9. Foliensatz Betriebssysteme

Prof. Dr. Christian Baun

Frankfurt University of Applied Sciences (1971-2014: Fachhochschule Frankfurt am Main) Fachbereich Informatik und Ingenieurwissenschaften christianbaun@fb2.fra-uas.de

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
 - welche Probleme (Verhungern und Deadlocks) beim Blockieren entstehen können
 - wie Deadlock-Erkennung mit Matrizen funktioniert
 - verschiedene Möglichkeiten der Kommunikation zwischen Prozessen:
 - Gemeinsamer Speicher (Shared Memory)
 - Nachrichtenwarteschlangen (Message Queues)
 - Pipes
 - Sockets
 - verschiedene Möglichkeiten der Kooperation von Prozessen
 - wie **Semaphore** kritische Abschnitte sichern können
 - den Unterschied zwischen Semaphor und Mutex

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?

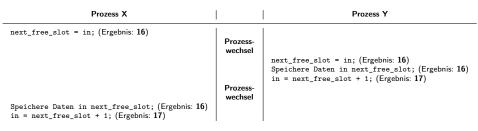
Frage: Wie verhält es sich hier mit Threads?

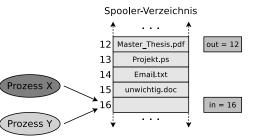
- Bei Threads gelten die gleichen Herausforderungen und Lösungen wie bei Interprozesskommunikation mit Prozessen
- Nur die Kommunikation zwischen den Threads eines Prozesses ist problemlos möglich, weil sie im gleichen Adressraum agieren

Kritische Abschnitte

- Laufen mehrere parallel ausgeführte Prozesse, unterscheidet man:
 - **Unkritische Abschnitte**: Die Prozesse greifen gar nicht oder nur lesend auf gemeinsame Daten zu
 - Kritische Abschnitte: Die Prozesse greifen lesend und schreibend auf gemeinsame Daten zu
 - Kritische Abschnitte dürfen nicht von mehreren Prozessen gleichzeitig durchlaufen werden
- Damit Prozesse auf gemeinsam genutzten Speicher (Daten)
 zugreifen können, ist wechselseitiger Ausschluss (Mutual Exclusion)
 nötig

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 (⇒ Folie 65) 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

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



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

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

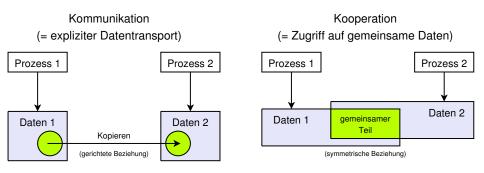
"Once the data entry phase was marked complete, the magnet setting phase began. However, if a specific sequence of edits was applied in the Data Entry phase during the 8 second magnet setting phase, the setting was not applied to the machine hardware, due to the value of the completion variable. The 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 Killer Bug. Therac-25: Quick-and-Dirty: https://www.viva64.com/en/b/0438/ Killed by a machine: The Therac-25: https://ackadav.com/2016/10/26/killed-by-a-machine-the-therac-25/

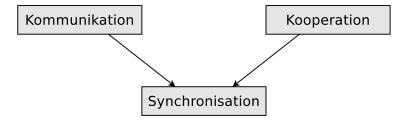
Kommunikation vs. Kooperation

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



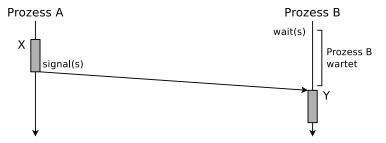
Interaktionsformen

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

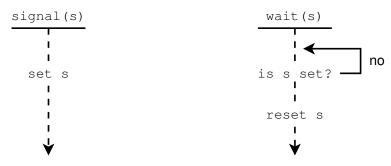


Signalisierung

- 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
 - ullet Prozess P_B muss eventuell auf das Signal von Prozess P_A warten



Einfachste Form der Signalisierung (aktives Warten)

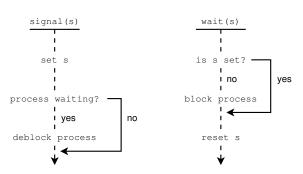


- Die Abbildung zeigt aktives Warten an der Signalvariable s
 - Die Signalvariable kann sich zum Beispiel in einer lokalen Datei befinden
 - Nachteil: Rechenzeit der CPU wird verschwendet, weil die wait-Operation den Prozessor in regelmäßigen Abständen belegt
- Diese Technik heißt auch Warteschleife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

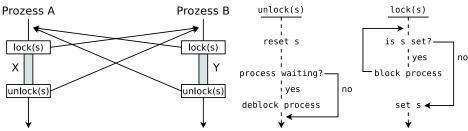


Eine Möglichkeit, um unter Linux eine Ausführungsreihenfolge mit passivem Warten festzulegen, ist die Funktion sigsuspend. Damit blockiert sich ein Prozess so lange selbst, bis ein anderer Prozess ihm mit der Funktion kill (oder dem gleichnamigen Systemaufruf) ein passendes Signal (meist SIGUSR1 oder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

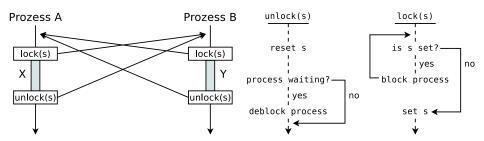
Schutz kritischer Abschnitte durch Sperren / Blockieren

- Beim Signalisieren wird immer eine Ausführungsreihenfolge festlegt
 - Soll aber einfach nur sichergestellt werden, dass es keine Überlappung in der Ausführung der kritischen Abschnitte gibt, können die beiden Operationen lock und unlock eingesetzt werden



