

# Übungen zu Systemprogrammierung 1 (SP1)

## Ü7 – Threads und Koordinierung

**Jens Schedel, Christoph Erhardt, Jürgen Kleinöder**

Lehrstuhl für Informatik 4  
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg

SS 2014 – 12. bis 18. Juni 2014

[http://www4.cs.fau.de/Lehre/SS14/V\\_SP1](http://www4.cs.fau.de/Lehre/SS14/V_SP1)



# Agenda

---

- 7.1 Hinweise zur Evaluation
- 7.2 Threads
- 7.3 Schnittstelle
- 7.4 Koordinierung
- 7.5 UNIX-Pipes
- 7.6 Aufgabe 6: piper
- 7.7 Gelerntes anwenden



# Agenda

---

7.1 Hinweise zur Evaluation

7.2 Threads

7.3 Schnittstelle

7.4 Koordinierung

7.5 UNIX-Pipes

7.6 Aufgabe 6: piper

7.7 Gelerntes anwenden



# Hinweise zur Evaluation

---

- Bei Kommentaren, die sich auf einen bestimmten Übungsleiter beziehen, bitte dessen Namen **in jedem Feld** voranstellen
  - Kommentarfelder werden in der Auswertung durcheinandergewürfelt



# Agenda

---

- 7.1 Hinweise zur Evaluation
- 7.2 Threads
- 7.3 Schnittstelle
- 7.4 Koordinierung
- 7.5 UNIX-Pipes
- 7.6 Aufgabe 6: piper
- 7.7 Gelerntes anwenden



# Motivation von Threads

---

- UNIX-Prozesskonzept (Ausführungsumgebung mit einem Aktivitätsträger) für viele heutige Anwendungen unzureichend
  - keine parallelen Abläufe innerhalb eines logischen Adressraums auf Multiprozessorsystemen
  - typische UNIX-Server-Implementierungen benutzen die `fork`-Operation, um einen Server-Prozess für jeden Client zu erzeugen
    - Verbrauch unnötig vieler System-Ressourcen
  - zur besseren Strukturierung von Problemlösungen sind oft mehrere Aktivitätsträger innerhalb eines Adressraums nützlich
- Lösung: bei Bedarf weitere Aktivitätsträger in einem UNIX-Prozess erzeugen



