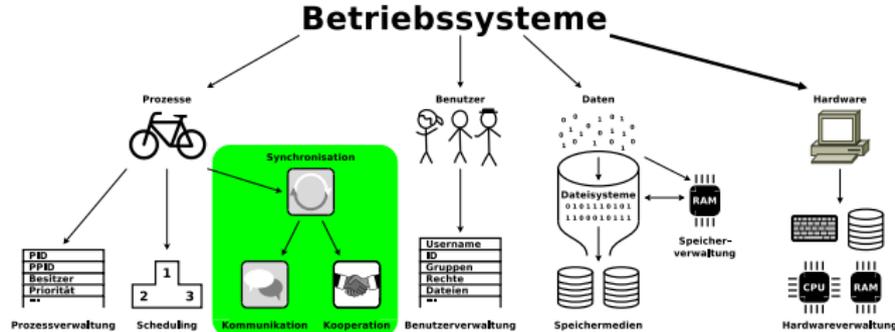




# Lernziele dieses Foliensatzes

- Am Ende dieses Foliensatzes kennen/verstehen Sie...
  - was **kritische Abschnitte** und **Wettlaufsituationen** sind
  - was **Synchronisation** ist
    - wie **Signalisierung** die Ausführungsreihenfolge der Prozesse beeinflusst
    - wie mit **Blockieren** kritische Abschnitte gesichert werden
    - mögliche Probleme (**Verhungern** und **Deadlocks**) beim Blockieren
    - wie **Deadlock-Erkennung mit Matrizen** funktioniert
  - verschiedene Möglichkeiten der **Kommunikation** zwischen Prozessen:
    - **Gemeinsamer Speicher**, **Nachrichtenwarteschlangen**, **Pipes**, **Sockets**
  - verschiedene Möglichkeiten der **Kooperation** von Prozessen
    - wie **Semaphore** und **Mutexe** kritische Abschnitte sichern können

Übungsblatt 6 wiederholt die für die Lernziele relevanten Inhalte dieses Foliensatzes



# Interprozesskommunikation (IPC)

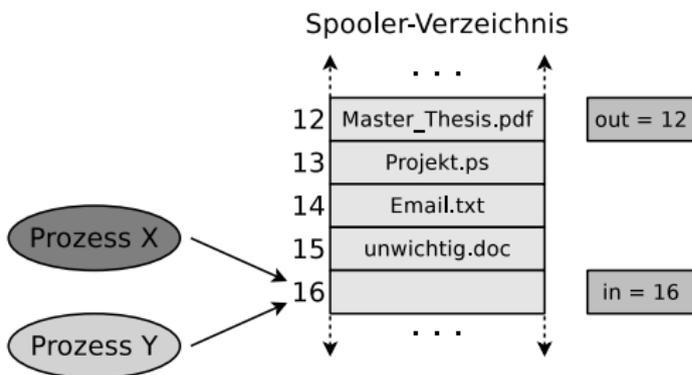
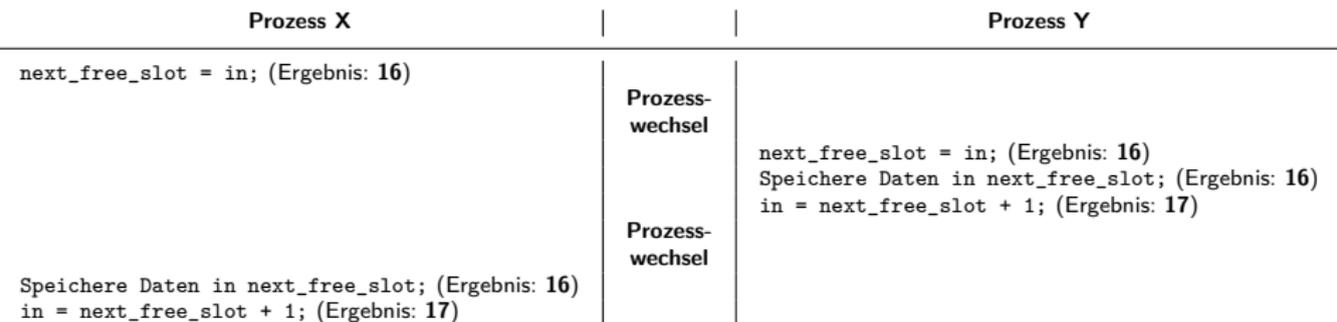
- Prozesse müssen nicht nur Lese- und Schreibzugriffe auf Daten ausführen, sondern auch:
  - sich gegenseitig aufrufen
  - aufeinander warten
  - sich abstimmen
  - kurz gesagt: Sie müssen miteinander **interagieren**
- Bei **Interprozesskommunikation** (IPC) ist zu klären:
  - Wie kann ein Prozess Informationen an andere weiterreichen?
  - Wie können mehrere Prozesse auf gemeinsame Ressourcen zugreifen?

Frage: Wie verhält es sich hier mit Threads?

- Bei Threads gelten die gleichen Herausforderungen und Lösungen wie bei Interprozesskommunikation mit Prozessen
- Nur die Kommunikation zwischen den Threads eines Prozesses ist problemlos möglich, weil sie im gleichen Adressraum agieren



# Kritische Abschnitte – Beispiel: Drucker-Spooler



- Das Spooler-Verzeichnis ist konsistent
  - Aber der Eintrag von **Prozess Y** wurde von **Prozess X** überschrieben und ging verloren
- Eine solche Situation heißt **Race Condition**

## Race Condition (*Wettlaufsituation*)

- **Unbeabsichtigte Wettlaufsituation** zweier Prozesse, die den Wert der gleichen Speicherstelle ändern wollen
  - Das Ergebnis eines Prozesses hängt von der Reihenfolge oder dem zeitlichen Ablauf anderer Ereignisse ab
  - Häufiger Grund für schwer auffindbare Programmfehler
- Problem: Das Auftreten und die Symptome hängen von unterschiedlichen Ereignissen ab
  - Bei jedem Testdurchlauf können die Symptome unterschiedlich sein oder verschwinden
- Vermeidung ist u.a. durch das Konzept der **Semaphore** ( $\implies$  Folie 60) möglich

# Therac-25: Race Condition mit tragischem Ausgang (1/2)

- Therac-25 ist ein Elektronen-Linearbeschleuniger zur Strahlentherapie von Krebstumoren
- Verursachte Mitte der 80er Jahre in den USA tödliche Unfälle durch mangelhafte Programmierung und Qualitätssicherung
  - Einige Patienten erhielten eine bis zu hundertfach erhöhte Strahlendosis



Bildquelle: Google Bildersuche.  
Häufig gezeigtes Bild in diesem Kontext.  
(Autor und Lizenz: unbekannt)

*An Investigation of the Therac-25 Accidents.* Nancy Leveson, Clark S. Turner. IEEE Computer, Vol. 26, No. 7, July 1993, S.18-41  
[http://courses.cs.vt.edu/~cs3604/lib/Therac\\_25/Therac\\_1.html](http://courses.cs.vt.edu/~cs3604/lib/Therac_25/Therac_1.html)

# Therac-25: Race Condition mit tragischem Ausgang (2/2)

- Eine Race Condition („Texas-Bug“) führte zu fehlerhaften Einstellungen des Geräts und damit zu erhöhter Strahlendosis
  - Der Kontroll-Prozess synchronisierte nicht korrekt mit dem Prozess der Eingabeaufforderung
  - Der Fehler trat nur während einer schnellen Eingabekorrektur (Zeitfenster: 8 Sekunden) durch den Benutzer auf
  - Bei Tests trat der Fehler nicht auf, weil es Erfahrung (Routine) erforderte, um das Gerät so schnell zu bedienen

The Worst Computer Bugs in History: Race conditions in Therac-25:  
<https://www.bugsnag.com/blog/bug-day-race-condition-therac-25>

*„Once the data entry phase was marked complete, the magnet setting phase began. However, if a specific sequence of edits was applied in the Data Entry phase during the 8 second magnet setting phase, the setting was not applied to the machine hardware, due to the value of the completion variable. The UI would then display the wrong mode to the user, who would confirm the potentially lethal treatment.“*

## Weitere interessante Quellen

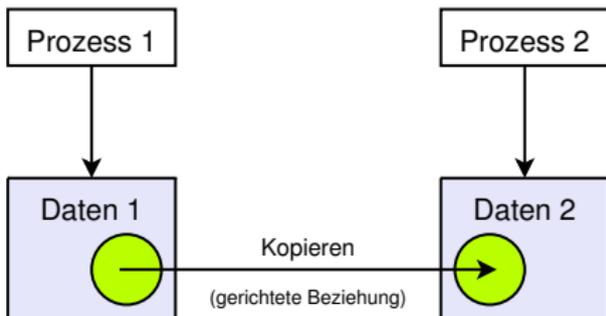
[https://www-dssz.informatik.tu-cottbus.de/information/slides\\_studis/ss2009/mehner\\_RisikoComputer\\_zs09.pdf](https://www-dssz.informatik.tu-cottbus.de/information/slides_studis/ss2009/mehner_RisikoComputer_zs09.pdf)  
 Killer Bug. Therac-25: Quick-and-Dirty: <https://www.viva64.com/en/b/0438/>  
 Killed by a machine: The Therac-25: <https://hackaday.com/2015/10/26/killed-by-a-machine-the-therac-25/>

# Kommunikation vs. Kooperation

- Die Prozessinteraktion besitzt 2 Aspekte:
  - Funktionaler Aspekt: **Kommunikation** und **Kooperation**
  - Zeitlicher Aspekt: **Synchronisation**

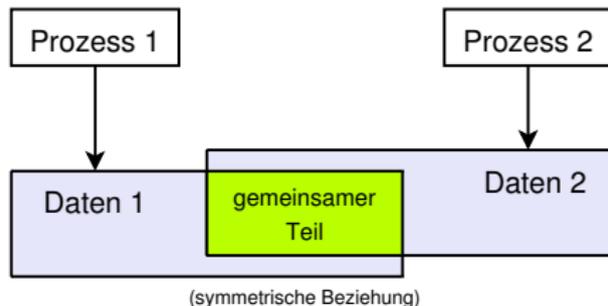
Kommunikation

(= expliziter Datentransport)



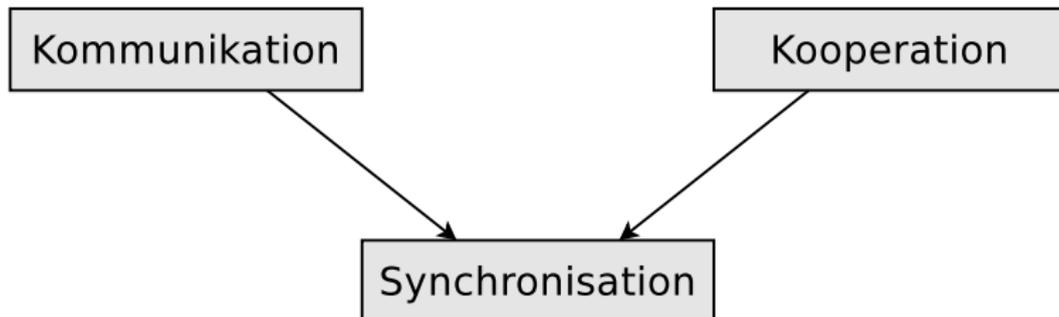
Kooperation

(= Zugriff auf gemeinsame Daten)



