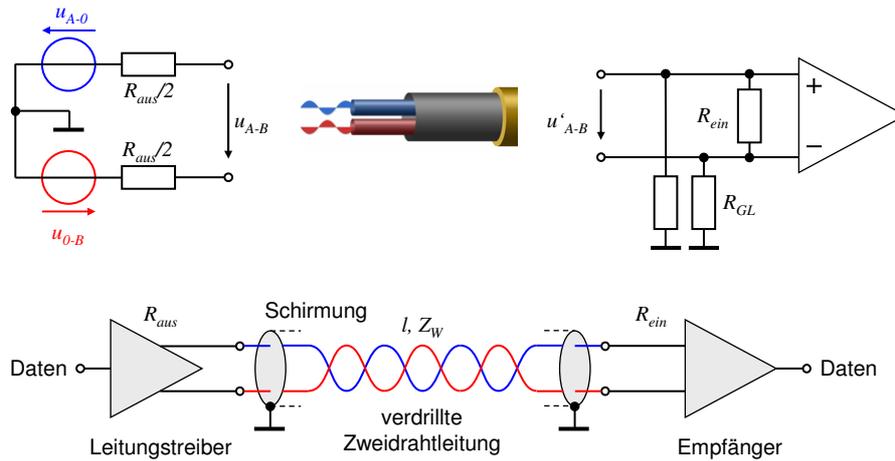
Technologie von Datenbussen

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)



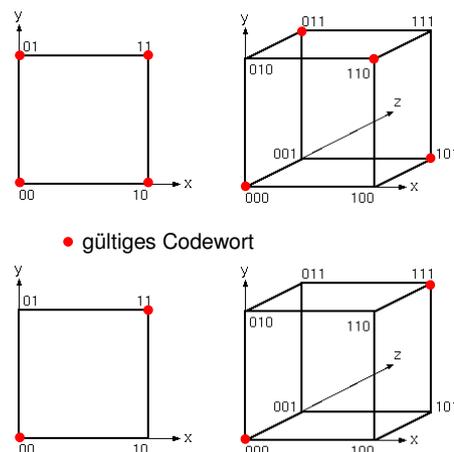
Technologie von Datenbussen



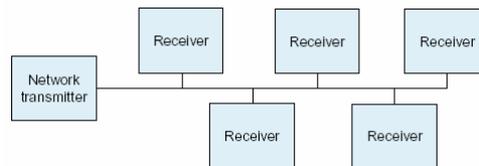
Technologie von Datenbussen

Sicherung gegen Übertragungsfehler

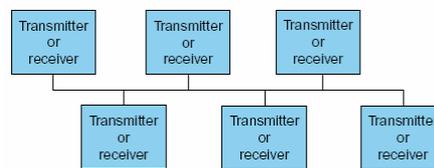
- Nachricht wird mit zusätzlicher Information versehen (Parität)
- Dadurch wird der Abstand (Hamming-Distanz) zwischen gültigen Codewörtern vergrößert
- Fehlerhafte Übertragungen können vom Empfänger nach dem Ausschlussprinzip erkannt und teilweise auch korrigiert werden



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, ...