## ■ User-Level-Threads

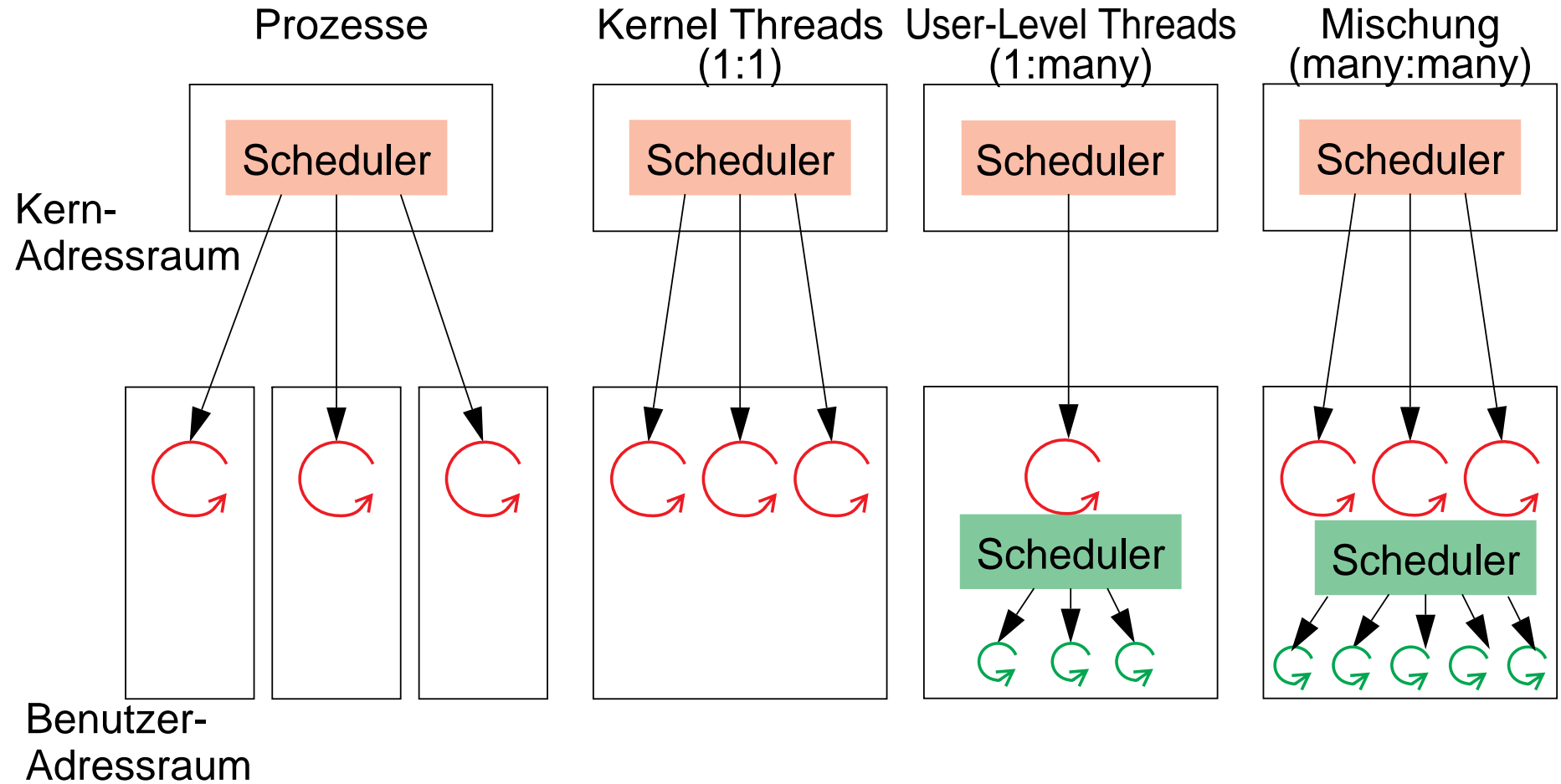
- Realisierung auf Anwendungsebene
- Systemkern sieht nur **einen** Kontrollfluss
- + Erzeugung von Threads und Umschaltung extrem billig
- Systemkern hat kein Wissen über diese Threads
  - in Multiprozessorsystemen keine parallelen Abläufe möglich
  - wird ein Thread blockiert, ist der gesamte Prozess blockiert
  - Scheduling zwischen den Threads schwierig

## ■ Kernel-Level-Threads

- + Gruppe von Threads nutzt gemeinsam die Betriebsmittel eines Prozesses
- + jeder Thread ist als eigener Aktivitätsträger dem Betriebssystemkern bekannt
- Kosten für Erzeugung und Umschaltung zwar erheblich geringer als bei „schwergewichtigen“ Prozessen, aber erheblich teurer als bei User-Level-Threads



# Arten von Threads





# Agenda

---

7.1 Hinweise zur Evaluation

7.2 Threads

**7.3 Schnittstelle**

7.4 Koordinierung

7.5 UNIX-Pipes

7.6 Aufgabe 6: piper

7.7 Gelerntes anwenden



## ■ Thread erzeugen

```
int pthread_create(pthread_t *thread, const pthread_attr_t *attr,  
void *(*start_routine)(void *), void *arg);
```

- thread Thread-ID
- attr Modifizieren von Attributen des erzeugten Threads (z. B. Stackgröße). `NULL` für Standardattribute.
- Nach der Erzeugung führt der Thread die Funktion `start_routine` mit Parameter `arg` aus
- Im Fehlerfall wird `errno` nicht gesetzt, aber ein Fehlercode als Ergebnis zurückgeliefert.
  - Um `perror(3)` verwenden zu können, muss der Rückgabewert erst in der `errno` gespeichert werden.

## ■ Eigene Thread-ID ermitteln

```
pthread_t pthread_self(void)
```

- Die Funktion kann nie fehlschlagen.



# Pthreads-Schnittstelle

- Thread beenden (bei Rücksprung aus `start_routine` oder):

```
void pthread_exit(void *retval)
```

- Der Thread wird beendet und `retval` wird als Rückgabewert zurück geliefert (siehe `pthread_join()`)

- Auf Thread warten, Ressourcen freigeben und Rückgabewert abfragen:

```
int pthread_join(pthread_t thread, void **retvalp)
```

- Wartet auf den Thread mit der Thread-ID `thread` und liefert dessen Rückgabewert über `retvalp` zurück.