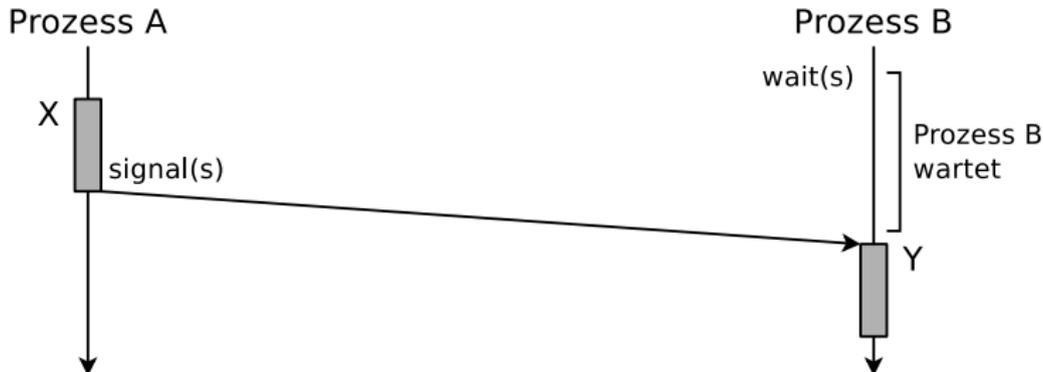
# Interaktionsformen

- Kommunikation und Kooperation basieren auf Synchronisation
  - Synchronisation ist die elementarste Form der Interaktion
    - Grund: Kommunikation und Kooperation benötigen eine zeitliche Abstimmung zwischen den Interaktionspartnern, um korrekte Ergebnisse zu erhalten
  - Darum behandeln wir zuerst die **Synchronisation**

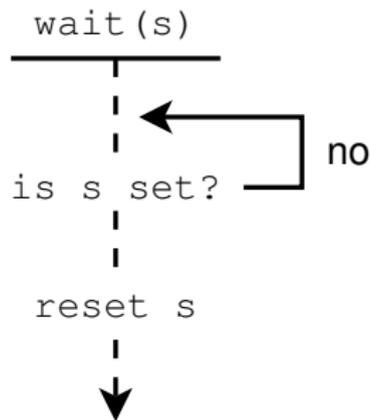


# Signalisierung

- Eine Möglichkeit um Prozesse zu synchronisieren
- Mit Signalisierung wird eine **Ausführungsreihenfolge** festgelegt
- Beispiel: Abschnitt **X** von Prozess  $P_A$  soll **vor** Abschnitt **Y** von Prozess  $P_B$  ausgeführt werden
  - Die Operation `signal` signalisiert, wenn Prozess  $P_A$  den Abschnitt **X** abgearbeitet hat
  - Prozess  $P_B$  muss eventuell auf das Signal von Prozess  $P_A$  warten



# Einfachste Form der Signalisierung (aktives Warten)

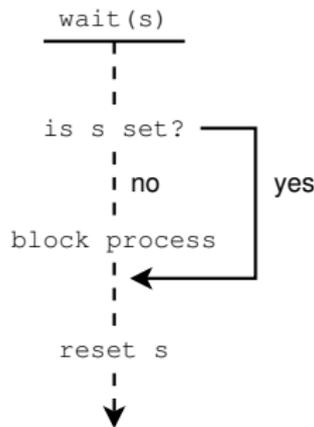
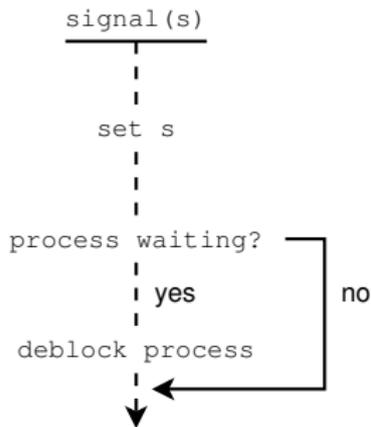


- Die Abbildung zeigt **aktives Warten** an der Signalvariable s
  - Die Signalvariable kann sich zum Beispiel in einer lokalen Datei befinden
  - Nachteil: Rechenzeit der CPU wird verschwendet, weil die wait-Operation den Prozessor in regelmäßigen Abständen belegt
- Diese Technik heißt auch **Warteschleife** oder **Spinlock**

Das aktive Warten heißt in der Literatur auch *Busy Waiting* oder *Polling*

# Signalisieren und Warten

- Besseres Konzept: Prozess  $P_B$  blockieren, bis Prozess  $P_A$  den Abschnitt **X** abgearbeitet hat
  - Vorteil: Vergeudet keine Rechenzeit des Prozessors
  - Nachteil: Es kann nur ein Prozess warten
  - Diese Technik heißt in der Literatur auch **passives Warten**

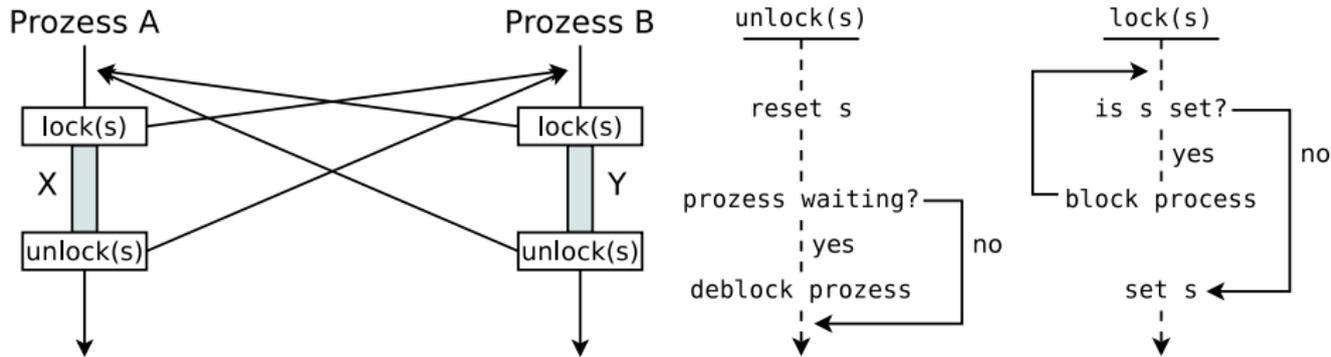


Eine Möglichkeit, um unter Linux eine Ausführungsreihenfolge mit passivem Warten festzulegen, ist die Funktion `sigsuspend`. Damit blockiert sich ein Prozess so lange selbst, bis ein anderer Prozess ihm mit der Funktion `kill` (oder dem gleichnamigen Systemaufruf) ein passendes Signal (meist `SIGUSR1` oder `SIGUSR2`) sendet und somit signalisiert, dass er weiterarbeiten soll.

Alternative Systemaufrufe und Funktionsaufrufe, mit denen sich ein Prozess selbst so lange blockieren kann, bis er durch einen Systemaufruf wieder geweckt wird, sind `pause` und `sleep`.



# Sperrungen und Freigeben von Prozessen unter Linux (1/2)



Hilfreiche Systemaufrufen und Bibliotheksfunktion um die Operationen lock und unlock unter Linux zu realisieren

sigsuspend, kill, pause und sleep

- Alternative 1: Realisierung von Sperrungen mit den Signalen SIGSTOP (Nr. 19) und SIGCONT (Nr. 18)
  - Mit SIGSTOP kann ein anderer Prozess gestoppt werden
  - Mit SIGCONT kann ein anderer Prozess reaktiviert werden

# Sperrern und Freigeben von Prozessen unter Linux (2/2)

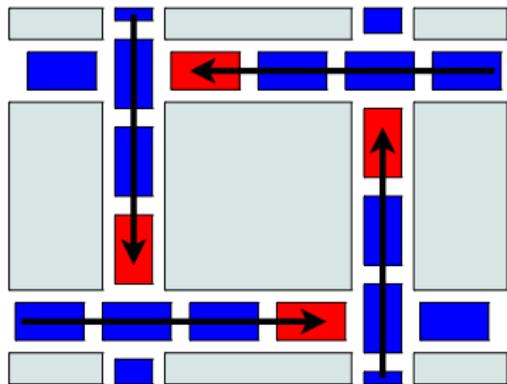
- Alternative 2: Eine lokale Datei dient als Sperrmechanismus für wechselseitigen Ausschluss
  - Jeder Prozess prüft vor dem Eintritt in seinen kritischen Abschnitt, ob er die Datei exklusiv öffnen kann
    - z.B. mit dem Systemaufruf `open` oder der Bibliotheksfunktion `fopen`
  - Ist das nicht der Fall, muss er für eine bestimmte Zeit pausieren (z.B. mit dem Systemaufruf `sleep`) und es danach erneut versuchen (**aktives Warten**)
    - Alternativ kann er sich mit `sleep` oder `pause` selbst pausieren und hoffen, dass der Prozess, der bereits die Datei geöffnet hat ihn nach Abschluss seines kritischen Abschnitts mit einem Signal deblockiert (**passives Warten**)

## Zusammenfassung: Unterschied zwischen Signalisieren und Blockieren

- **Signalisieren** legt die Ausführungsreihenfolge fest  
Beispiel: Abschnitt X von Prozess  $P_A$  vor Abschnitt Y von  $P_B$  ausführen
- **Sperrern / Blockieren** sichert kritische Abschnitte  
Die Reihenfolge, in der die Prozesse ihre kritische Abschnitte abarbeiten, ist nicht festgelegt! Es wird nur sichergestellt, dass es keine Überlappung in der Ausführung der kritischen Abschnitte gibt

# Probleme, die durch Blockieren entstehen

- **Verhungern** (Starvation)
  - Hebt ein Prozess eine Sperre nicht wieder auf, müssen die anderen Prozesse unendlich lange auf die Freigabe warten
- **Verklemmung** (Deadlock)
  - Es warten mehrere Prozesse gegenseitig auf die von ihnen gesperrten Ressourcen, sperren sie sich gegenseitig
  - Da alle am Deadlock beteiligten Prozesse (ewig) warten, kann keiner ein Ereignis auslösen, dass die Situation auflöst



Quelle: <https://i.redd.it/vvu6v8pxvue11.jpg>  
(Autor und Lizenz: unbekannt)

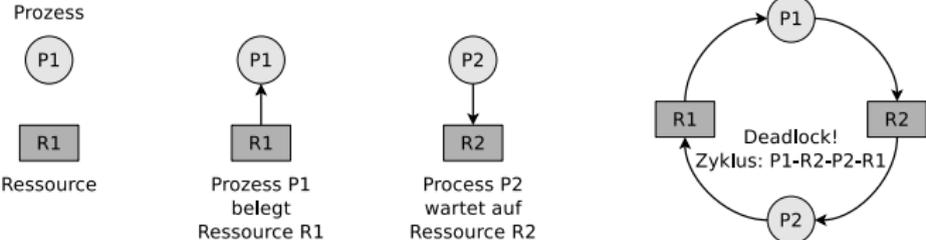
# Bedingungen für Deadlocks

*System Deadlocks.* E. G. Coffman, M. J. Elphick, A. Shoshani. Computing Surveys, Vol. 3, No. 2, June 1971, S.67-78.  
[http://people.cs.umass.edu/~mcorner/courses/691J/papers/TS/coffman\\_deadlocks/coffman\\_deadlocks.pdf](http://people.cs.umass.edu/~mcorner/courses/691J/papers/TS/coffman_deadlocks/coffman_deadlocks.pdf)

