Übungen zu Systemprogrammierung 1 (SP1)

Ü5 – Threads und Koordinierung

J. Schedel, C. Erhardt, A. Ruprecht, J. Kleinöder

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

SS 2015 – 08. bis 12. Juni 2015

https://www4.cs.fau.de/Lehre/SS15/V_SP1

Agenda

6.1 Threads
6.2 Schnittstelle
6.3 Koordinierung
6.4 UNIX-Pipes
6.5 Aufgabe 6: piper
6.6 Gelerntes anwenden

Agenda

6.1 Threads
6.2 Schnittstelle
6.3 Koordinierung
6.4 UNIX-Pipes
6.5 Aufgabe 6: piper
6.6 Gelerntes anwenden

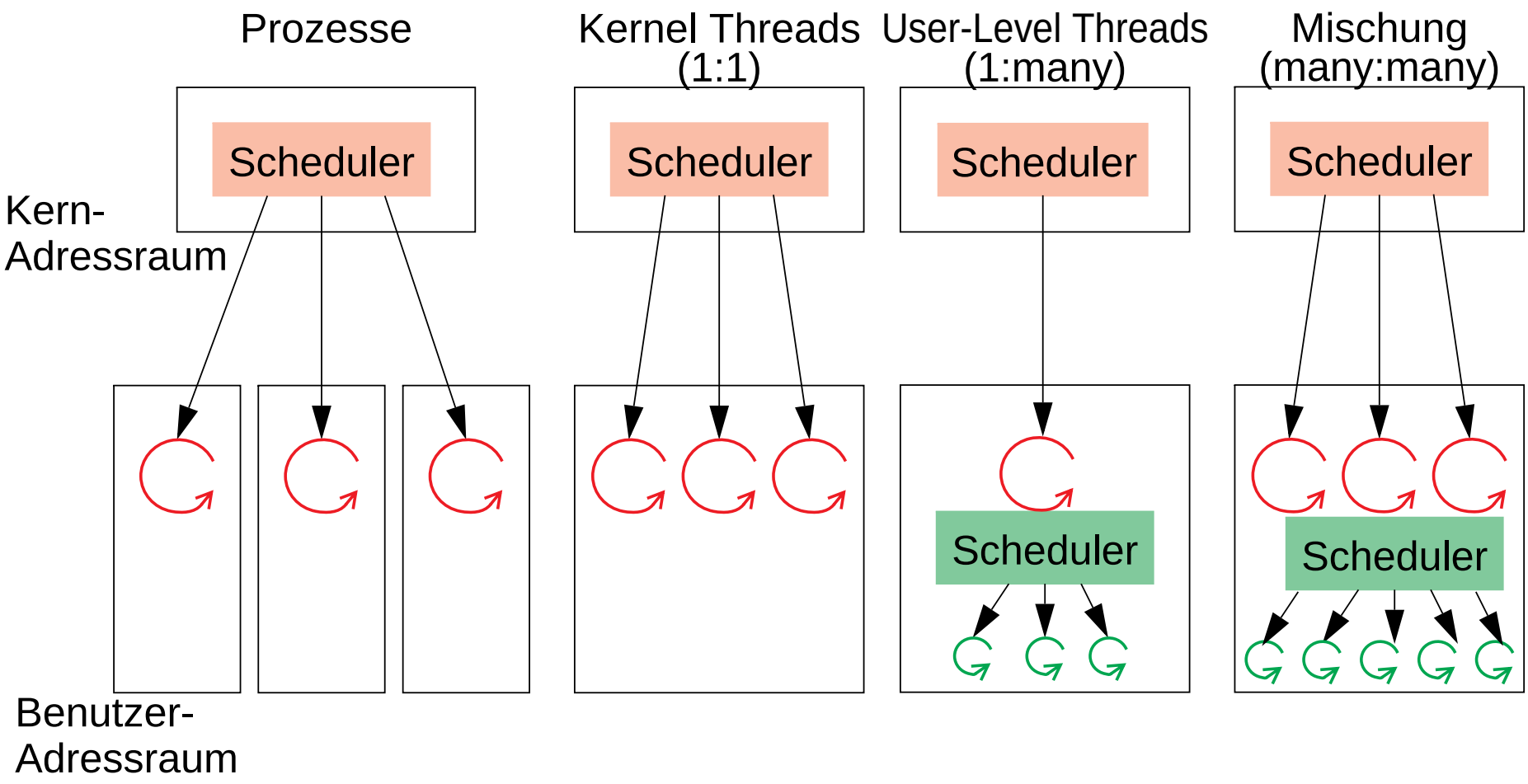
Motivation von Threads

- 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

Arten von Threads

- 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 teuerer als bei User-Level-Threads