- Ressourcen automatisch bei Beendigung freigeben:

```
int pthread_detach(pthread_t thread)
```

- Die mit dem Thread `thread` verbundenen Systemressourcen werden bei dessen Beendigung automatisch freigegeben. Der Rückgabewert der Thread-Funktion kann nicht abgefragt werden.



# Beispiel

```
static double a[100][100], b[100], c[100];

int main(int argc, char* argv[]) {
    pthread_t tids[100];
    ...
    for (int i = 0; i < 100; i++)
        pthread_create(tids + i, NULL, mult, (void *) i);
    for (int i = 0; i < 100; i++)
        pthread_join(tids[i], NULL);
    ...
}

static void *mult(void *cp) {
    int i = (int) cp;
    double sum = 0;
    for (int j = 0; j < 100; j++)
        sum += a[i][j] * b[j];
    c[i] = sum;
    return NULL;
}
```

- Parameterübergabe bei `pthread_create()` problematisch



# Parameterübergabe bei `pthread_create()`

- Generischer Ansatz mit Hilfe einer Struktur für die Argumente

```
typedef struct {  
    int index;  
} param;
```

- Für jeden Thread eine eigene Argumenten-Struktur anlegen
  - Speicher je nach Bedarf auf dem Heap oder dem Stack allokalieren

```
int main(int argc, char* argv[]) {  
    pthread_t tids[100];  
    param args[100];  
  
    for (int i = 0; i < 100; i++) {  
        args[i].index = i;  
        pthread_create(&tids[i], NULL, (void* (*)(void*)) mult,  
                      (void *) (&args[i]));  
    }  
    for (int i = 0; i < 100; i++)  
        pthread_join(tids[i], NULL);  
    ...  
}
```



# Parameterübergabe bei pthread\_create()

```
static void* mult (param *arg) {  
    double sum = 0;  
    for (int j = 0; j < 100; j++) {  
        sum += a[arg->index][j] * b[j];  
    }  
    c[arg->index] = sum;  
    return NULL;  
}
```

- Zugriff auf den threadspezifischen Parametersatz über arg



# Agenda

---

- 7.1 Hinweise zur Evaluation
- 7.2 Threads
- 7.3 Schnittstelle
- 7.4 Koordinierung**
- 7.5 UNIX-Pipes
- 7.6 Aufgabe 6: piper
- 7.7 Gelerntes anwenden



# Koordinierung – Motivation

Welches Problem kann hier auftreten?

```
static double a[100][100], sum;

int main(int argc, char* argv[]) {
    pthread_t tids[100];
    param args[100];

    for (int i = 0; i < 100; i++) {
        args[i].index = i;
        pthread_create(tids + i, NULL, (void* (*)(void*))sumRow,
                      &args[i]);
    }
    for (int i = 0; i < 100; i++)
        pthread_join(tids[i], NULL);
}

static void *sumRow(param *arg) {
    double localSum = 0;
    for (int j = 0; j < 100; j++)
        localSum += a[arg->index][j];
    sum += localSum;
    return NULL;
}
```





