# Übungen zu Systemprogrammierung 1 (SP1)

## VL 7 – Threads und Koordinierung

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

Lehrstuhl für Informatik 4
Verteilte Systeme und Betriebssysteme

Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

WS 2012/13 – 14. Januar bis 18. Januar 2013

http://www4.cs.fau.de/Lehre/WS12/V_SP1



# Agenda

7.1 Hinweise zur Evaluation
7.2 (Mini-)Klausurvorbereitung
7.3 Threads
7.4 Schnittstelle
7.5 Koordinierung
7.6 Aufgabe 6: palim
7.7 Gelerntes Anwenden



# Agenda

7.1 Hinweise zur Evaluation
7.2 (Mini-)Klausurvorbereitung
7.3 Threads
7.4 Schnittstelle
7.5 Koordinierung
7.6 Aufgabe 6: palim
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
- Frage „eigener Aufwand zur Vor- und Nachbereitung“:
  - Bitte nach Vorlesung und Übung auftrennen
  - Übung: den jeweiligen Wochenaufwand durch 2 teilen (rechnerisch: 2 x 1 Stunde Übung (Tafel + Rechner) pro Woche, Angabe je 45 Minuten)
  - Vorlesung: den jeweiligen Wochenaufwand nicht teilen (1 x 90 Minuten Vorlesung pro Woche, Aufwandsangabe je 90 Minuten)



# (Mini-)Klausurvorbereitung

- In zwei Wochen Klausurvorbereitung in der Tafelübung zur Vorbereitung auf
  - die SP1-Klausur für Mathematiker, Technomathematiker und 2-Fach-Bachelor
  - die Miniklausur zu Beginn von SP2 für alle Anderen
- Wir erarbeiten die SP1-Klausur aus dem Juli 2012 gemeinsam
  - Eine Vorbereitung der Klausur im Vorfeld der Tafelübung wird erwartet



# Agenda

7.1 Hinweise zur Evaluation
7.2 (Mini-)Klausurvorbereitung
7.3 Threads
7.4 Schnittstelle
7.5 Koordinierung
7.6 Aufgabe 6: palim
7.7 Gelerntes Anwenden



# Motivation von Threads

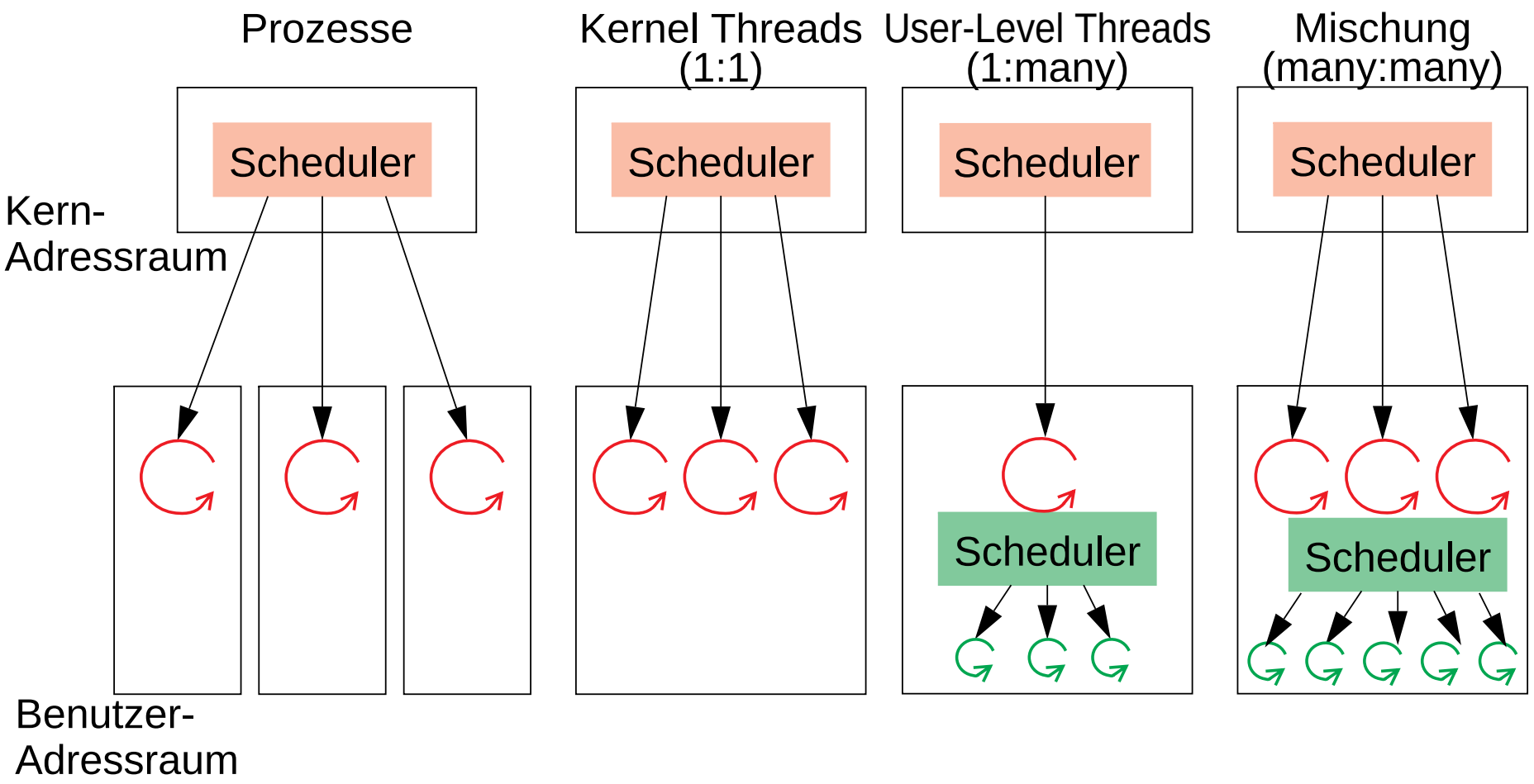
- UNIX-Prozesskonzept (Ausführungsumgebung mit einem Aktivitätsträger) für viele heutige Anwendungen unzureichend
  - keine parallelen Abläufe innerhalb eines virtuellen Adressraums auf Multiprozessorsystemen
  - typische UNIX-Server-Implementierungen benutzen die `fork`-Operation, um einen Server-Prozess 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 Threads in einem UNIX-Prozess erzeugen