Arten von Threads



Agenda

6.1 Threads
6.2 Schnittstelle
6.3 Koordinierung
6.4 UNIX-Pipes
6.5 Aufgabe 6: piper
6.6 Gelerntes anwenden

Pthreads-Schnittstelle

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: Matrix-Vektor-Multiplikation

```
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;
}
```

- Casts zwischen `int` und Zeiger (bei Parameterübergabe für `pthread_create()`) problematisch – nicht zu Hause nachmachen!

Parameterübergabe bei `pthread_create()`

- Generischer Ansatz mit Hilfe einer Struktur für die Argumente

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

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

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

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

Parameterübergabe bei `pthread_create()`

```
static void* mult (void *arg) {
  struct param *par = (struct param *) arg;

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

- Zugriff auf den threadspezifischen Parametersatz über (gecasteten) Parameter (`void *arg -> struct param *par`)

Agenda

6.1 Threads
6.2 Schnittstelle
6.3 Koordinierung
6.4 UNIX-Pipes
6.5 Aufgabe 6: piper
6.6 Gelerntes anwenden

Koordinierung – Motivation

Was macht das Programm? Welches Problem kann auftreten?

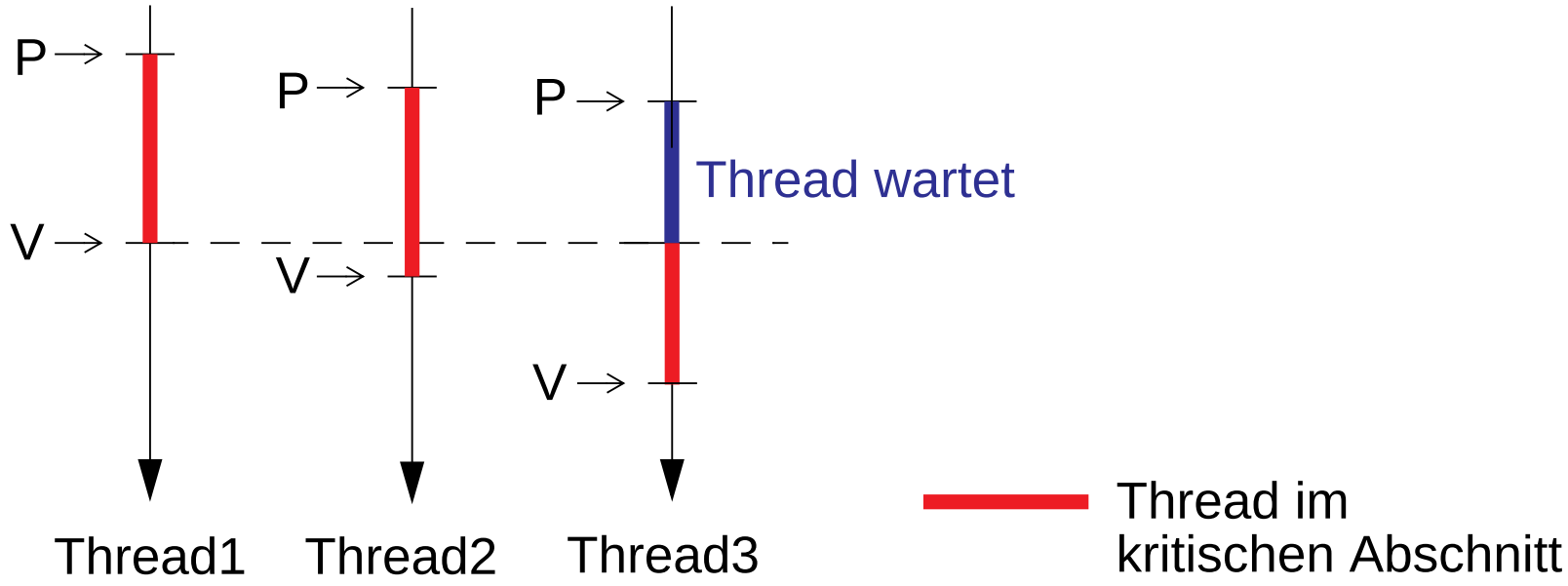
```
static double a[100][100], sum;