- Sperren (Blockieren) vermeidet Überlappungen bei der Abarbeitung von 2 kritischen Abschnitten
 - ullet Beispiel: Kritische Abschnitte ${f X}$ von Prozess P_A und ${f Y}$ von Prozess P_B

Sperren 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 Sperren 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

Sperren und Freigeben von Prozessen unter Linux (2/2)

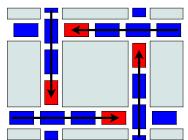
- Alternative 2: Eine lokale Datei dient als Sperrmechanismus für wechselseitigen Ausschluss
 - Jeder Prozess prüft vor dem Eintritt in seinen kritischen Abschnitt, ob er die Datei exklusiv öffnen kann
 - z.B. mit dem Systemaufruf open oder der Bibliotheksfunktion fopen
 - Ist das nicht der Fall, muss 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
- Sperren / 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

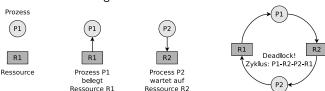
System Deadlocks. E. G. Coffman, M. J. Elphick, A. Shoshani. Computing Surveys, Vol. 3, No. 2, June 1971, S.67-78. http://people.cs.umass.edu/-mcorner/courses/691J/papers/TS/coffman_deadlocks/coffman_deadlocks.pdf

- 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, k\u00f6nnen 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 Bedingung, ist ein Deadlock unmöglich

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 Siegert, 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 =
$$\begin{pmatrix} 4 & 2 & 3 & 1 \end{pmatrix}$$

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

- Prozess 1 belegt 1 Ressource von Klasse
- 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

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

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

Wurde Prozess 3 fertig ausgeführt, gibt er seine Ressourcen frei

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

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

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

Kooperation von Prozessen

- Ressource vom Typ 4 frei ist
- Prozess 2 ist nicht blockiert

Ressourcenrestvektor =
$$\begin{pmatrix} 4 & 2 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$
 Anforderungsmatrix = $\begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 1 \\ - & - & - & - \\ - & - & - & - \end{bmatrix}$

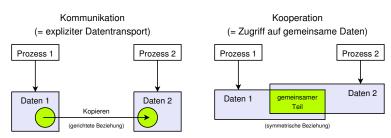
Prozess 1 ist nicht blockiert ⇒ kein Deadlock in diesem Beispiel

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:
 - Prozesstabelle voll
 - Es können keine neuen Prozesse erzeugt werden
 - Maximale Anzahl von Inodes vergeben
 - Es können keine neuen Dateien und Verzeichnisse angelegt werden
- ullet Die Wahrscheinlichkeit, dass so etwas passiert, ist gering, aber eq 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)

Kommunikation von Prozessen

- Kommunikation
 - Gemeinsamer Speicher (Shared Memory)
 - Nachrichtenwarteschlangen (Message Queues)
 - Pipes
 - Sockets



Gemeinsamer Speicher – Shared Memory

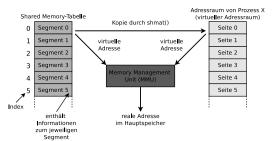
- Prozesskommunikation über einen gemeinsamen Speicher (Shared Memory) heißt auch speicherbasierte Kommunikation
- Gemeinsame Speichersegmente sind Speicherbereiche, auf die mehrere Prozesse direkt zugreifen können
 - Diese Speicherbereiche liegen im Adressraum mehrerer Prozesse
- Die Prozesse müssen 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
 - ullet Ist die Koordinierung der Zugriffe nicht sorgfältig \Longrightarrow 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

Linux/UNIX-Betriebssysteme stellen 4 Systemaufrufe 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
- shmct1(): Status (u.a. Zugriffsrechte) eines gemeinsamen Speichersegments abfragen, ändern oder es löschen

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

ipcs

Informationen über bestehende gemeinsame Speichersegmente liefert das Kommando ipcs

Gemeinsames Speichersegment erzeugen (in C)

```
1 #include <sys/ipc.h>
 2 #include <svs/shm.h>
 3 #include <stdio.h>
   #define MAXMEMSIZE 20
  int main(int argc, char **argv) {
7
       int shared_memory_id = 12345;
       int returncode_shmget;
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 shmid owner perms bytes nattch status 0x00003039 56393780 bnc 600 20 0

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

Gemeinsames Speichersegment anhängen (in C)

```
1 #include <sys/types.h>
 2 #include <sys/ipc.h>
  #include <sys/shm.h>
   #include <stdio.h>
  #define MAXMEMSIZE 20
6
   int main(int argc, char **argv) {
       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
           7
24
       }
25 }
```

In ein Speichersegment schreiben und daraus lesen (in C)

```
1 #include <svs/tvpes.h>
 2 #include <sys/ipc.h>
 3 #include <sys/shm.h>
  #include <stdio.h>
 5 #define MAXMEMSIZE 20
6
   int main(int argc, char **argv) {
       int shared memory id = 12345:
9
       int returncode_shmget, returncode_shmdt, 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 lösen (in C)

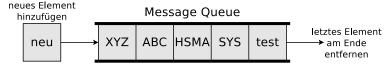
```
1 #include <sys/types.h>
 2 #include <sys/ipc.h>
 3 #include <sys/shm.h>
   #include <stdio.h>
 5 #define MAXMEMSIZE 20
6
   int main(int argc, char **argv) {
       int shared memory id = 12345:
 9
       int returncode_shmget;
10
       int returncode_shmdt;
       char *sharedmempointer;
11
12
13
       // Gemeinsames Speichersegment erzeugen
       returncode_shmget = shmget(shared_memory_id, MAXMEMSIZE, IPC_CREAT | 0600);
14
15
16
17
           // Gemeinsames Speichersegment anhängen
           sharedmempointer = shmat(returncode_shmget, 0, 0);
18
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
       7
30
```

