

# Technische Informatik 1 – Übung 4

## Eingabe – Ausgabe (Rechenübung)

*Sarah Hoffmann*  
*3.-4. November 2011*



# Ziele der Übung

## Aufgabe 1

- Modellierung eines Bus-Arbitrierung-Protokolls

## Aufgabe 2

- Dimensionierung eines IO-Systems

## Aufgabe 3

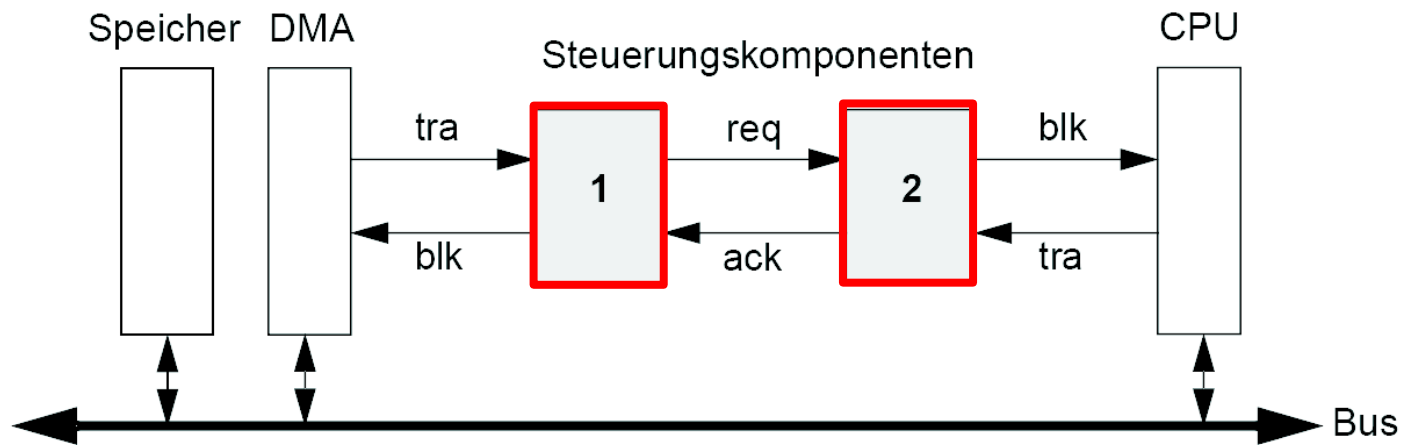
- Vergleich Interrupts und Polling

# Voraussetzungen

- Vorlesung Kapitel 6  
(sowie Kapitel 7 für Zusatzaufgabe)
- Digitaltechnik

# Aufgabe 1: Bus-Arbitrierung

- Prozessor und DMA-Modul kommunizieren über gemeinsam genutzten Bus



- Prozessor erhält höhere Priorität beim Zugriff
- Erstellen Sie für Steuerkomponente 1 und 2 jeweils einen endlichen Moore-Automaten

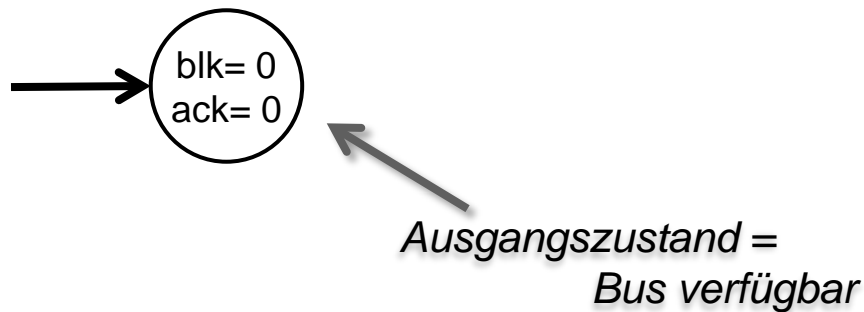
# Aufgabe 1: Bus-Arbitrierung (Fort.)