# Arten von Threads

- User-Level-Threads / federgewichtige Prozesse
  - Realisierung von Threads auf Anwendungsebene
  - Systemkern sieht nur den Prozess mit **einem** 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 / leichtgewichtige Prozesse
  + 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



# Arten von Threads

- Mischung: eine große Zahl von User-Level-Threads wird auf eine kleinere Zahl von Kernel-Level-Threads abgebildet (many:many)
  - \+ User-Level-Threads sind billig
  - \+ die Kernel-Threads ermöglichen echte Parallelität auf einem Multiprozessor
  - \+ blockierender User-Level-Thread blockiert nur den Kernel-Level-Thread in dem er gerade abgewickelt wird
    - – andere Kernel-Level-Threads können andere lauffähige User-Level-Threads weiterhin auszuführen



# Agenda

7.1 Hinweise zur Evaluation
7.2 (Mini-)Klausurvorbereitung
7.3 Threads
7.4 Schnittstelle
7.5 Koordinierung
7.6 Aufgabe 6: palim
7.7 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

```
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 allokieren

```
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 (Mini-)Klausurvorbereitung
7.3 Threads
7.4 Schnittstelle
7.5 Koordinierung
7.6 Aufgabe 6: palim
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;
}
```

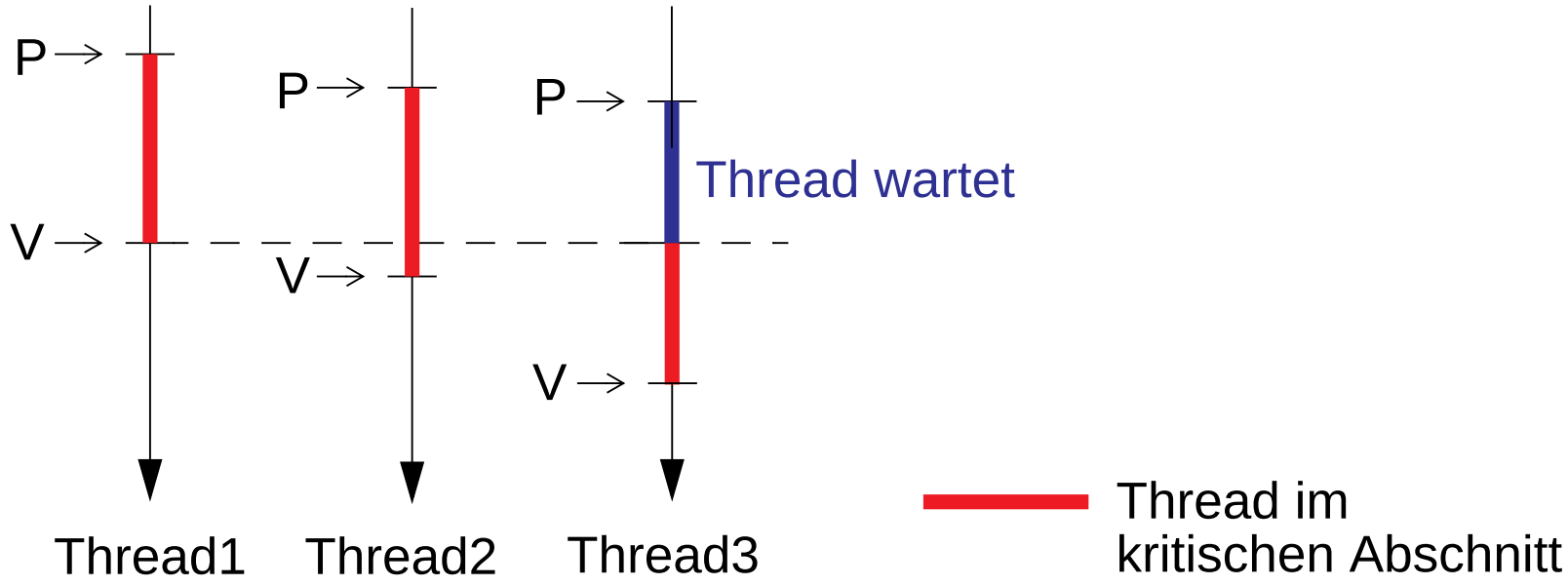
# Semaphore

- 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



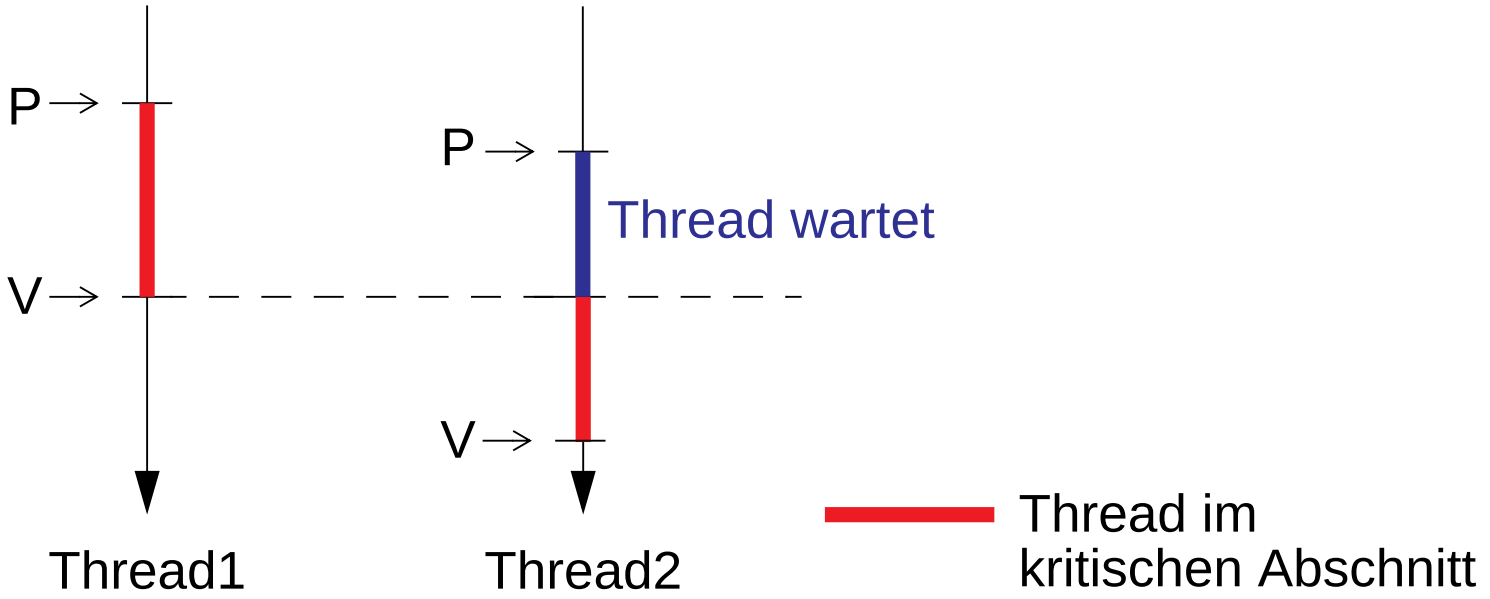
# Limitierung von Ressourcen

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



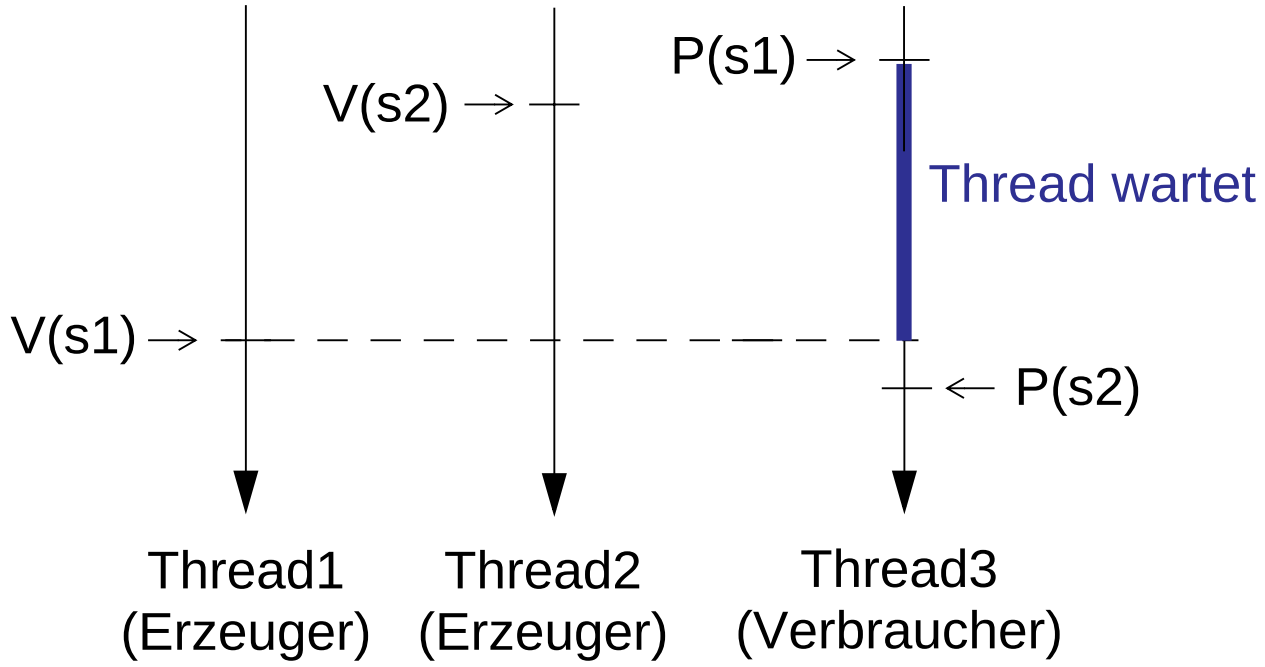
# Gegenseitiger Ausschluss

- 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: Bereitstehen von Zwischenergebnissen



# SP-Semaphoren-Modul

- Semaphore erzeugen

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

- P/V-Operationen

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

- Semaphor zerstören

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

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



# Agenda

7.1 Hinweise zur Evaluation
7.2 (Mini-)Klausurvorbereitung
7.3 Threads
7.4 Schnittstelle
7.5 Koordinierung
7.6 Aufgabe 6: palim
7.7 Gelerntes Anwenden



# Allgemeines

- Mehrfädige, rekursive Suche nach einer Zeichenkette in Verzeichnisbäumen
