

# Echtzeitnetze

## Seminar Informatik Sommersemester 2021

Dr.-Ing. habil. Peter Danielis  
Lehrstuhl für Verteiltes Hochleistungsrechnen  
Fakultät für Informatik und Elektrotechnik  
Universität Rostock



Dr.-Ing. habil. **Peter Danielis**

Verteiltes Hochleistungsrechnen

Fakultät für Informatik und Elektrotechnik,  
Universität Rostock

Sprechzeiten

- AE22-R357 (Konrad-Zuse-Haus)
- Nach Vereinbarung

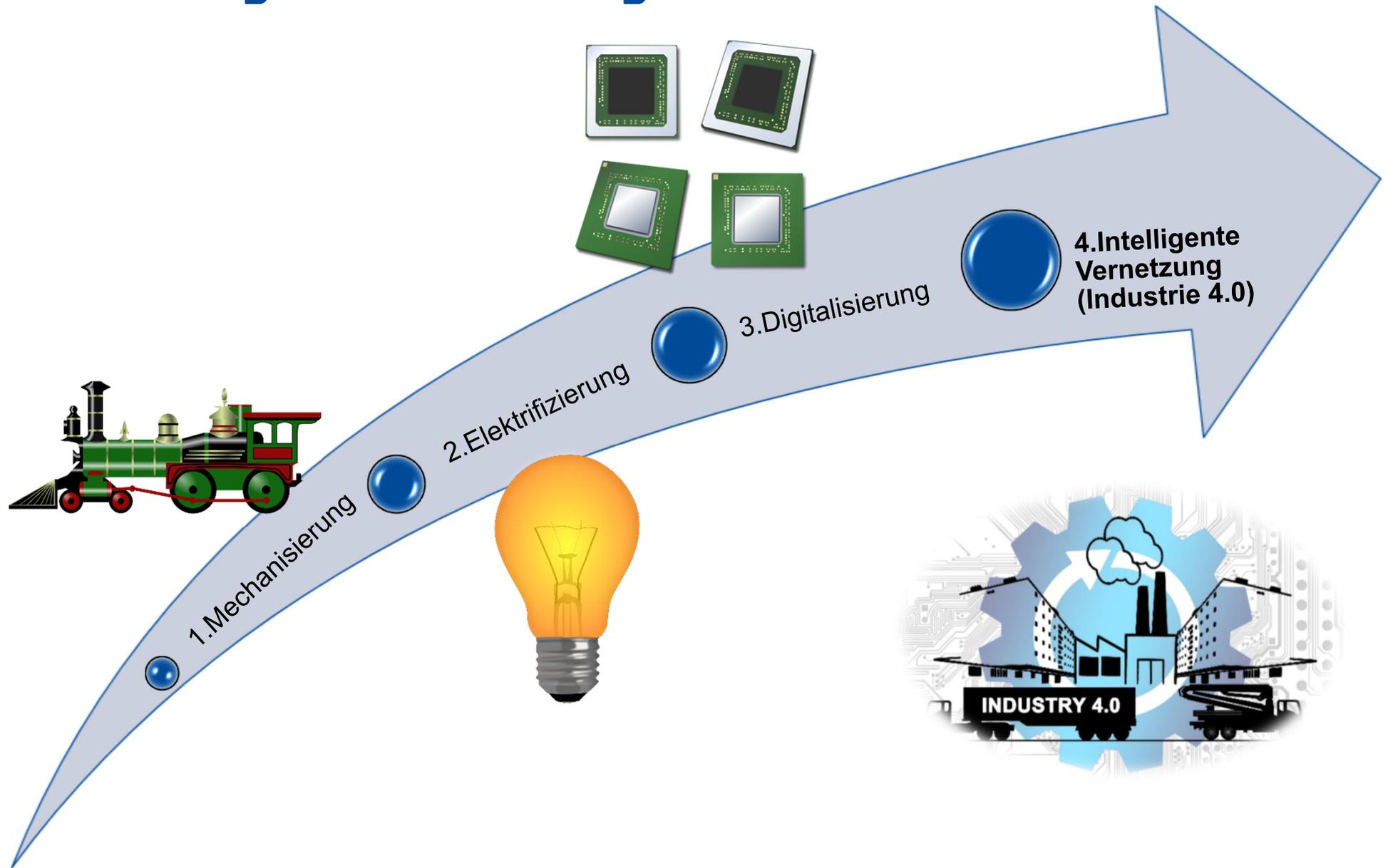
Kontakt

- Telefon: 0381 / 498 7560
- E-Mail: [peter.danielis@uni-rostock.de](mailto:peter.danielis@uni-rostock.de)
- Web: <https://www.vhr.uni-rostock.de/>