## **Moore-Automaten**

Ausgabe hängt ausschliesslich vom Zustand ab

**Was sind die Zustände der Steuerungskomponenten?  
Was definiert die Zustandsübergänge?**

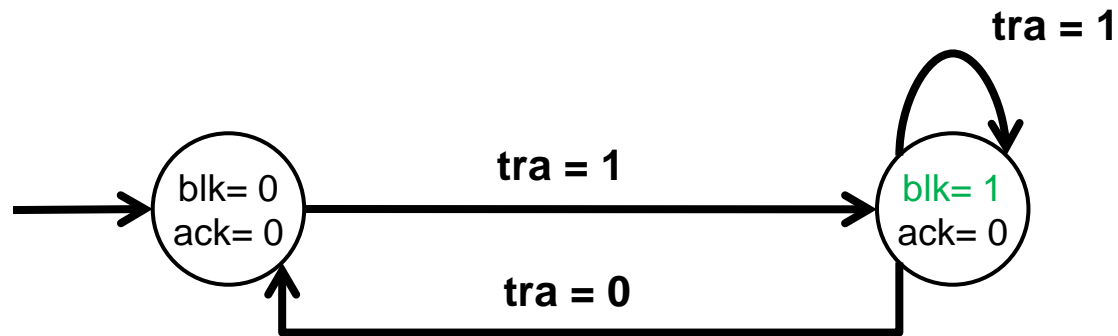
# Lösung 1: Steuerungskomponente 2



**Zustand: *blk, ack***

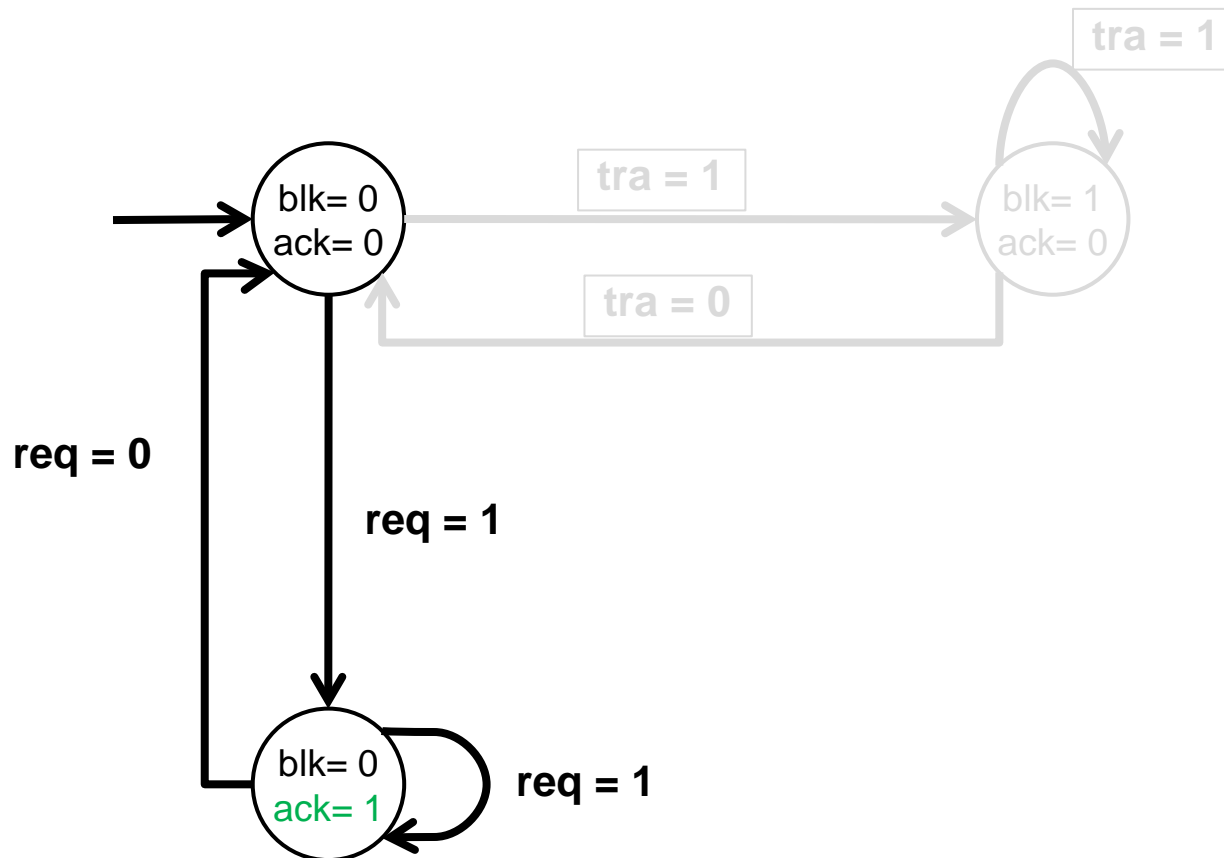
**Zustandsübergang: *tra, req***

# Lösung 1: Steuerungskomponente 2



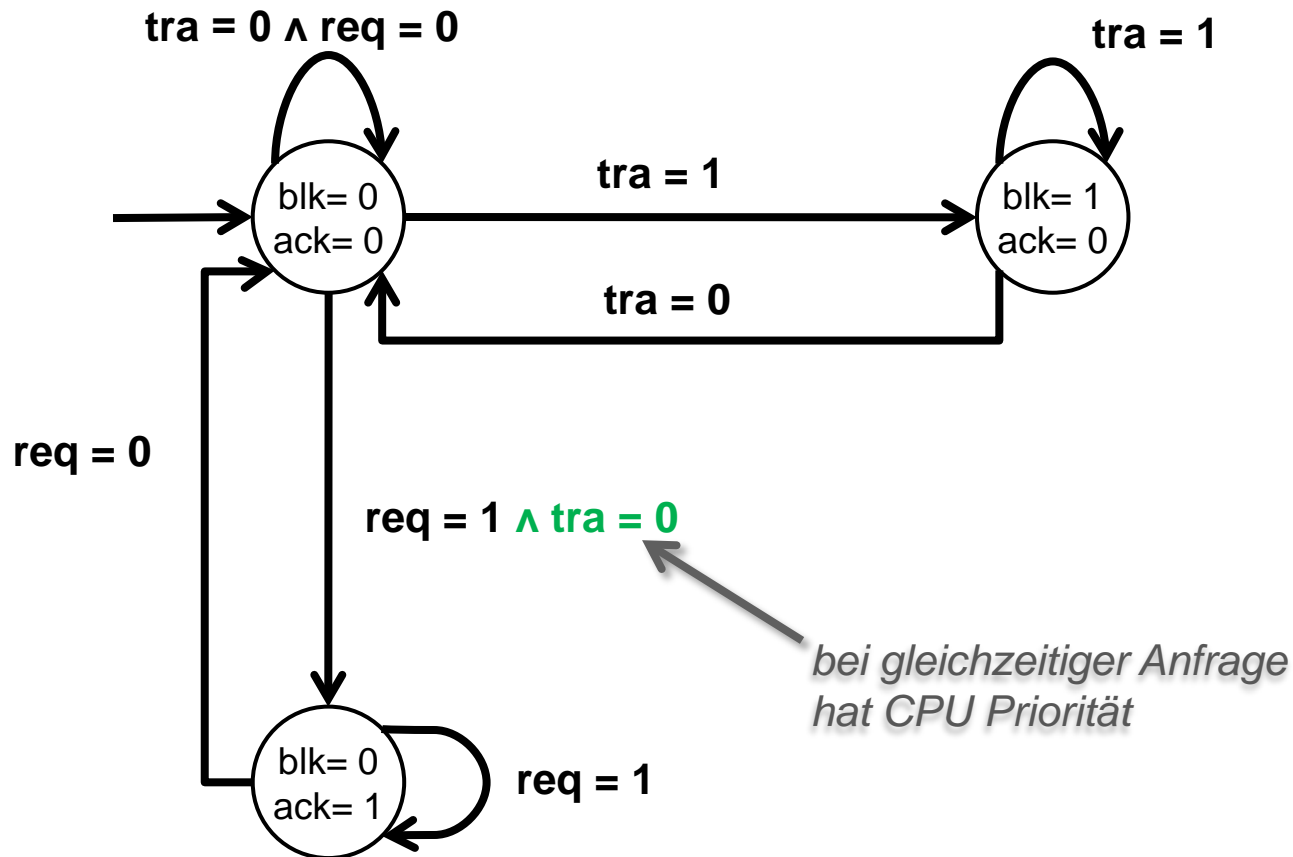
*Anfrage der CPU*

# Lösung 1: Steuerungskomponente 2

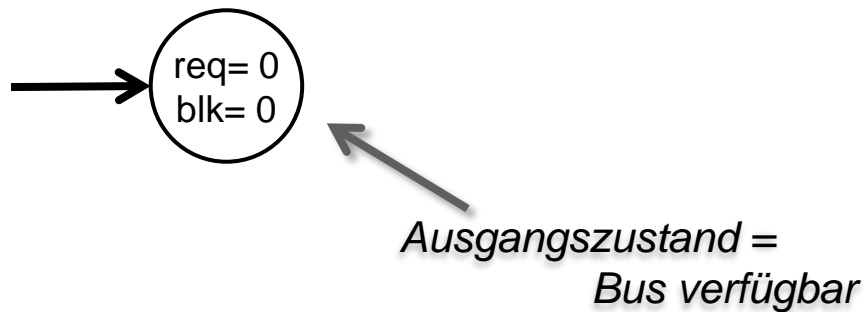