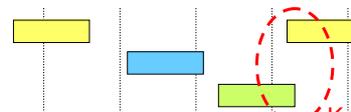


Beispiele „ziviler“ Datenbusse

Ethernet – Grundidee von Protokollen

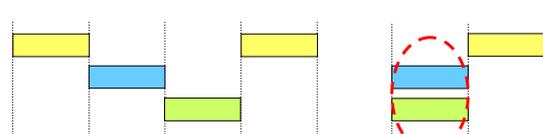
ALOHA

A
B
C



Kollision

Slotted ALOHA



Kollision

p -persistent CSMA/CD

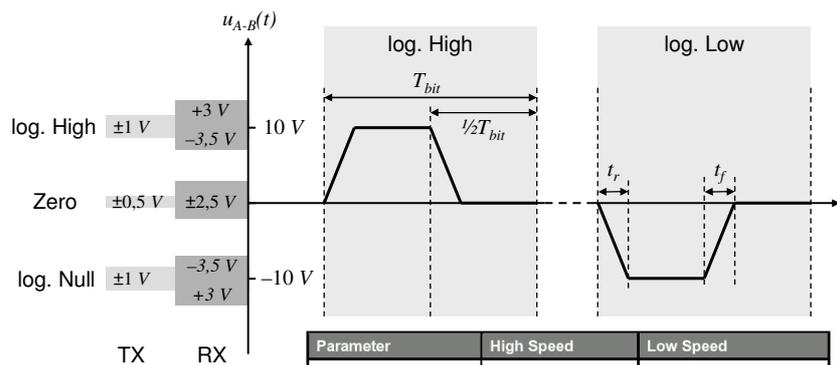
- Carrier Sense Multiple Access – Collision Detection
- Aussendung in einem freien Slot nur mit Wahrscheinlichkeit p

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

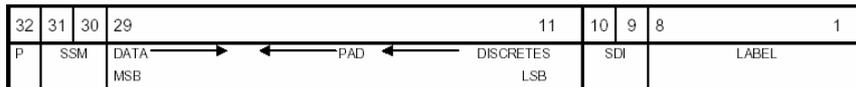
Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt: ARINC 429



ARINC 429
Spannungspegel

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

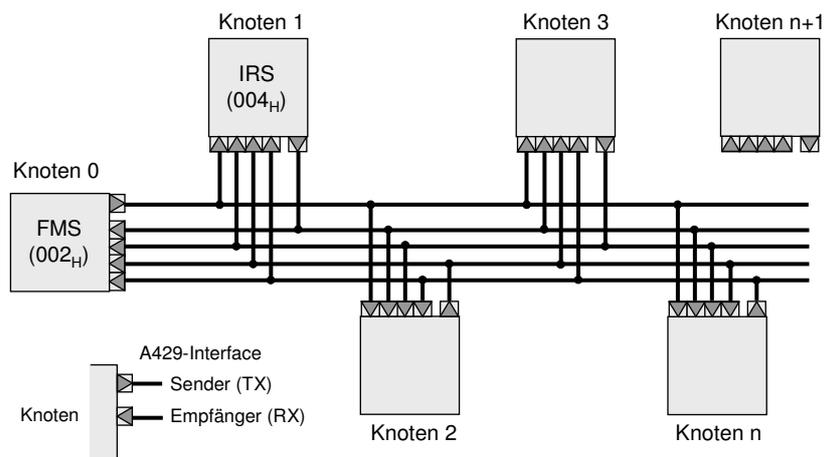
ARINC 429
Beispiele für Label

Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt: ARINC 429

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

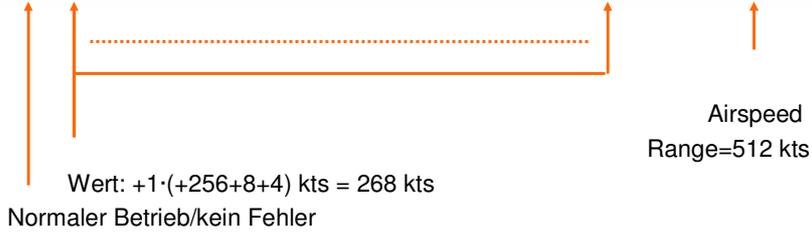
| Equipment ID (Hex) | Equipment Type |
|--------------------|---------------------------------------|
| 002 | Flight Management Computer |
| 004 | Inertial Reference System |
| 005 | Attitude and Heading Reference System |
| 020 | DFS System |
| 029 | ADDCS and EICAS |
| 038 | ADIRS |
| 03C | Tire Pressure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

Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt: ARINC 429



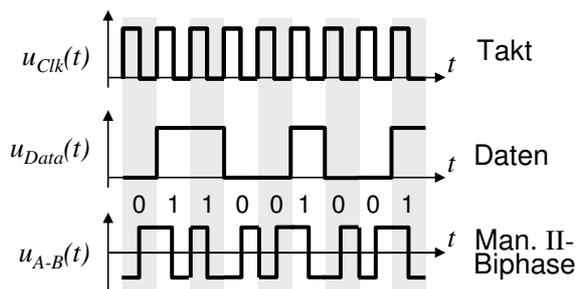
Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt: ARINC 429

