

Echtzeitsysteme

Wintersemester 2025

Peter Wägemann

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU)
Lehrstuhl Informatik 4 (Systemsoftware)
<https://sys.cs.fau.de>



informatik 4
systemsoftware



Friedrich-Alexander-Universität
Technische Fakultät

Die Lehrveranstaltung ist grundsätzlich für alle Studiengänge offen. Sie verlangt allerdings gewisse Vorkenntnisse. Diese müssen nicht durch Teilnahme an den Lehrveranstaltungen von I4 erworben worden sein.

Echtzeitsysteme – Eine Begriffsdefinition

- Echtzeit ist ein strapazierter Begriff

Echtzeitsysteme – Eine Begriffsdefinition

- Echtzeit ist ein strapazierter Begriff

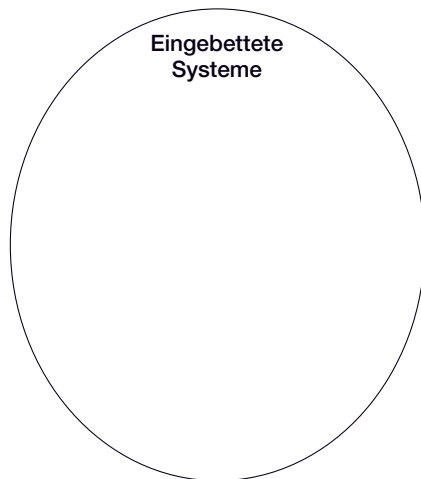
Es geht nicht um Geschwindigkeit
sondern um Rechtzeitigkeit!

Echtzeitsysteme – Eine Begriffsdefinition

- Echtzeit ist ein strapazierter Begriff

Es geht nicht um **Geschwindigkeit**
sondern um **Rechtzeitigkeit!**

- Echtzeitsysteme, eine (strikte) Definition und Einordnung:
 - Eingebettet in die Umwelt und abhängig von der Hardware

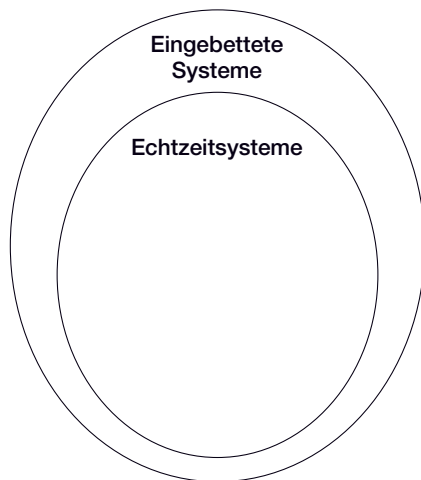


Echtzeitsysteme – Eine Begriffsdefinition

- Echtzeit ist ein strapazierter Begriff

Es geht nicht um **Geschwindigkeit**
sondern um **Rechtzeitigkeit!**

- Echtzeitsysteme, eine (strikte) Definition und Einordnung:
 - Eingebettet in die Umwelt und abhängig von der Hardware
 - An die Realzeit gekoppelt

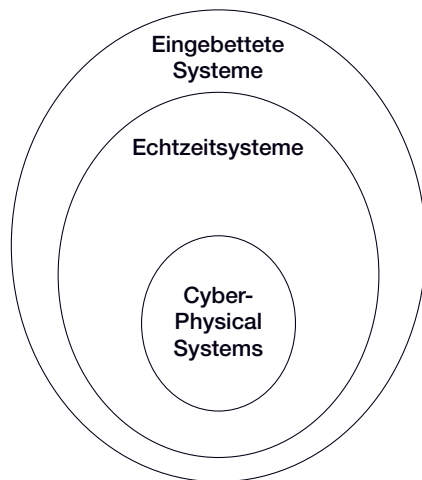


Echtzeitsysteme – Eine Begriffsdefinition

- Echtzeit ist ein strapazierter Begriff

Es geht nicht um **Geschwindigkeit**
sondern um **Rechtzeitigkeit!**

- Echtzeitsysteme, eine (strikte) Definition und Einordnung:
 - Eingebettet in die Umwelt und abhängig von der Hardware
 - An die Realzeit gekoppelt
 - Steuerung und Regelung von physikalischen Prozessen