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

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

static void *sumRow(void *arg) {
  struct param *par = (struct param *) arg;
  double localSum = 0;
  for (int j = 0; j < 100; j++)
    localSum += a[par->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
  - Datenstruktur mit (atomarer) Zählervariable
  - `P()` dekrementiert Zähler und blockiert Aufrufer, falls Zähler == 0
  - `V()` inkrementiert Zähler und weckt ggf. wartende Threads
  - Mehr Details: s. Vorlesung B | VI.1, Seite 26ff.

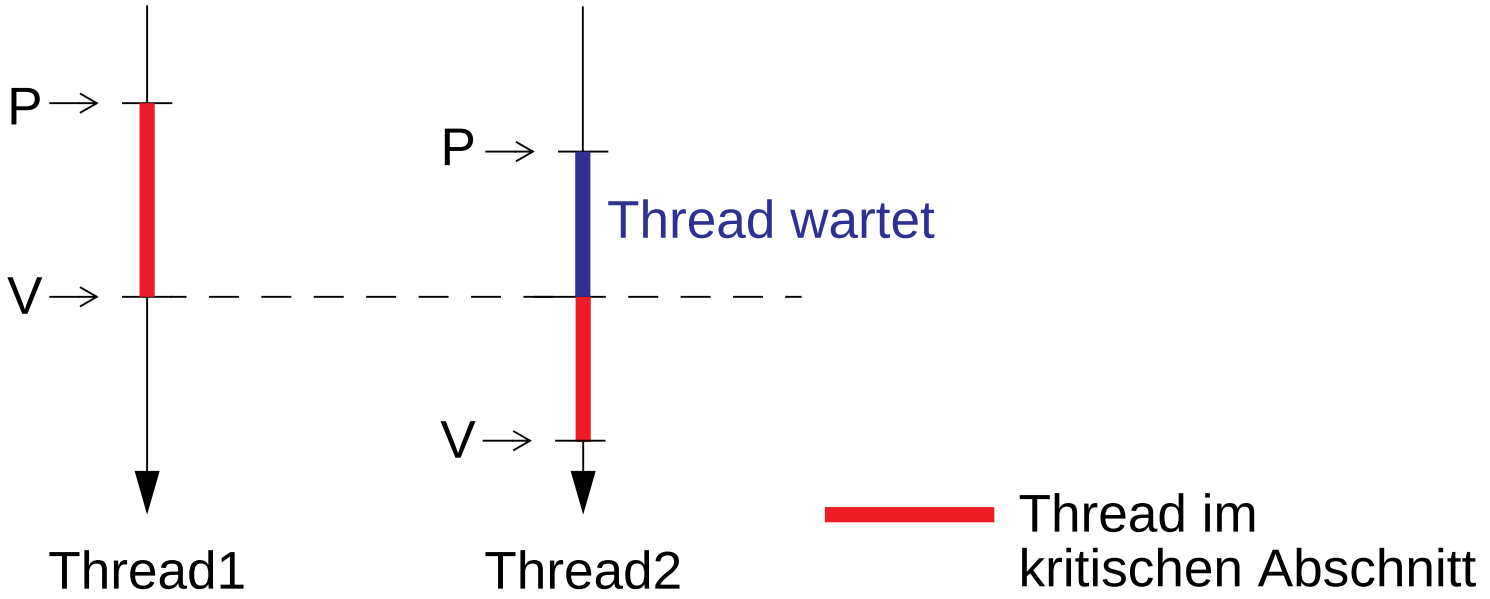
Limitierung von Ressourcen

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



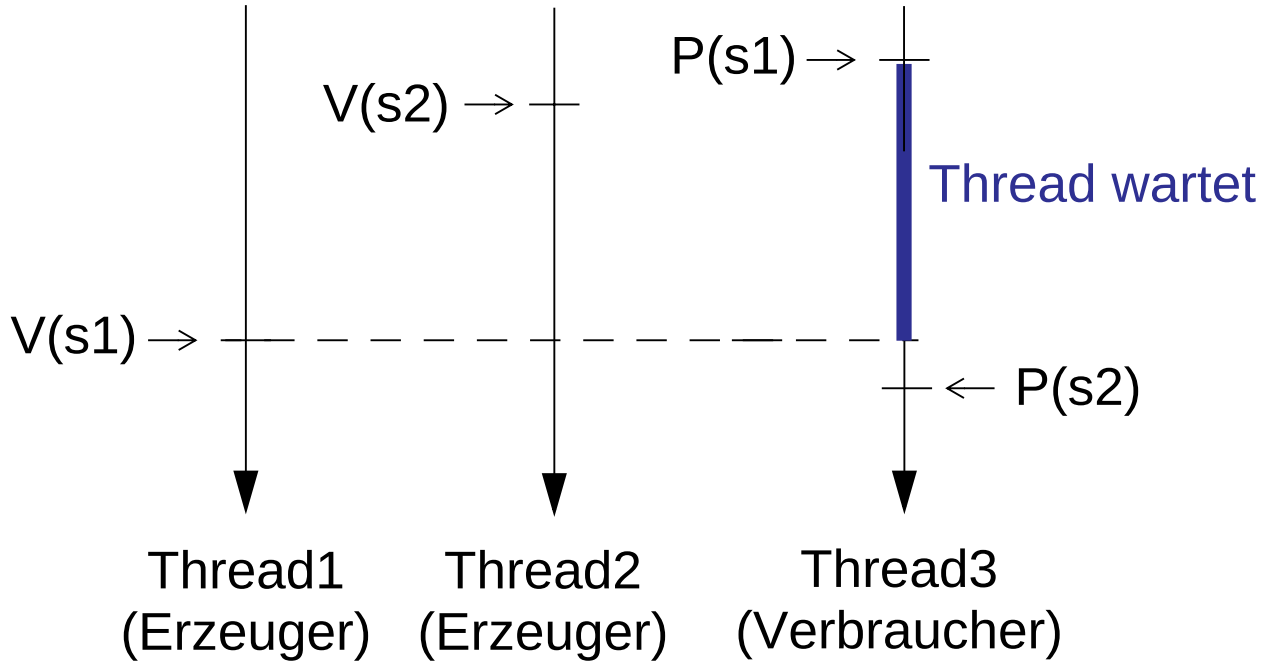
Gegenseitiger Ausschluss

- 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

6.1 Threads
6.2 Schnittstelle
6.3 Koordinierung
6.4 UNIX-Pipes
6.5 Aufgabe 6: piper
6.6 Gelerntes anwenden

UNIX-Pipes (*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
```

- Öffnen der Pipe im Programm: `fopen(3)`

```
FILE *fopen(const char *path, const char *mode);
```

  - Öffnet Datei, die sich am Pfad `path` befindet
  - `mode` gibt Schreib-/Lese-Berechtigung an. Für diese Aufgabe: `"w"`
  - Zurückgegebener `FILE *` kann wie `stderr/stdout` genutzt werden (z.B. `fputs(data, returned_pointer)`)

Agenda

6.1 Threads
6.2 Schnittstelle
6.3 Koordinierung
6.4 UNIX-Pipes
6.5 Aufgabe 6: piper
6.6 Gelerntes anwenden

Allgemeines

- 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*)
    - 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 (in `LDFLAGS` und `CFLAGS`, wenn implizite Regeln verwendet werden)

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
  - Öffnet die als Parameter übergebene Pipe 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

sBuf-Modul

- 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

6.1 Threads
6.2 Schnittstelle
6.3 Koordinierung
6.4 UNIX-Pipes
6.5 Aufgabe 6: piper
6.6 Gelerntes anwenden

Aktive Mitarbeit!

„Aufgabenstellung“

- Beispiel von Folie 6–14 mit Hilfe eines Semaphors korrekt synchronisieren