Gemeinsames Speichersegment löschen (in C)

```
1 #include <sys/types.h>
  #include <sys/ipc.h>
  #include <svs/shm.h>
  #include <stdio.h>
  #define MAXMEMSIZE 20
   int main(int argc, char **argv) {
 8
       int shared_memory_id = 12345;
       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
```

Nachrichtenwarteschlangen - 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 Nachrichtenwarteschlange



Linux/UNIX-Betriebssysteme stellen 4 Systemaufrufe für die Arbeit mit Nachrichtenwarteschlangen bereit

- msgget(): Nachrichtenwarteschlange erzeugen oder auf eine bestehende zugreifen
- msgsnd(): Nachrichten in Nachrichtenwarteschlange schreiben (schicken)
- msgrcv(): Nachrichten aus Nachrichtenwarteschlange lesen (empfangen)
- msgct1(): Status (u.a. Zugriffsrechte) einer Nachrichtenwarteschlang abfragen, ändern oder sie löschen

Informationen über bestehende Nachrichtenwarteschlangen liefert das Kommando ipcs

Nachrichtenwarteschlangen erzeugen (in C)

```
1 #include <stdlib.h>
 2 #include <svs/tvpes.h>
 3 #include <sys/ipc.h>
  #include <stdio.h>
  #include <svs/msg.h>
 6
  int main(int argc, char **argv) {
       int returncode_msgget;
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",
                returncode_msgget);
19
       7
20 F
```

```
$ 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 schreiben (in C)

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

Nachrichtenwarteschlangen löschen (in C)

```
#include <stdlib.h>
  #include <svs/tvpes.h>
 3 #include <sys/ipc.h>
   #include <stdio.h>
  #include <svs/msg.h>
 6
  int main(int argc, char **argv) {
       int returncode msgget;
       int returncode_msgctl;
10
11
       // Nachrichtenwarteschlange erzeugen oder auf eine bestehende zugreifen
12
       returncode msgget = msgget(12345, IPC CREAT | 0600):
13
14
15
       // Nachrichtenwarteschlange löschen
16
       returncode_msgctl = msgctl(returncode_msgget, IPC_RMID, 0);
17
       if (returncode_msgctl < 0) {
18
           printf("Die Nachrichtenwarteschlange mit der ID %i konnte nicht gelöscht werden.\
                n", returncode_msgget);
           perror("msgctl");
19
20
           exit(1);
21
       } else {
22
           printf("Die Nachrichtenwarteschlange mit der ID %i wurde gelöscht.\n",
                returncode_msgget);
23
24
       exit(0):
25 }
```

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

Pipes (1/2)

• 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
 - ullet Pipe = voll \Longrightarrow der in die Pipe schreibende Prozess wird blockiert
 - $\bullet \ \mathsf{Pipe} = \mathsf{leer} \Longrightarrow \mathsf{der} \ \mathsf{aus} \ \mathsf{der} \ \mathsf{Pipe} \ \mathsf{lesende} \ \mathsf{Prozess} \ \mathsf{wird} \ \mathsf{blockiert}$
- wird mit dem Systemaufruf pipe() angelegt
 - Dabei erzeugt der Betriebssystemkern einen Inode (⇒ 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



Pipes (2/2)

- Bei der Erzeugung von Kindprozessen mit fork() erben die Kindprozesse auch den Zugriff auf die Zugriffskennungen
- 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
- 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

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

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

```
#include <stdio.h>
   #include <unistd.h>
   #include <stdlib.h>
  void main() {
 6
     int pid_des_Kindes;
 7
     // Zugriffskennungen zum Lesen (testpipe[0]) und Schreiben (testpipe[1]) anlegen
 8
     int testpipe[2]:
g
10
     // Die Pipe testpipe anlegen
11
     if (pipe(testpipe) < 0) {
12
       printf("Das Anlegen der Pipe ist fehlgeschlagen.\n");
13
     // Programmabbruch
14
       exit(1):
15
     } else {
       printf("Die Pipe testpipe wurde angelegt.\n");
16
17
18
19
     // Einen Kindprozess erzeugen
20
     pid_des_Kindes = fork();
21
22
     // Es kam beim fork zu einem Fehler
23
     if (pid_des_Kindes < 0) {
24
       perror("Es kam bei fork zu einem Fehler!\n");
25
       // Programmabbruch
26
       exit(1):
27
```

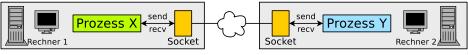
Ein Beispiel zu anonymen Pipes (in C) – Teil 2/2

```
28
        Elternprozess
29
     if (pid des Kindes > 0) {
30
       printf("Elternprozess: PID: %i\n", getpid());
31
       // Lesekanal der Pipe testpipe blockieren
32
       close(testpipe[0]);
33
       char nachricht[] = "Testnachricht":
34
       // Daten in den Schreibkanal der Pipe schreiben
35
       write(testpipe[1], &nachricht, sizeof(nachricht));
36
37
38
     // Kindprozess
39
     if (pid_des_Kindes == 0) {
40
       printf("Kindprozess: PID: %i\n", getpid());
41
       // Schreibkanal der Pipe testpipe blockieren
42
       close(testpipe[1]);
43
       // Einen Empfangspuffer mit 80 Zeichen Kapazität anlegen
44
       char puffer[80];
45
       // Daten aus dem Lesekanal der Pipe auslesen
46
       read(testpipe[0], puffer, sizeof(puffer));
47
       // Empfangene Daten ausgeben
48
       printf("Empfangene Daten: %s\n", puffer);
49
50
```