Echtzeitsysteme – Eine Begriffsdefinition

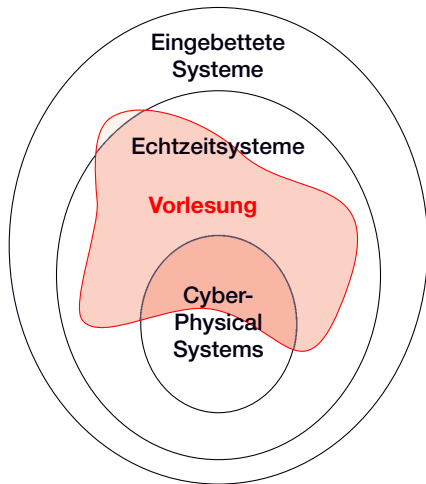
- Echtzeit ist ein strapazierter Begriff

Es geht nicht um **Geschwindigkeit**
sondern um **Rechtzeitigkeit!**

- Echtzeitsysteme, eine (strikte) Definition und Einordnung:

- Eingebettet in die Umwelt und abhängig von der Hardware
- An die Realzeit gekoppelt
- Steuerung und Regelung von physikalischen Prozessen

- Entwicklung erfolgt typischerweise interdisziplinär!



1 Lehrveranstaltungs-konzept & Organisation

2 Die Veranstaltung

3 Organisatorisches

Echtzeitsysteme – Die Veranstaltung

- Querschneidender Einblick in die Welt der Echtzeitsysteme

Echtzeitsysteme – Die Veranstaltung

- Querschneidender Einblick in die Welt der Echtzeitsysteme
 - Ausgehend von den Eigenschaften der Hardware



Hardware

Echtzeitsysteme – Die Veranstaltung

- Querschneidender Einblick in die Welt der **Echtzeitsysteme**
 - Ausgehend von den Eigenschaften der Hardware
 - Über das Echtzeitbetriebssystem und seine Implementierung