- Zur Verwendung der Pthreads-Bibliothek ist die gcc-Option `-pthread` notwendig
- Partnerabgabe!
- palim nicht ausführen auf:
  - SunRay-Servern (faui0sr0, faui0sr1, faui0sr2, faui05, faui01)
  - SunRay-Thin-Clients
  - faui09er und faui01er Rechnern



# Aufgaben der Threads

- Haupt-Thread (`main()`)
  - Startet für jeden als Parameter übergebenen Verzeichnisbaum einen eigenen crawl-Thread
  - Aktualisiert die Statusausgabe kontinuierlich, bis die Suche abgeschlossen ist, und terminiert anschließend den Prozess
- *crawl*-Thread
  - Durchsucht einen Verzeichnisbaum rekursiv
  - Wartet falls maximale Anzahl an `grep`-Threads erreicht
  - Startet für jede gefundene reguläre Datei einen eigenen grep-Thread
- *grep*-Thread
  - Öffnet reguläre Datei und zählt u. a. die Anzahl der Zeilen, die die Suchzeichenkette enthalten



# Agenda

7.1 Hinweise zur Evaluation
7.2 (Mini-)Klausurvorbereitung
7.3 Threads
7.4 Schnittstelle
7.5 Koordinierung
7.6 Aufgabe 6: palim
7.7 Gelerntes Anwenden



# Aktive Mitarbeit!

## „Aufgabenstellung“

- Beispiel von Folie 7–18 korrekt synchronisieren