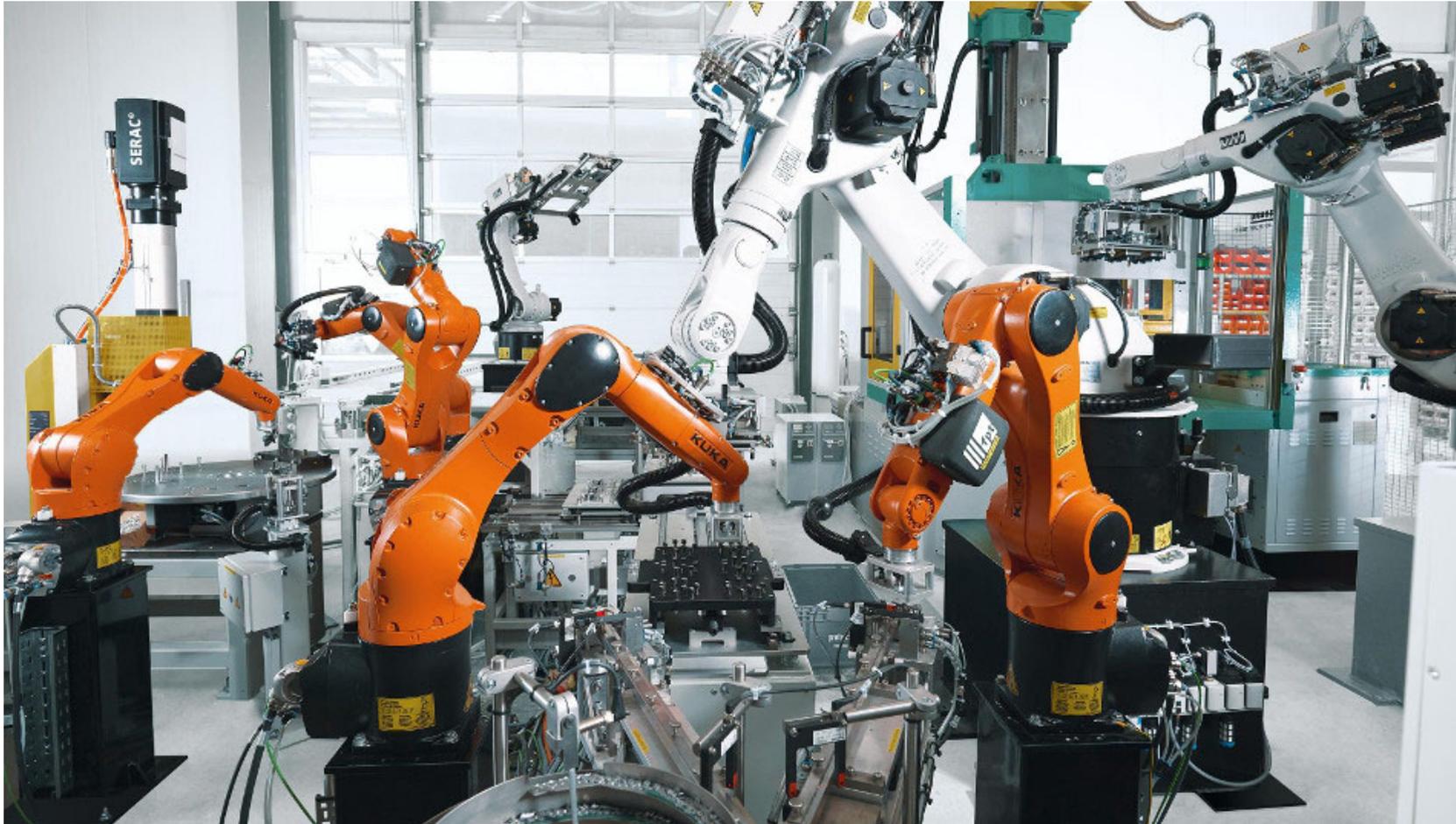
# Einleitung

# Einleitung: Auf dem Weg zur Industrie 4.0



**Vision:** Smart Factory, Industrial Internet of Things (IIoT), Industrial Internet

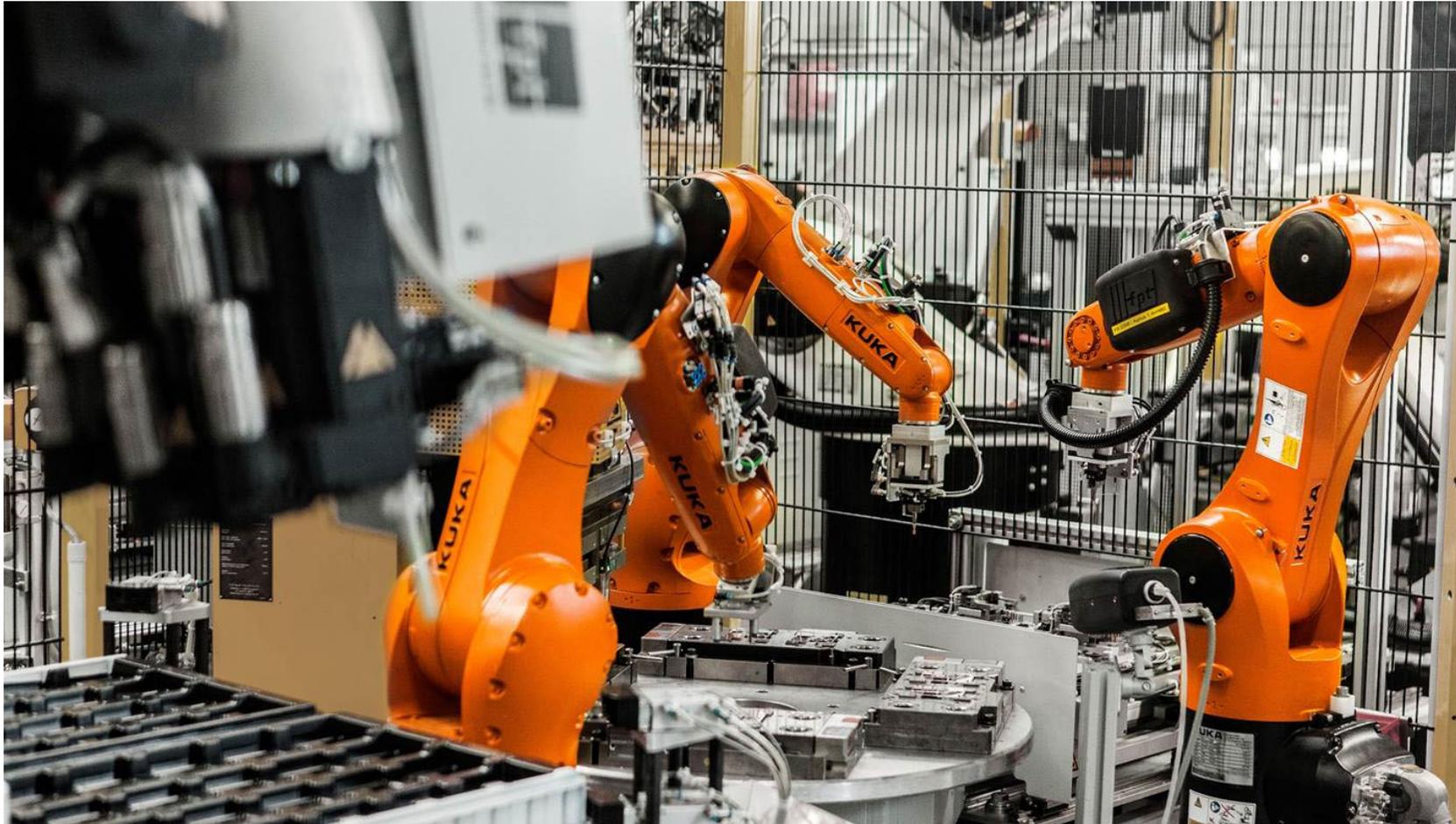
# Industrieroboter in der Smart Factory



Fertigungsroboter von Kuka

**Zeitkritische Kommunikation bei Übergabe eines Werkstücks.**

# Rekonfigurierbare Produktionszelle



Fertigungsroboter von Kuka

**Flexible Kommunikation** bei Aufgabenänderung.

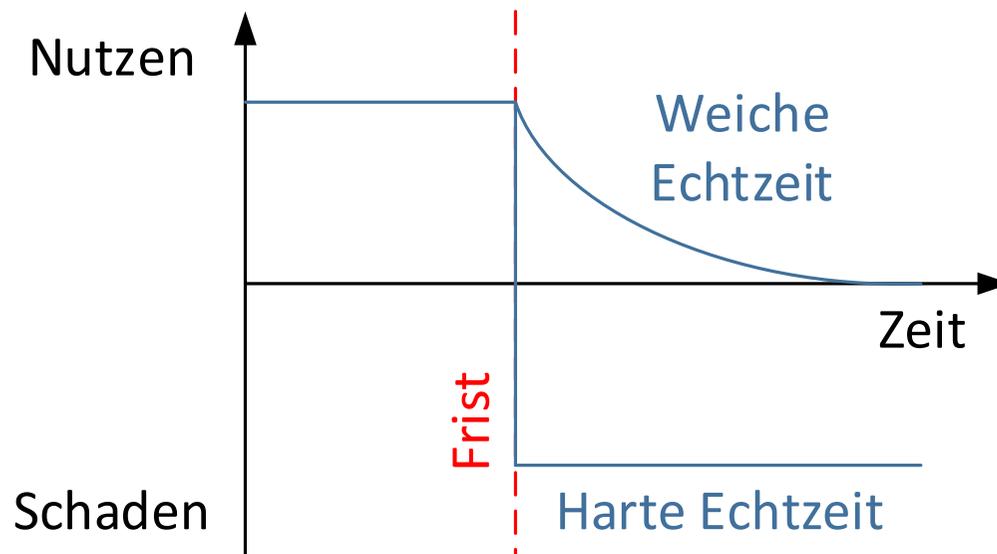
# Einleitung: Anforderungen an die Smart Factory

- Skalierbares Netz: Hunderte bis tausende Geräte
- Intelligent vernetzte Geräte mit Internettechnologien und Echtzeitfähigkeit
- Vertikale Vernetzung mit wirtschaftlichen Prozessen
- Horizontale Vernetzung in ein **echtzeitfähiges** Netz



# Echtzeitfähigkeit

- Systemreaktion innerhalb einer vorgegebenen Frist
- Korrektheit von Echtzeitsystemen ist abhängig von