- Damit ein Deadlock entstehen kann, müssen folgende Bedingungen gleichzeitig erfüllt sein:
  - **Wechselseitiger Ausschluss** (*mutual exclusion*)
    - Mindestens 1 Ressource wird von genau einem Prozess belegt oder ist verfügbar ⇒ nicht gemeinsam nutzbar (*non-sharable*)
  - **Anforderung weiterer Betriebsmittel** (*hold and wait*)
    - Ein Prozess, der bereits mindestens 1 Ressource belegt, fordert weitere Ressourcen an, die von einem anderen Prozess belegt sind
  - **Ununterbrechbarkeit** (*no preemption*)
    - Die Ressourcen, die ein Prozess besitzt, können nicht vom Betriebssystem entzogen, sondern nur durch ihn selbst freigegeben werden
  - **Zyklische Wartebedingung** (*circular wait*)
    - Es gibt eine zyklische Kette von Prozessen
    - Jeder Prozess fordert eine Ressource an, die der nächste Prozess in der Kette besitzt
- Fehlt eine der genannten Bedingungen, kann kein Deadlock entstehen

# Betriebsmittel-Graphen

- Mit gerichteten Graphen können die Beziehungen von Prozessen und Ressourcen dargestellt werden
- So lassen sich auch Deadlocks modellieren
  - Die Knoten sind...
    - **Prozesse:** Sind als Kreise dargestellt
    - **Ressourcen:** Sind als Rechtecke dargestellt
  - Eine Kante von einem Prozess zu einer Ressource heißt:
    - Der Prozess ist blockiert, weil er auf die Ressource wartet
  - Eine Kante von einer Ressource zu einem Prozess heißt:
    - Der Prozess belegt die Ressource



Eine umfangreiche Beschreibung zu Betriebsmittel-Graphen enthält das Buch **Betriebssysteme – Eine Einführung**, Uwe Baumgarten, Hans-Jürgen Siebert, 6.Auflage, Oldenbourg Verlag (2007), Kapitel 6

# Deadlock-Erkennung mit Matrizen

- Ein Nachteil der Deadlock-Erkennung mit Betriebsmittel-Graphen ist, dass man damit nur einzelne Ressourcen darstellen kann
  - Gibt es mehrere Kopien (Instanzen) einer Ressource, sind Graphen zur Darstellung bzw. Erkennung von Deadlocks ungeeignet
    - Existieren von einer Ressource mehrere Instanzen, kann ein matrizenbasiertes Verfahren verwendet werden, das 2 Vektoren und 2 Matrizen benötigt
- Wir definieren 2 Vektoren
  - **Ressourcenvektor** (*Existing Resource Vektor*)
    - Zeigt an, wie viele Ressourcen von jeder Klasse existieren
  - **Ressourcenrestvektor** (*Available Resource Vektor*)
    - Zeigt an, wie viele Ressourcen von jeder Klasse frei sind
- Zusätzlich sind 2 Matrizen nötig
  - **Belegungsmatrix** (*Current Allocation Matrix*)
    - Zeigt an, welche Ressourcen die Prozesse aktuell belegen
  - **Anforderungsmatrix** (*Request Matrix*)
    - Zeigt an, welche Ressourcen die Prozesse gerne hätten

# Deadlock-Erkennung mit Matrizen – Beispiel (1/2)

Quelle des Beispiels: Tanenbaum. Moderne Betriebssysteme. Pearson. 2009

Ressourcenvektor, Belegungsmatrix und Anforderungsmatrix sind gegeben! Nur der Ressourcenrestvektor muss zu Beginn und nach jeder Prozessausführung neu berechnet werden.

$$\text{Ressourcenvektor} = \begin{pmatrix} 4 & 2 & 3 & 1 \end{pmatrix}$$

- 4 Ressourcen von Klasse 1 existieren
- 2 Ressourcen von Klasse 2 existieren
- 3 Ressourcen von Klasse 3 existieren
- 1 Ressource von Klasse 4 existiert

$$\text{Belegungsmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

- Prozess 1 belegt 1 Ressource von Klasse 3
- Prozess 2 belegt 2 Ressourcen von Klasse 1 und 1 Ressource von Klasse 4
- Prozess 3 belegt 1 Ressource von Klasse 2 und 2 Ressourcen von Klasse 3

$$\text{Ressourcenrestvektor} = \begin{pmatrix} 2 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

- 2 Ressourcen von Klasse 1 sind frei
- 1 Ressource von Klasse 2 ist frei
- Keine Ressourcen von Klasse 3 sind frei
- Keine Ressourcen von Klasse 4 sind frei

$$\text{Anforderungsmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

- Prozess 1 ist blockiert, weil keine Ressource von Klasse 4 frei ist
- Prozess 2 ist blockiert, weil keine Ressource von Klasse 3 frei ist
- **Prozess 3 ist nicht blockiert**

# Deadlock-Erkennung mit Matrizen – Beispiel (2/2)

- Wurde Prozess 3 fertig ausgeführt, gibt er seine Ressourcen frei

$$\text{Ressourcenrestvektor} = (2 \quad 2 \quad 2 \quad 0)$$

$$\text{Anforderungsmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ - & - & - & - \end{bmatrix}$$

- 2 Ressourcen von Klasse 1 sind frei
- 2 Ressourcen von Klasse 2 sind frei
- 2 Ressourcen von Klasse 3 sind frei
- Keine Ressourcen von Klasse 4 sind frei
- Prozess 1 kann nicht laufen, weil keine Ressource vom Typ 4 frei ist
- Prozess 2 ist nicht blockiert**

- Wurde Prozess 2 fertig ausgeführt, gibt er seine Ressourcen frei

$$\text{Ressourcenrestvektor} = (4 \quad 2 \quad 2 \quad 1)$$

$$\text{Anforderungsmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 1 \\ - & - & - & - \\ - & - & - & - \end{bmatrix}$$

- Prozess 1 ist nicht blockiert**  $\implies$  kein Deadlock in diesem Beispiel

# Fazit zu Deadlocks

- Manchmal wird die Möglichkeit von Deadlocks akzeptiert
  - Entscheidend ist, wie wichtig ein System ist
    - Ein Deadlock, der statistisch alle 5 Jahre auftritt, ist kein Problem in einem System das wegen Hardwareausfällen oder sonstigen Softwareproblemen jede Woche ein mal abstürzt
- Deadlock-Erkennung ist aufwendig und verursacht Overhead
- In allen Betriebssystemen sind Deadlocks möglich. Beispiele:
  - Prozesstabelle (⇒ Foliensatz 4) voll
    - Es können keine neuen Prozesse erzeugt werden
  - Maximale Anzahl von Inodes (⇒ Foliensatz 3) vergeben
    - Es können keine neuen Dateien und Verzeichnisse angelegt werden
- Die Wahrscheinlichkeit, dass so etwas passiert, ist gering, aber  $\neq 0$ 
  - Solche potentiellen Deadlocks werden akzeptiert, weil ein gelegentlicher Deadlock nicht so lästig ist, wie die ansonsten nötigen Einschränkungen (z.B. nur 1 laufender Prozess, nur 1 offene Datei, mehr Overhead)



# Gemeinsamer Speicher – Shared Memory

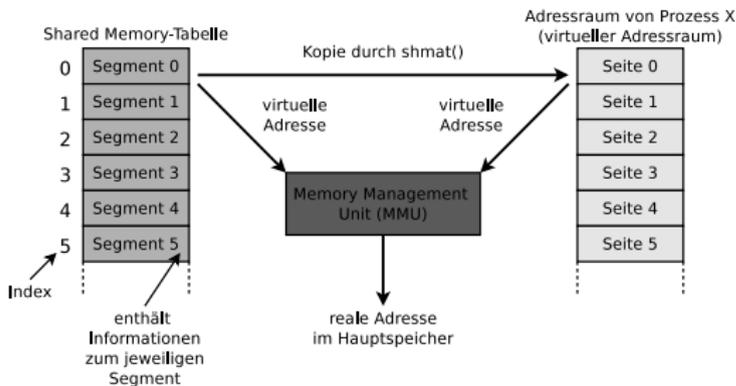
- Prozesskommunikation über einen gemeinsamen Speicher (Shared Memory) heißt auch **speicherbasierte Kommunikation**
- **Gemeinsame Speichersegmente** sind Speicherbereiche, auf die mehrere Prozesse direkt zugreifen können
  - Diese Speicherbereiche liegen im Adressraum mehrerer Prozesse
- Die Prozesse müssen die Zugriffe selbst koordinieren und sicherstellen, dass ihre Speicherzugriffe sich gegenseitig ausschließen
  - Der Empfänger-Prozess darf nichts aus dem gemeinsamen Speicher lesen, bevor der Sender-Prozess fertig geschrieben hat
  - Ist die Koordinierung der Zugriffe nicht sorgfältig  $\implies$  Inkonsistenzen

Bei den anderen Formen der Interprozesskommunikation garantiert das Betriebssystem die Synchronisation der Zugriffe



# Gemeinsamer Speicher unter Linux/UNIX

- Unter Linux/UNIX speichert eine **Shared Memory Tabelle** mit Informationen über die existierenden gemeinsamen Speichersegmente
  - Zu diesen Informationen gehören: Anfangsadresse im Speicher, Größe, Besitzer (Benutzername und Gruppe) und Zugriffsrechte



- Ein gemeinsames Speichersegment wird immer über seine Indexnummer in der Shared Memory-Tabelle angesprochen

- Vorteil: Ein gemeinsames Speichersegment, das an keinen Prozess gebunden ist, wird nicht automatisch vom Betriebssystem gelöscht

Beim Neustart des Betriebssystems sind die gemeinsamen Speichersegmente und deren Inhalte verloren

# Mit gemeinsamem Speicher arbeiten (System V vs. POSIX)

Linux/UNIX-Betriebssysteme stellen 4 Systemaufrufe (System V) für die Arbeit mit gemeinsamem Speicher bereit

- `shmget()`: Gemeinsames Speichersegment erzeugen oder auf ein bestehendes zugreifen
- `shmat()`: Gemeinsames Speichersegment an einen Prozess anhängen
- `shmdt()`: Gemeinsames Speichersegment von einem Prozess lösen/freigeben
- `shmctl()`: Status (u.a. Zugriffsrechte) eines gemeinsamen Speichersegments abfragen, ändern oder es löschen
- Informationen über bestehende gemeinsame Speichersegmente (System V) liefert das Kommando `ipcs`

Ein Beispiel zu gemeinsamen Speicherbereichen (**System V**) unter Linux finden auf der Webseite der Vorlesung

- Einige Entwickler bevorzugen die System V API und andere die POSIX API. ... `\_(ツ)_/`

C-Funktionsaufrufe für gemeinsame POSIX-Speichersegmente (teilweise in der Header-Datei `mman.h` definiert)

- `shm_open()`: Ein Segment erzeugen oder auf ein bestehendes zugreifen
- `ftruncate()`: Die Größe eines Speichersegments definieren
- `mmap()`: Ein Segment an einen Prozess anhängen
- `munmap()`: Ein Segment von einem Prozess lösen/freigeben
- `close()`: Den Deskriptor eines Speichersegments schließen
- `shm_unlink()`: Ein Segment löschen
- Unter Linux liegen POSIX-Speichersegmente im Verzeichnis `/dev/shm`

Ein Beispiel zu gemeinsamen POSIX-Speichersegmenten unter Linux finden sie auf der Webseite der Vorlesung

# Gemeinsames Speichersegment (System V) erzeugen (in C)

```

1  #include <sys/ipc.h>
2  #include <sys/shm.h>
3  #include <stdio.h>
4  #define MAXMEMSIZE 20
5
6  int main(int argc, char **argv) {
7      int shared_memory_id = 12345;
8      int returncode_shmget;
9
10     // Gemeinsames Speichersegment erzeugen
11     // IPC_CREAT = Speichersegment erzeugen, wenn es noch nicht existiert
12     // 0600 = Zugriffsrechte auf das neue gemeinsame Speichersegment
13     returncode_shmget = shmget(shared_memory_id, MAXMEMSIZE, IPC_CREAT | 0600);
14
15     if (returncode_shmget < 0) {
16         printf("Das gemeinsame Speichersegment konnte nicht erstellt werden.\n");
17         perror("shmget");
18     } else {
19         printf("Das gemeinsame Speichersegment wurde erstellt.\n");
20     }
21 }