AUTOSAR

ecos

lynxOS
TECH SYSTEMS

Echtzeitbetriebssystem

ARM
POWERED

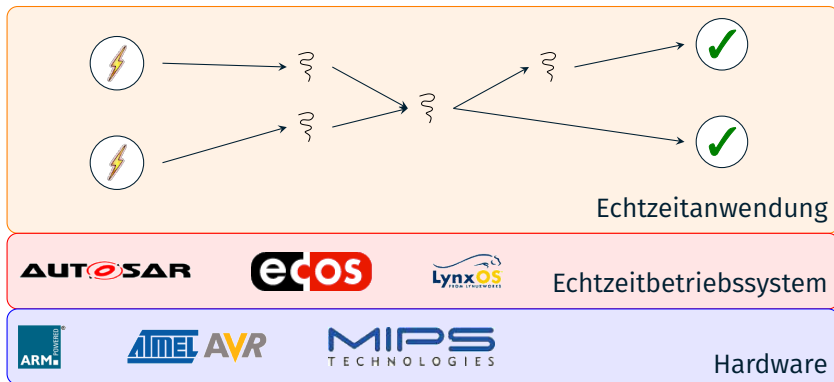
ATMEL **AVR**

MIPS
TECHNOLOGIES

Hardware

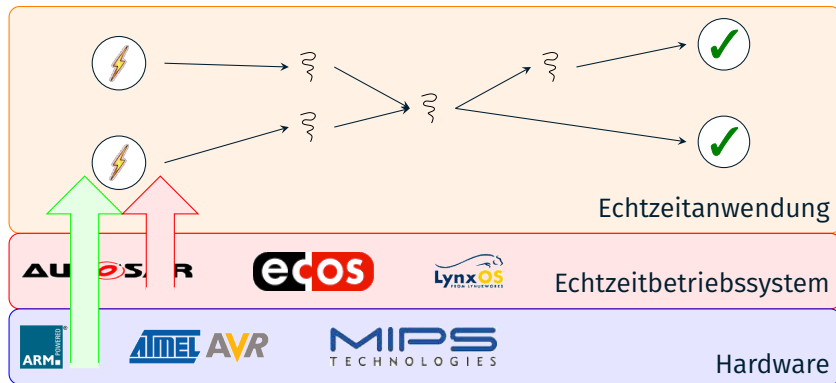
Echtzeitsysteme – Die Veranstaltung

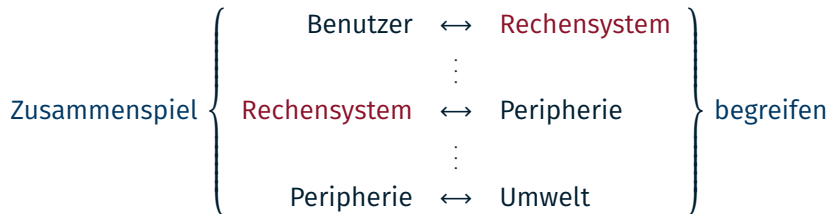
- Querschneidender Einblick in die Welt der **Echtzeitsysteme**
 - Ausgehend von den Eigenschaften der Hardware
 - Über das Echtzeitbetriebssystem und seine Implementierung
 - Bis zum strukturellen Aufbau von Echtzeitanwendungen



Echtzeitsysteme – Die Veranstaltung

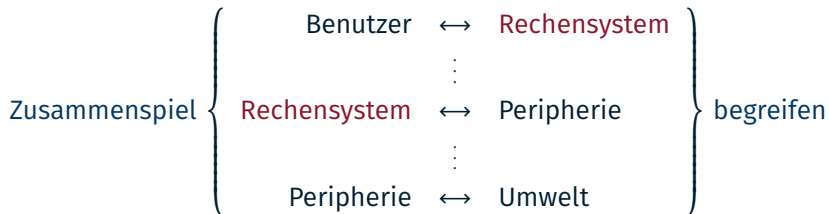
- Querschneidender Einblick in die Welt der **Echtzeitsysteme**
 - Ausgehend von den Eigenschaften der Hardware
 - Über das Echtzeitbetriebssystem und seine Implementierung
 - Bis zum strukturellen Aufbau von Echtzeitanwendungen





■ Echtzeitsysteme als Ganzes **verstehen**:

- Grad der Echtzeitfähigkeit eines Systems erkennen
- Einfluss der Hard-/Softwareplattform bewerten
- Temporale Aspekte physikalischer Prozesse erfassen

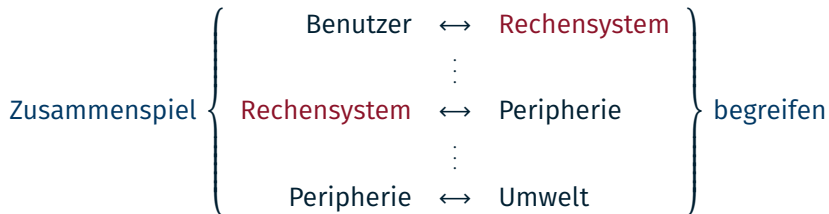


■ Echtzeitsysteme als Ganzes **verstehen**:

- Grad der Echtzeitfähigkeit eines Systems erkennen
- Einfluss der Hard-/Softwareplattform bewerten
- Temporale Aspekte physikalischer Prozesse erfassen

■ Echtzeitsysteme **entwickeln**:

- Anwendungen analysieren und Werkzeuge einsetzen (Oszilloskop, aiT, ...)
- Systeme praktisch und (betriebs-)systemnah bauen (eCos, C/C++, ...)



- Echtzeitsysteme als Ganzes **verstehen**:
 - Grad der Echtzeitfähigkeit eines Systems erkennen
 - Einfluss der Hard-/Softwareplattform bewerten
 - Temporale Aspekte physikalischer Prozesse erfassen
- Echtzeitsysteme **entwickeln**:
 - Anwendungen analysieren und Werkzeuge einsetzen (Oszilloskop, aiT, ...)
 - Systeme praktisch und (betriebs-)systemnah bauen (eCos, C/C++, ...)
- **Vertiefen** des Wissens über Echtzeitbetriebssysteme
 - Ablaufplanung und Betriebsmittelverwaltung
 - Mehrkern-Rechensysteme

- Vorlesung: Vorstellung und detaillierte Behandlung des Stoffs
 - Grundlagen von Echtzeitsystemen
 - Zeit- und ereignisgesteuerte Systeme
 - Periodische und sporadische Aufgaben (engl. *tasks*)
 - Einplanung und Koordination
 - Anwendung dieser Konzepte innerhalb von Echtzeitanwendungen
 - Wie beeinflussen diese Konzepte das Ablaufverhalten?
 - Wie implementieren Echtzeitbetriebssysteme diese Konzepte?