**Anfrage der Steuerungskomponente 1**

# Lösung 1: Steuerungskomponente 2



# Lösung 1: Steuerungskomponente 1

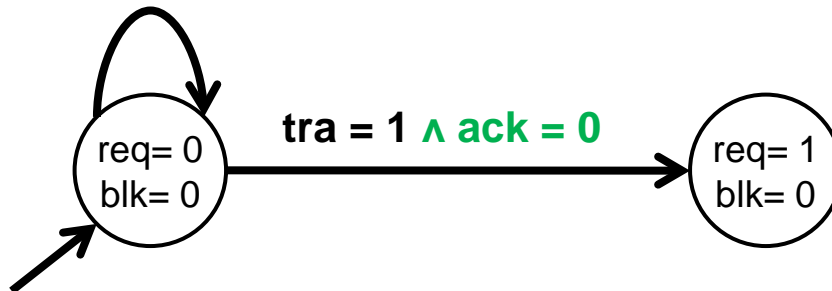


**Zustand: *req, blk***

**Zustandsübergang: *tra, ack***

# Lösung 1: Steuerungskomponente 1

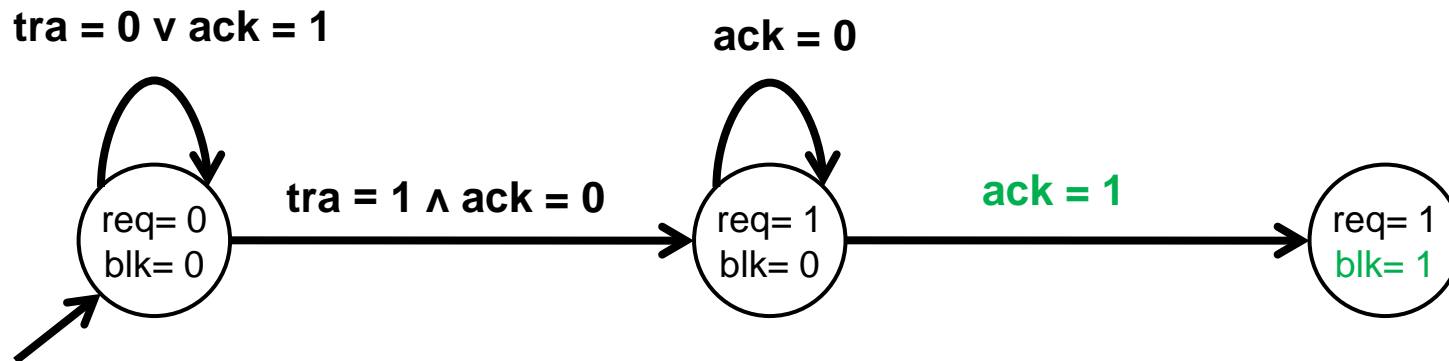
$\text{tra} = 0 \vee \text{ack} = 1$



tra	ack	Anfrage bearbeiten?
0	0	✗ (keine Anfrage)
0	1	✗ (keine Anfrage)
1	0	✓ (Bus frei)
1	1	✗ (Bus belegt)