# Semaphore

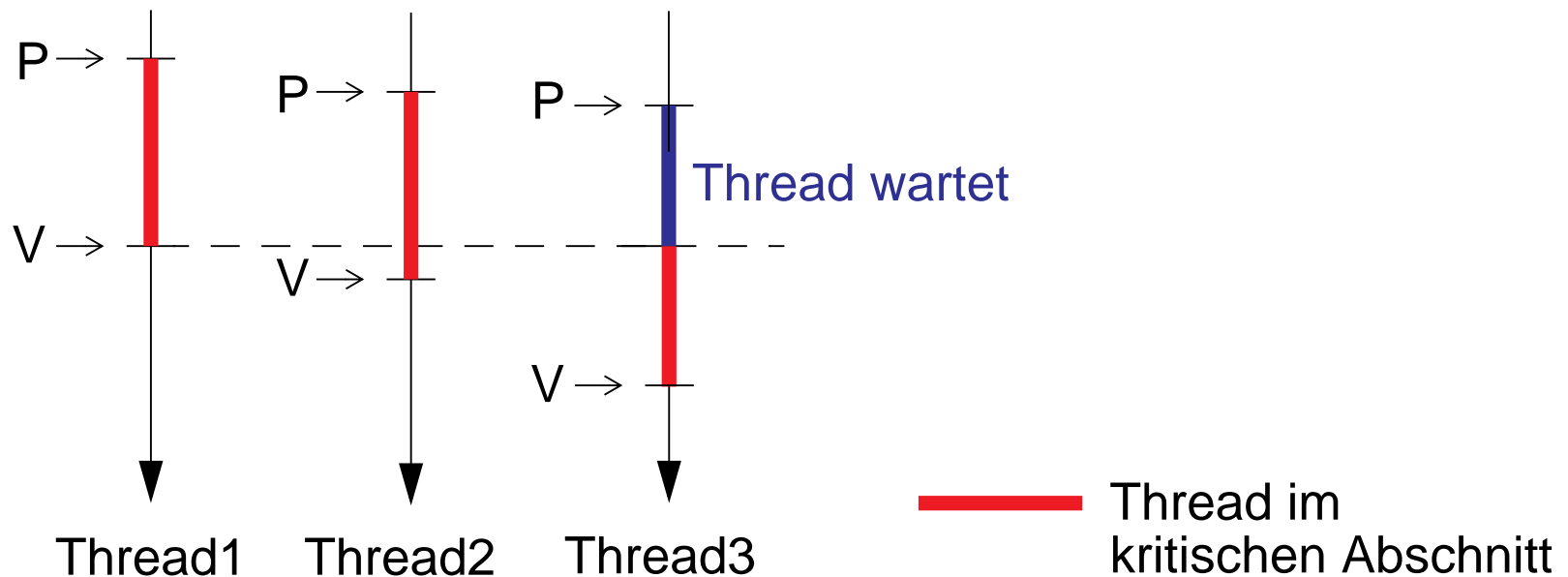
---

- Zur Koordinierung von Threads können Semaphore verwendet werden
- UNIX stellt zur Koordinierung von Prozessen komplexe Semaphor-Operationen zur Verfügung
  - Implementierung durch den Systemkern
  - komplexe Datenstrukturen, aufwändig zu programmieren
  - für die Koordinierung von Threads viel zu teuer
- Stattdessen Verwendung einer eigenen Semaphorimplementierung mit atomaren  $P()$ - und  $V()$ -Operationen



