

# Betriebssysteme

## I/O - Teil 1: I/O Devices

Prof. Dr.-Ing. Andreas Heil

 Licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International license. Icons by The Noun Project.

v1.0.0

# Lernziele und Kompetenzen

**Verstehen** wie I/O Devices grundsätzlich aufgebaut sind und wie sich diese in das Betriebssystem integrieren

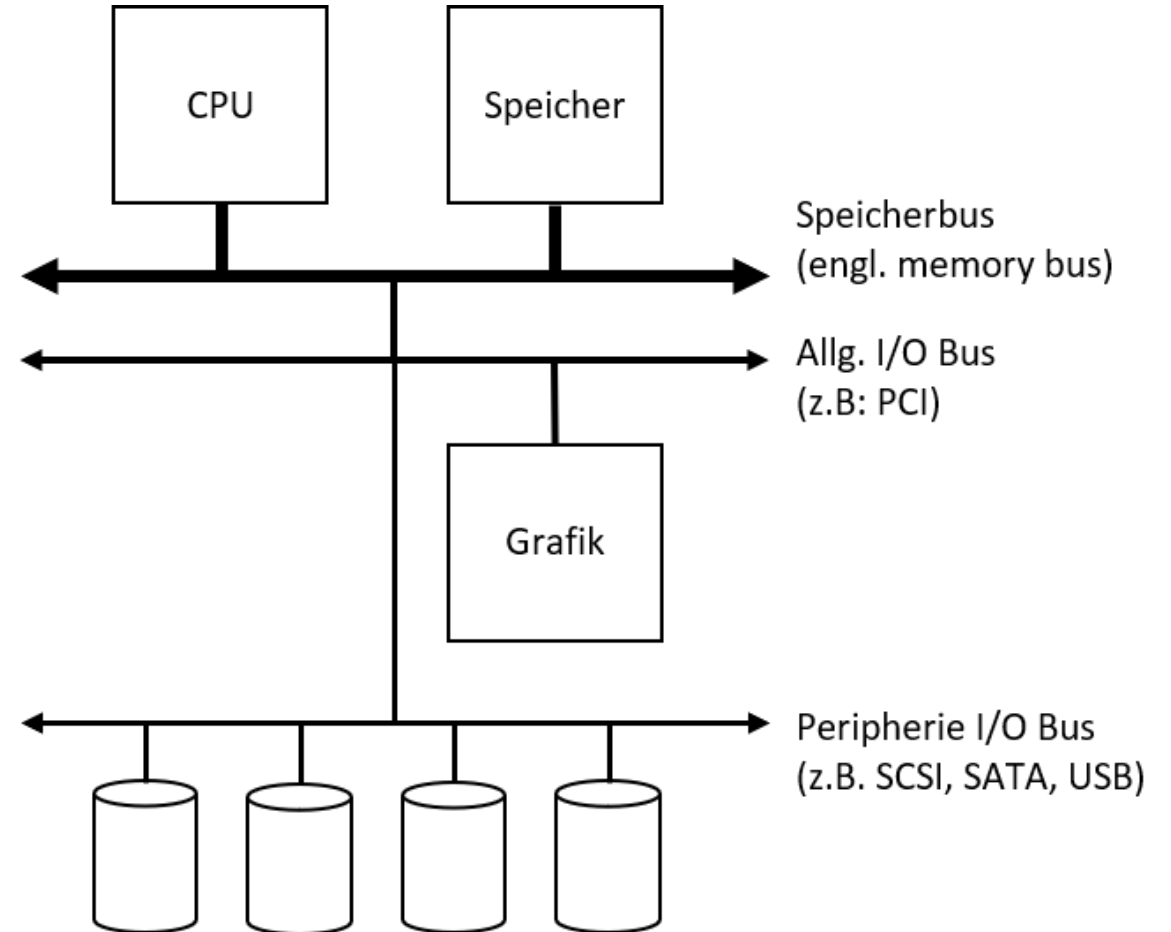
# Motivation

- Gedankenspiel:
  - Was wäre ein Programm ohne Eingabe? Es lieferte immer die gleiche Antwort.
  - Was wäre ein Programm ohne Ausgabe? 🤔
- Ein-/Ausgabe stellt somit einen zentralen Aspekt von Rechnern dar.
  - Wie lässt sich Ein-/Ausgabe in ein System integrieren?
  - Was sind die grundlegenden Mechanismen?
  - Wie können diese effizient umgesetzt werden?