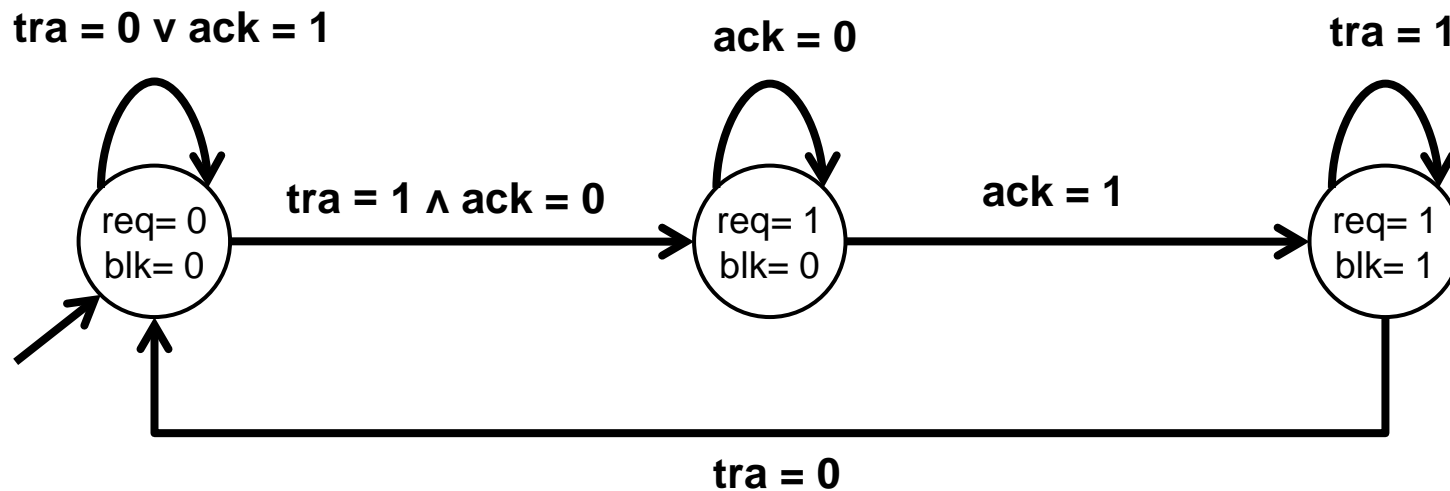
*Anfrage der DMA*

# Lösung 1: Steuerungskomponente 1

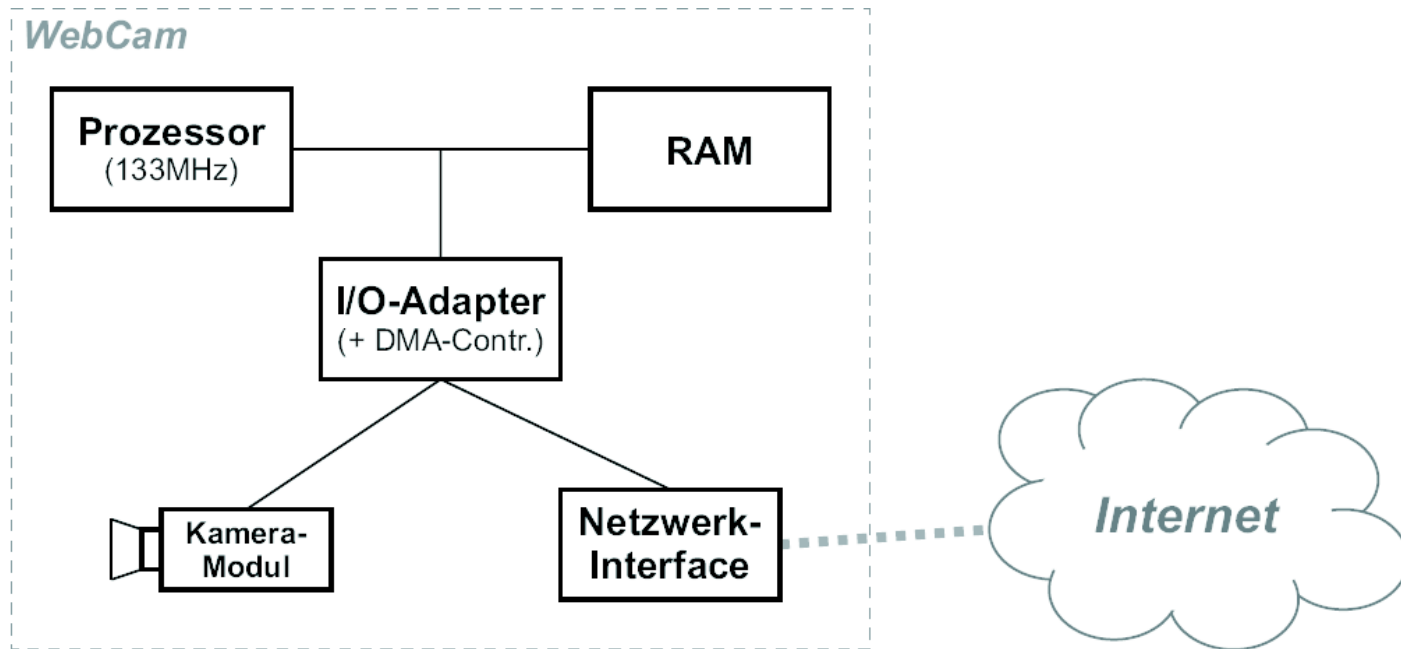


*Warten auf Steuerungskomponente 2*

# Lösung 1: Steuerungskomponente 1



## Aufgabe 2: Webcam



- Speicherkapazitäten: 1.024 MB = 1 GB
- Übertragungsraten: 1.000 MBit/s = 1 GBit/s

## Lösung Aufgabe 2(a)

Wieviele kBytes RAM muss für die Speicherung von einem Bild (unkomprimiert) mindestens vorgesehen werden?