- Vorlesung: Vorstellung und detaillierte Behandlung des Stoffs
 - Grundlagen von Echtzeitsystemen
 - Zeit- und ereignisgesteuerte Systeme
 - Periodische und sporadische Aufgaben (engl. *tasks*)
 - Einplanung und Koordination
 - Anwendung dieser Konzepte innerhalb von Echtzeitanwendungen
 - Wie beeinflussen diese Konzepte das Ablaufverhalten?
 - Wie implementieren Echtzeitbetriebssysteme diese Konzepte?
- Übung: Vertiefung und praktische Anwendung
 - Anwendungs- und Systemprogrammierung (Software-Oszilloskop)
 - Ablaufverhalten durch das EZ-Betriebssystem beeinflussen
 - Werkzeuge aus dem industriellen Umfeld einsetzen

Bedeutung von Tafel- und Rechnerübungen

- Tafelübungen $\leadsto$ „*learning by exploring*“
 - Besprechung der Übungsaufgaben, Skizzierung von Lösungswegen
 - Vertiefung des Vorlesungsstoffes, Klärung offener Fragen

Bedeutung von Tafel- und Rechnerübungen

- Tafelübungen $\leadsto$ „*learning by exploring*“
 - Besprechung der Übungsaufgaben, Skizzierung von Lösungswegen
 - Vertiefung des Vorlesungsstoffes, Klärung offener Fragen
 - Rechnerarbeit $\leadsto$ „*learning by doing*“
 - Selbstständiges Bearbeiten der Übungsaufgaben am Rechner
 - Abgabe der bearbeiteten Übungsaufgaben
 - Klärung von Unklarheiten/Problemen bei/mit den Übungsaufgaben
 - Rechner ist allerdings **kein Tafelersatz**
- Bereitet euch vor! Wir erwarten konkrete Fragen!

Bedeutung von Tafel- und Rechnerübungen

- Tafelübungen $\leadsto$ „*learning by exploring*“
 - Besprechung der Übungsaufgaben, Skizzierung von Lösungswegen
 - Vertiefung des Vorlesungsstoffes, Klärung offener Fragen
 - Rechnerarbeit $\leadsto$ „*learning by doing*“
 - Selbstständiges Bearbeiten der Übungsaufgaben am Rechner
 - Abgabe der bearbeiteten Übungsaufgaben
 - Klärung von Unklarheiten/Problemen bei/mit den Übungsaufgaben
 - Rechner ist allerdings **kein Tafelersatz**
- Bereitet euch vor! Wir erwarten konkrete Fragen!

Der, die, das.

Wer, wie, was?

Wieso, weshalb, warum?

Wer nicht fragt, bleibt dumm!



Voraussetzungen

- **Systemprogrammierung**, Grundlagen der Informatik
- **C** / C++, Java
- Ein gewisses Maß an **Durchhaltevermögen**
- Freude an systemnaher und **praktischer Programmierung**

Wir arbeiten mit **eingebetteten Systemen!**

Voraussetzungen

- **Systemprogrammierung**, Grundlagen der Informatik
- **C** / C++, Java
- Ein gewisses Maß an **Durchhaltevermögen**
- Freude an systemnaher und **praktischer Programmierung**

Wir arbeiten mit **eingebetteten Systemen!**

Nicht von *hardwarenaher Programmierung* abschrecken lassen!

Voraussetzungen

- **Systemprogrammierung**, Grundlagen der Informatik
- **C** / C++, Java
- Ein gewisses Maß an **Durchhaltevermögen**
- Freude an systemnaher und **praktischer Programmierung**