# Ein-/Ausgabe Geräte

Geräte zur Eingabe/Ausgaben  
(engl. input/output devices, kurz I/O  
devices) hängen stark von der  
Systemarchitektur ab.

- Wie sollte I/O grundsätzlich in das System integriert werden?
- Was sind die grundlegenden Mechanismen?
- Wie können I/O-Operationen effizient gehandhabt werden?



# 1,2,3 BUS

- Wir unterscheiden zwischen
  - Speicher-Bus zur schnellen Anbindung des Hauptspeichers
  - Einem allgemeinen I/O-Bus zur systeminternen Kommunikation (bei modernen Geräten ist dies PCI)
  - Peripherie-Bus (SCSI, SATA oder USB)
- Warum aber mehrere Bus-Systeme?
  - Physik und Kosten sind hier die maßgeblichen Größen
  - Je schneller der Bus, desto kürzer
  - Je schneller der Bus, desto teurer

# I/O Chips

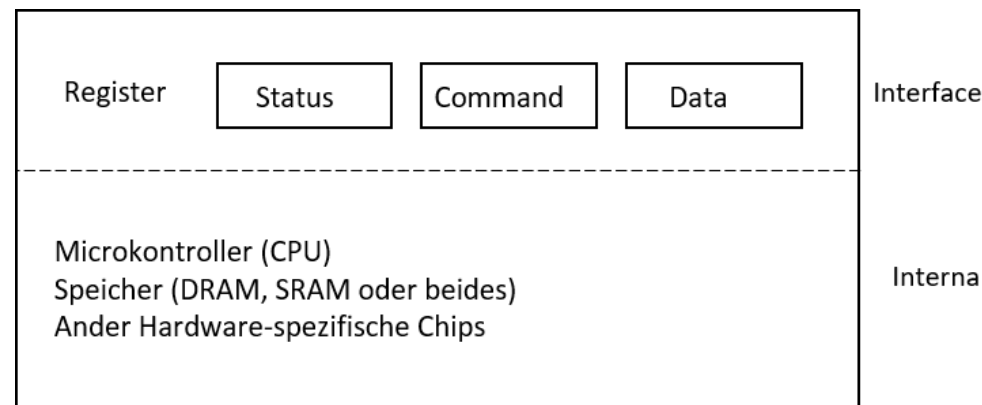
- Moderne Architekturen nutzen daher spezielle I/O Chips zum schnellen Routen von Daten
- Beispiel für einen solchen Chip ist Intel DMI (Direct Media Interface)
- Anbindung von Festplatten via eSATA (external SATA) als Weiterentwicklung von SATA (Serial ATA) als Weiterentwicklung von ATA bzw. IBM AT Attachment (2. IBM PC Generation mit 6 MHz Intel 80286 CPUs))
- USB – Universal Serial Bus für sog. Low Performance Devices

# Einsatz von I/O Chips

center h:600

# Canonical Device

- Grundlegendes (allgemeingültiges) Konzept eines Gerätes
  - Besteht aus zwei wichtigen Komponenten:
  - Hardware Interface, über den das das Gerät angesteuert werden kann
  - Interne Strukturen
    - Implementierungsabhängig
    - Ein paar Chips, komplexere Geräte sogar mit einer CPU
    - Allgemeiner Speicher und weitere Chips





# Canonical Protocol

- Allgemeingültiges Protokoll zur Ansteuerung von I/O-Geräten
- Im Beispiel zuvor: 3 Register
  - Status Register: Ermöglicht es, den Status des Geräts auszulesen
  - Command Register: Ermöglicht es, dem Gerät mitzuteilen, welche Aktion als nächstes ausgeführt werden soll
  - Data Register: Ermöglicht es Daten ins Gerät zu übermitteln
  - Durch Schreiben/Lesen dieser Register wird die Interaktion mit dem Gerät ermöglicht

# Das Protokoll in 4 Schritten

1. Warten bis das Gerät bereit ist
2. Daten in Register schreiben
3. Kommando in Register schreiben
4. Warten bis Gerät fertig ist

```
while \ (STATUS == BUSY\)  
; // wait until device is not busy  
write data to DATA register  
write command to COMMAND register  
(starts the device and executes the command\  
while \ (STATUS == BUSY\)  
; // wait until device is done with your request
```

# Polling

- Das Status Register fortwährend auszulesen wird auch **Polling** genannt
- Im Grund wird andauernd gefragt: „Ey Digga, was geht?!“
- Abhängig von der Größe des Daten Registers sind hier mehrere Durchläufe erforderlich, bis alle Daten geschrieben sind