- Bildgrösse:

$$640 \cdot 480 =$$

$$307.200 \text{ Pixel}$$

- 24 bit/Pixel = 3 Bytes/Pixel

$$\rightarrow \text{Speicherplatzbedarf} = 3 \cdot 307.200 = 921.600 \text{ Bytes}$$

- Speicherplatzbedarf in kByte (1024 Byte):

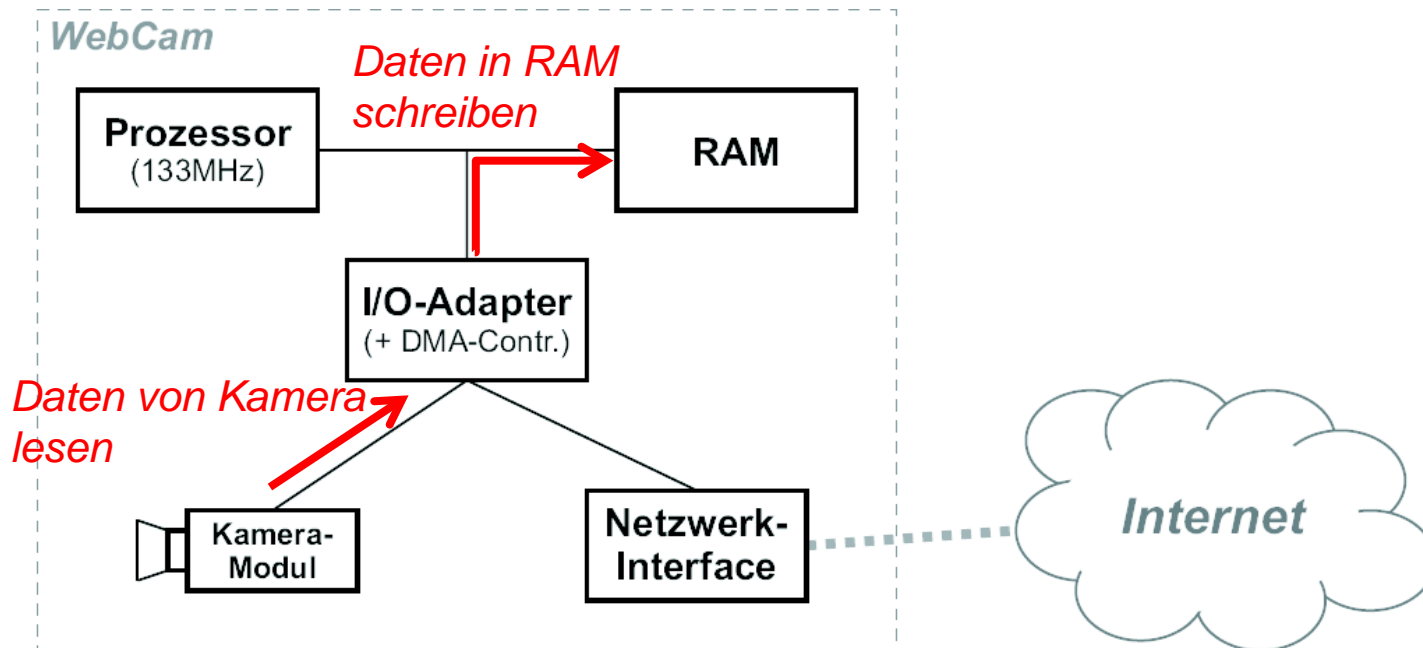
$$921.600 / 1024 = \mathbf{900\text{kByte}}$$

Digitalkamera-Modul (am I/O-Bus):

- Auflösung des Bildsensors: 640 x 480 Pixel; 24 bit pro Pixel

## Lösung Aufgabe 2 (b)

Wieviele CPU-Taktzyklen benötigt die Übertragung eines unkomprimierten Bildes vom Kamera-Modul in den RAM, wenn der Datentransfer vollständig vom DMA-Controller ausgeführt wird?



# Lösung Aufgabe 2(b)

Wieviele CPU-Taktzyklen benötigt die Übertragung eines unkomprimierten Bildes vom Kamera-Modul in den RAM, wenn der Datentransfer vollständig vom DMA-Controller ausgeführt wird?

Bildgrösse in Wörtern:

- 921.600 Bytes / 2  
= 460.800 Wörter

...

- Wortbreite (Daten): 16 bit

Arbeitsspeicher (RAM):

- CPU-Taktzyklen für einen RAM-Lesezugriff: 4
- CPU-Taktzyklen für einen RAM-Schreibzugriff: 6

I/O-Adapter:

- CPU-Taktzyklen für einen Lesezugriff : 6
- CPU-Taktzyklen für einen Schreibzugriff : 10

DMA-Controller :

