



V1.0.20240922

Embedded Software Engineering 1

HS 2024 – Prof. Reto Bonderer
Autoren: Laurin Heitzer, Simone Stitz
<https://github.com/P4ntomime/EmbSW1>

Inhaltsverzeichnis

1	Embedded Systems – Allgemein	2		
1.1	Definition	2	1.7	Verfügbarkeit 2
1.2	Beispiele	2	1.8	Abstraktionsschichten 2
1.3	Deeply Embedded System	2		
1.4	Betriebssysteme bei Embedded Systems	2	2	Real-Time System (Echtzeitsystem) 2
1.5	Bare Metal Embedded System	2	2.1	Definitionen 2
1.6	Zuverlässigkeit	2	2.2	Fehlverhalten eines Systems (failed system) 2
			2.3	Echtzeitdefinition – Verschiedene Echtzeitsysteme 3

1 Embedded Systems – Allgemein

1.1 Definition

Ein Embedded System...

- ist ein System, das einen Computer beinhaltet, selbst aber kein Computer ist
- besteht üblicherweise aus Hardware (Mechanik, Elektronik) und Software
- ist sehr häufig ein Control System (Steuerung, Regelung)

Ein Embedded System beinhaltet typischerweise folgende Komponenten:

- Sensoren
- Mikrocomputer
- Hardware (Mechanik, Elektronik)
- Aktoren
- Software (Firmware)

1.1.1 Charakterisierung von Embedded Systems

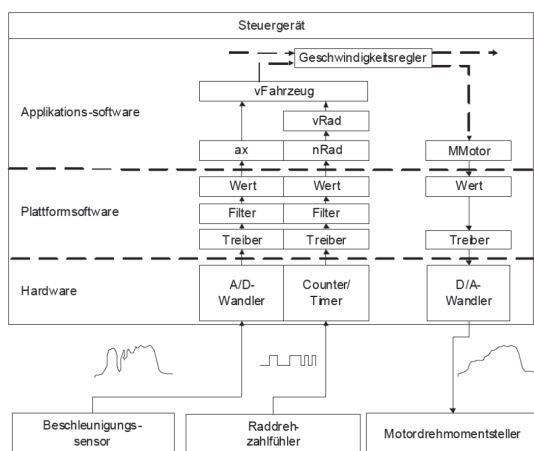
Embedded Systems können (**müssen aber nicht**) folgende Eigenschaften haben:

- **reactive systems:** Reaktive Systeme interagieren mit ihrer Umgebung
- **real-time systems:** Echtzeitsysteme haben neben funktionale Anforderungen auch definierbaren zeitlichen Anforderungen zu genügen
- **dependable systems:** Verlässliche Systeme sind Systeme, welche (sehr) hohe Zuverlässigkeitsanforderungen erfüllen müssen
- **Weitere (häufige) Anforderungen:**
 - kleiner Energieverbrauch
 - kleine physikalische Abmessungen
 - Lärm, Vibration, etc.

1.1.2 Typischer Aufbau

Ein gutes Design beinhaltet unterschiedliche Abstraktionsschichten \Rightarrow Layer

\Rightarrow Siehe Abschnitt 1.8



1.2 Beispiele

Fahrrad-Computer

- GPS-Navigation
- Geschwindigkeits- und Trittfrequenzmessung
- Pulsmesser
- Drahtlosübertragung (ANT+)
- Interface zu elektronischer Gangschaltung
- Barometer, Thermometer
- Trainingsassistent
- Display

Auto

- Sicherheitsrelevante Aufgaben
 - ABS, ASR
 - Motorenregelung
 - Drive-by-wire
 - Autonom fahrende Autos
 - Unterhaltung / Komfort
 - Radio / CD / etc.
 - Navigation
 - Klima
 - Mehrere Netzwerke
 - CAN, LIN, Ethernet
 - Echtzeitteile und andere
 - Von einfachsten μ Cs bis DSPs und GPUs
- \Rightarrow Auto ist ein riesiges Embedded System

Weitere Beispiele

- Smartphone
- Mobile Base Station
- CNC-Bearbeitungszentrum
- Hörgerät

1.3 Deeply Embedded System

- 'Einfaches' Embedded System, mit **minimaler Benutzerschnittstelle**, üblicherweise mit **keinerlei GUI** und **ohne Betriebssystem**
- Beschränkt auf **eine** Aufgabe (z.B. Regelung eines physikalischen Prozesses)
- Muss oft zeitliche Bedingungen erfüllen \Rightarrow Echtzeitsystem

1.3.1 Beispiele – Deeply Embedded System

- Hörgerät
- ABS-Controller
- etc...
- Motorenregelung
- 'Sensor' im IoT

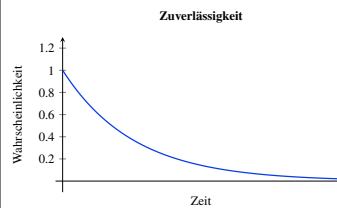
1.4 Betriebssysteme bei Embedded Systems

- Es kommen Betriebssysteme wie (Embedded) Linux oder Android zum Einsatz \Rightarrow **Achtung: Linux und Android sind nicht echtzeitfähig!**
- Wenn Echtzeit verlangt wird: real-time operating systems (RTOS)
 - Beispiele: Zephyr, Free RTOS (Amazon), TI-RTOS (Texas Instruments), etc.