```

```

$ ipcs -m
----- Shared Memory Segments -----
key            shmids   owner      perms      bytes      nattch     status
0x00003039 56393780  bnc        600        20         0

```

\$ printf "%d\n" 0x00003039 # Umrechnen von Hexadezimal in Dezimal  
12345

# Gemeins. Speichersegment (System V) anhängen (in C)

```
1 #include <sys/types.h>
2 #include <sys/ipc.h>
3 #include <sys/shm.h>
4 #include <stdio.h>
5 #define MAXMEMSIZE 20
6
7 int main(int argc, char **argv) {
8     int shared_memory_id = 12345;
9     int returncode_shmget;
10    char *sharedmempointer;
11
12    // Gemeinsames Speichersegment erzeugen
13    returncode_shmget = shmget(shared_memory_id, MAXMEMSIZE, IPC_CREAT | 0600);
14    ...
15
16    // Gemeinsames Speichersegment anhängen
17    sharedmempointer = shmat(returncode_shmget, 0, 0);
18    if (sharedmempointer==(char *)-1) {
19        printf("Das gemeinsame Speichersegment konnte nicht angehängt werden.\n");
20        perror("shmat");
21    } else {
22        printf("Das Segment wurde angehängt an Adresse %p\n", sharedmempointer);
23    }
24 }
25 }
```

```
$ ipcs -m
----- Shared Memory Segments -----
key      shmid    owner    perms    bytes    nattch   status
0x00003039 56393780 bnc      600      20       1
```

# In ein Speichersegment (System V) schreiben und daraus lesen (in C)

```
1 #include <sys/types.h>
2 #include <sys/ipc.h>
3 #include <sys/shm.h>
4 #include <stdio.h>
5 #define MAXMEMSIZE 20
6
7 int main(int argc, char **argv) {
8     int shared_memory_id = 12345;
9     int returncode_shmget, returncode_shmctl, returncode_sprintf;
10    char *sharedmempointer;
11
12    // Gemeinsames Speichersegment erzeugen
13    returncode_shmget = shmget(shared_memory_id, MAXMEMSIZE, IPC_CREAT | 0600);
14    ...
15    // Gemeinsames Speichersegment anhängen
16    sharedmempointer = shmat(returncode_shmget, 0, 0);
17    ...
18
19    // Eine Zeichenkette in das gemeinsame Speichersegment schreiben
20    returncode_sprintf = sprintf(sharedmempointer, "Hallo Welt.");
21    if (returncode_sprintf < 0) {
22        printf("Der Schreibzugriff ist fehlgeschlagen.\n");
23    } else {
24        printf("%i Zeichen in das Segment geschrieben.\n", returncode_sprintf);
25    }
26
27    // Die Zeichenkette im gemeinsamen Speichersegment ausgeben
28    if (printf ("%s\n", sharedmempointer) < 0) {
29        printf("Der Lesezugriff ist fehlgeschlagen.\n");
30    }
31    ...
```

# Gemeinsames Speichersegment (System V) lösen (in C)

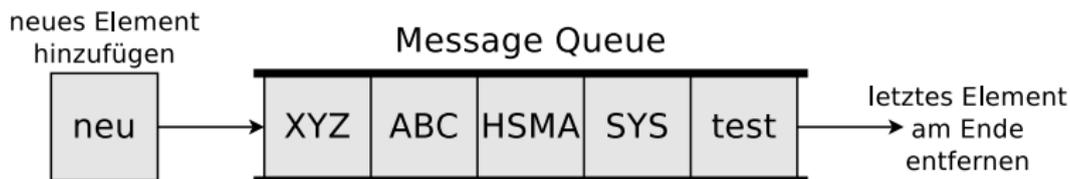
```
1 #include <sys/types.h>
2 #include <sys/ipc.h>
3 #include <sys/shm.h>
4 #include <stdio.h>
5 #define MAXMEMSIZE 20
6
7 int main(int argc, char **argv) {
8     int shared_memory_id = 12345;
9     int returncode_shmget;
10    int returncode_shmdt;
11    char *sharedmempointer;
12
13    // Gemeinsames Speichersegment erzeugen
14    returncode_shmget = shmget(shared_memory_id, MAXMEMSIZE, IPC_CREAT | 0600);
15    ...
16
17    // Gemeinsames Speichersegment anhängen
18    sharedmempointer = shmat(returncode_shmget, 0, 0);
19    ...
20
21    // Gemeinsames Speichersegment lösen
22    returncode_shmdt = shmdt(sharedmempointer);
23    if (returncode_shmdt < 0) {
24        printf("Das gemeinsame Speichersegment konnte nicht gelöst werden.\n");
25        perror("shmdt");
26    } else {
27        printf("Das Segment wurde vom Prozess gelöst.\n");
28    }
29 }
30 }
```

# Gemeinsames Speichersegment (System V) löschen (in C)

```
1 #include <sys/types.h>
2 #include <sys/ipc.h>
3 #include <sys/shm.h>
4 #include <stdio.h>
5 #define MAXMEMSIZE 20
6
7 int main(int argc, char **argv) {
8     int shared_memory_id = 12345;
9     int returncode_shmget;
10    int returncode_shmctl;
11    char *sharedmempointer;
12
13    // Gemeinsames Speichersegment erzeugen
14    returncode_shmget = shmget(shared_memory_id, MAXMEMSIZE, IPC_CREAT | 0600);
15    ...
16
17    // Gemeinsames Speichersegment löschen
18    returncode_shmctl = shmctl(returncode_shmget, IPC_RMID, 0);
19    if (returncode_shmctl == -1) {
20        printf("Das gemeinsame Speichersegment konnte nicht gelöscht werden.\n");
21        perror("semctl");
22    } else {
23        printf("Das Segment wurde gelöscht.\n");
24    }
25 }
26 }
```

# Nachrichtwarteschlangen - Message Queues

- Sind verketteten Listen mit Nachrichten
- Arbeiten nach dem Prinzip FIFO
- Prozesse können Daten darin ablegen und daraus abholen
- Vorteil: Auch nach Beendigung des Erzeuger-Prozesses verbleiben die Daten in der Nachrichtwarteschlange



Linux/UNIX-Betriebssysteme stellen 4 Systemaufrufe (System V) für die Arbeit mit Nachrichtwarteschlangen bereit

- `msgget()`: Nachrichtwarteschlange erzeugen oder auf eine bestehende zugreifen
- `msgsnd()`: Nachricht in Nachrichtwarteschlange schreiben (schicken)
- `msgrcv()`: Nachricht aus Nachrichtwarteschlange lesen (empfangen)
- `msgctl()`: Status (u.a. Zugriffsrechte) einer Nachrichtwarteschlange abfragen, ändern oder sie löschen
- Informationen über bestehende Nachrichtwarteschlangen (System V) liefert das Kommando `ipcs`

# Nachrichtenwarteschlangen (System V) erzeugen (in C)

```
1 #include <stdlib.h>
2 #include <sys/types.h>
3 #include <sys/ipc.h>
4 #include <stdio.h>
5 #include <sys/msg.h>
6
7 int main(int argc, char **argv) {
8     int returncode_msgget;
9
10    // Nachrichtenwarteschlange erzeugen oder auf eine bestehende zugreifen
11    // IPC_CREAT => neue Nachrichtenwarteschlange erzeugen, wenn sie noch nicht existiert
12    // 0600 = Zugriffsrechte auf die neue Nachrichtenwarteschlange
13    returncode_msgget = msgget(12345, IPC_CREAT | 0600);
14    if(returncode_msgget < 0) {
15        printf("Die Nachrichtenwarteschlange konnte nicht erstellt werden.\n");
16        exit(1);
17    } else {
18        printf("Die Nachrichtenwarteschlange 12345 mit der ID %i ist nun verfügbar.\n",
19               returncode_msgget);
20    }
```

```
$ ipcs -q
----- Message Queues -----
key           msqid      owner      perms     used-bytes   messages
0x00003039   98304      bnc        600       0             0

$ printf "%d\n" 0x00003039          # Umrechnen von Hexadezimal in Dezimal
12345
```

# In Nachrichtenwarteschlangen (System V) schreiben (in C)

```
1 #include <stdlib.h>
2 #include <sys/types.h>
3 #include <sys/ipc.h>
4 #include <stdio.h>
5 #include <sys/msg.h>
6 #include <string.h>          // Diese Header-Datei ist nötig für strcpy()
7
8 struct msgbuf {             // Template eines Puffers fuer msgsnd und msgrcv
9     long mtype;              // Nachrichtentyp
10    char mtext[80];          // Nachrichtengroesse
11 } msg;                       // msg = Name des Datenverbunds
12
13 int main(int argc, char **argv) {
14     int returncode_msgget;
15
16     // Nachrichtenwarteschlange erzeugen oder auf eine bestehende zugreifen
17     returncode_msgget = msgget(12345, IPC_CREAT | 0600);
18     ...
19
20     msg.mtype = 1;           // Nachrichtentyp festlegen
21     strcpy(msg.mtext, "Testnachricht"); // Nachricht in den Sendepuffer schreiben
22
23     // Eine Nachricht in die Nachrichtenwarteschlange schreiben
24     if (msgsnd(returncode_msgget, &msg, strlen(msg.mtext), 0) == -1) {
25         printf("In die Nachrichtenwarteschlange konnte nicht geschrieben werden.\n");
26         exit(1);
27     }
28 }
```

- Den Nachrichtentyp (eine positive ganze Zahl) definiert der Benutzer

# Ergebnis des Schreibens in die Nachrichtenwarteschlange

- Vorher...

```
$ ipcs -q
----- Message Queues -----
key          msqid      owner      perms      used-bytes  messages
0x00003039  98304     bnc        600         0             0
```

- Nachher...

```
$ ipcs -q
----- Message Queues -----
key          msqid      owner      perms      used-bytes  messages
0x00003039  98304     bnc        600         80            1
```

# Aus Nachrichtenwarteschlangen (System V) lesen (in C)

```
1 #include <stdlib.h>
2 #include <sys/types.h>
3 #include <sys/ipc.h>
4 #include <stdio.h>
5 #include <sys/msg.h>
6 #include <string.h>           // Diese Header-Datei ist nötig für strcpy()
7 typedef struct msgbuf {      // Template eines Puffers fuer msgsnd und msgrcv
8     long mtype;             // Nachrichtentyp
9     char mtext[80];         // Nachrichtengroesse
10 } msg;                       // msg = Name des Datenverbunds
11
12 int main(int argc, char **argv) {
13     int returncode_msgget, returncode_msgrcv;
14     msg receivebuffer;      // Einen Empfangspuffer anlegen
15
16     // Nachrichtenwarteschlange erzeugen oder auf eine bestehende zugreifen
17     returncode_msgget = msgget(12345, IPC_CREAT | 0600)
18
19     msg.mtype = 1;          // Die erste Nachricht vom Typ 1 empfangen
20     // MSG_NOERROR => Nachrichten abschneiden, wenn sie zu lang sind
21     // IPC_NOWAIT => Prozess nicht blockieren, wenn keine Nachricht vom Typ vorliegt
22     returncode_msgrcv = msgrcv(returncode_msgget, &msg, sizeof(msg.mtext), msg.mtype,
23                               MSG_NOERROR | IPC_NOWAIT);
24     if (returncode_msgrcv < 0) {
25         printf("Aus der Nachrichtenwarteschlange konnte nicht gelesen werden.\n");
26         perror("msgrcv");
27     } else {
28         printf("Diese Nachricht wurde aus der Warteschlange gelesen: %s\n", msg.mtext);
29         printf("Die empfangene Nachricht ist %i Zeichen lang.\n", returncode_msgrcv);
30     }
```