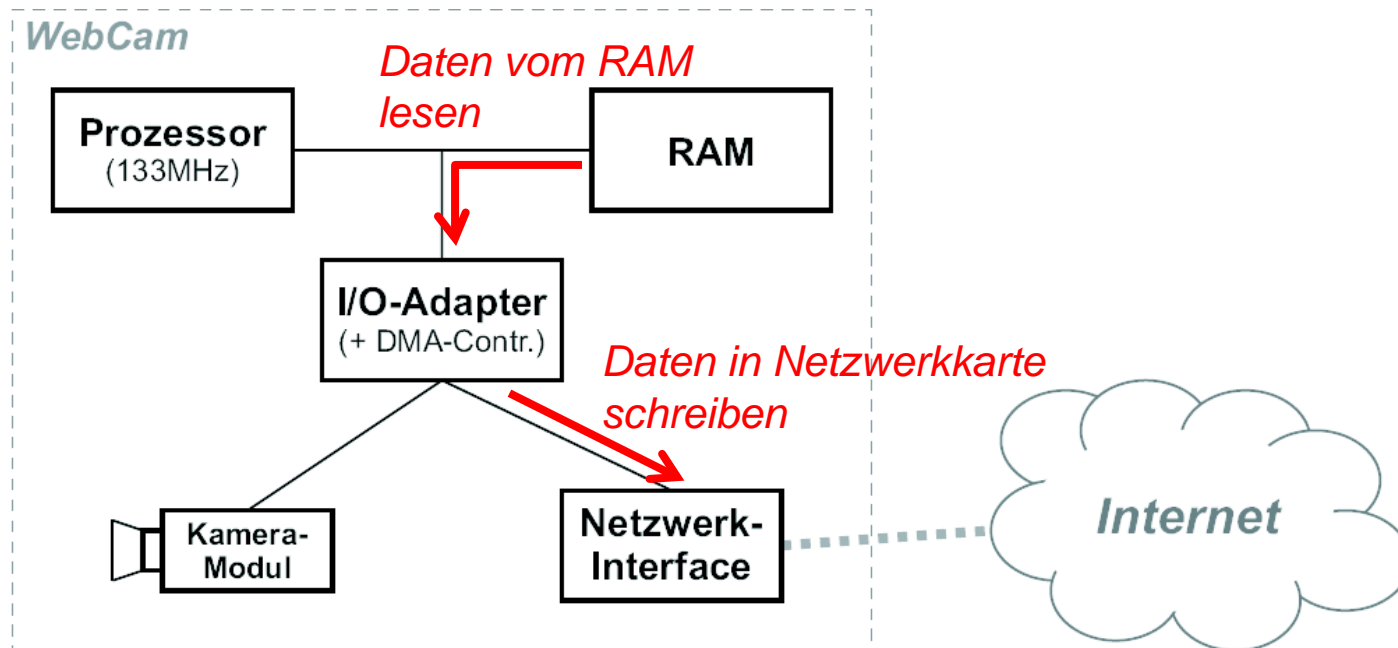
- Aufsetzen DMA-Transfer: 1150 CPU-Taktzyklen

...

Operation	Taktzyklen
DMA-Setup	1.150
Read-Op. (I/O-Bus)	$6 \cdot 460.800 = 2.764.800$
Write-Op (CPU-Bus)	$6 \cdot 460.800 = 2.764.800$
<b>Total</b>	<b>5.530.750</b>

# Lösung Aufgabe 2(c)

Wie lange (in ms) dauert die Übertragung eines komprimierten Bildes vom RAM ins Netzwerk-Interface mittels DMA?



# Lösung Aufgabe 2(c)

Wie lange (in ms) dauert die Übertragung eines komprimierten Bildes vom RAM ins Netzwerk-Interface mittels DMA?

Grösse des komprimierten Bildes:

$$0,15 \cdot 921.600 = 138.240 \text{ Bytes}$$

$$\rightarrow 138.240 \text{ Bytes} / 2 = 69.120 \text{ Wörter}$$

Prozessor(CPU):

- Taktfrequenz: 133MHz
- Wortbreite (Daten): 16 bit

Arbeitsspeicher (RAM):

- CPU-Taktzyklen für einen RAM-Lesezugriff: 4

I/O-Adapter:

- CPU-Taktzyklen für einen Schreibzugriff : 10

DMA-Controller :

- Aufsetzen DMA-Transfer: 1150 CPU-Taktzyklen

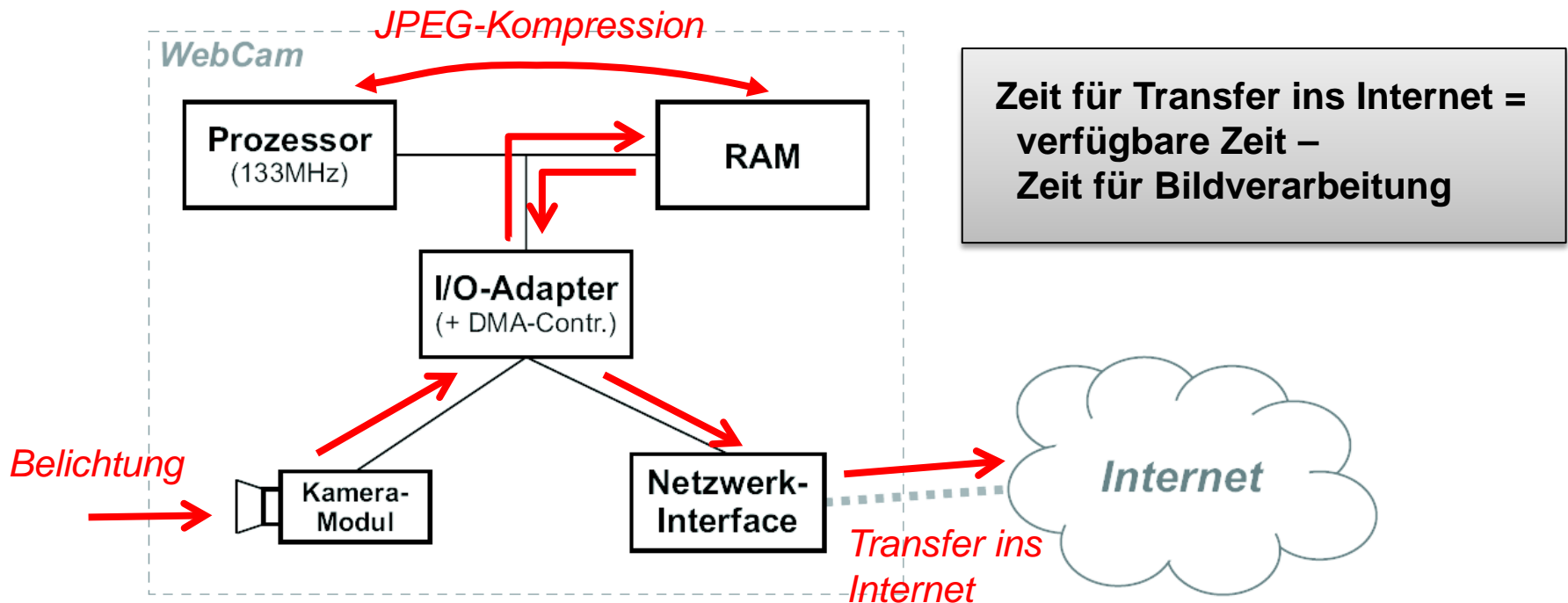
Operation	Taktzyklen	Zeit
DMA-Setup	1.150	
Read-Op. (CPU-Bus)	$4 \cdot 69.120 = 276.480$	
Write-Op (I/O-Bus)	$10 \cdot 69.120 = 691.200$	
Total	968.830	<b>7,28 ms</b>