1.5 Bare Metal Embedded System

- Es kommt **keinerlei Betriebssystem** zum Einsatz
- Bare Metal Embedded Systems sind recht **häufig**, insbesondere bei **Deeply Embedded Systems**
- Bare Metal Embedded Systems stellen besondere Ansprüche an Programmierung

1.6 Zuverlässigkeit



- Je länger das System läuft, desto weniger zuverlässig ist es
- Die Wahrscheinlichkeit für einen Ausfall steigt stetig

Achtung: Hier ist nur die Alterung der Hardware berücksichtigt

1.7 Verfügbarkeit

Die Verfügbarkeit A (Availability) ist der Anteil der Betriebsdauer innerhalb dessen das System seine Funktion erfüllt.

$$\text{Verfügbarkeit} = \frac{\text{Gesamtzeit} - \text{Ausfallzeit}}{\text{Gesamtzeit}}$$

1.8 Abstraktionsschichten

- Bei μ C-Programmierung (Firmware) müssen oft Bitmuster in Register geschrieben werden
- Solche Register-Zugriffe dürfen **nicht** 'willkürlich' überall im Code erfolgen \Rightarrow schlecht lesbar, schlecht portierbar, fehleranfällig
- **Damit Code lesbarer und besser auf andere Plattform portierbar wird, beinhaltet jeder professionelle Code einen Hardware Abstraction Layer (HAL)**
- HAL führt **nicht** zum Verlust bei Laufzeit, wenn korrekt implementiert

1.8.1 Hardware-abstraction-layer (HAL)

- Trennt HW-Implementierung von SW-Logik
- Gleiche SW kann auf verschiedene HW verwendet werden \Rightarrow Portabilität
- HW-Komponenten können einfach ausgetauscht werden \Rightarrow Flexibilität

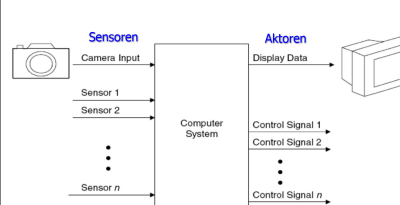
2 Real-Time System (Echtzeitsystem)

2.1 Definitionen

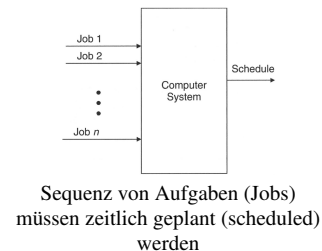
2.1.1 Real-Time System (Echtzeitsystem)

- Ein Echtzeitsystem ist ein System, das Informationen **innerhalb einer definierten Zeit (deadline)** bearbeiten muss.
 - \Rightarrow Explizite Anforderungen an **turnaround-time** (Antwortzeit) müssen erfüllt sein
- Wenn diese Zeit nicht eingehalten werden kann, ist mit einer **Fehlfunktion** zu rechnen.

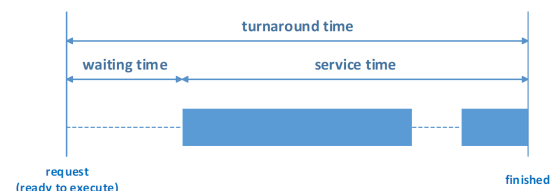
Typisches Echtzeitsystem



Repräsentation RT-System



2.1.2 Zeitdefinitionen (Task)



- **turnaround time:** (response time, Antwortzeit)
 - Startet, wenn der Task bereit zur Ausführung ist und endet, wenn der Task fertig abgearbeitet ist
 - Zeit zwischen dem Vorhandensein von Eingangswerten an das System (Stimulus) bis zum Erscheinen der gewünschten Ausgangswerte.
- **waiting time:** (Wartezeit)
 - Zeit zwischen Anlegen der Eingangswerte und Beginn der Abarbeitung des Tasks
- **service time:** (Bearbeitungszeit)
 - Zeit für Abarbeitung des Tasks \Rightarrow Unterbrechungen bzw. (preemptions) möglich

2.2 Fehlverhalten eines Systems (failed system)

- Ein fehlerhaftes System (failed system = missglücktes System) ist ein System, das nicht alle formal definierten Systemspezifikationen erfüllt.
- **Die Korrektheit eines RT Systems bedingt sowohl die Korrektheit der Outputs als auch die Einhaltung der zeitlichen Anforderungen.**

2.3 Echtzeitdefinition – Verschiedene Echtzeitsysteme

- **soft real-time system** (weiches Echtzeitsystem)
 - Durch Verletzung der Antwortzeiten wird das System **nicht** ernsthaft beeinflusst
 - Es kommt zu Komforteinbussen
- **hard real-time system** (hartes Echtzeitsystem)
 - Durch Verletzung der Antwortzeiten wird das **System ernsthaft beeinflusst**
 - Es kann zu einem kompletten Ausfall oder katastrophalem Fehlverhalten kommen
- **firm real-time system** (festes Echtzeitsystem)
 - Kombination aus soft real-time system und hard real-time system
 - Durch Verletzung einiger weniger Antwortzeiten wird das System nicht ernsthaft beeinflusst
 - Bei vielen Verletzungen der Antwortzeiten kann es zu einem kompletten Ausfall oder katastrophalem Fehlverhalten kommen

2.3.1 Beispiele verschiedener Echtzeitsysteme

System	Klassifizierung	Erläuterung
Geldautomat	soft	Auch wenn mehrere Deadlines nicht eingehalten werden können, entsteht dadurch keine Katastrophe. Im schlimmsten Fall erhält ein Kunde sein Geld nicht.
GPS-gesteuerter Rasenmäher	firm	Wenn die Positionsbestimmung versagt, könnte das Blumenbeet der Nachbarn platt gemäht werden.
Regelung eines Quadrocopters	hard	Das Versagen der Regelung kann dazu führen, dass der Quadrocopter ausser Kontrolle gerät und abstürzt.