  - korrektem Berechnungsergebnis
  - rechtzeitiger Ergebnisberechnung



# Echtzeitfähigkeit

- Systemreaktion innerhalb einer vorgegebenen Frist

**Welche Vernetzungstechnologie kommt für die Realisierung der Smart Factory in Frage?**

**Drahtgebundene Technologie: Echtzeitfähiges Ethernet**

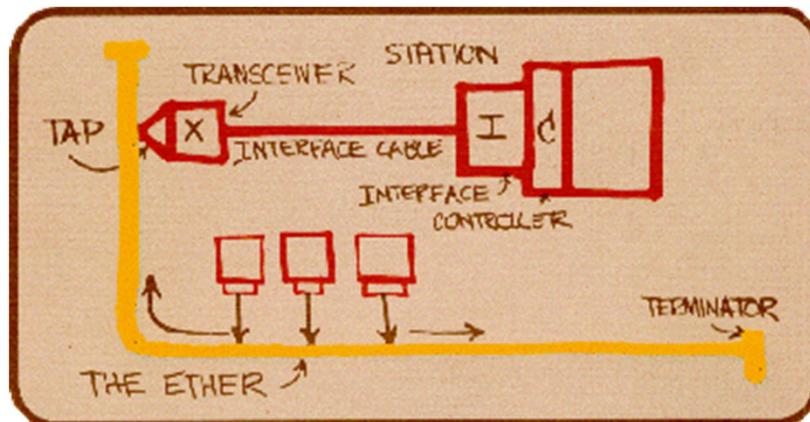
Schaden

Frist

Harte Echtzeit

# IEEE 802.3: Ethernet

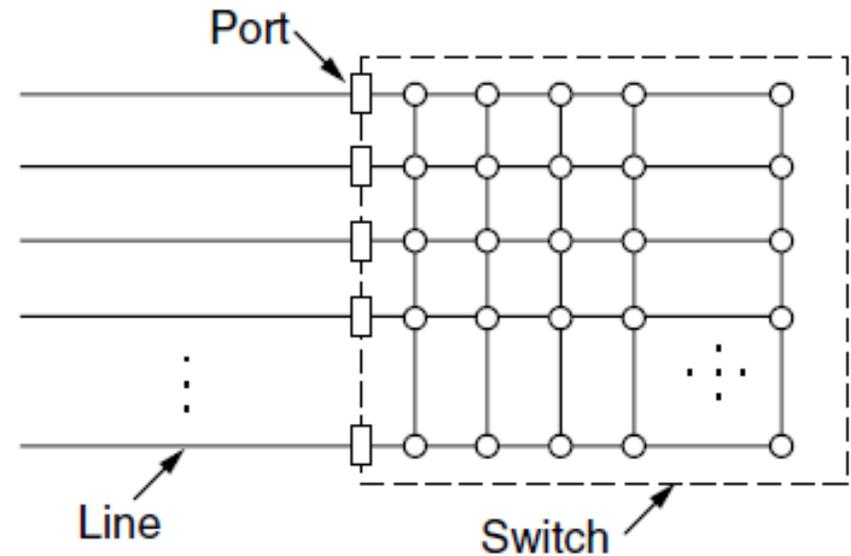
- Entwicklung
  - 1976: Xerox Ethernet (Robert Metcalfe), 2,94 Mbps



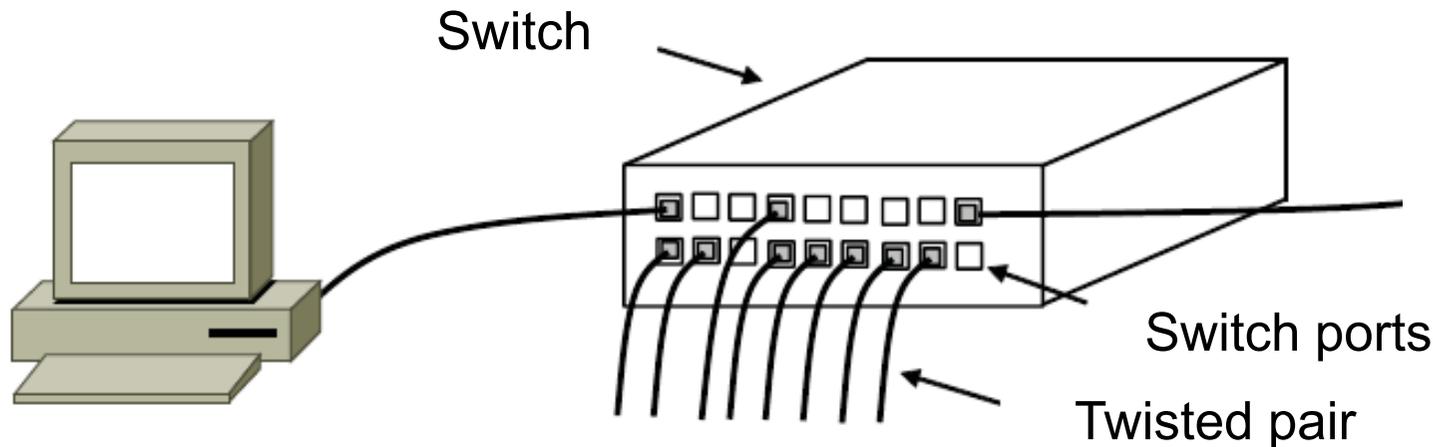
- 1978: Ethernet-Industriestandard von DEC, Intel, Xerox (DIX), 10 Mbps
- 1983: IEEE 802.3-Standard
- IEEE-802.3-Arbeitsgruppe
  - Entwicklung von Standards für Ethernet-Netzwerke
  - 1, 10, 100 Mbps (Fast Ethernet), 1000 Mbps (Gigabit Ethernet), 2,5, 5, 10, 40, 50, 100, 200 und 400 Gbps
    - Kuper- und Glasfaserkabel werden für die Übertragung genutzt