# PIO

- Sobald die CPU (hier meinen wir die CPU vom Rechner, nicht vom I/O Gerät) für das "Hin- und Herschippern" der Daten genutzt wird, sprechen wir von **programmed I/O (Abk. PIO)**
- Das Protokoll funktioniert im Grunde ABER
- Polling ist kostenintensiv
  - Verschwendet CPU Cycles
  - Verlangsamt oder blockiert die Ausführung anderer Prozesse
  - Führt die Idee des Overlapping beim Scheduling ad absurdum

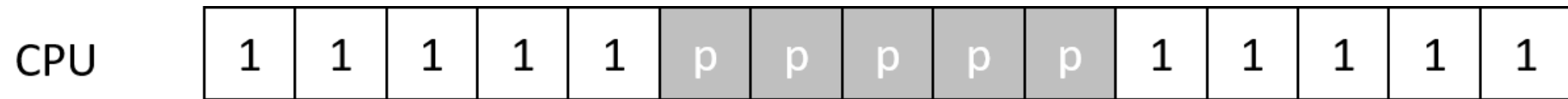
# Interrupts

- Idee: Den CPU Overhead mittels Interrupts reduzieren
- Grundsätzliche Funktionsweise
  - Betriebssystem stellt eine Anfrage an ein Gerät
  - Der aufrufende Prozess wird schlafen geschickt
  - Betriebssystem führt einen Kontext-Switch zu einem anderen Prozess aus
  - Sobald das Gerät fertig ist, wird ein Hardware Interrupt ausgelöst
  - Der Interrupt veranlasst das Betriebssystem eine vordefinierten **Interrupt Service Routine (ISR)** bzw. **Interrupt Handler** auszuführen.

# Polling vs Interrupts

In dem erste Beispiel pollt die CPU, bis das Gerät fertig ist.

Mit einem Interrupt könnte die CPU in der Zwischenzeit etwas anders (sinnvolles) machen.



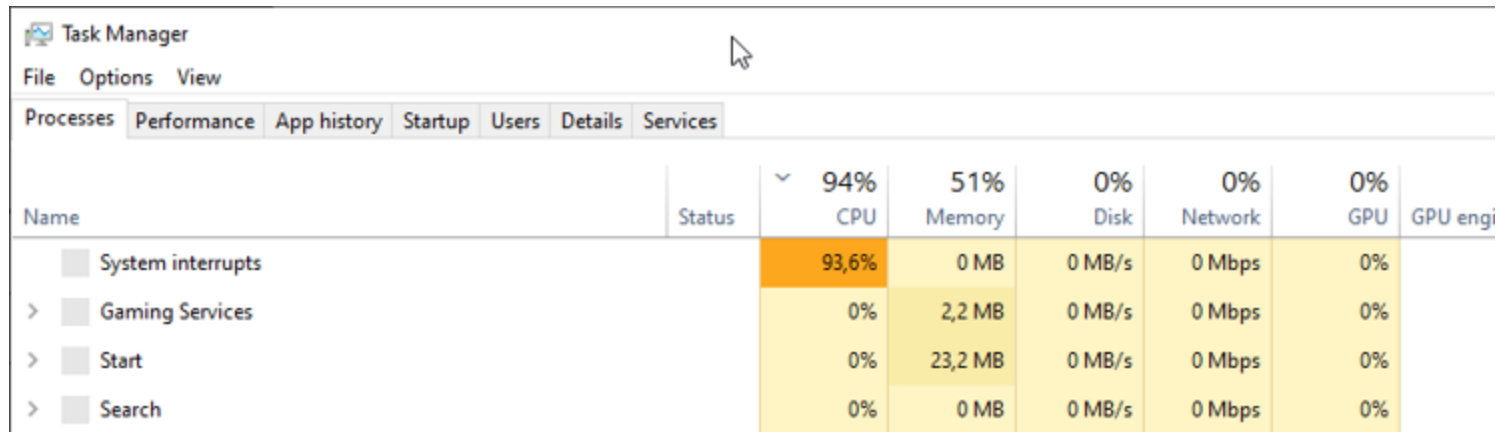
# Performance

- Interrupts sind nicht immer die beste Lösung
  - Wenn das Gerät so schnell ist, dass beim ersten Poll die Antwort käme, machen Interrupts das System langsamer
  - Der damit zusammenhängenden context Switch ist im Verhältnis zum „kurz Warten“ teurer

# Livelocks

Zu viele Interrupts können das System auch überlasten

In diesem Fall sprechen wir von einem **Livelock**



The screenshot shows the Windows Task Manager Performance tab. The 'Performance' tab is selected, and the 'System interrupts' row is highlighted in orange, indicating high CPU usage. The table below shows the resource usage for various system components.