```
$ gcc pipe_beispiel.c -o pipe_beispiel
$ ./pipe_beispiel
Die Pipe testpipe wurde angelegt.
Elternprozess: PID: 6363
Kindprozess: PID: 6364
Empfangene Daten: Testnachricht
```

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),...
- Einsatz von Sockets ist blockierend (synchron) und nicht-blockierend (asynchron) möglich

Verschiedene Arten von Sockets

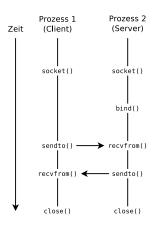
- Verbindungslose Sockets (bzw. Datagram Sockets)
 - Verwenden das Transportprotokoll UDP
 - Vorteil: Höhere Geschwindigkeit als bei TCP
 - Grund: Geringer Mehraufwand (Overhead) für das Protokoll
 - Nachteil: Segmente können einander überholen oder verloren gehen
- Verbindungsorientierte Sockets (bzw. 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 Betriebssystemen 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

Verbindungslose Kommunikation mit Sockets – UDP



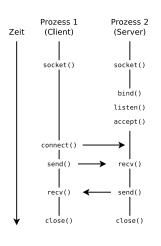
Client

- 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)

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)
 - Richtete eine Warteschlange für Verbindungen mit Clients ein
- Server akzeptiert Verbindungsanforderung (accept)
- Daten senden (send) und empfangen (recv)
- Socket schließen (close)

Einen Socket erzeugen: socket

int socket(int domain, int type, int protocol);

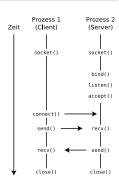
- Ein Aufruf von socket() liefert einen Integerwert zurück
 - Der Wert heißt **Socket-Deskriptor** (socket file descriptor)
- domain: Legt die Protokollfamilie fest
 - PF_UNIX: Lokale Prozesskommunikation unter Linux/UNIX
 - PF_INET: IPv4
 - PF_INET6: IPv6
- type: Legt den Typ des Sockets (und damit auch das Protokoll) fest:
 - SOCK_STREAM: Stream Socket (TCP)
 - SOCK_DGRAM: Datagram Socket (UDP)
 - SOCK_RAW: RAW-Socket (IP)
- Der Parameter protocol hat meist den Wert Null
- Einen Socket mit socket() erzeugen:

```
1 sd = socket(PF_INET, SOCK_STREAM, 0);
2    if (sd < 0) {
3        perror("Der Socket konnte nicht erzeugt werden");
4        return 1;
5    }</pre>
```

Adresse und Portnummer binden: bind

int bind(int sd, struct sockaddr *address, int addrlen);

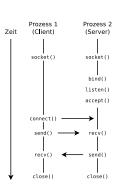
- bind() bindet den neu erstellen Socket (sd) an die Adresse (address) des Servers
 - sd ist der Socket-Deskriptor aus dem vorhergehenden Aufruf von socket()
 - address ist eine Datenstruktur, die die IP-Adresse des Server und eine Portnummer enthält
 - addrlen ist die Länge der Datenstruktur, die die IP-Adresse und Portnummer enthält



Server empfangsbereit machen: listen

int listen(int sd, int backlog);

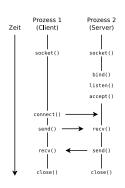
- listen() definiert, wie viele Verbindungsanfragen am Socket gepuffert werden können
 - Ist die listen()-Warteschlange voll, werden weitere Verbindungsanfragen von Clients abgewiesen
 - sd ist der Socket-Deskriptor aus dem vorhergehenden Aufruf von socket()
 - backlog enthält die Anzahl der möglichen Verbindungsanforderungen, die die Warteschlange maximal speichern kann
 - Standardwert: 5
 - Ein Server für Datagrame (UDP) braucht listen() nicht aufzurufen, da er keine Verbindungen zu Clients einrichtet



Eine Verbindungsanforderung akzeptieren: accept

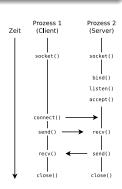
int accept(int sd, struct sockaddr *address, int *addrlen);

- Mit accept() holt der Server die erste Verbindungsanforderung aus der Warteschlange
- Der Rückgabewert ist der Socket-Deskriptor des neuen Sockets
- Enthält die Warteschlange keine Verbindungsanforderungen, ist der Prozess blockiert, bis eine Verbindungsanforderung eintrifft
- address enthält die Adresse des Clients
- Nachdem eine Verbindungsanforderungen mit accept() angenommen wurde, ist die Verbindung mit dem Client vollständig aufgebaut



Verbindung durch den Client herstellen

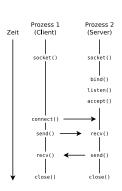
- Via connect() versucht der Client eine Verbindung mit einem Server-Socket herzustellen
- sd ist der Socket-Deskriptor
- servaddr ist die Adresse des Servers
- addrlen ist die Länge der Datenstruktur, die die Adresse enthält



Verbindungsorientierter Datenaustausch: send und recv

```
int send(int sd, char *buffer, int nbytes, int flags);
int recv(int sd, char *buffer, int nbytes, int flags);
```

- Mit send() und recv() werden über eine bestehende Verbindung Daten ausgetauscht
- send() sendet eine Nachricht (buffer) über den Socket (sd)
- recv() empfängt eine Nachricht vom Socket sd und legt diese in den Puffer (buffer)
- sd ist der Socket-Deskriptor
- buffer enthält die zu sendenden bzw. empfangenen Daten
- nbytes gibt die Anzahl der Bytes im Puffer an
- Der Wert von flags ist in der Regel Null



Verbindungsorientierter Datenaustausch: read und write