Länge eines Taktzyklus:

$$t_{cyc} = 1 / 133\text{MHz} = 7,519\text{ns}$$

# Lösung Aufgabe 2(d)

Wie gross muss die Bandbreite der Internet-Verbindung mindestens sein, damit die vorliegende „WebCam“ genau 3 (jeweils aktualisierte) JPEG-Bilder pro Sekunde ins Internet einspeisen kann?



## Lösung Aufgabe 2(d)

Wie gross muss die Bandbreite der Internet-Verbindung mindestens sein, damit die vorliegende „WebCam“ genau 3 (jeweils aktualisierte) JPEG-Bilder pro Sekunde ins Internet einspeisen kann?

Operation	Taktyzklen	Zeit
Belichtung des CCD-Sensors		15 ms
Transfer Kamera → RAM - <i>siehe 2(b)</i>	5.530.750	41,59 ms
JPEG	2Mio.	15,04 ms
Transfer RAM → Network-Interface - <i>siehe 2(c)</i>	968.830	7,28 ms
<b>Total (ohne Transfer ins Internet)</b>		<b>78,91 ms</b>
Verarbeitungszeit pro Bild		3 Bilder/s → 333ms
<b>Zeit für Transfer ins Internet</b>		<b>254,42ms</b>

Bandbreite: 138.240 Byte in 254,42ms = **4.35MBit/s**

## Lösung Aufgabe 2(e)

Wieviele aktualisierte JPEG-Bilder pro Sekunde kann die vorliegende „WebCam“ maximal ins Internet einspeisen, wenn die Bandbreite zwischen Netzwerk-Interface und Internet als „sehr gross“ (z.B. basierend auf Glasfaser-Technologie, >10 Gbit/s) angenommen wird?

Annahme: Transfer ins Internet  $\rightarrow 0$ s

Anzahl Bilder =  $1 / \text{Total}$  (ohne Transfer ins Internet)

$\rightarrow 1 / 78,91\text{ms} = \mathbf{12,67 \text{ Bilder/s}}$ .

# Aufgabe 3: Eingabegeräte

Gibt's was  
Neues?

Es gibt  
Neues!

## • Polling vs. Interrupts •

- **Eingabegeräte:** Tastatur und Maus
- **Anforderung:** Abarbeitung inklusive Overhead muss innerhalb der maximalen Verzögerungszeit stattfinden.

## Lösung Aufgabe 3(a)

Berechnen Sie die Polling-Raten, welche für die Tastatur und für die Maus erforderlich sind, damit die maximalen Verzögerungszeiten nicht überschritten werden.

**Worst Case:** I/O-Ereignis direkt nach Abfrage des Gerätes

Dann gilt:

$$\text{Pollingintervall} + \text{Overhead} + \text{Behandlungszeit} \leq \text{maximale Verzögerung}$$

Das heisst:

$$\text{Pollingintervall} \leq \text{maximale Verzögerung} - \text{Overhead} - \text{Behandlungszeit}$$

## Lösung Aufgabe 3(a) cont.

Berechnen Sie die Polling-Raten, welche für die Tastatur und für die Maus erforderlich sind, damit die maximalen Verzögerungszeiten nicht überschritten werden.

$$\text{Pollingrate} \geq \frac{1}{\text{maximale Verzögerung} - \text{Overhead} - \text{Behandlungszeit}}$$

$$r_K = \frac{1}{600 \mu s - 500 \mu s - 5 \mu s} = 10.526 / s$$

$$r_M = \frac{1}{150 \mu s - 15 \mu s - 5 \mu s} = 7.692 / s$$

# Lösung Aufgabe 3(b)

Berechnen Sie für beide Ereignistypen den Zeitanteil, welchen der Computer mit der Behandlung der Ereignisse (inkl. Overhead) verbringt, je einmal mit Polling und einmal mit Interruptsteuerung. Wie (Polling oder Interrupt) würden Sie die Ereignisse behandeln?

**Polling:** Overhead bei *jeder* Pollingabfrage:

$$CPU_{Polling} = \text{Anzahl Pollingops} \cdot \text{Overhead} + \text{Anzahl Ereignisse} \cdot \text{Behandlungszeit}$$