# Nachrichtwarteschlangen (System V) löschen (in C)

```
1 #include <stdlib.h>
2 #include <sys/types.h>
3 #include <sys/ipc.h>
4 #include <stdio.h>
5 #include <sys/msg.h>
6
7 int main(int argc, char **argv) {
8     int returncode_msgget;
9     int returncode_msgctl;
10
11     // Nachrichtwarteschlange erzeugen
12     returncode_msgget = msgget(12345, IPC_CREAT | 0600);
13     ...
14
15     // Nachrichtwarteschlange löschen
16     returncode_msgctl = msgctl(returncode_msgget, IPC_RMID, 0);
17     if (returncode_msgctl < 0) {
18         printf("Die Nachrichtwarteschlange mit der ID %i konnte nicht gelöscht werden.\n",
19             returncode_msgget);
20         perror("msgctl");
21         exit(1);
22     } else {
23         printf("Die Nachrichtwarteschlange mit der ID %i wurde gelöscht.\n",
24             returncode_msgget);
25     }
26     exit(0);
27 }
```

Ein Beispiel zur Arbeit mit System V-Nachrichtwarteschlangen unter Linux finden sie auf der Webseite der Vorlesung

# Nachrichtewarteschl. unter Linux (System V vs. POSIX)

- Die bislang beschriebenen Funktionen zur Arbeit mit Nachrichtewarteschlangen sind Teil der **System V**-Schnittstelle
- Einige Entwickler bevorzugen die System V API und andere die POSIX API. ... \\_(ツ)\_/

## In der Header-Datei `mqueue.h` definierte C-Funktionsaufrufe der POSIX-Nachrichtewarteschlangen

- `mq_open()`: Nachrichtewarteschlange erzeugen oder auf eine bestehende zugreifen
- `mq_send()`: Nachricht in eine Nachrichtewarteschlange schreiben (schicken). Blockierende Anweisung
- `mq_timedsend()`: Nachricht in eine Nachrichtewarteschlange schreiben (schicken). Blockierende Anweisung mit Timeout
- `mq_receive()`: Nachricht aus einer Nachrichtewarteschlange lesen (empfangen). Blockierende Anweisung
- `mq_timedreceive()`: Nachricht aus einer Nachrichtewarteschlange lesen (empfangen). Blockierende Anweisung mit Timeout
- `mq_getattr()`: Eigenschaften einer Nachrichtewarteschlange abfragen. Diese sind: Anzahl der Nachrichten in der Warteschlange, maximale Nachrichtengröße, maximale Anzahl an Nachrichten, etc.
- `mq_setattr()`: Eigenschaften einer Nachrichtewarteschlange ändern
- `mq_notify()`: Der Prozess soll benachrichtigt werden, sobald eine Nachricht vorliegt
- `mq_close()`: Nachrichtewarteschlange schließen
- `mq_unlink()`: Nachrichtewarteschlange löschen
- Unter Linux liegen POSIX-Speichersegmente im Verzeichnis `/dev/mqueue`

Ein Beispiel zur Arbeit mit benannten POSIX-Nachrichtewarteschlangen unter Linux finden sie auf der Webseite der Vorlesung

# Anonyme Pipes (1/2)

- Pipes können **anonyme** oder **benannte Pipes** (siehe Folie 44) sein
- Eine **anonyme Pipe**. . .
  - ist ein gepufferter unidirektionaler Kommunikationskanal zwischen 2 Prozessen
    - Soll Kommunikation in beide Richtungen gleichzeitig möglich sein, sind 2 Pipes nötig – eine für jede mögliche Kommunikationsrichtung
  - arbeitet nach dem FIFO-Prinzip
  - hat eine begrenzte Kapazität
    - Pipe = voll  $\implies$  der in die Pipe schreibende Prozess wird blockiert
    - Pipe = leer  $\implies$  der aus der Pipe lesende Prozess wird blockiert
  - wird mit dem Systemaufruf `pipe()` angelegt
    - Dabei erzeugt der Betriebssystemkern einen Inode ( $\implies$  Foliensatz 6) und 2 Zugriffskennungen (*Handles*)
    - Prozesse greifen auf die Zugriffskennungen mit `read()` und `write()`-Systemaufrufen (oder Bibliotheksfunktionen) zu, um Daten aus der Pipe zu lesen bzw. um Daten in die Pipe zu schreiben

# Anonyme Pipes (2/2)



- Bei der Erzeugung von Kindprozessen mit `fork()` erben die Kindprozesse auch den Zugriff auf die Zugriffs Kennungen
- **Anonyme Pipes** ermöglichen Prozesskommunikation nur zwischen eng verwandten Prozessen
  - Nur Prozesse, die via `fork()` eng verwandt sind, können über anonyme Pipes kommunizieren
  - Mit der Beendigung des letzten Prozesses, der Zugriff auf eine anonyme Pipe hat, wird diese vom Betriebssystem beendet

Übersicht der Pipes unter Linux/UNIX: `lsuf` | `grep pipe`

# Ein Beispiel zu anonymen Pipes (in C) – Teil 1/2

Sie können die anonyme Pipe unter Linux/UNIX mit `lsuf -n -P | grep <PID>` und im Verzeichnis `/proc/<PID>/fd` überwachen

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <unistd.h>
3 #include <stdlib.h>
4
5 void main() {
6     int pid_des_Kindes;
7     // Zugriffskennungen zum Lesen (testpipe[0]) und Schreiben (testpipe[1]) anlegen
8     int testpipe[2];
9
10    // Die Pipe testpipe anlegen
11    if (pipe(testpipe) < 0) {
12        printf("Das Anlegen der anonymen Pipe ist fehlgeschlagen.\n");
13        // Programmabbruch
14        exit(1);
15    } else {
16        printf("Die anonyme Pipe testpipe wurde angelegt.\n");
17    }
18
19    // Einen Kindprozess erzeugen
20    pid_des_Kindes = fork();
21
22    if (pid_des_Kindes < 0) {
23        perror("Es kam bei fork zu einem Fehler!\n");
24        // Programmabbruch
25        exit(1);
26    }
```

# Ein Beispiel zu anonymen Pipes (in C) – Teil 2/2

```
27 // Elternprozess
28 if (pid_des_Kindes > 0) {
29     printf("Elternprozess: PID: %i\n", getpid());
30     // Lesekanal der Pipe testpipe blockieren
31     close(testpipe[0]);
32     char nachricht[] = "Testnachricht";
33     // Daten in den Schreibkanal der Pipe schreiben
34     write(testpipe[1], &nachricht, sizeof(nachricht));
35 }
36
37 // Kindprozess
38 if (pid_des_Kindes == 0) {
39     printf("Kindprozess: PID: %i\n", getpid());
40     // Schreibkanal der Pipe testpipe blockieren
41     close(testpipe[1]);
42     // Einen Empfangspuffer (80 Zeichen Kapazität) anlegen
43     char puffer[80];
44     // Daten aus dem Lesekanal der Pipe auslesen
45     read(testpipe[0], puffer, sizeof(puffer));
46     printf("Empfangen: %s\n", puffer);
47 }
48 }
```

```
$ gcc anonyme_pipe_beispiel.c -o anonyme_pipe_beispiel
$ ./anonyme_pipe_beispiel
Die anonyme Pipe testpipe wurde angelegt.
Elternprozess: PID: 6363
Kindprozess: PID: 6364
Empfangen: Testnachricht
```

# Benannte Pipes

- Via **benannte Pipes** (Named Pipes), können auch nicht eng miteinander verwandte Prozesse kommunizieren
  - Auf diese Pipes kann mit Hilfe ihres Namens zugegriffen werden
    - Sie werden in C erzeugt via: `mkfifo("<pfadname>", <zugriffsrechte>)`
    - Jeder Prozess, der den Namen kennt, kann über diesen die Verbindung zur Pipe herstellen und darüber mit anderen Prozessen kommunizieren
- **Wechselseitigen Ausschluss** garantiert das Betriebssystem
  - Zu jedem Zeitpunkt kann nur 1 Prozess auf eine Pipe zugreifen
- Benannte Pipes werden vom Betriebssystem nicht automatisch gelöscht (im Gegensatz zu anonymen Pipes)

# Ein Beispiel zu benannten Pipes (in C) – Teil 1/4

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <unistd.h>
3 #include <stdlib.h>
4 #include <fcntl.h>
5 #include <sys/stat.h>
6
7 void main() {
8     int pid_des_Kindes;
9
10    // Die benannte Pipe anlegen
11    if (mkfifo("testfifo",0666) < 0) {
12        printf("Das Anlegen der benannten Pipe ist fehlgeschlagen.\n");
13        exit(1);
14    } else {
15        printf("Die benannte Pipe testfifo wurde angelegt.\n");
16    }
17
18    // Einen Kindprozess erzeugen
19    pid_des_Kindes = fork();
20
21    if (pid_des_Kindes < 0) {
22        perror("Es kam bei fork zu einem Fehler!\n");
23        exit(1);
24    }
```

Der Funktionsaufruf erzeugt im aktuellen Verzeichnis einen Dateisystemeintrag mit dem Namen testfifo. Der erste Buchstabe in der Ausgabe des Kommandos ls zeigt, dass testfifo eine benannte Pipe ist.

```
$ ls -la testfifo
```

```
prw-r--r-- 1 bnc bnc 0 1. Feb 10:15 testfifo
```

# Ein Beispiel zu benannten Pipes (in C) – Teil 2/4

```
25 // Elternprozess
26 if (pid_des_Kindes > 0) {
27     printf("Elternprozess: PID: %i\n", getpid());
28
29     // Zugriffskennung für die benannte Pipe anlegen
30     int fd;
31
32     // Die zu übertragene Nachricht definieren
33     char nachricht[] = "Testnachricht";
34
35     // Die benannte Pipe für Schreibzugriffe öffnen
36     fd = open("testfifo", O_WRONLY);
37
38     // Daten in die benannte Pipe schreiben
39     write(fd, &nachricht, sizeof(nachricht));
40
41     // Die benannte Pipe schließen
42     close(fd);
43 }
```

# Ein Beispiel zu benannten Pipes (in C) – Teil 3/4

```
44 // Kindprozess
45 if (pid_des_Kindes == 0) {
46     printf("Kindprozess: PID: %i\n", getpid());
47
48     // Zugriffskennung für die benannte Pipe anlegen
49     int fd;
50     // Einen Empfangspuffer anlegen
51     char puffer[80];
52
53     // Die benannte Pipe für Lesezugriffe öffnen
54     fd = open("testfifo", O_RDONLY);
55
56     // Daten aus der Pipe auslesen
57     read(fd, puffer, sizeof(puffer));
58     printf("Empfangen:: %s\n", puffer);
59
60     // Die beannte Pipe schließen
61     close(fd);
62
63     // Die benannte Pipe löschen
64     if (unlink("testfifo") < 0) {
65         printf("Das Löschen der benannten Pipe ist fehlgeschlagen.\n");
66         exit(1);
67     } else {
68         printf("Die benannte Pipe wurde gelöscht.\n");
69     }
70 }
71 }
```

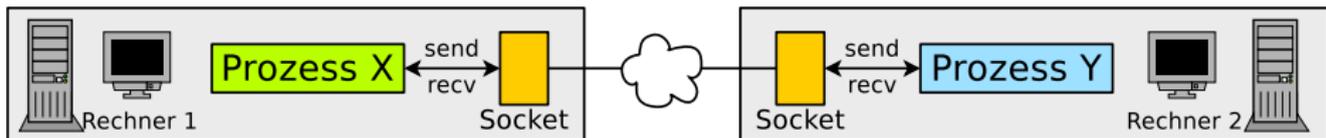
# Ein Beispiel zu benannten Pipes (in C) – Teil 4/4

```
$ gcc benannte_pipe_beispiel.c -o benannte_pipe_beispiel
$ ./benannte_pipe_beispiel
Die benannte Pipe testfifo wurde angelegt.
Elternprozess: PID: 403660
Kindprozess: PID: 403661
Empfangen: Testnachricht
Die benannte Pipe wurde gelöscht.
```

Sie können die benannte Pipe unter Linux/UNIX mit `lsuf -n -P | grep <PID>` und im Verzeichnis `/proc/<PID>/fd` überwachen

# Sockets

- Vollduplexfähige Alternative zu Pipes und gemeinsamem Speicher
  - Ermöglichen Interprozesskommunikation in verteilten Systemen
- Ein Benutzerprozess kann einen Socket vom Betriebssystem anfordern, und über diesen anschließend Daten verschicken und empfangen
  - Das Betriebssystem verwaltet alle benutzten Sockets und die zugehörigen Verbindungsinformationen



- Zur Kommunikation über Sockets werden Ports verwendet
  - Die Vergabe der Portnummern erfolgt beim Verbindungsaufbau
  - Portnummern werden vom Betriebssystem zufällig vergeben
    - Ausnahmen sind Ports bekannter Anwendungen, wie z.B. HTTP (80), SMTP (25), Telnet (23), SSH (22), FTP (21),...