```
int read(int sd, char *buffer, int nbytes);
int write(int sd, char *buffer, int nbytes);
```

- Unter UNIX könnten im Normalfall auch read() und write() zum Empfangen und Senden über einen Socket verwendet werden
 - Der Normalfall ist, wenn der Parameter flags bei send() und recv() den Wert 0 hat
- Folgende Aufrufe haben das gleiche Ergebnis:

```
send(socket, "Hello World", 11,0);
write(socket, "Hello World", 11);
```

Verbindungsloser Datenaustausch: sendto und recvfrom

- Weiß ein Prozess, an welche Adresse (Host und Port), also an welchen Socket er Daten senden soll, verwendet er dafür sendto()
- sendto() übermittelt mit den Daten immer die lokale Adresse
- sd ist der Socket-Deskriptor
- buffer enthält die zu sendenden bzw. empfangenen Daten
- nbytes gibt die Anzahl der Bytes im Puffer an
- to enthält die Adresse des Empfängers
- from enthält die Adresse des Senders
- addrlen ist die Länge der Datenstruktur, die die Adresse enthält

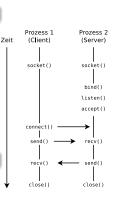
Socket schließen: close

int shutdown(int sd, int how);

- shutdown() schließt eine bidirektionale Socket-Verbindung
- Der Parameter how legt fest, ob künftig keine Daten mehr empfangen werden sollen (how=0), keine mehr gesendet werden (how=1), oder beides (how=2)

```
int close(int sd);
```

 Wird close() anstatt shutdown() verwendet, entspricht dies einem shutdown(sd,2)



Sockets via UDP - Beispiel (Server)

```
1 #!/usr/bin/env python
 2 # -*- coding: iso-8859-15 -*-
  # Server: Empfängt eine Nachricht via UDP
  # Modul socket importieren
                                                              Zeit
                                                                      (Client)
  import socket
  # Stellvertretend für alle Schnittstellen des Hosts
    '' = alle Schnittstellen
  HOST = ''
                                                                     socket()
11 # Portnummer des Servers
12 \text{ PORT} = 50000
13
14 # Socket erzeugen und Socket-Deskriptor zurückliefern
  sd = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_DGRAM)
16
17 try:
18
     sd.bind((HOST, PORT))
                                 # Socket an Port
          binden
19
     while True:
20
       data = sd.recvfrom(1024)
                                  # Daten empfangen
21
       # Empfangene Daten ausgeben
22
       print 'Received:', repr(data)
23
  finally:
24
       sd.close()
                                      # Socket schließen
                                                                      close()
```

```
Prozess 1
            Prozess 2
             (Server)
             socket()
              bind()
recvfrom() ← sendto()
             close()
```

Sockets via UDP – Beispiel (Client)

```
1 #!/usr/bin/env python
   # -*- coding: iso-8859-15 -*-
                                                                                    Prozess 2
                                                                      Prozess 1
  # Client: Schickt eine Nachricht via UDP
                                                               Zeit
                                                                      (Client)
                                                                                     (Server)
  import socket
                               # Modul socket importieren
   HOST = 'localhost'
                              # Hostname des Servers
  PORT = 50000
                              # Portnummer des Servers
                                                                      socket()
                                                                                     socket()
  MESSAGE = 'Hello World'
                               # Nachricht
10
11
  # Socket erzeugen und Socket-Deskriptor zurückliefern
   sd = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_DGRAM)
                                                                                      bind()
13
  # Nachricht an Socket senden
   sd.sendto(MESSAGE, (HOST, PORT))
16
                                                                      sendto() —
                                                                                 recvfrom()
17
  sd.close()
                               # Socket schließen
                                                                     recvfrom() ← sendto()
   $ python udp_client.py
                                                                       close()
                                                                                     close()
   $ python udp_server.py
   Received: ('Hello World', ('127.0.0.1', 39834))
```

Sockets via TCP – Beispiel (Server)

\$ python tcp_server.py

```
#!/usr/bin/env python
  # -*- coding: iso-8859-15 -*-
  # Echo Server via TCP
   import socket
                             # Modul socket importieren
                                                                       Prozess 1
                                                                                      Prozess 2
  HOST = ''
                                # '' = alle Schnittstellen
                                                                 7eit
                                                                        (Client)
                                                                                       (Server)
  PORT = 50007
                                # Portnummer des Servers
  # Socket erzeugen und Socket-Deskriptor zurückliefern
   sd = socket.socket(socket.AF INET, socket.SOCK_STREAM)
                                                                        socket()
                                                                                       socket()
  # Socket an Port binden
11 sd.bind((HOST, PORT))
12 # Socket empfangsbereit machen
                                                                                        bind()
13 # Max. Anzahl Verbindungen = 1
                                                                                       listen()
14 sd.listen(1)
15 # Socket akzeptiert Verbindungen
                                                                                       accept()
   conn, addr = sd.accept()
17
                                                                        connect()
18
   print 'Connected by', addr
19
                                                                         send()
                                                                                        recv()
20
   while 1:
                                # Endlosschleife
21
       data = conn.recv(1024) # Daten empfangen
22
       if not data: break
                                # Endlosschleife abbrechen
                                                                         recv()
                                                                                        send()
23
       # Empfangene Daten zurücksenden
24
       conn.send(data)
25
                                                                        close()
26 sd.close()
                                # Socket schließen
                                                                                       close()
```

Sockets via TCP – Beispiel (Client)