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|-----|----|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|-----|---|-------|---|-----|
| 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 |



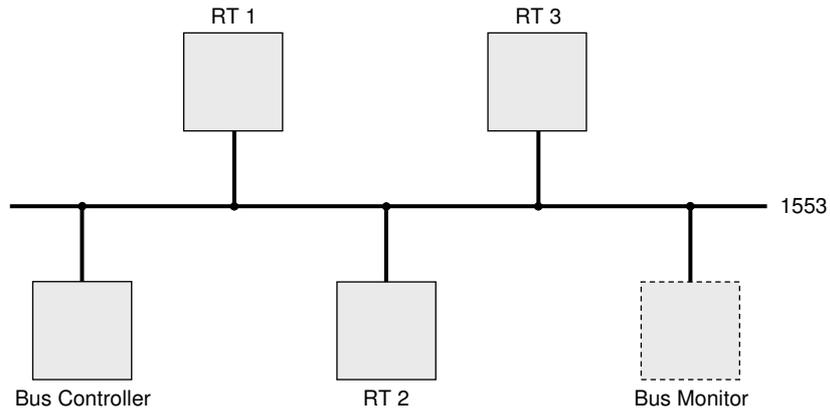
ARINC 429
BNR-Wortformat

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



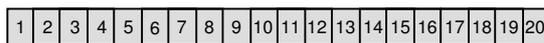
Mil-STD-1553:
Leitungscode

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

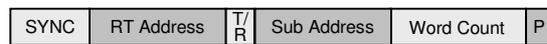
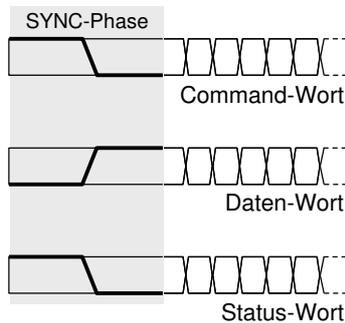


Mil-STD-1553:
Busteilnehmer

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



Mil-STD-1553-Wortaufbau



Command-Wort



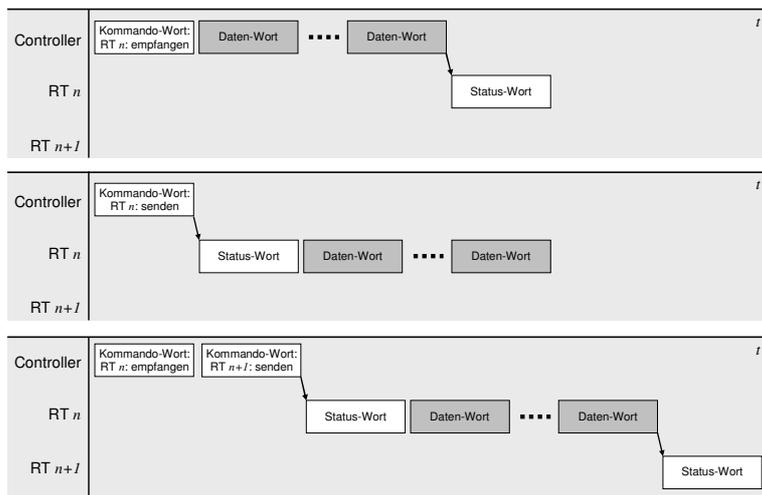
Daten-Wort



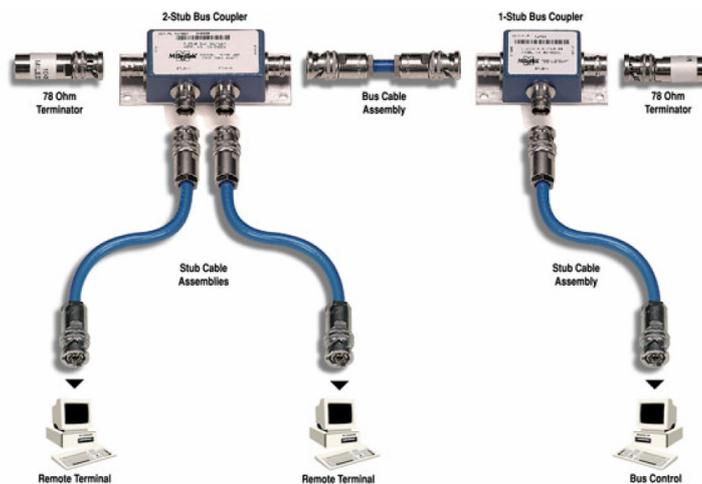
Status-Wort

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)