# Verschiedene Arten von Sockets

- **Verbindungslose Sockets (bzw. Datagram Sockets)**
  - Verwenden das Transportprotokoll UDP
  - Vorteil: Höhere Geschwindigkeit als bei TCP
    - Grund: Geringer Mehraufwand (Overhead) für das Protokoll
  - Nachteil: Segmente können einander überholen oder verloren gehen
  
- **Verbindungsorientierte Sockets (bzw. Stream Sockets)**
  - Verwenden das Transportprotokoll TCP
  - Vorteil: Höhere Verlässlichkeit
    - Segmente können nicht verloren gehen
    - Segmente kommen immer in der korrekten Reihenfolge an
  - Nachteil: Geringere Geschwindigkeit als bei UDP
    - Grund: Höherer Mehraufwand (Overhead) für das Protokoll

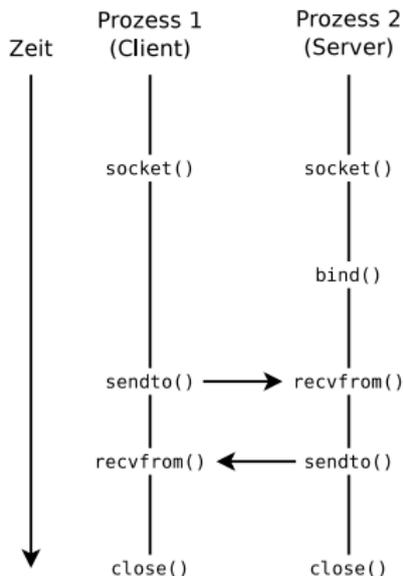
# Sockets nutzen

- Praktisch alle gängigen Betriebssysteme unterstützen Sockets
  - Vorteil: Bessere Portabilität der Anwendungen
- Funktionen für Kommunikation via Sockets:
  - Erstellen eines Sockets:  
`socket()`
  - Anbinden eines Sockets an eine Portnummer und empfangsbereit machen:  
`bind()`, `listen()`, `accept()` und `connect()`
  - Senden/Empfangen von Nachrichten über den Socket:  
`send()`, `sendto()`, `recv()` und `recvfrom()`
  - Schließen eines Sockets:  
`shutdown()` oder `close()`

Übersicht der Sockets unter Linux/UNIX: `netstat -n` oder `lsof | grep socket`

Beispiele zur Interprozesskommunikation via Sockets (TCP and UDP) unter Linux finden Sie auf der Webseite der Vorlesung

# Verbindungslose Kommunikation mit Sockets – UDP



## • Client

- Socket erstellen (`socket`)
- Daten senden (`sendto`) und empfangen (`recvfrom`)
- Socket schließen (`close`)

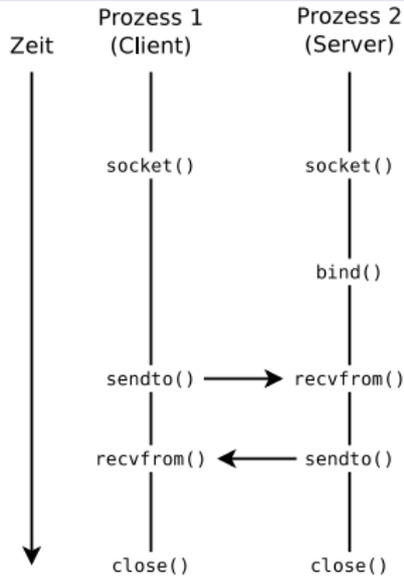
## • Server

- Socket erstellen (`socket`)
- Socket an einen Port binden (`bind`)
- Daten senden (`sendto`) und empfangen (`recvfrom`)
- Socket schließen (`close`)

# Sockets via UDP – Beispiel (Server)

```

1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3  #include <string.h>
4  #include <sys/socket.h>
5  #include <netinet/in.h>
6  #include <unistd.h>
7  #include <arpa/inet.h>
8
9  int main(int argc, char *argv[]) {
10     int sd, adresse_laenge;
11     char puffer[1024] = { 0 };
12     struct sockaddr_in adresse, client_adresse;
13     memset(&adresse, 0, sizeof(adresse));
14     memset(&client_adresse, 0, sizeof(client_adresse));
15     adresse.sin_family = AF_INET;
16     adresse.sin_addr.s_addr = INADDR_ANY;
17     adresse.sin_port = htons(atoi(argv[1]));
18
19     sd = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM, 0);
20     bind(sd, (struct sockaddr *) &adresse, sizeof(adresse));
21     adresse_laenge = sizeof(client_adresse);
22     recvfrom(sd, (char *)puffer, sizeof(puffer), 0,
23             (struct sockaddr *) &client_adresse, &adresse_laenge);
24     printf("Empfangene Nachricht: %s\n", puffer);
25     char antwort[]="Server: Nachricht empfangen.\n";
26     sendto(sd, (const char *)antwort, sizeof(antwort), 0,
27           (struct sockaddr *) &client_adresse, adresse_laenge);
28     close(sd);
29     exit(0);
30 }
    
```

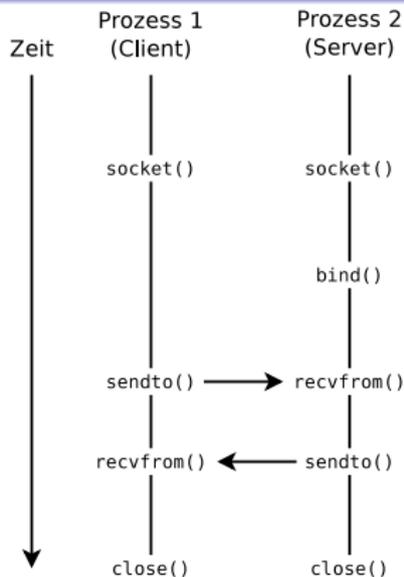


```

$ gcc udp_server.c -o udp_server
$ ./udp_server 50002
    
```

# Sockets via UDP – Beispiel (Client)

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 #include <string.h>
4 #include <sys/socket.h>
5 #include <netinet/in.h>
6 #include <unistd.h>
7 #include <arpa/inet.h>
8
9 int main(int argc, char *argv[]) {
10     int sd, adresse_laenge;
11     char puffer[1024] = { 0 };
12     struct sockaddr_in adresse;
13     memset(&adresse, 0, sizeof(adresse));
14     adresse.sin_family = AF_INET;
15     adresse.sin_port = htons(atoi(argv[2]));
16     adresse.sin_addr.s_addr = inet_addr(argv[1]);
17
18     sd = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM, 0);
19     printf("Bitte Nachricht eingeben: ");
20     fgets(puffer, sizeof(puffer), stdin);
21     adresse_laenge = sizeof(adresse);
22     sendto(sd, (const char *)puffer, strlen(puffer), 0,
23           (struct sockaddr *) &adresse, adresse_laenge);
24     memset(puffer, 0, sizeof(puffer));
25     recvfrom(sd, (char *)puffer, sizeof(puffer), 0,
26            (struct sockaddr *) &adresse, &adresse_laenge);
27     printf("%s\n", puffer);
28     close(sd);
29     exit(0);
30 }
```



```
$ gcc udp_client.c -o udp_client
$ ./udp_client 127.0.0.1 50002
Bitte Nachricht eingeben: Test
Server: Nachricht empfangen.
```

```
$ ./udp_server 50002
Empfangene Nachricht: Test
```

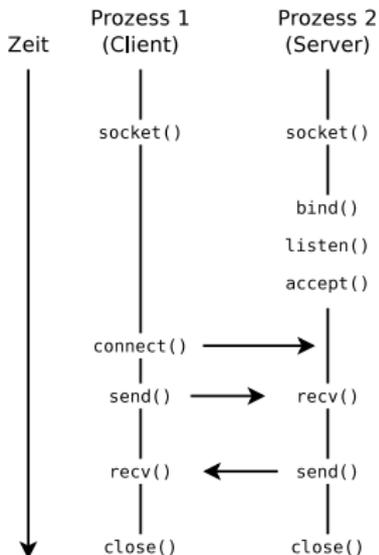
# Verbindungsorientierte Kommunikation mit Sockets – TCP

## ● Client

- Socket erstellen (socket)
- Client mit Server-Socket verbinden (connect)
- Daten senden (send) und empfangen (recv)
- Socket schließen (close)

## ● Server

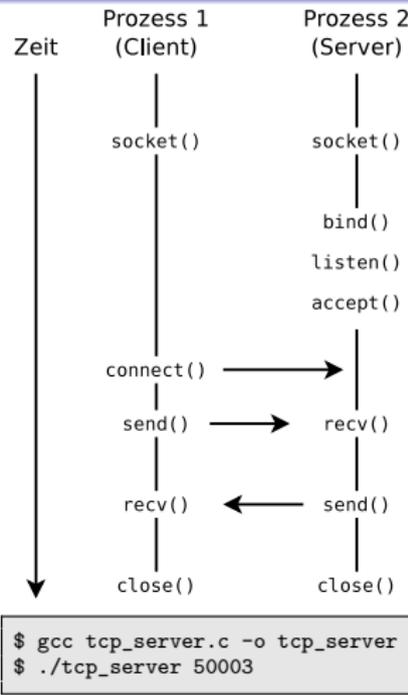
- Socket erstellen (socket)
- Socket an einen Port binden (bind)
- Socket empfangsbereit machen (listen)
  - Warteschlange für Verbindungsanfragen einrichten. Definiert wie viele Verbindungsanfragen gepuffert werden können
- Verbindungsanforderung akzeptieren (accept)
  - Erste Verbindungsanforderung aus der Warteschlange holen
- Daten senden (send) und empfangen (recv)
- Socket schließen (close)



# Sockets via TCP – Beispiel (Server)