```
1 #!/usr/bin/env python
 2 # -*- coding: iso-8859-15 -*-
 3 # Echo Client via TCP
  # Modul socket importieren
                                                                      Prozess 1
                                                                                     Prozess 2
  import socket
                                                               7eit
                                                                       (Client)
                                                                                     (Server)
7 HOST = 'localhost'
                               # Hostname des Servers
  PORT = 50007
                               # Portnummer des Servers
                                                                       socket()
                                                                                     socket()
 9
  # Socket erzeugen und Socket-Deskriptor zurückliefern
11 sd = socket.socket(socket.AF INET, socket.SOCK STREAM)
                                                                                      bind()
  # Mit Server-Socket verbinden
  sd.connect((HOST, PORT))
                                                                                     listen()
14
                                                                                     accept()
15 sd.send('Hello, world') # Daten senden
16 data = sd.recv(1024) # Daten empfangen
  sd.close()
                               # Socket schließen
                                                                      connect()
18
19
  # Empfangene Daten ausgeben
                                                                       send()
                                                                                      recv()
20 print 'Empfangen:', repr(data)
                                                                        recv()
                                                                                      send()
   $ python tcp_client.py
   Empfangen: 'Hello, world'
                                                                       close()
                                                                                      close()
   $ python tcp_server.py
   Connected by ('127.0.0.1', 49898)
```

Blockierende und nicht-blockierende Sockets

- Wird ein Socket erstellt, ist er standardmäßig im blockierenden Modus
 - Alle Methodenaufrufe warten, bis die von ihnen angestoßene Operation durchgeführt wurde
 - z.B. blockiert ein Aufruf von recv() den Prozess bis Daten eingegangen sind und aus dem internen Puffer des Sockets gelesen werden können
- Die Methode setblocking() ändert den Modus eines Sockets
 - sd.setblocking(0) ⇒ versetzt in den nicht-blockierenden Modus
 - ullet sd.setblocking(1) \Longrightarrow versetzt in den blockierenden Modus
- Es ist möglich, während des Betriebs den Modus jederzeit umzuschalten
 - z.B. könnte man die Methode connect() blockierend und anschließend read() nicht-blockierend verwenden

Quelle: Peter Kaiser, Johannes Ernesti. Python – Das umfassende Handbuch. Galileo (2008)

Nicht-blockierende Sockets - Einige Auswirkungen

- recv() und recvfrom()
 - Die Methoden geben nur dann Daten zurück, wenn sich diese bereits im internen Puffer des Sockets befinden
 - Sind keine Daten im Puffer, werfen die Methoden eine Exception und die Programmausführung läuft weiter
- send() und sendto()
 - Die Methoden versenden die angegebenen Daten nur, wenn sie direkt in den Ausgangspuffer des Sockets geschrieben werden können
 - Ist der Puffer schon voll, werfen die Methoden eine Exception und die Programmausführung läuft weiter
- connect()
 - Die Methode sendet eine Verbindungsanfrage an den Zielsocket und wartet nicht, bis diese Verbindung zustande kommt
 - Wird connect() aufgerufen, während die Verbindungsanfrage noch läuft, wird eine Exception geworfen
 - Durch mehrmaliges Aufrufen von connect() kann man überprüfen, ob die Operation immer noch durchgeführt wird

Vergleich der Kommunikations-Systeme

	Gemeinsamer Speicher	Nachrichten- warteschlangen	(anon./benannte) Pipes	Sockets
Art der Kommunikation	Speicherbasiert	Nachrichtenbasiert	Nachrichtenbasiert	Nachrichtenbasiert
Bidirektional	ja	nein	nein	ja
Plattformunabhäng	nein	nein	nein	ja
Prozesse müssen verwandt sein	nein	nein	bei anonymen Pipes	nein
Kommunikation über Rechnergrenzen	nein	nein	nein	ja
Bleiben ohne gebundenen	ja	ja	nein	nein
Prozess erhalten				
Automatische Synchronisierung	nein	ja	ja	ja

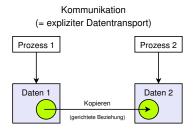
- Vorteile nachrichtenbasierte vs. speicherbasierte Kommunikation:
 - \bullet Das Betriebssystem nimmt den Benutzerprozessen die Synchronisation der Zugriffe ab \Longrightarrow komfortabel
 - Einsetzbar in verteilten Systemen ohne gemeinsamen Speicher
 - Bessere Portabilität der Anwendungen

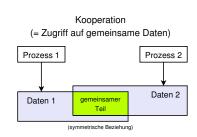
Speicher kann über Netzwerkverbindungen eingebunden werden

- Das ermöglicht speicherbasierte Kommunikation zwischen Prozessen auf verschiedenen, unabhängigen Systemen
 - Das Problem der Synchronisation der Zugriffe besteht aber auch hier

Kooperation

- Kooperation
 - Semaphor
 - Mutex





Semaphoren

- Zur Sicherung (Sperrung) kritischer Abschnitte können außer den bekannten Sperren auch Semaphoren eingesetzt werden
- 1965: Veröffentlicht von Edsger W. Dijkstra
- ullet Ein Semaphor ist eine Zählersperre ullet mit Operationen P(S) und V(S)
 - ullet V kommt vom holländischen $verhogen = erh\"{o}hen$
 - P kommt vom holländischen *proberen* = versuchen (zu verringern)
- Die Zugriffsoperationen sind atomar ⇒ nicht unterbrechbar (unteilbar)
- Kann auch mehreren Prozessen das Betreten des kritischen Abschnitts erlauben
 - Im Gegensatz zu Semaphoren können Sperren (\Longrightarrow 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 (1/3)

Ein Semaphor besteht aus 2 Datenstrukturen

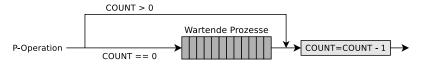
- COUNT: Eine ganzzahlige, nichtnegative Zählvariable.
 Gibt an, wie viele Prozesse das Semaphor aktuell ohne Blockierung passieren dürfen
- Ein Warteraum für die Prozesse, die darauf warten, das Semaphor passieren zu dürfen.
 Die Prozesse sind im Zustand blockiert und warten darauf, vom Betriebssystem in den Zustand bereit überführt zu werden, wenn das Semaphor den Weg freigibt
- **Initialisierung**: Zuerst wird ein Semaphor erzeugt oder ein bestehendes Semaphor geöffnet
 - Bei einem neuen Semaphor wird zu Beginn die Zählvariable mit einem nichtnegativen Anfangswert initialisiert