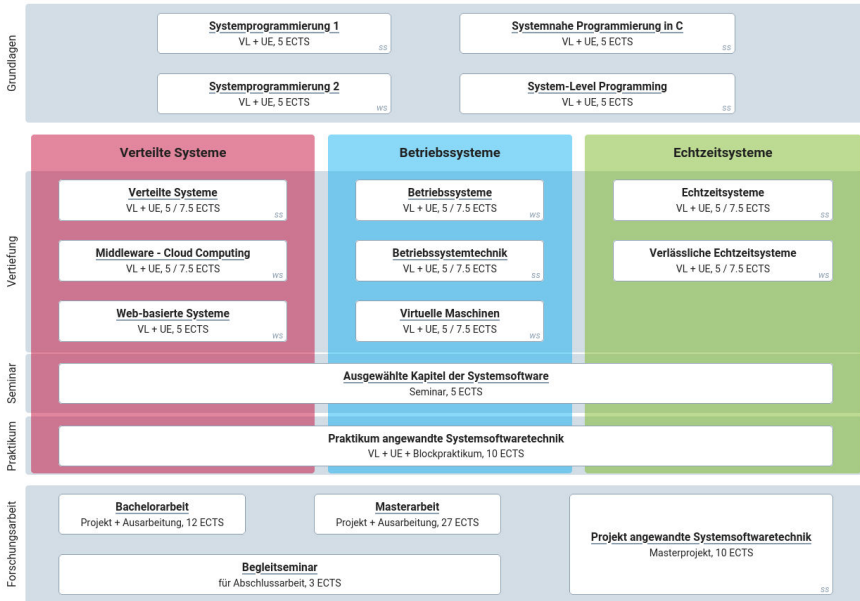
Wir arbeiten mit **eingebetteten Systemen!**

Nicht von *hardwarenaher Programmierung* abschrecken lassen!

Test für Programmierkenntnisse 🖱️ Webseite: Fragebogen

<https://sys.cs.fau.de/extern/lehre/ws25/ezs/uebung/ezs-test/EZS-Test.pdf>

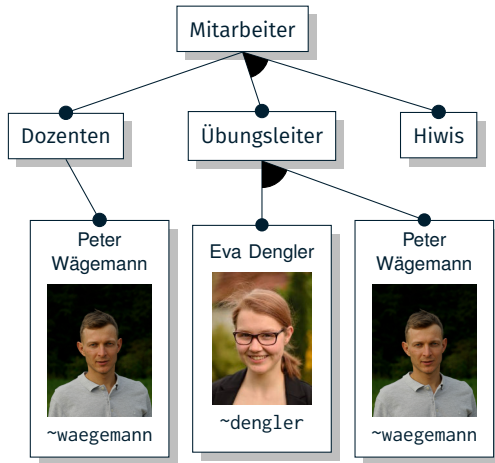
Einpassung in den Studienplan



1 Lehrveranstaltungs-konzept & Organisation

2 Die Veranstaltung

3 Organisatorisches



Vorlesung: Zeit und Ort

- Mittwoch, 10:15 – 11:45, Aquarium (O.151-113)

Vorlesung: Zeit und Ort

- Mittwoch, 10:15 – 11:45, Aquarium (O.151-113)

Planmäßige Ausfälle

- 03.12.2025

Änderungen und Hinweise: siehe Webseite bzw. Mailingliste

Vorlesung: Zeit und Ort

- Mittwoch, 10:15 – 11:45, Aquarium (O.151-113)

Planmäßige Ausfälle

- 03.12.2025

Änderungen und Hinweise: siehe Webseite bzw. Mailingliste

- Vorlesungsfolien sind verfügbar wie folgt:
 - <https://sys.cs.fau.de/lehre/ws25/ezs/vorlesung>

Vorlesung: Zeit und Ort

- Mittwoch, 10:15 – 11:45, Aquarium (O.151-113)

Planmäßige Ausfälle

- 03.12.2025

Änderungen und Hinweise: siehe Webseite bzw. Mailingliste

- Vorlesungsfolien sind verfügbar wie folgt:
 - <https://sys.cs.fau.de/lehre/ws25/ezs/vorlesung>
- Wosch's Glossar :
 - Relevante Begriff der Informatik außerhalb des Vorlesungskerns
 - Als Wiederholung (Inf) beziehungsweise zum Einstieg ($\neg$ Inf)
 - <https://www4.cs.fau.de/~wosch/glossar.pdf>

Vorlesung: Zeit und Ort

- Mittwoch, 10:15 – 11:45, Aquarium (O.151-113)

Planmäßige Ausfälle

- 03.12.2025

Änderungen und Hinweise: siehe Webseite bzw. Mailingliste

- Vorlesungsfolien sind verfügbar wie folgt:
 - <https://sys.cs.fau.de/lehre/ws25/ezs/vorlesung>
- Wosch's Glossar :
 - Relevante Begriff der Informatik außerhalb des Vorlesungskerns
 - Als Wiederholung (Inf) beziehungsweise zum Einstieg ($\neg$ Inf)
 - <https://www4.cs.fau.de/~wosch/glossar.pdf>
- Literaturempfehlungen siehe Folie 17