```

1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3  #include <string.h>
4  #include <sys/socket.h>
5  #include <netinet/in.h>
6  #include <unistd.h>
7  #include <arpa/inet.h>
8
9  int main(int argc, char *argv[]) {
10     int sd, fd, adresse_laenge;
11     char puffer[1024] = { 0 };
12     struct sockaddr_in adresse;
13     memset(&adresse, 0, sizeof(adresse));
14     adresse.sin_family = AF_INET;
15     adresse.sin_addr.s_addr = INADDR_ANY;
16     adresse.sin_port = htons(atoi(argv[1]));
17
18     sd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0);
19     bind(sd, (struct sockaddr *) &adresse, sizeof(adresse));
20     listen(sd, 5);
21     adresse_laenge = sizeof(adresse);
22     fd = accept(sd, (struct sockaddr *) &adresse, &adresse_laenge);
23     read(fd, puffer, sizeof(puffer));
24     printf("Empfangene Nachricht: %s\n", puffer);
25     char antwort[]="Server: Nachricht empfangen.\n";
26     write(fd, antwort, sizeof(antwort));
27     close(fd);
28     close(sd);
29     exit(0);
30 }
    
```

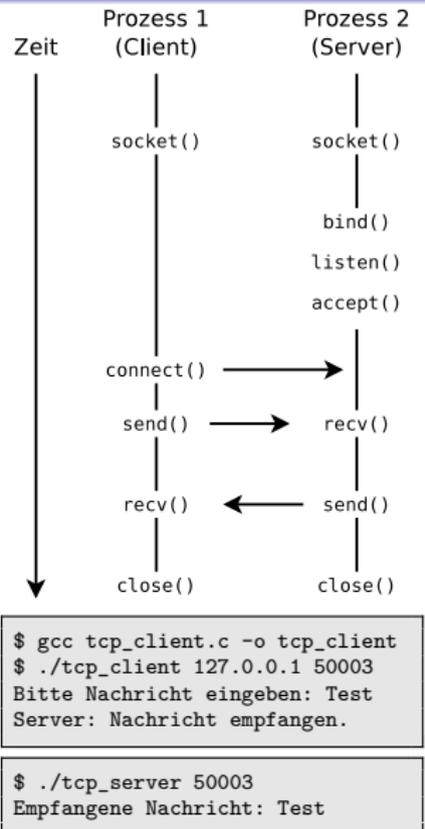


# Sockets via TCP – Beispiel (Client)

```

1  #include <stdio.h>
2  #include <stdlib.h>
3  #include <string.h>
4  #include <sys/socket.h>
5  #include <netinet/in.h>
6  #include <unistd.h>
7  #include <arpa/inet.h>
8
9  int main(int argc, char *argv[]) {
10     int sd;
11     char puffer[1024] = { 0 };
12     struct sockaddr_in adresse;
13     memset(&adresse, 0, sizeof(adresse));
14     adresse.sin_family = AF_INET;
15     adresse.sin_port = htons(atoi(argv[2]));
16     adresse.sin_addr.s_addr = inet_addr(argv[1]);
17
18     sd = socket(AF_INET, SOCK_STREAM, 0);
19     connect(sd, (struct sockaddr *) &adresse, sizeof(adresse));
20
21     printf("Bitte Nachricht eingeben: ");
22     fgets(puffer, sizeof(puffer), stdin);
23     write(sd, puffer, strlen(puffer));
24     memset(puffer, 0, sizeof(puffer));
25     read(sd, puffer, sizeof(puffer));
26     printf("%s\n", puffer);
27
28     close(sd);
29     exit(0);
30 }

```



# Vergleich der Kommunikations-Systeme

	Gemeinsamer Speicher	Nachrichtenwarteschlangen	anonyme Pipes	benannte Pipes	Sockets
<b>Speicherbasierte oder nachrichtenbasierte Kommunikation</b>	Speicher	Nachrichten	Nachrichten	Nachrichten	Nachrichten
<b>Bidirektional</b>	ja	ja	nein	nein	ja
<b>Prozesse müssen verwandt sein</b>	nein	nein	ja	nein	nein
<b>Kommunikation über Rechnergrenzen</b>	nein	nein	nein	nein	ja
<b>Bleiben ohne gebundenen Prozess erhalten</b>	ja	ja	nein	ja	nein
<b>Automatische Synchronisierung der Zugriffe</b>	nein	ja	ja	ja	ja

● **Vorteile nachrichtenbasierte vs. speicherbasierte Kommunikation:**

- Das Betriebssystem nimmt den Benutzerprozessen die Synchronisation der Zugriffe ab  $\implies$  komfortabel
- Einsetzbar in verteilten Systemen ohne gemeinsamen Speicher
- Bessere Portabilität der Anwendungen

Speicher kann über Netzwerkverbindungen eingebunden werden

- z.B. durch Nutzung eines Protokolls wie Network File System (NFS) oder Server Message Block (SMB)
- Das ermöglicht speicherbasierte Kommunikation zwischen Prozessen auf verschiedenen, unabhängigen Systemen
- Das Problem der Synchronisation der Zugriffe besteht aber auch hier



# Semaphoren

- Zur Sicherung (Sperrung) kritischer Abschnitte können außer den bekannten Sperrern auch **Semaphoren** eingesetzt werden
- 1965: Veröffentlicht von Edsger W. Dijkstra
- Ein Semaphor ist eine Zählersperre **S** mit Operationen **P(S)** und **V(S)**
  - **V** kommt vom holländischen *verhogen* = erhöhen
  - **P** kommt vom holländischen *proberen* = versuchen (zu verringern)
- Die **Zugriffoperationen sind atomar**  $\implies$  nicht unterbrechbar (unteilbar)
- Kann auch mehreren Prozessen das Betreten des kritischen Abschnitts erlauben
  - Im Gegensatz zu Sperrern können Semaphoren ( $\implies$  Folie 14) immer nur einem Prozess das Betreten des kritischen Abschnitts erlauben

Die korrekte Grammatik ist *das Semaphor*, Plural *die Semaphore*

Cooperating sequential processes. Edsger W. Dijkstra (1965)

<https://www.cs.utexas.edu/~EWD/ewd01xx/EWD123.PDF>



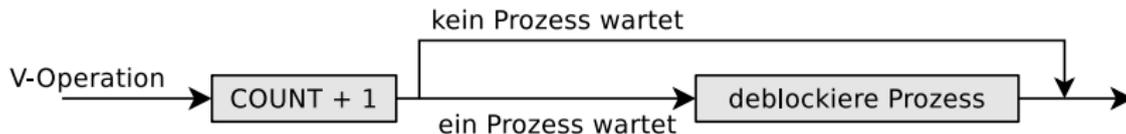


## Zugriffsoperationen auf Semaphoren (3/3)

Bildquelle: Carsten Vogt

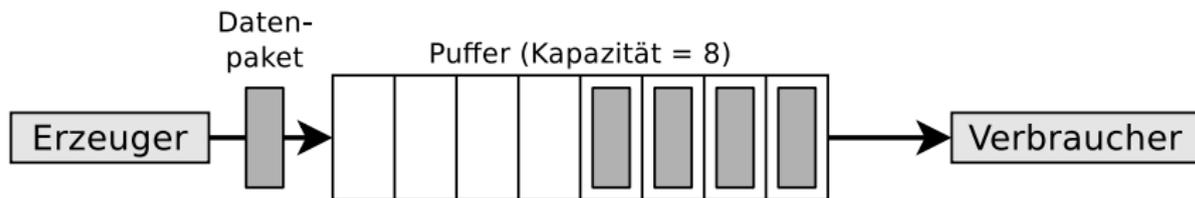
- **V-Operation** (*erhöhen*): Erhöht als erstes die Zählvariable um 1
  - Befinden sich Prozesse im Warteraum, wird ein Prozess deblockiert
  - Der gerade deblockierte Prozess setzt dann seine P-Operation fort und erniedrigt als erstes die Zählvariable

```
1 SEM.V() {
2   // Zaehlvariable = Zaehlvariable + 1
3   SEM.COUNT = SEM.COUNT + 1;
4
5   // Sind Prozesse im Warteraum, wird einer deblockiert
6   if ( < SEM-Warteraum ist nicht leer > )
7     < deblockiere einen wartenden Prozess >
8 }
```



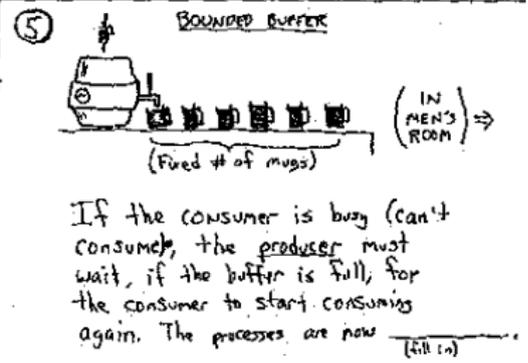
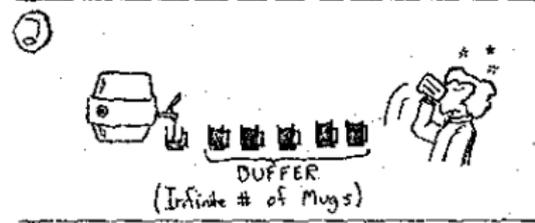
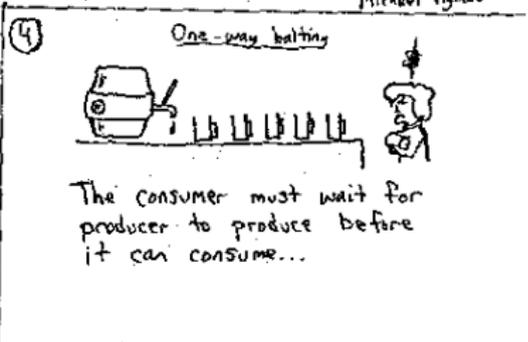
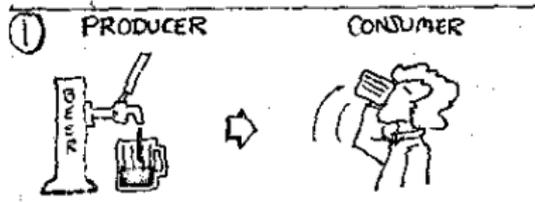
# Erzeuger/Verbraucher-Beispiel (1/3)

- Ein Erzeuger schickt Daten an einen Verbraucher
- Ein endlicher Zwischenspeicher (Puffer) soll Wartezeiten des Verbrauchers minimieren
- Daten werden vom Erzeuger in den Puffer gelegt und vom Verbraucher aus diesem entfernt
- Gegenseitiger Ausschluss ist notwendig, um Inkonsistenzen zu vermeiden
- Puffer = voll  $\implies$  Erzeuger muss blockieren
- Puffer = leer  $\implies$  Verbraucher muss blockieren



A GRAPHIC EXAMPLE OF THE PRODUCER/CONSUMER PROBLEM

Michael Vignau



Quelle: Kenneth Baclawski (Northeastern University in Boston), Bildquelle: Michael Vignau (Lizenz: unbekannt)  
<http://www.ccs.neu.edu/home/kenb/tutorial/example.gif>

# Erzeuger/Verbraucher-Beispiel (2/3)

- Zur Synchronisation der Zugriffe werden 3 Semaphore verwendet:
  - leer
  - voll
  - mutex
- Semaphore `voll` und `leer` werden gegenläufig zueinander eingesetzt
  - `leer` zählt die freien Plätze im Puffer, wird vom Erzeuger (P-Operation) erniedrigt und vom Verbraucher (V-Operation) erhöht
    - `leer = 0`  $\implies$  Puffer vollständig belegt  $\implies$  Erzeuger blockieren
  - `voll` zählt die Datenpakete (belegte Plätze) im Puffer, wird vom Erzeuger (V-Operation) erhöht und vom Verbraucher (P-Operation) erniedrigt
    - `voll = 0`  $\implies$  Puffer leer  $\implies$  Verbraucher blockieren
- Semaphore `mutex` ist für den wechselseitigen Ausschluss zuständig

## Binäre Semaphore

- **Binäre Semaphore** werden mit dem Wert 1 initialisiert und garantieren, dass 2 oder mehr Prozesse nicht gleichzeitig in ihre kritischen Bereiche eintreten können
- Beispiel: Das Semaphore `mutex` aus dem Erzeuger/Verbraucher-Beispiel

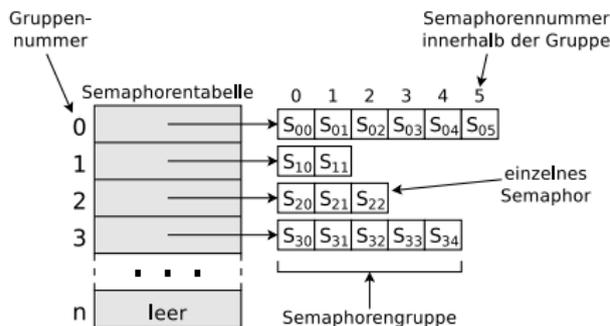
# Erzeuger/Verbraucher-Beispiel (3/3)