# Ethernet

- Switches isolieren jeden Port in eine separate Domäne
  - Hoher Durchsatz für mehrere Ports

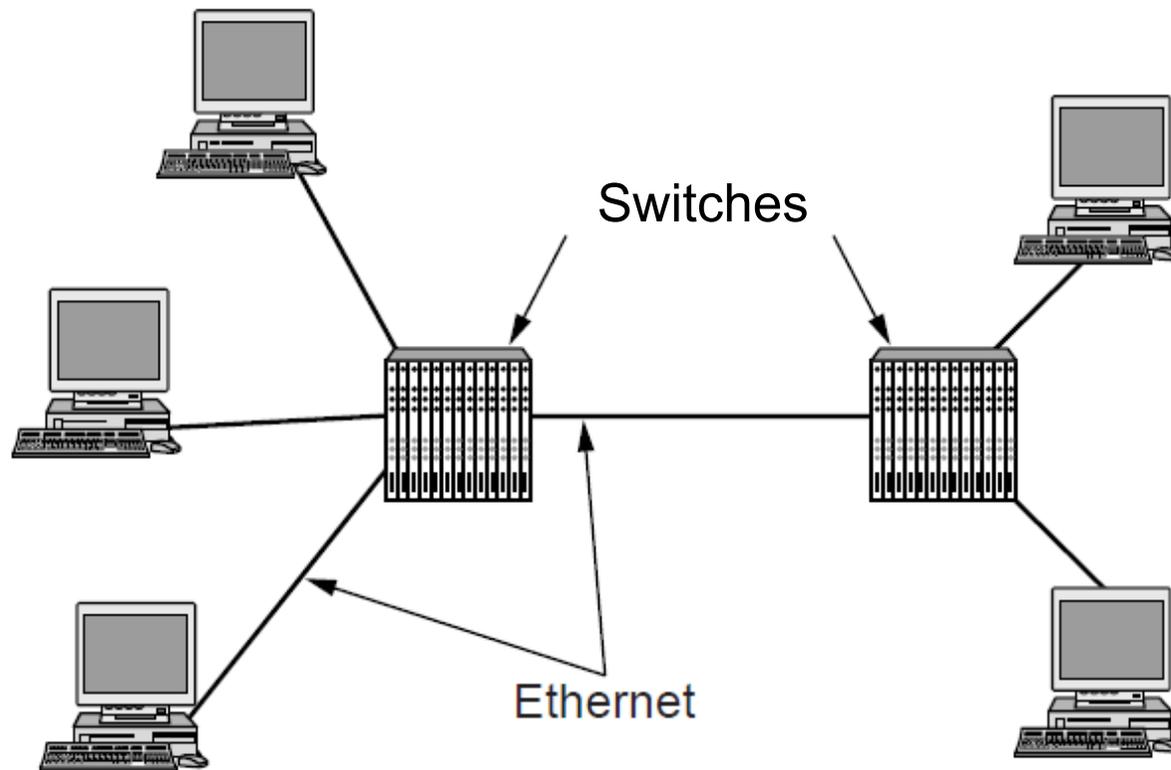


- Switches können an Computer und Switches angeschlossen werden



# Gigabit-Ethernet

- Switched-Gigabit-Ethernet ist heutzutage der Stand der Technik
  - Mit Vollduplexleitungen zwischen Computern/Switches