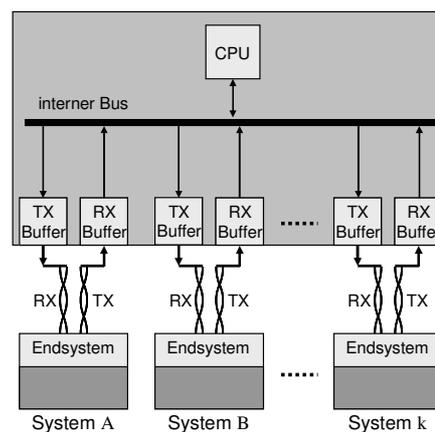
Avionics Full Duplex Switched Ethernet

- 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?

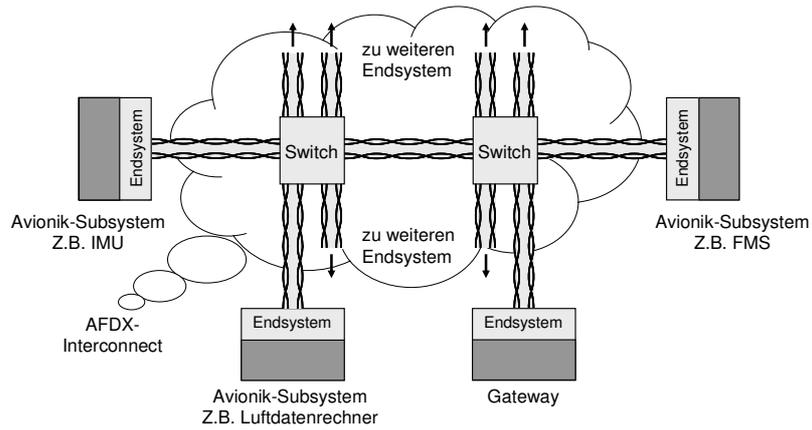
Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt: AFDX (ARINC 664)

AFDX-Switch

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

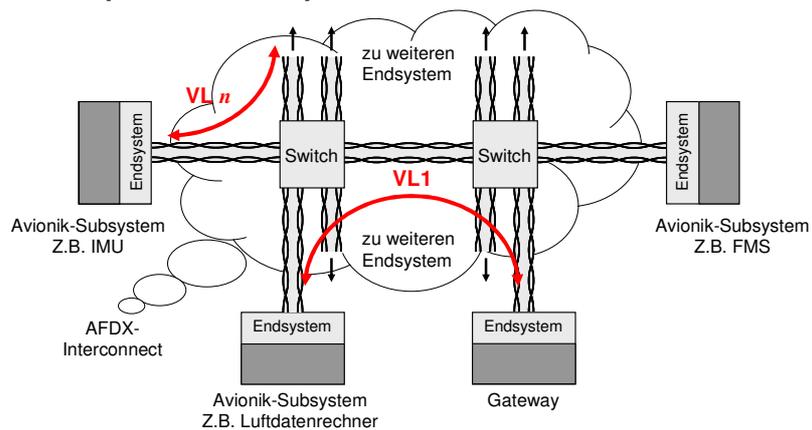


Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt: AFDX (ARINC 664)



