

```
Sep 19 14:20:18 amd64 sshd[20494]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 61557
Sep 19 14:27:41 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 20 01:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[29278]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
Sep 20 01:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 20 02:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[30103]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c 'age > "30d"')
Sep 20 02:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 20 12:46:44 amd64 sshd[6516]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 62004
Sep 20 12:46:44 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 20 12:48:41 amd64 sshd[6609]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 62105
Sep 20 12:54:44 amd64 sshd[6694]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 62514
Sep 20 15:27:35 amd64 sshd[9077]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 64242
Sep 20 15:27:35 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 20 16:37:11 amd64 sshd[10102]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 63375
Sep 20 16:37:11 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 20 16:38:10 amd64 sshd[10140]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 63546
Sep 21 01:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[17055]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
Sep 21 01:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 21 02:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[17878]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c 'age > "30d"')
Sep 21 02:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 21 17:43:26 amd64 sshd[31088]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 63397
Sep 21 17:43:26 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 21 17:53:39 amd64 sshd[31269]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 64397
Sep 21 18:43:26 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 21 19:43:26 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 22 01:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[4674]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
Sep 22 01:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 22 02:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[5499]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c 'age > "30d"')
Sep 22 02:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 22 20:23:21 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 23 01:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[24739]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
Sep 23 01:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 23 02:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[25555]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c 'age > "30d"')
Sep 23 02:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 23 18:04:05 amd64 sshd[6554]: Accepted publickey for esser from ::ffff:192.168.1.5 port 59771 ssh2
Sep 23 18:04:05 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 23 18:04:34 amd64 sshd[6606]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 62093
Sep 24 01:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[12436]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
Sep 24 01:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 24 02:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[13253]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c 'age > "30d"')
Sep 24 02:00:01 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 24 11:15:48 amd64 sshd[20998]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 64456
Sep 24 11:15:48 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 24 13:49:08 amd64 sshd[23197]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 61330
Sep 24 13:49:08 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 24 15:42:07 amd64 kernel: snd_seq_midi_event: unsupported module, tainting kernel.
Sep 24 15:42:07 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 24 15:42:07 amd64 kernel: snd_seq_oss: unsupported module, tainting kernel.
Sep 24 20:25:31 amd64 sshd[29399]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 62566
Sep 24 20:25:31 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 25 01:00:02 amd64 /usr/sbin/cron[662]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c "severity=DEBUG")
Sep 25 01:00:02 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 25 02:00:01 amd64 /usr/sbin/cron[1484]: (root) CMD (/sbin/evlogmgr -c 'age > "30d"')
Sep 25 02:00:02 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 25 10:59:25 amd64 sshd[8889]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 64183
Sep 25 10:59:25 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 25 10:59:47 amd64 sshd[8921]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 64253
Sep 25 11:30:02 amd64 sshd[9372]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 62029
Sep 25 11:59:25 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 25 14:05:37 amd64 sshd[11554]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 62822
Sep 25 14:05:37 amd64 syslog-ng[7653]: STATS: dropped 0
Sep 25 14:06:10 amd64 sshd[11586]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 62951
Sep 25 14:07:17 amd64 sshd[11608]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 63392
Sep 25 14:08:33 amd64 sshd[11630]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 63709
Sep 25 15:25:33 amd64 sshd[12930]: Accepted rsa for esser from ::ffff:87.234.201.207 port 62778
```

8. Threads

Threads

- Grundlagen, POSIX-Threads
- `pthread_create()`, `pthread_join()`
- Synchronisation mit Mutex, Semaphor

- Hinweise zum Programmier-Projekt
- Evaluation

Threads (1)

Was ist ein Thread?

- Aktivitätsstrang in einem Prozess
- einer von mehreren
- Gemeinsamer Zugriff auf Daten des Prozess
- aber: Stack, Befehlszähler, Stack Pointer, Hardware-Register separat pro Thread
- Prozess-Scheduler verwaltet Threads – oder nicht (Kernel- oder User-level-Threads)

Threads (2)

Warum Threads?