- Standard-Switched-Ethernet ist allerdings nicht echtzeitfähig

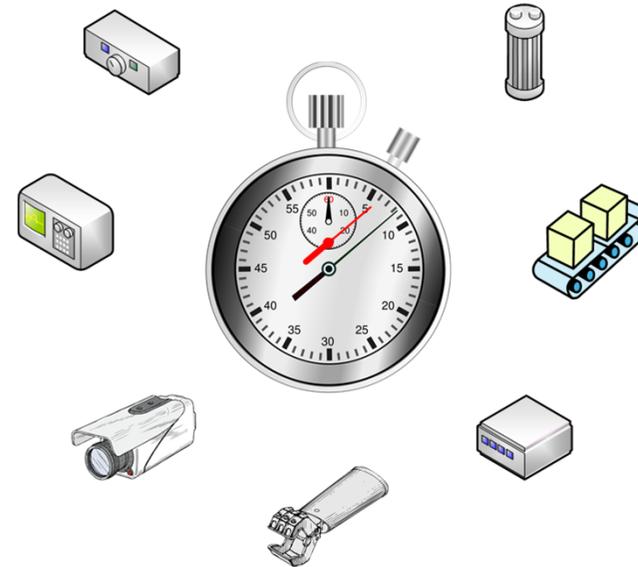
# Echtzeitfähiges Ethernet

- 2000er: Entwicklung einer Vielzahl von Echtzeit-Ethernet-Systemen



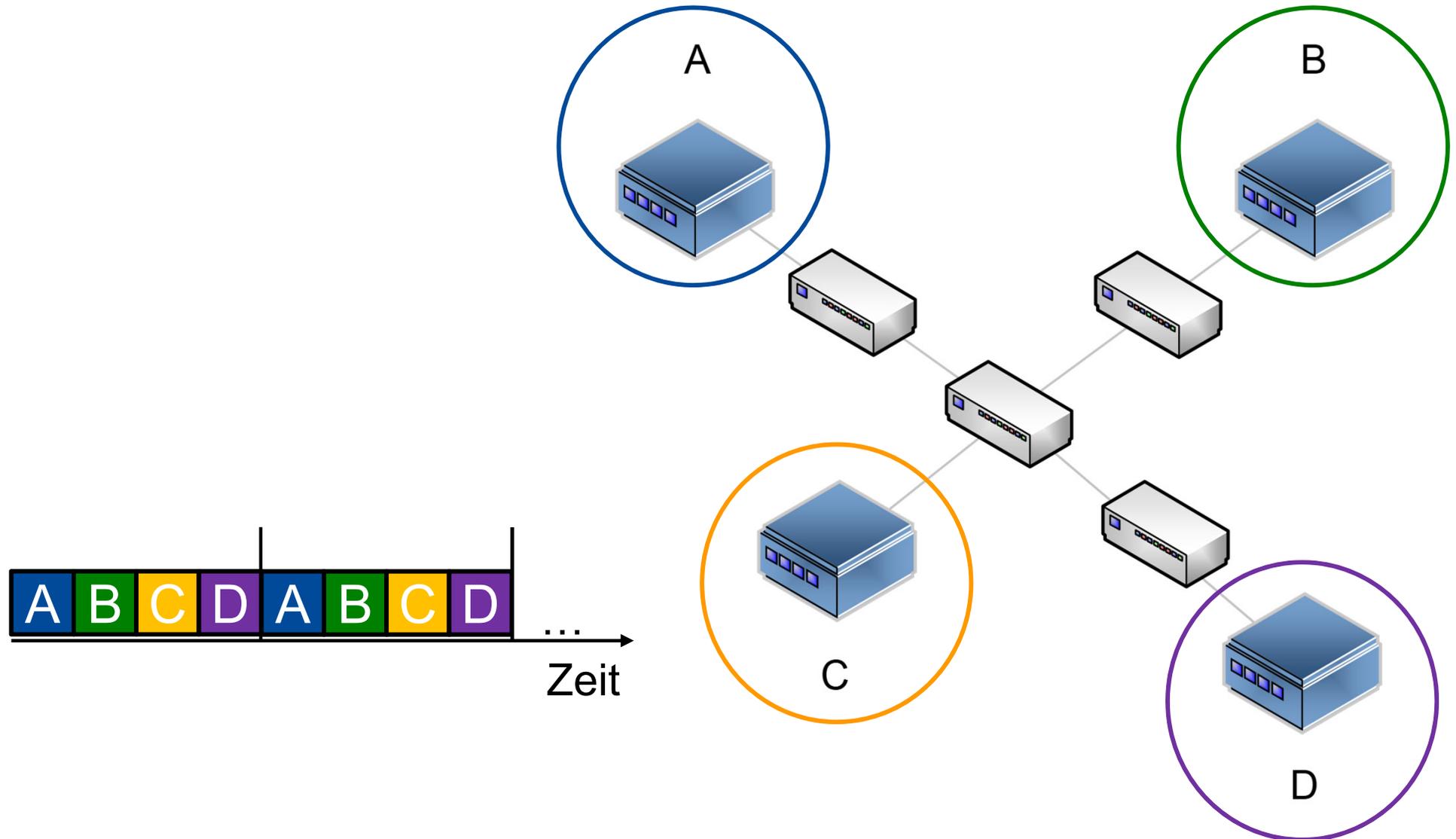
- **Prinzip**

- Synchronisierung aller Geräte
- Zuweisung eines Zeitschlitzes für jedes Gerät



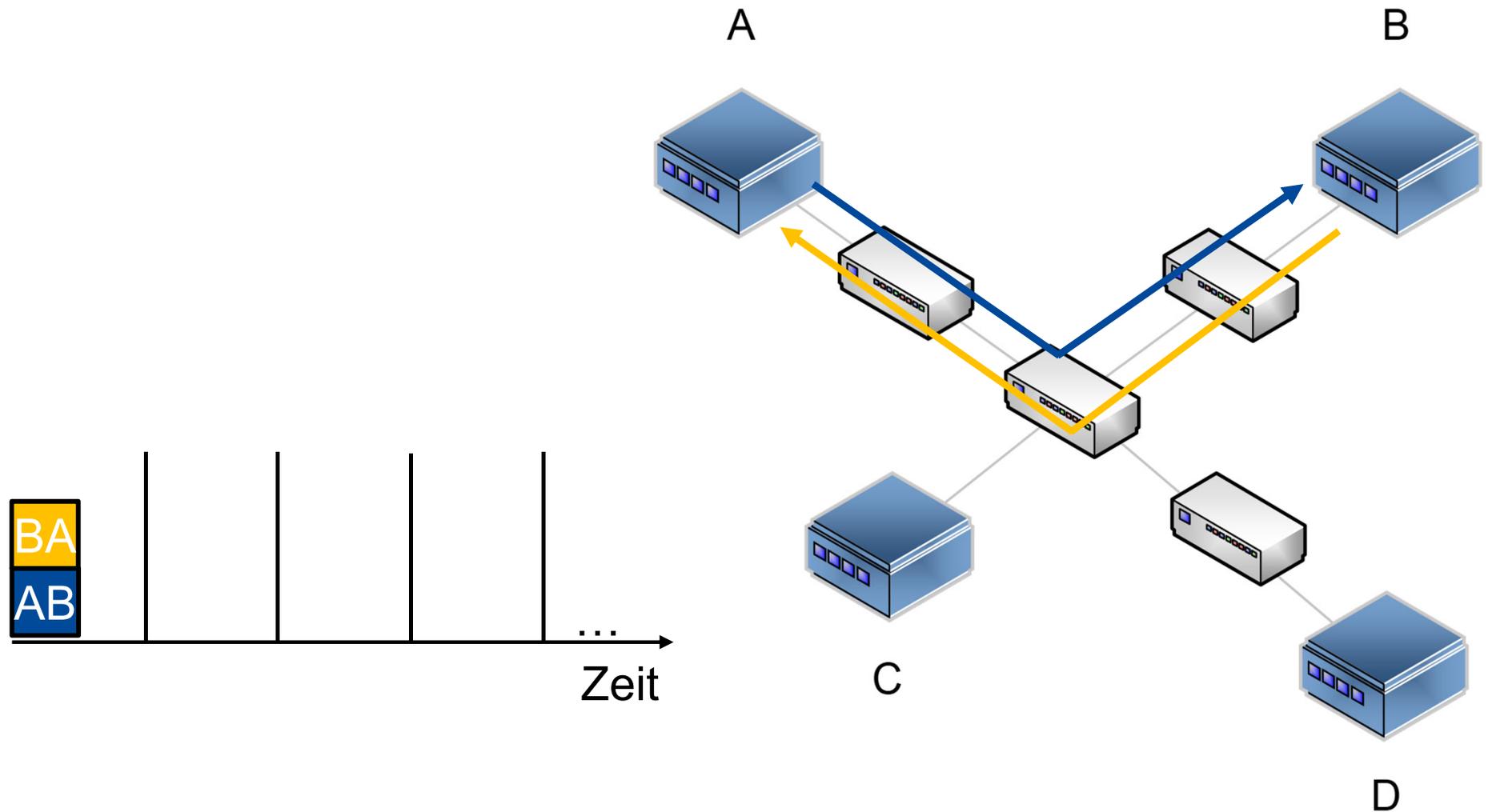
# Zielsetzung in der Forschung

- Echtzeit-Ethernet mit verbessertem Zeitschlitzverfahren