AFDX:
Busarchitektur

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

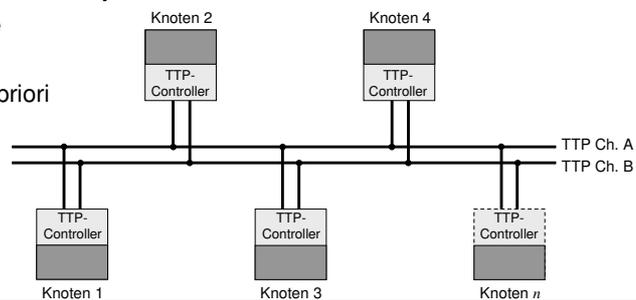


AFDX:
Virtuelle Links

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



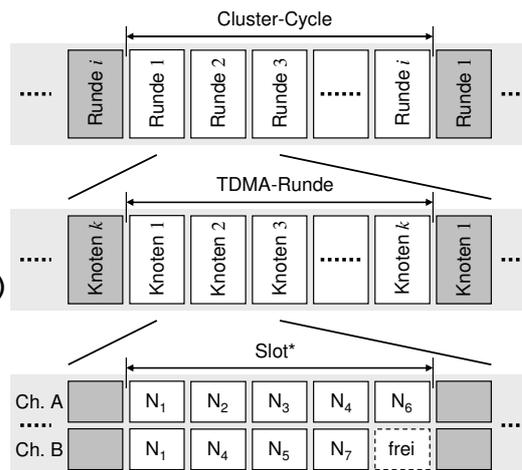
Datenbusse in der Luft- und Raumfahrt: TTP

TTP: Time-triggered Protocol

Definition des Kommunikations-
ablaufs:

Message Descriptor List (MEDL)

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



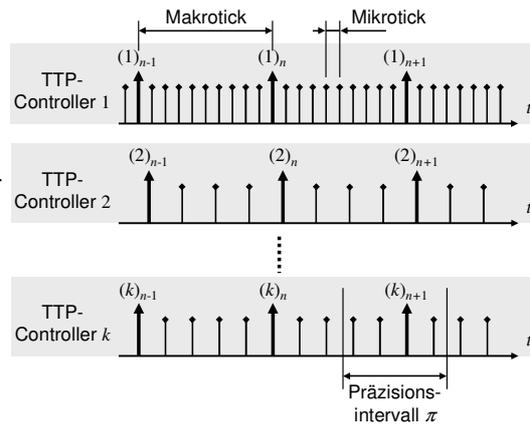
* Die Belegung eines Slots kann sich von Runde zu Runde ändern

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

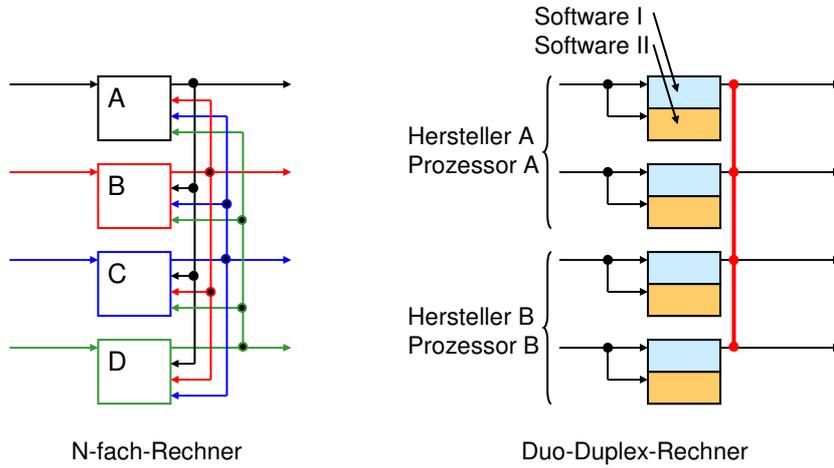
Übersicht

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



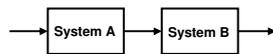
Instrument Unit Avionics, Ares I Crew Launch Vehicle
(© NASA)

Integration und Zuverlässigkeit



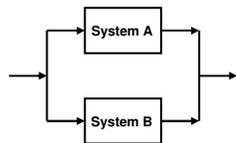
Integration und Zuverlässigkeit

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 λ

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

- 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%)