```
1 // Operation INIT auf Semaphor SEM anwenden
2 SEM.INIT(unsigned int init_wert) {
3 
4     // Variable COUNT des Semaphors SEM mit einem
5     // nichtnegativen Anfangswert initialisieren
6     SEM.COUNT = init_wert;
7 }
```

Zugriffsoperationen auf Semaphoren (2/3)

Bildquelle: Carsten Vogt

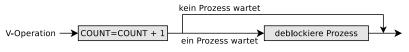
- P-Operation (verringern): Prüft den Wert der Zählvariable
 - Ist der Wert 0, wird der Prozess blockiert
 - Ist der Wert > 0, wird er um 1 erniedrigt



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



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

```
#include <stdio.h> // für printf
 2 #include <stdlib.h> // für exit
 3 #include <unistd.h> // für read, write, close
   #include <sys/wait.h> // für wait
   #include <sys/sem.h> // für semget, semctl, semop
 6
   void main() {
 8
     int pid_des_kindes;
     int sem_key1=12345;
10
     int sem_key2=54321;
11
     int returncode semget1, returncode semget2, returncode semct1;
12
     int output;
13
14
     setbuf(stdout, NULL); // Das Puffern Standardausgabe (stdout) unterbinden
15
16
     // Neue Semaphorgruppe 12345 mit einer Semaphore erstellen
17
     // IPC CREAT = Semaphore erzeugen, wenn Sie noch nicht existiert
18
     // IPC EXCL = Neuen Semaphorgruppe 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) {</pre>
21
       printf("Die Semaphorgruppe %i konnte nicht erstellt werden.\n", sem kev1);
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 Semaphorgruppe 54321 mit einer Semaphore erstellen
26
     returncode semget2 = semget(sem kev2, 1, IPC CREAT | IPC EXCL | 0600);
27
     if (returncode_semget2 < 0) {</pre>
28
       printf("Die Semaphorgruppe %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 Semaphorgruppe 12345 initial auf Wert 1 setzen
40
     returncode_semctl = semctl(returncode_semget1, 0, SETVAL, 1);
41
42
     // Erste Semaphore der Semaphorgruppe 54321 initial auf Wert O setzen
43
     returncode_semctl = semctl(returncode_semget2, 0, SETVAL, 0);
44
45
     // Initialen Wert der ersten Semaphore der Semaphorgruppe 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 Semaphorgruppe 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 semct1

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

Ein einfaches Beispiel zu Semaphore (in C) – Teil 3/5

```
52
     // Einen Kindprozess erzeugen
53
     pid des kindes = fork():
54
55
56
     if (pid_des_kindes == 0) {
57
       for (int i=0;i<5;i++) {
58
         semop(returncode_semget2, &p_operation, 1); // P-Operation Semaphore 54321
59
         // Kritischer Abschnitt (Anfang)
60
         printf("B"):
61
         sleep(1);
62
         // Kritischer Abschnitt (Ende)
63
         semop(returncode_semget1, &v_operation, 1); // V-Operation Semaphore 12345
64
65
       exit(0):
66
67
68
     // Elternprozess
69
     if (pid_des_kindes > 0) {
70
       for (int i=0;i<5;i++) {
71
         semop(returncode semget1, &p_operation, 1); // P-Operation Semaphore 12345
72
         // Kritischer Abschnitt (Anfang)
73
         printf("A"):
74
         sleep(1);
75
         // Kritischer Abschnitt (Ende)
76
         semop(returncode_semget2, &v_operation, 1); // V-Operation Semaphore 54321
77
78
```

Gute Dokumentation von semop

https://www.nt.th-koeln.de/fachgebiete/inf/diplom/semwork/unix/semop/semop.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
      // Semaphorgruppe 12345 entfernen
85
      returncode_semctl = semctl(returncode_semget1, 0, IPC_RMID, 0);
86
        if (returncode_semctl < 0) {</pre>
87
          printf("Die Semaphorgruppe %i konnte nicht entfernt werden.\n", returncode semget1):
88
          exit(1):
89
      } else {
90
          printf("Die Semaphorgruppe mit ID %i und Kev %i wurde entfernt.\n", returncode semget1, sem kev1):
91
92
93
      // Semaphorgruppe 54321 entfernen
94
      returncode semctl = semctl(returncode semget2, 0, IPC RMID, 0);
95
        if (returncode_semctl < 0) {</pre>
96
          printf("Die Semaphorgruppe %i konnte nicht entfernt werden.\n", returncode semget2);
97
          exit(1):
98
      } else {
99
          printf("Die Semaphorgruppe 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

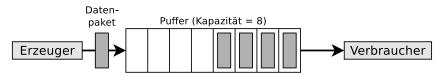
```
$ gcc semaphore_beispiel_systemv.c -o semaphore_beispiel_systemv
Wert der Semaphore mit ID 98362 und Key 12345: 1
Wert der Semaphore mit ID 98363 und Key 54321: 0
ABABABABAB
Die Semaphore mit ID 98362 und Key 12345 wurde entfernt.
Die Semaphore mit ID 98363 und Key 54321 wurde entfernt.
```