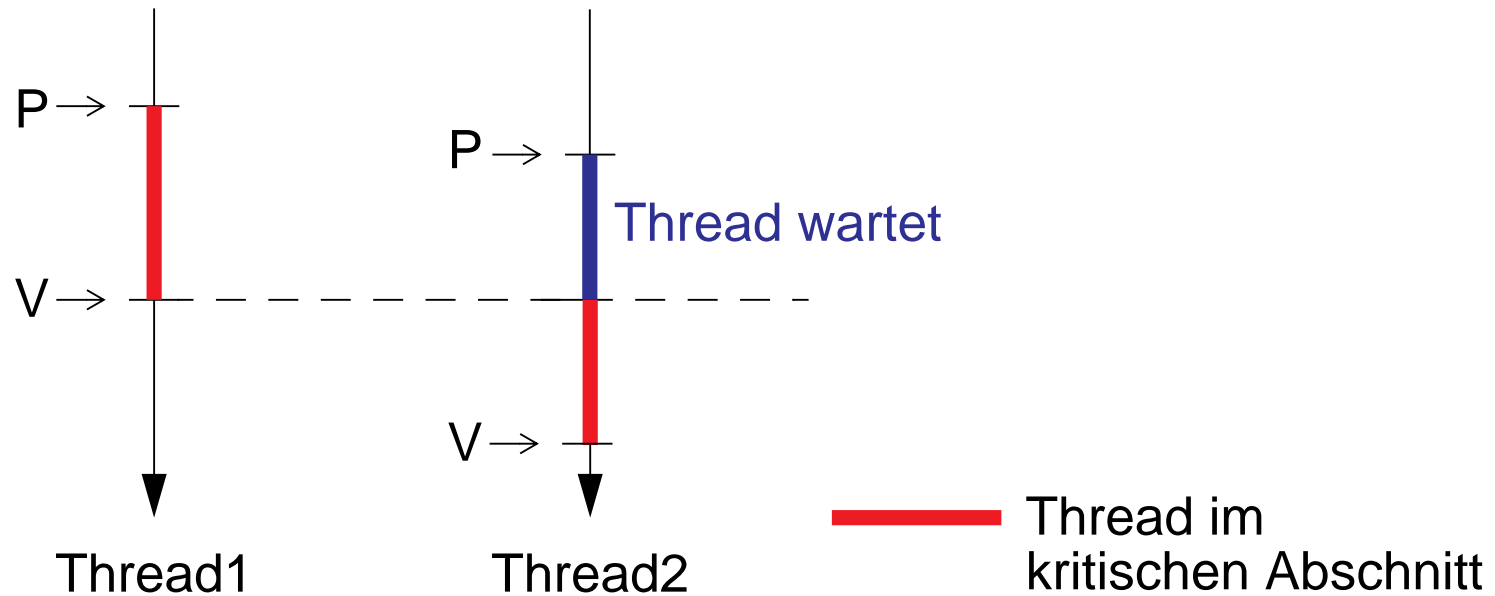
# Limitierung von Ressourcen

- Verwendung eines zählenden Semaphors
- Beispiel: Nur zwei aktive Threads gleichzeitig gewünscht
  - Initialisierung des Semaphors mit 2



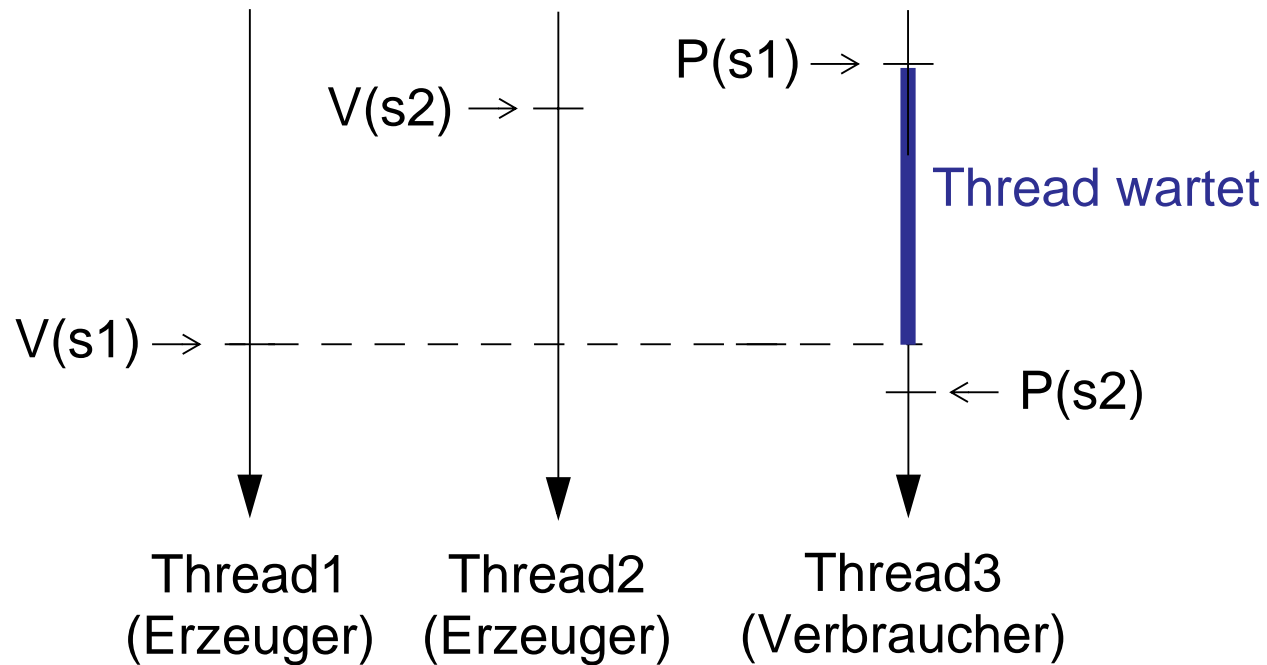
# Gegenseitiger Ausschluss

- Spezialfall des zählenden Semaphors: Binärer Semaphor
  - Initialisierung des Semaphors mit 1
- Beispiel: Schreibender Zugriff auf ein gemeinsames Datum



# Signalisierung

- Benachrichtigung eines anderen Threads über ein Ereignis
- Beispiel: Bereitstellen von Zwischenergebnissen



# SP-Semaphor-Modul

---

- Semaphor erzeugen

```
SEM* semCreate (int initVal)
```

- P/V-Operationen

```
void P (SEM *sem)  
void V (SEM *sem)
```

- Semaphor zerstören

```
void semDestroy (SEM *sem)
```

- Semaphor-Modul und zugehörige Headerdatei befinden sich im pub-Verzeichnis.