Tafelübung: Zeit und Ort

- Donnerstag, 12:15 – 13:45, Aquarium (0.151-113)

Rechnerübung: Zeit und Ort

- Montag, 12:15 – 13:45, WinCIP
- Dienstag, 10:15 – 11:45, WinCIP

Tafelübung: Zeit und Ort

- Donnerstag, 12:15 – 13:45, Aquarium (O.151-113)

Rechnerübung: Zeit und Ort

- Montag, 12:15 – 13:45, WinCIP
- Dienstag, 10:15 – 11:45, WinCIP

- Übung
 - Übungsaufgaben sind bevorzugt in Gruppen zu bearbeiten
 - Tafel- und Rechnerübung
 - Rechnerarbeit: größtenteils in Eigenverantwortung

Studien- und Prüfungsleistungen (1)

VL – Vorlesung

2,5

Vorstellung und detaillierte Behandlung des Lehrstoffs

Studien- und Prüfungsleistungen (1)

VL – Vorlesung

2,5

Vorstellung und detaillierte Behandlung des Lehrstoffs

+

Ü – Übung

2,5

- Praktische Übungen
- 7 Übungsaufgaben
- Abnahme alle 14 Tage

Studien- und Prüfungsleistungen (1)

VL – Vorlesung

2,5

Vorstellung und detaillierte Behandlung des Lehrstoffs

+

Ü – Übung

2,5

- Praktische Übungen
- 7 Übungsaufgaben
- Abnahme alle 14 Tage

oder

EÜ – Erweiterte Übung

5

- Übung (Ü)
- + erweiterte Aufgaben
- + vertiefende Abfrage

+

RÜ – Rechnerübung

0

- **Betreutes** Arbeiten am Rechner
- Hilfe zu eCos, Oszilloskop, aiT, ...

Studien- und Prüfungsleistungen (2)

■ **Wahlpflichtmodul** (Bachelor/Master) der Vertiefungsrichtung **Verteilte Systeme und Betriebssysteme**

- eigenständig (nur EZS)
- mit weiteren Veranstaltungen

VL + Ü oder VL + EÜ
siehe Modulhandbuch

■ Studien- und Prüfungsleistungen

- Bachelor
- Master

Prüfungsleistung
Prüfungsleistung

erworben durch

- erfolgreiche Teilnahme an den Übungen
- erfolgreiche Bearbeitung aller Übungsaufgaben
- 30 min. (bzw. 20 min) mündliche Prüfung

■ Berechnung der Modulnote

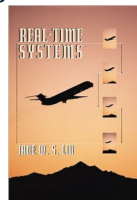
- Note der mündlichen Prüfung + “Übungsbonus” in Zweifelsfällen

- <https://sys.cs.fau.de/embedded>
 - BFTeam: Byzantine Fault Tolerance in Time- and Energy-Constrained Applications Under Memory Bounds
 - Watwa: Whole-System Optimality Analysis and Tailoring of Worst-Case-Constrained Applications
 - ResPECT: Resilient Power-Constrained Embedded Communication Terminals
 - AIMBOS: Abstract Interpretation for Embedded AI Code Safety

- <https://sys.cs.fau.de/embedded>
 - BFTeam: Byzantine Fault Tolerance in Time- and Energy-Constrained Applications Under Memory Bounds
 - Watwa: Whole-System Optimality Analysis and Tailoring of Worst-Case-Constrained Applications
 - ResPECT: Resilient Power-Constrained Embedded Communication Terminals
 - AIMBOS: Abstract Interpretation for Embedded AI Code Safety
- Bachelor- und Masterarbeiten
- Bachelor-Praktikum und Master-Projekte
- studentische Hilfswissenschaftler (HiWis)

- [2] Eine hervorragende Begleiterin der Veranstaltung:

Jane W. S. Liu. *Real-Time Systems*.
**Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, NJ,
USA, 2000**



- [1] Der „Klassiker“ für zeitgesteuerte EZS:

Hermann Kopetz. *Real-Time Systems: Design Principles for Distributed Embedded Applications*.
Kluwer Academic Publishers, first edition, 1997