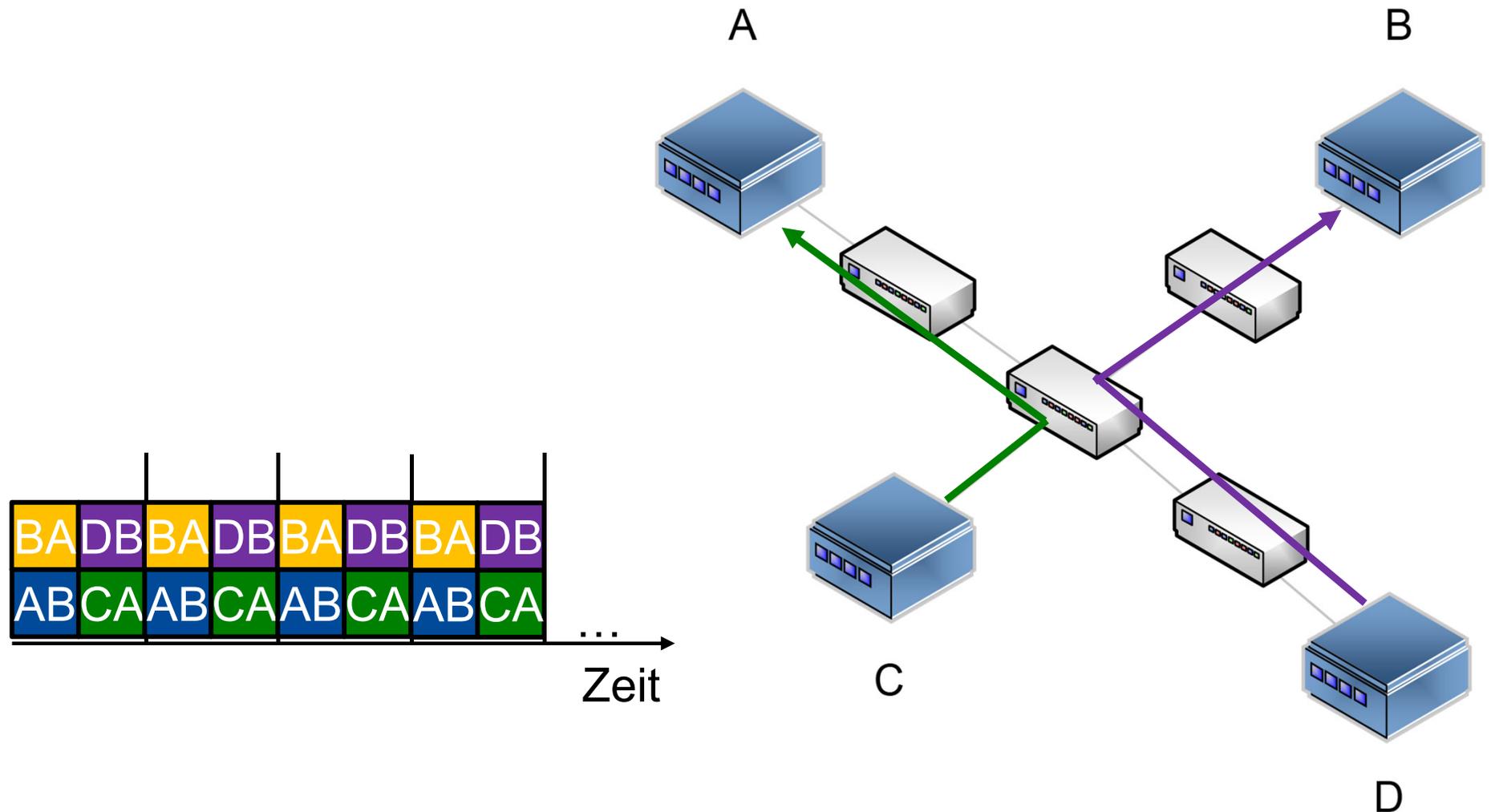
# Zielsetzung in der Forschung

- Echtzeit-Ethernet mit verbessertem Zeitschlitzverfahren
  - Gleichzeitige Kommunikation mehrerer Sender zu einem Zeitpunkt



# Zielsetzung in der Forschung

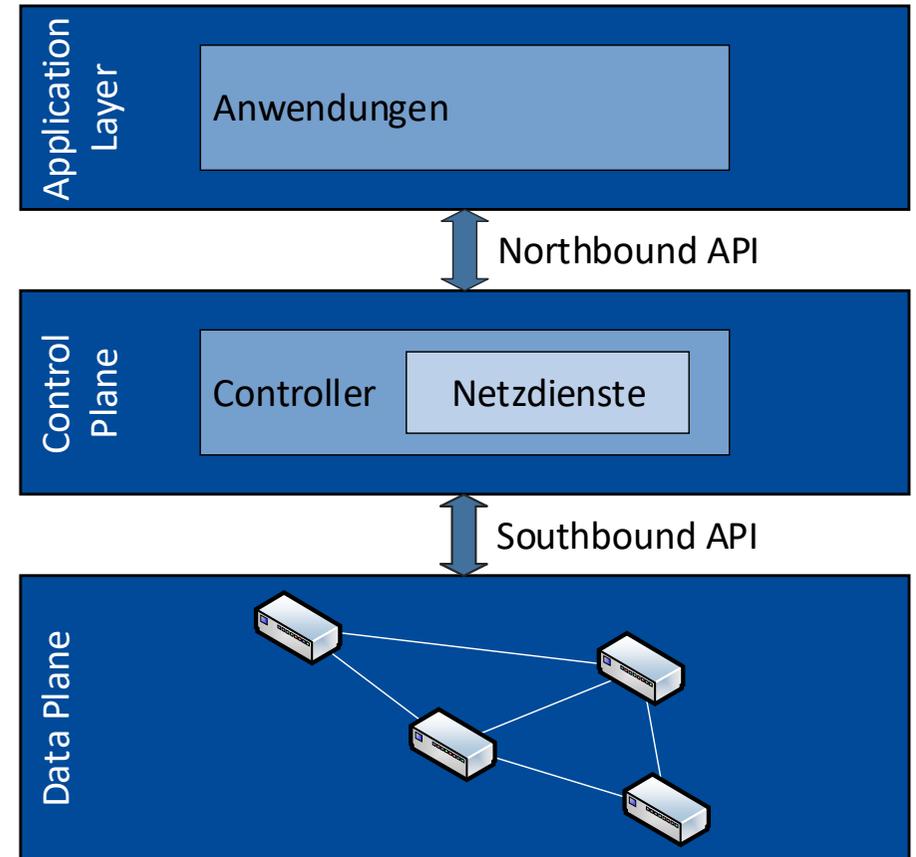
- Echtzeit-Ethernet mit verbessertem Zeitschlitzverfahren
  - Gleichzeitige Kommunikation mehrerer Sender zu einem Zeitpunkt