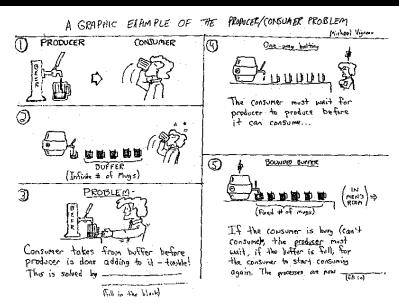
```
$ ipcs -s
----- Semaphore Arrays ------
kev
           semid
                      owner
                                 perms
                                             nsems
0 x 0 0 0 0 3 0 3 9 9 8 3 6 2
                                 600
                     hnc
0x0000d431 98363
                     bnc
                                600
$ 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 ABABABABABA . . .
- Ohne gegenseitigen Ausschluss mittels der Semaphoren und ohne die sleep-Befehle ist die Ausgabesequenz normalerweise AAAAABBBBB und in relativ seltenen Fällen ähnlich wie AABAAABBBB

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 ⇒ Erzeuger muss blockieren
- Puffer = leer ⇒ Verbraucher muss blockieren





Quelle: Kenneth Baclawski (Northeastern University in Boston), Bildquelle: Michael Vigneau (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
 - ullet leer $=0\Longrightarrow$ Puffer vollständig belegt \Longrightarrow Erzeuger blockieren
 - voll zählt die Datenpakete (belegte Plätze) im Puffer, wird vom Erzeuger (V-Operation) erhöht und vom Verbraucher (P-Operation) erniedrigt
 - ullet voll = 0 \Longrightarrow Puffer leer \Longrightarrow Verbraucher blockieren
- Semaphor 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 Semaphor mutex aus dem Erzeuger/Verbraucher-Beispiel

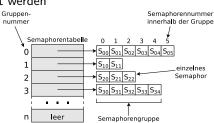
Erzeuger/Verbraucher-Beispiel (3/3)

```
typedef int semaphore;
                                              // Semaphore sind von Typ Integer
  semaphore voll = 0;
                                              // zählt die belegten Plätze im Puffer
   semaphore leer = 8;
                                              // zählt die freien Plätze im Puffer
   semaphore mutex = 1;
                                              // steuert Zugriff auf kritische Bereiche
 5
   void erzeuger (void) {
     int daten;
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
                                              // kritischen Bereich verlassen
14
       V(mutex):
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(vol1):
                                              // 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 F
```

Semaphoren unter Linux

Bildquelle: Carsten Vogt

- Linux weicht vom Konzept der Semaphore nach Dijkstra ab
 - Die Z\u00e4hlvariable 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 Semaphoren bereit (System V IPC)

- semget(): Neues Semaphor oder eine Gruppe von Semaphoren erzeugen oder ein bestehendes Semaphor öffnen
- semct1(): Wert eines existierenden Semaphors oder einer Semaphorengruppe abfragen, ändern oder ein Semaphor löschen
- semop(): P- und V-Operationen auf Semaphoren durchführen
- Informationen über bestehende Semaphore liefert das Kommando ipcs

Semaphoren unter Linux (System V vs. POSIX)

- Das in bislang beschriebene Konzept zum Schutz kritischer Abschnitte heißt in der Literatur auch System V-Semaphoren
 - System-V-Semaphoren sind im Kernelspace realisiert
 - ⇒ verursachen Moduswechsel (siehe Foliensatz 8)
- Daneben existieren auch POSIX-Semaphoren
 - Ihre Funktionalität wird im Userspace realisiert
 - ⇒ verursachen keine Moduswechsel
 - ullet verbrauchen weniger Ressourcen (sie sind "leichtgewichtiger")
 - Die API von POSIX-Semaphoren gilt als intuitiver und leichter erlernbar

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). Alternativen: sem_trywait oder sem_timedwait
- sem_getvalue: Den Wert einer Semaphore abfragen
- sem_destroy: Eine unbenannte Semaphore löschen
- sem_unlink: Eine benannte Semaphore löschen

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

Mutexe

- Wird die Möglichkeit eines Semaphors zu zählen nicht benötigt, kann die vereinfachte Version, der Mutex, verwendet werden
 - Mutexe (abgeleitet von Mutual Exclusion = wechselseitiger Ausschluss) dienen dem Schutz kritischer Abschnitte, auf die zu jedem Zeitpunkt immer nur ein Prozess zugreifen darf
 - Mutexe können nur 2 Zustände annehmen: belegt und nicht belegt
 - Mutexe haben die gleiche Funktionalität wie binäre Semaphore
 - Mutexe ermöglichen Intra- sowie intra-Prozesssynchronisation

Funktionen zum Zugriff auf einen Mutex

pthread_mutex_lock \Longrightarrow entspricht der P-Operation entspricht der V-Operation

- Will ein Prozess auf den kritischen Abschnitt zugreifen, ruft er pthread mutex lock auf
 - Kritischer Abschnitt gesperrt ⇒ Prozess ist blockiert bis der Prozess im kritischen Abschnitt fertig ist und pthread_mutex_unlock aufruft
 - Kritischer Abschnitt nicht gesperrt ⇒ Prozess kann eintreten

Mehr Informationen über Mutexe

IPC-Objekte kontrollieren und löschen

- Informationen über bestehende gemeinsame Speichersegmente liefert das Kommando ipcs
- Die einfachste Möglichkeit, Semaphore, gemeinsame Speichersegmente und Nachrichtenwarteschlangen auf der Kommandozeile zu löschen, ist das Kommando ipcrm

```
ipcrm [-m shmid] [-q msqid] [-s semid]
      [-M shmkey] [-Q msgkey] [-S semkey]
```

- Oder alternativ einfach.
 - ipcrm shm SharedMemoryID
 - ipcrm sem SemaphorID
 - ipcrm msg MessageQueueID