# Agenda

---

- 7.1 Hinweise zur Evaluation
- 7.2 Threads
- 7.3 Schnittstelle
- 7.4 Koordinierung
- 7.5 UNIX-Pipes**
- 7.6 Aufgabe 6: piper
- 7.7 Gelerntes anwenden



# UNIX-Pipes aka. named pipes

---

- Ermöglicht lokale, unidirektionale Interprozesskommunikation
- Öffnen zum Schreiben blockiert solange bis ein (anderer) Prozess die Pipe zum Lesen öffnet
- Spezieller Dateityp (Makro zum Auswerten `S_ISFIFO`)
  - Erzeugung mit dem Shell-Kommando `mkfifo(1)`
    - Beispiel: Erzeugung einer UNIX-Pipe mit dem Namen `meinePipe`

```
mkfifo meinePipe
```



# Agenda

---

- 7.1 Hinweise zur Evaluation
- 7.2 Threads
- 7.3 Schnittstelle
- 7.4 Koordinierung
- 7.5 UNIX-Pipes
- 7.6 Aufgabe 6: piper
- 7.7 Gelerntes anwenden





- Ziele der Aufgabe
  - Programmieren mit der `pthread`-Bibliothek
  - Erkennen von Nebenläufigkeitsproblemen
  - Einsatz geeigneter Koordinierungsmaßnahmen
  
- Funktionsweise der `piper`
  - Bereitstellen der Eingaben von `stdin` auf mehreren, bereits vorhandenen UNIX-Pipes (*named pipes*)
    - Manuelles Anlegen mit `mkfifo` notwendig
  - Pipes werden u.U. erst nach dem Start der `piper` von anderen Prozessen zum Lesen geöffnet
    - Zum Testen kann das Programm `cat` verwendet werden
  
- Zur Verwendung der Pthreads-Bibliothek ist die `gcc`-Option `-pthread` notwendig



# Aufgaben der Threads

---

- Haupt-Thread (`main()`)
  - Startet für jede als Kommandozeilenargument übergebene Pipe einen eigenen Schreib-Thread
  - Liest wiederholt eine Zeile von der Standardeingabe ein und wartet bis diese von den Schreib-Threads in die Pipes geschrieben wurden
- Schreib-Thread
  - Stellt sicher, dass der als Parameter übergebene Dateiname eine UNIX-Pipe ist und öffnet diese mit `fopen(3)`
  - Meldet sich mit Hilfe des `sbuf`-Moduls beim Haupt-Thread an
  - Wartet auf Zeilen vom Haupt-Thread und schreibt diese in seine Pipe



- Stellt Funktionen zum nebenläufigen Zugriff auf internen Puffer bereit
  - Synchronisation innerhalb des Modules erforderlich
- Schnittstelle
  - `SBUF* sbufCreate(int maxNumberOfSems)`  
Erzeugt einen neuen Puffer mit Platz für `maxNumberOfSems` Semaphore
  - `int sbufAddSem(SBUF* cl, SEM* sem)`  
Speichert Semaphor in Puffer und gibt dessen Index im Puffer als ID zurück
  - `int sbufGetNumberOfSems(SBUF* cl)`  
Gibt Anzahl der Semaphore im Puffer zurück
  - `SEM* sbufGetSem(SBUF* cl, int index)`  
Gibt Semaphor mit der ID `index` zurück



# Agenda

---

- 7.1 Hinweise zur Evaluation
- 7.2 Threads
- 7.3 Schnittstelle
- 7.4 Koordinierung
- 7.5 UNIX-Pipes
- 7.6 Aufgabe 6: piper
- 7.7 Gelerntes anwenden



## „Aufgabenstellung“

- Beispiel von Folie 7–16 mit Hilfe eines Semaphors korrekt synchronisieren