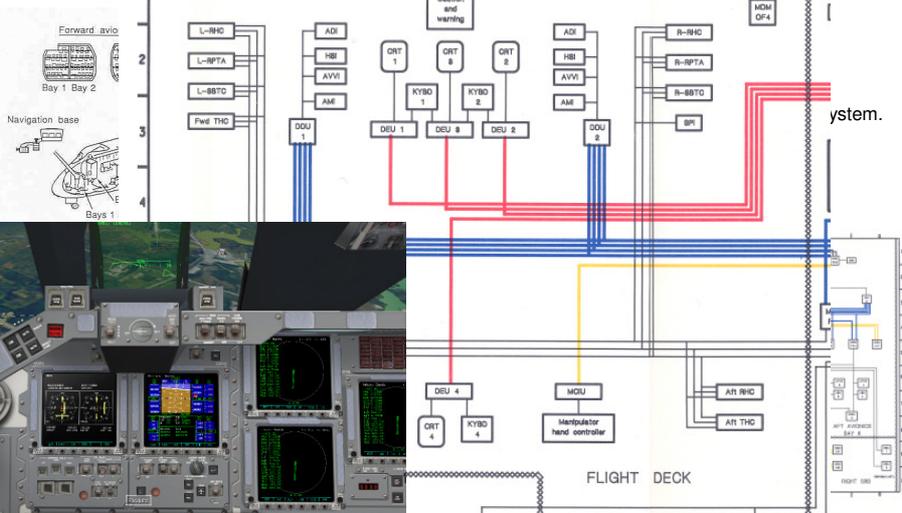
$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{MTBM}{MTBM + MDT}$$

inherent operational

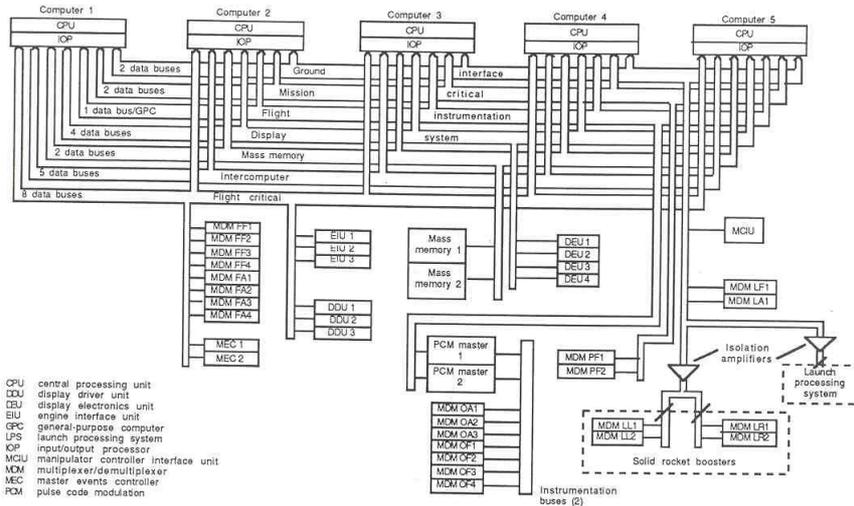
- Downtime DT

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

Integ



Integration und Zuverlässigkeit



Integration und Zuverlässigkeit

| Fehlerklassifizierung | Design Assurance Level (DAL) | Wahrscheinlichkeit | Zuverlässigkeit |
|-----------------------------|------------------------------|------------------------|---|
| Catastrophic (katastrophal) | A | < 1 · 10 ⁻⁸ | Extremely improbable (unwahrscheinlich) |
| Hazardous (gefährlich) | B | < 1 · 10 ⁻⁷ | Very remote (sehr gering) |
| Major (schwerwiegend) | C | < 1 · 10 ⁻⁵ | Remote (gering) |
| Minor (gering) | D | < 1 · 10 ⁻³ | Reasonable remote (vereinzelt) |
| No effect (-) | E | ≥ 1 · 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

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
Folie 7: NASA Ares I Crew Launch Vehicle (...), 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
Folie 21: Lockheed Martin, JSC2006-E-43963, http://www.nasa.gov/images/content/156334main_Orion_ISS.jpg
Folie 35: 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
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