- Realisierung durch Software-Defined Networking (SDN)

# SDN-Grundlagen

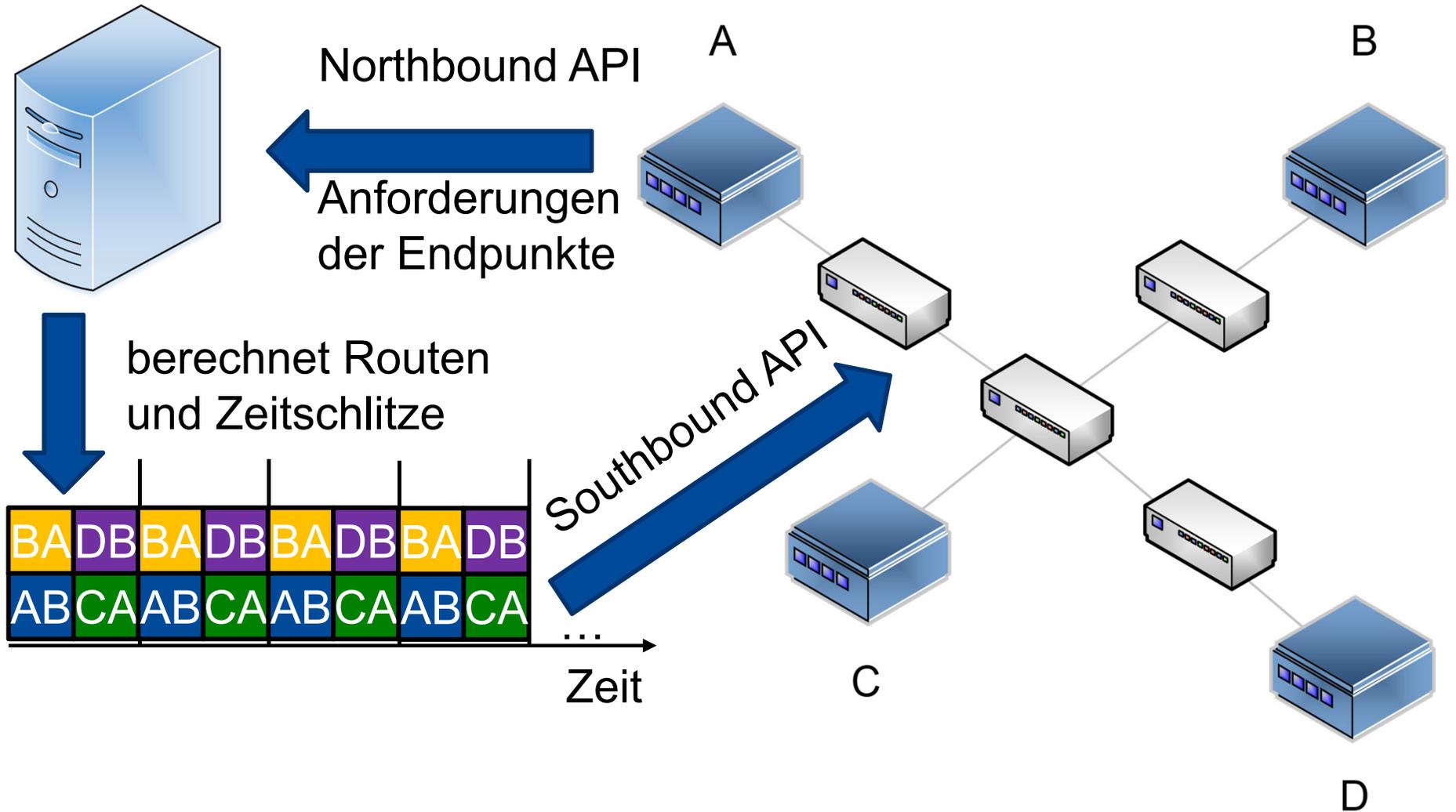
- Trennung von Data und Control Plane
- Einfachere Geräte (Data Plane)
- Zentraler Controller statt verteilter Kontrolllogik
- Southbound API\*
  - Z.B. OpenFlow/NETCONF
  - Konfiguration der Data Plane
- Northbound API\*
  - Erfragen der Anwendungsanforderungen
    - Z.B. Sendeintervall, Zeitschlitzlänge, maximale Kommunikationslatenz



\* Application Programming Interface (API)

# SDN und Echtzeit

## SDN-Controller



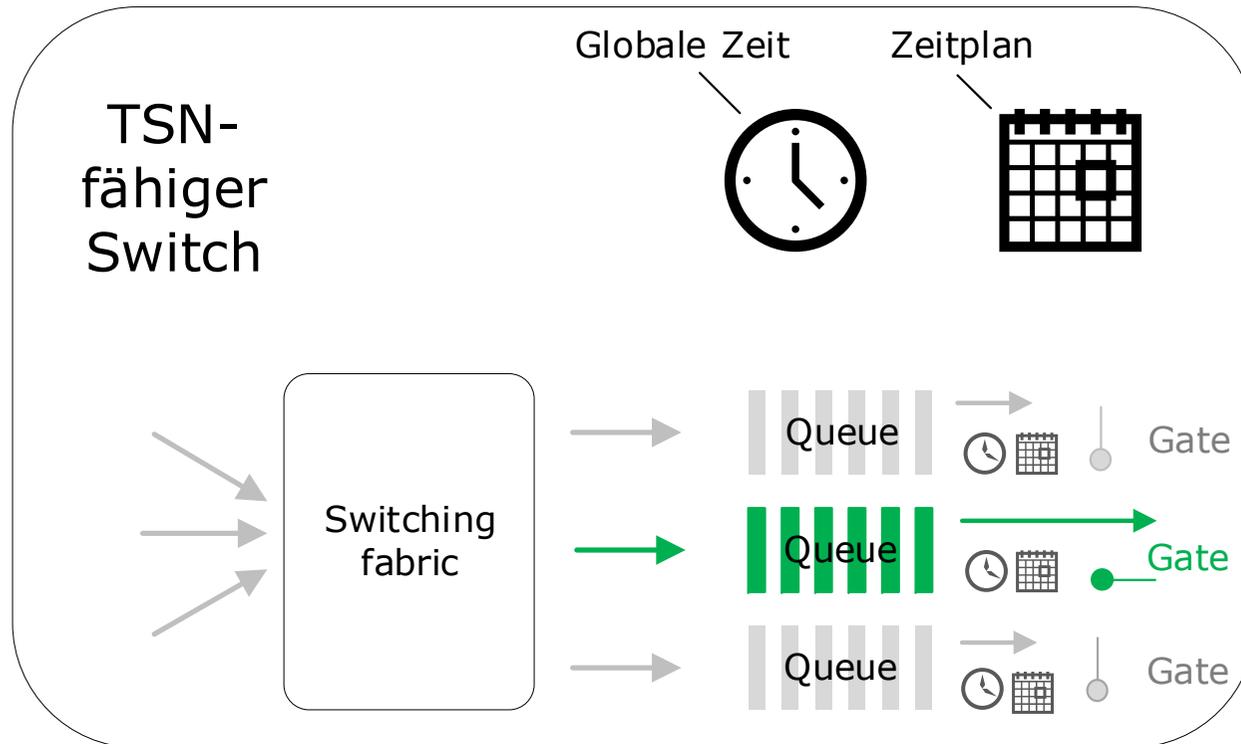
- Konfiguration der Regeln über Southbound API