**Interrupts:** Overhead nur bei tatsächlichen Ereignissen:

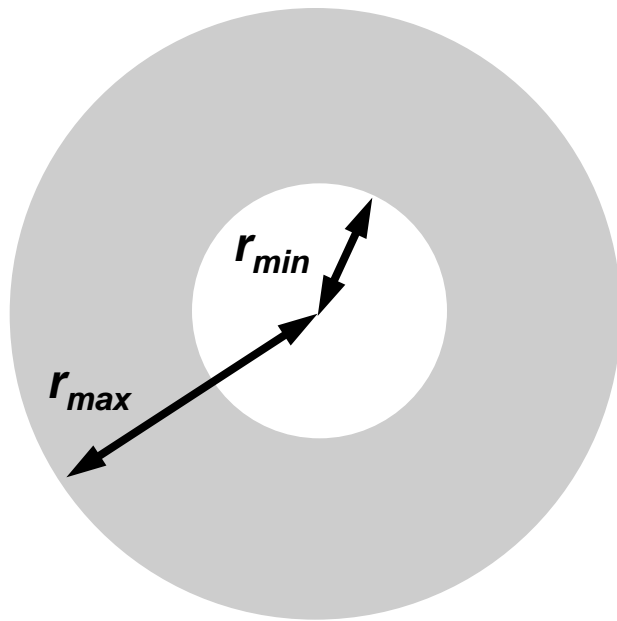
$$CPU_{Ints} = \text{Anzahl Ereignisse} \cdot (\text{Overhead} + \text{Behandlungszeit})$$

	Polling	Interrupt
Tastatur	$10.526 \cdot 5\mu\text{s} + 6 \cdot 500\mu\text{s} = 5,6\%$	$6 \cdot (50\mu\text{s} + 500\mu\text{s}) = 0,33\%$
Maus	$7.692 \cdot 5\mu\text{s} + 5.000 \cdot 15\mu\text{s} = 11,3\%$	$5.000 \cdot (50\mu\text{s} + 15\mu\text{s}) = 32,5\%$



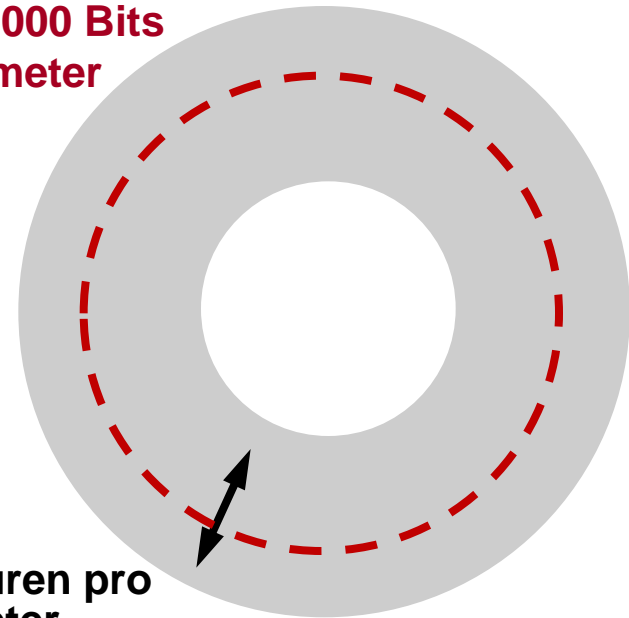
# ZUSATZAUFGABEN

# Aufgabe 4: Plattenspeicher



$$r_{max} = 4,1 \text{ cm}$$

(max.) 40.000 Bits  
pro Zentimeter



400 Spuren pro  
Zentimeter

Annahme: Auf allen Spuren wird die gleiche Menge Daten gespeichert.

# Lösung Aufgabe 4(a)

Wie gross sollte der Innenradius  $r_{min}$  der beschreibbaren Fläche gewählt werden, damit die Festplatte möglichst viele Daten fassen kann?

Da auf jeder Spur die gleiche Datenmenge gespeichert wird, ist die Aufzeichnungsdichte auf der innersten Spur am grössten. Die Länge der innersten Spur beträgt  $2\pi r_{min}$ , und es passen  $2\pi r_{min}$  40.000 Bits in diese Spur. Es gibt  $400 \cdot (r_{max} - r_{min})$  Spuren pro Schreib-/Lesekopf. Daraus ergibt sich eine Gesamtbruttokapazität von

$$K(r_{min}) = 4 \cdot 400 \cdot (r_{max} - r_{min}) \cdot 2\pi \cdot r_{min} \cdot 40.000 \text{ Bits} = 15.635\pi \cdot (r_{max} \cdot r_{min} - r_{min}^2) \text{ KB}$$

$$\frac{\delta K(r_{min})}{\delta(r_{min})} = 0 \rightarrow r_{min} = \frac{r_{max}}{2}$$

Es ergibt sich  $r_{min} = 2,05\text{cm}$  sowie  $K(2,05\text{cm}) = 201,45 \text{ MB}$ .

## Lösung Aufgabe 4(b)

Mit wievielen Umdrehungen pro Minute kann die Platte aus Teilaufgabe (a) betrieben werden, wenn die Laufwerkselektronik höchstens 50 MBit pro Sekunde lesen kann?

- Die Anzahl Bits pro Spur ist  $2\pi r_{min} \cdot 40.000$ , und pro Sekunde können 50.000.000 Bit gelesen werden. Daraus ergibt sich, dass maximal 97,05 Spuren pro Sekunde gelesen werden können, was 5.823 Umdrehungen pro Minute entspricht.

## Lösung 4(c)

Welchen Aussenradius  $r_{max}$  muss die Festplatte mindestens haben, so dass 100 MB Bruttodaten gespeichert werden können?

- Wie schon in Teilaufgabe (a) gesehen, wird die Kapazität für ein gegebenes  $r_{max}$  dann am grössten, wenn  $r_{min} = r_{max}/2$  gewählt wird, und zwar

$$K = 15.625\pi \cdot \left( r_{max} \cdot \frac{r_{max}}{2} - \left( \frac{r_{max}}{2} \right)^2 \right) \text{KB} = r_{max}^2 \cdot 11,98 \text{MB}$$

- Die angegebene Bruttokapazität wird also erreicht, indem der Aussenradius  $r_{max} = 2,89\text{cm}$  gesetzt wird.