Name	Status	94% CPU	51% Memory	0% Disk	0% Network	0% GPU	GPU engi
System interrupts		93,6%	0 MB	0 MB/s	0 Mbps	0%	
> Gaming Services		0%	2,2 MB	0 MB/s	0 Mbps	0%	
> Start		0%	23,2 MB	0 MB/s	0 Mbps	0%	
> Search		0%	0 MB	0 MB/s	0 Mbps	0%	



# Lösung: Hybrid Ansatz

Die Lösung zum, vorherigen Problem: Zwei Phasen

- Für einen kurzen Zeitraum pollen
- Wenn das Gerät nicht geantwortet hat einen Interrupt nutzen

Ein konkretes Beispiel: Ein Web-Server erhält plötzlich (extrem) viele Anfragen. Wenn nun bei eintreffenden Paketen nur noch Interrupts ausgelöst werden, läuft im Prinzip kein Prozess mehr im User-Space. Daher wäre es besser den Web-Server selbst entscheiden zu lassen wann er neue Pakete entgegen nimmt.

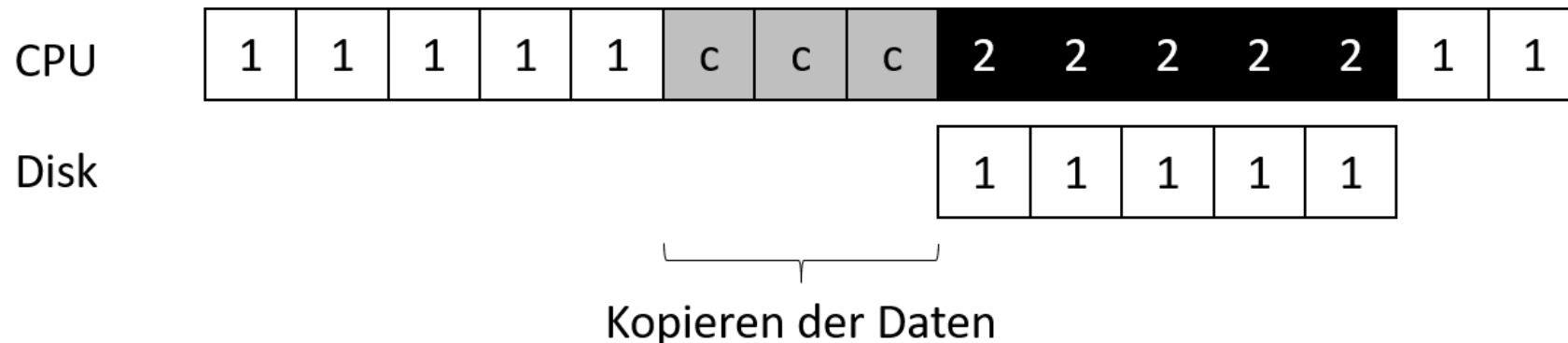
# Alternativer Lösungsansatz: Coalescing

- Wenn ein Gerät fertig ist, wird der Interrupt nicht sofort ausgelöst!
  - Anstelle dessen wartet das Gerät einen Moment ob bzw. bis weitere Anfragen abgearbeitet sind
  - Nun werden alle bearbeiteten Requests gebündelt zurück geliefert, in dem der Interrupt nur einmal ausgelöst wird
- Nachteil
  - Zu langes Warten kann zu einer erhöhten Latenz des Gerätes führen