**Welche Technologie ermöglicht die Umsetzung von Zeitschlitz in Netzelementen?**

**Time-Sensitive Networking (TSN)-Technologie**

# TSN-Technologie in Netzelementen

- TSN ermöglicht Ethernet deterministische Datenübertragung
- Zeitsynchronisierung über gPTP\*
- Time Aware Shaper (TAS) erzwingt die Beachtung von Zeitschlitzten



- Frame Preemption zur Unterbrechung von Nicht-Echtzeit-Verkehr

\* generalized Precision Time Protocol (gPTP)

# Organisation

# Lern- und Qualifikationsziele

- Fachkompetenz
  - Kenntnisse in einem spezialisierten Thema der Informatik
- Methodenkompetenz
  - Literaturrecherche
  - Aufbereitung eines Themas in mündlicher und schriftlicher Form, Umgang mit Zitaten, Plagiaten, Regeln guter wissenschaftlicher Praxis
- Selbst- und Sozialkompetenz
  - Präsentationsfertigkeiten
  - Fähigkeit zu kurzer wissenschaftlicher Aussprache zum vorbereiteten Thema
  - Schriftliche Kommunikationsfertigkeiten zu fachbezogenen Themen
  - Selbstbewusstes und kompetentes Auftreten
  - Selbstorganisation

# Lehrinhalte

- Literaturrecherche und Aufbereitung
- Vorbereiten und Abhalten eines Vortrages
- Beteiligung an der Diskussion zu den Vorträgen anderer Teilnehmer
- Anfertigen von Ausarbeitungen zu dem eigenen Thema

# Aufgaben

- Vorbereiten und Abhalten eines Vortrages
- Anfertigen von Ausarbeitungen zu dem eigenen Thema

# Themen für einzelne Studierende

- Recherchieren Sie die Funktionsweise von
  - Modbus-TCP
  - Ethernet Powerlink
  - EtherCAT
  - TTEthernet
  - Profinet
  - EtherNet/IP
  - SERCOS III
  - ....
  
- Optional (je nach Teilnehmeranzahl): Recherchieren Sie die Funktionsweise von
  - TCnet
  - CC-Link IE Field
  - ....

# Themen für Studierendengruppen

- Recherchieren Sie die Funktionsweise von
  - Time-Sensitive Networking (allgemein + einen der folgenden Standards/Amendments)
    - Zeitsynchronisierung IEEE 802.1AS
    - Time-Aware Shaping IEEE 802.1Qbv
    - Frame Preemption IEEE 802.1Qbu
    - Konfiguration IEEE 802.1Qcc
    - Asynchronous Traffic Shaping IEEE 802.1Qcr
    - Seamless Redundancy IEEE 802.1CB
    - Cyclic Queuing and Forwarding IEEE 802.1Qch
    - Path Control and Reservation IEEE 802.1Qca
    - Per-Stream Filtering and Policing IEEE 802.1Qci
    - ...

# Literaturempfehlungen

- Überblick
  - P. Danielis et al., Survey on Real-Time Communication Via Ethernet in Industrial Automation Environments, 19th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA'2014), pp. 1-8, ISBN: 978-1-4799-4846-8, Barcelona, Spanien, September 2014,  
<https://doi.org/10.1109/ETFA.2014.7005074>
- TSN-Standards/ Amendments
  - Time-Sensitive Networking (TSN) Task Group  
<https://1.ieee802.org/tsn/>
  - IEEE Xplore, IEEE 802 Standards  
<https://ieeexplore.ieee.org/browse/standards/get-program/page/series?id=68>
- Recherchieren Sie selbständig weitere Quellen.

## Umgang mit Zitaten, Plagiaten, Regeln guter wissenschaftlicher Praxis

- Neben der Erfüllung der zugewiesenen Aufgaben und dem wissenschaftlichen Wert Ihres Berichts tragen die folgenden Kriterien zur Bewertung Ihres Berichts bei:
  - Rechtschreibung und Grammatik sind korrekt, der Bericht ist gut strukturiert.
  - Alle Quellen werden korrekt zitiert und referenziert.
  - Der Bericht kombiniert den Inhalt verschiedener Quellen.
  - Ihr Bericht plagiiert in keiner Weise andere Inhalte. Bitte beachten Sie, dass Plagiate dazu führen, dass Ihr Bericht nicht akzeptiert wird.
- Informationen zum Verfassen eines wissenschaftlichen Berichts finden Sie im Internet. Beispiele sind:
  - <https://researchguides.njit.edu/c.php?g=671658&p=4727571>
  - <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1236069/1236069.pdf>
  - <https://writingcenter.unc.edu/tips-and-tools/>

# Ablaufplan und Fristen

- Tragen Sie sich in die entsprechende Stud.IP-Veranstaltung ein.
- Live-Meetings an ausgewählten Dienstagen **10-11 Uhr**
  - Zoom-Link: <https://uni-rostock-de.zoom.us/j/85861307218?pwd=TEk0clpnN0JJbmpBY3dCQmlxSUVYUT09>
- Dienstag, 06.4.21: Einführungsveranstaltung
- Dienstag, 13.4.21: Themenvergabe
- **Dienstags ab Mai:** Vorträge
- **Bis Freitag, 16.7.21:** Abgabe der Ausarbeitungen als pdf an [peter.danielis@uni-rostock.de](mailto:peter.danielis@uni-rostock.de)
  - Betreff: Ausarbeitung Seminar Informatik: <THEMA>

**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!**



**Fragen?**