```
1 typedef int semaphore;           // Semaphore sind von Typ Integer
2 semaphore voll = 0;              // zählt die belegten Plätze im Puffer
3 semaphore leer = 8;              // zählt die freien Plätze im Puffer
4 semaphore mutex = 1;            // steuert Zugriff auf kritische Bereiche
5
6 void erzeuge(void) {
7     int daten;
8
9     while (TRUE) {               // Endlosschleife
10        erzeugeDatenpaket(daten); // erzeuge Datenpaket
11        P(leer);                  // Zähler "leere Plätze" erniedrigen
12        P(mutex);                 // in kritischen Bereich eintreten
13        einfuegenDatenpaket(daten); // Datenpaket in den Puffer schreiben
14        V(mutex);                 // kritischen Bereich verlassen
15        V(voll);                  // Zähler für volle Plätze erhöhen
16    }
17 }
18
19 void verbraucher(void) {
20     int daten;
21
22     while (TRUE) {               // Endlosschleife
23        P(voll);                  // Zähler "volle Plätze" erniedrigen
24        P(mutex);                 // in kritischen Bereich eintreten
25        entferneDatenpaket(daten); // Datenpaket aus dem Puffer holen
26        V(mutex);                 // kritischen Bereich verlassen
27        V(leer);                  // Zähler für leere Plätze erhöhen
28        verbraucheDatenpaket(daten); // Datenpaket nutzen
29    }
30 }
```

# Semaphoren unter Linux (System V)

Bildquelle: Carsten Vogt

- Linux weicht vom Konzept der Semaphore nach Dijkstra ab
  - Die Zählvariable kann mit einer P- oder V-Operation um mehr als 1 erhöht bzw. erniedrigt werden
  - Es können mehrere Zugriffsoperationen auf verschiedenen Semaphoren atomar, also unteilbar, durchgeführt werden
- Linux-Systeme verwalten eine Semaphortabelle, die Verweise auf Arrays mit Semaphoren enthält
  - Einzelne Semaphoren werden über den Tabellenindex und die Position in der Gruppe angesprochen



Linux/UNIX-Betriebssysteme stellen 3 Systemaufrufe für die Arbeit mit **System V**-Semaphoren bereit

- `semget()`: Neues Semaphore oder eine Gruppe von Semaphoren erzeugen oder ein bestehendes Semaphore öffnen
- `semctl()`: Wert eines existierenden Semaphors oder einer Semaphoregruppe abfragen, ändern oder ein Semaphore löschen
- `semop()`: P- und V-Operationen auf Semaphoren durchführen
- Informationen über bestehende Semaphore liefert das Kommando `ipcs`

# Ein einfaches Beispiel zu Semaphore (in C) – Teil 1/5

Das Programm erstellt einen Kindprozess. Eltern- und Kindprozess versuchen beide, Zeichen in der Shell auszugeben (kritischer Abschnitt). Die Prozesse sollen abwechselnd je ein Zeichen ausgeben. Zwei Semaphore ermöglichen den gegenseitigen Ausschluss

```

1 #include <stdio.h> // für printf
2 #include <stdlib.h> // für exit
3 #include <unistd.h> // für read, write, close
4 #include <sys/wait.h> // für wait
5 #include <sys/sem.h> // für semget, semctl, semop
6
7 void main() {
8     int pid_des_kindes;
9     int sem_key1=12345;
10    int sem_key2=54321;
11    int returncode_semget1, returncode_semget2, returncode_semctl;
12    int output;
13
14    setbuf(stdout, NULL); // Das Puffern Standardausgabe (stdout) unterbinden
15
16    // Neue Semaphoregruppe 12345 mit einer Semaphore erstellen
17    // IPC_CREAT = Semaphore erzeugen, wenn Sie noch nicht existiert
18    // IPC_EXCL = Neuen Semaphoregruppe anlegen und nicht auf evtl. existierende Gruppe zugreifen
19    returncode_semget1 = semget(sem_key1, 1, IPC_CREAT | IPC_EXCL | 0600);
20    if (returncode_semget1 < 0) {
21        printf("Die Semaphoregruppe %i konnte nicht erstellt werden.\n", sem_key1);
22        perror("semget");
23        exit(1);
24    }

```

Gute Dokumentation von semget

<https://www.nt.th-koeln.de/fachgebiete/inf/diplom/semwork/unix/semget/semget.html>

# Ein einfaches Beispiel zu Semaphore (in C) – Teil 2/5

```

25 // Neue Semaphoregruppe 54321 mit einer Semaphore erstellen
26 returncode_semget2 = semget(sem_key2, 1, IPC_CREAT | IPC_EXCL | 0600);
27 if (returncode_semget2 < 0) {
28     printf("Die Semaphoregruppe %i konnte nicht erstellt werden.\n", sem_key2);
29     perror("semget");
30     exit(1);
31 }
32
33 // P-Operation definieren. Wert der Semaphore um eins dekrementieren
34 struct sembuf p_operation = {0, -1, 0};
35
36 // V-Operation definieren. Wert der Semaphore um eins inkrementieren
37 struct sembuf v_operation = {0, 1, 0};
38
39 // Erste Semaphore der Semaphoregruppe 12345 initial auf Wert 1 setzen
40 returncode_semctl = semctl(returncode_semget1, 0, SETVAL, 1);
41
42 // Erste Semaphore der Semaphoregruppe 54321 initial auf Wert 0 setzen
43 returncode_semctl = semctl(returncode_semget2, 0, SETVAL, 0);
44
45 // Initialen Wert der ersten Semaphore der Semaphoregruppe 12345 zur Kontrolle ausgeben
46 output = semctl(returncode_semget1, 0, GETVAL, 0);
47 printf("Wert der Semaphore mit ID %i und Key %i: %i\n", returncode_semget1, sem_key1, output);
48
49 // Initialen Wert der ersten Semaphore der Semaphoregruppe 54321 zur Kontrolle ausgeben
50 output = semctl(returncode_semget2, 0, GETVAL, 0);
51 printf("Wert der Semaphore mit ID %i und Key %i: %i\n", returncode_semget2, sem_key2, output);

```

Gute Dokumentation von semctl

<https://www.nt.th-koeln.de/fachgebiete/inf/diplom/semwork/unix/semctl/semctl.html>



# Ein einfaches Beispiel zu Semaphore (in C) – Teil 4/5

```

79 // Warten auf die Beendigung des Kindprozesses
80 wait(NULL);
81
82 printf("\n");
83
84 // Semaphoregruppe 12345 entfernen
85 returncode_semctl = semctl(returncode_semget1, 0, IPC_RMID, 0);
86 if (returncode_semctl < 0) {
87     printf("Die Semaphoregruppe %i konnte nicht entfernt werden.\n", returncode_semget1);
88     exit(1);
89 } else {
90     printf("Die Semaphoregruppe mit ID %i und Key %i wurde entfernt.\n", returncode_semget1, sem_key1);
91 }
92
93 // Semaphoregruppe 54321 entfernen
94 returncode_semctl = semctl(returncode_semget2, 0, IPC_RMID, 0);
95 if (returncode_semctl < 0) {
96     printf("Die Semaphoregruppe %i konnte nicht entfernt werden.\n", returncode_semget2);
97     exit(1);
98 } else {
99     printf("Die Semaphoregruppe mit ID %i und Key %i wurde entfernt.\n", returncode_semget2, sem_key2);
100 }
101
102 exit(0);
103 }

```

Ein Beispiel zur Arbeit mit Semaphoren unter Linux finden sie zum Beispiel auf der Webseite der Vorlesung

# Ein einfaches Beispiel zu Semaphore (in C) – Teil 5/5

```
$ gcc semaphore_beispiel_systemv.c -o semaphore_beispiel_systemv
$ ./semaphore_beispiel_systemv
Wert der Semaphore mit ID 98362 und Key 12345: 1
Wert der Semaphore mit ID 98363 und Key 54321: 0
ABABABABAB
Die Semaphorgruppe mit ID 98362 und Key 12345 wurde entfernt.
Die Semaphorgruppe mit ID 98363 und Key 54321 wurde entfernt.
```

```
$ ipcs -s

----- Semaphore Arrays -----
key          semid        owner        perms        nsems
0x00003039   98362       bnc          600          1
0x0000d431   98363       bnc          600          1

$ printf "%d\n" 0x00003039           # Convert from hexadecimal to decimal
12345
$ printf "%d\n" 0x0000d431
54321
```

- Ohne gegenseitigen Ausschluss mittels der Semaphoren ist die Ausgabe z. B. so: ABBABABABA oder ABBAABABAB oder, ABABABABBA ...
- Ohne gegenseitigen Ausschluss mittels der Semaphoren und ohne die `sleep`-Befehle ist die Ausgabesequenz normalerweise AAAAABBBBB und in relativ seltenen Fällen ähnlich wie AABAAABBBB

# Semaphoren unter Linux (System V vs. POSIX)

- Das in bislang beschriebene Konzept zum Schutz kritischer Abschnitte heißt in der Literatur auch **System V-Semaphoren**
- Einige Entwickler bevorzugen die System V API und andere die POSIX API... ¯\\_(\`)/¯

In der Header-Datei `semaphore.h` definierte C-Funktionsaufrufe der POSIX-Semaphoren

- `sem_init()`: Neue **unbenannte** Semaphore erzeugen und dabei den initialen Wert definieren
- `sem_open()`: Neue **benannte** Semaphore erzeugen und dabei den initialen Wert definieren
- `sem_post()`: Den Wert einer Semaphore inkrementieren (V-Operation)
- `sem_wait()`: Den Wert einer Semaphore dekrementieren (P-Operation). Blockierende Anweisung
- `sem_trywait()`: Den Wert einer Semaphore dekrementieren (P-Operation). Nicht-blockierende Anweisung
- `sem_wait()`: Den Wert einer Semaphore dekrementieren (P-Operation). Blockierende Anweisung mit definiertem Timeout
- `sem_getvalue()`: Den Wert einer Semaphore abfragen
- `sem_destroy()`: Eine **unbenannte** Semaphore löschen
- `sem_close()`: Eine **benannte** Semaphore schließen
- `sem_unlink()`: Eine **benannte** Semaphore löschen
- Benannte POSIX-Semaphoren werden unter Linux im Verzeichnis `/dev/shm` with names of the form `sem.<name>`

Ein Beispiel zur Arbeit mit benannten POSIX-Semaphoren unter Linux finden sie auf der Webseite der Vorlesung