# Datenschubsen

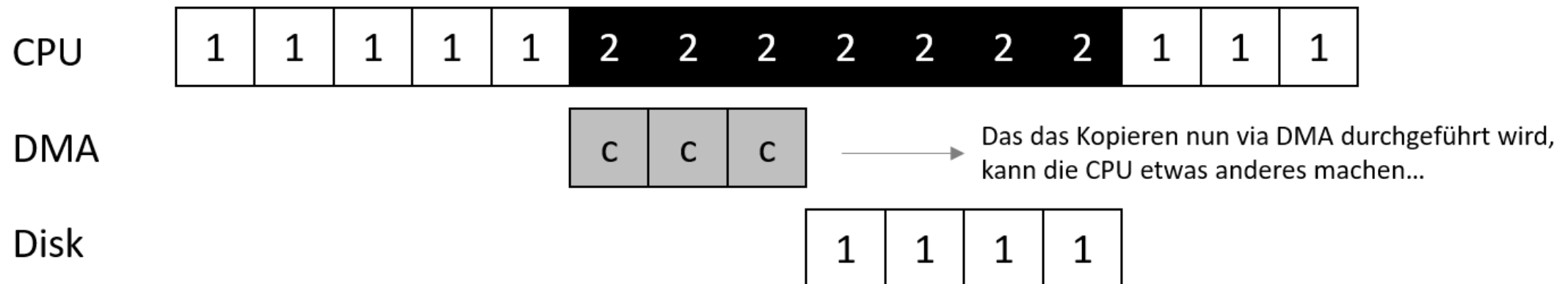
Nicht nur das Polling auch bei anderen Aufgaben wird die CPU für eigentlich triviale Aufgaben in Anspruch genommen: z.B. das Kopieren von Daten in die Daten Register

Frage: Wie kann der CPU Arbeit abgenommen werden, damit die CPU effizienter genutzt werden kann? Ganz einfach: Kopieren der Daten



# DMA: Direct Memory Access

- Eine separate DMA Engine orchestriert den Datenfluss zwischen Gerät und Hauptspeicher
  - Funktionsweise: Das Betriebssystem programmiert die DMA Engine mit
    - Speicherort an dem die Daten liegen
    - Wie viele Daten kopiert werden sollen
    - An welches Gerät die Daten geschickt werden sollen und ist jetzt quasi fertig!

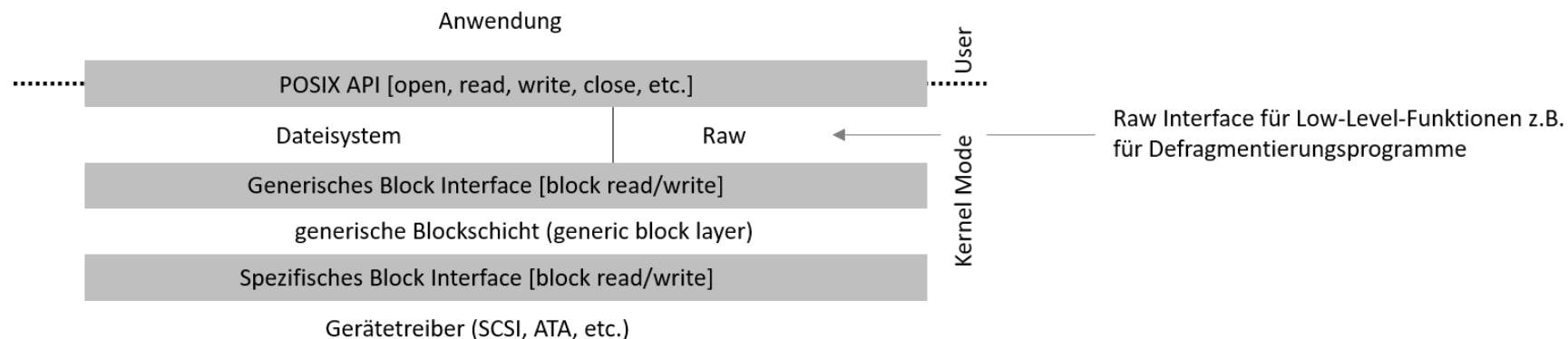


# Kommunikation mit dem Gerät

Nun stellt sich noch die Frage, wie die ganzen Geräte mit ihren spezifischen Hardware Interfaces in das Betriebssystem passen.

Ziel: Betriebssystem so gut wie es geht Geräte-neutral halten, also die Details der Geräteinteraktion vom Betriebssystem „verstecken“.

Lösung: Wie so oft in der Informatik hilft uns hier die **Abstraktion** !



# Gerätetreiber

Die gerätespezifische Funktionalität wird als Gerätetreiber ausgeliefert.

Nachteil: Durch die generische Schnittstelle können nicht immer alle (tollen) Funktionen eines Geräts genutzt werden.

Beispiel: SCSI Error-Funktionalität ist unter Linux über die einfachere ATA/DIE Schnittstelle nicht nutzbar.

Bedeutung von Gerätetreibern: Bis zu 70% des Codes eines Betriebssystems (Linux und Windows annähernd gleich viel) steckt heute inzwischen in Gerätetreibern.

**Problem** : Dieser Code wird nicht von Kernel-Entwicklern gebaut.

# Referenzen