- Multi-Prozessor-System: Mehrere Threads echt gleichzeitig aktiv
- Ist ein Thread durch I/O blockiert, arbeiten die anderen weiter
- Besteht Programm logisch aus parallelen Abläufen, ist die Programmierung mit Threads einfacher

Threads (3): Beispiele

Zwei unterschiedliche Aktivitätsstränge: Komplexe Berechnung mit Benutzeranfragen

Ohne Threads:

```
while (1) {  
    rechne_ein_bisschen ();  
    if benutzereingabe (x) {  
        bearbeite_eingabe (x)  
    }  
}
```

Threads (4): Beispiele

Komplexe Berechnung mit Benutzeranfragen

Mit Threads:

T1:

```
while (1) {  
    rechne_alles ();  
}
```

T2:

```
while(1) {  
    if benutzereingabe (x) {  
        bearbeite_eingabe (x);  
    }  
}
```

Threads (5): Beispiele

Server-Prozess, der viele Anfragen bearbeitet

- Prozess öffnet Port
- Für jede eingehende Verbindung: Neuen Thread erzeugen, der diese Anfrage bearbeitet
- Nach Verbindungsabbruch Thread beenden
- Vorteil: Keine Prozess-Erzeugung (Betriebssystem!) nötig

Threads (6): Beispiel MySQL

Ein Prozess, neun Threads:

```
[esser:~]$ ps -eLf | grep mysql
UID          PID    PPID    LWP   C  NLWP  STIME TTY          TIME CMD
-----
root         27833      1  27833  0    1 Jan04 ?           00:00:00 /bin/sh /usr/bin/mysqld_safe
mysql       27870  27833  27870  0    9 Jan04 ?           00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr
mysql       27870  27833  27872  0    9 Jan04 ?           00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr
mysql       27870  27833  27873  0    9 Jan04 ?           00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr
mysql       27870  27833  27874  0    9 Jan04 ?           00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr
mysql       27870  27833  27875  0    9 Jan04 ?           00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr
mysql       27870  27833  27876  0    9 Jan04 ?           00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr
mysql       27870  27833  27877  0    9 Jan04 ?           00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr
mysql       27870  27833  27878  0    9 Jan04 ?           00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr
mysql       27870  27833  27879  0    9 Jan04 ?           00:00:00 /usr/sbin/mysqld --basedir=/usr

[esser:~]$
```

PID: Process ID

PPID: Parent Process ID

LWP: Light Weight Process ID (Thread-ID)

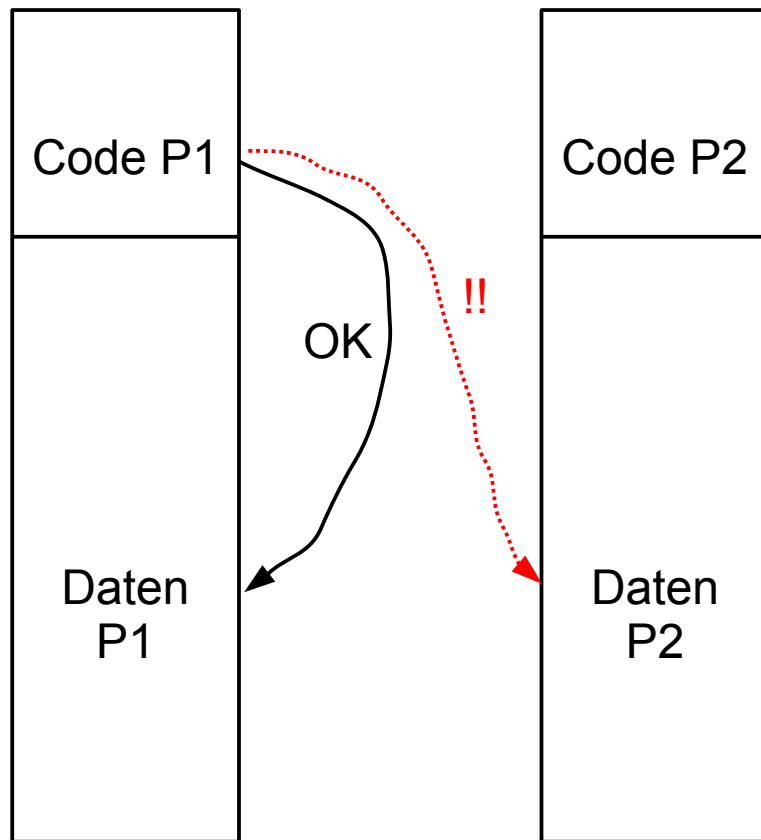
NLWP: Number of Light Weight Processes

Unterschied Prozesse / Threads (1/2)

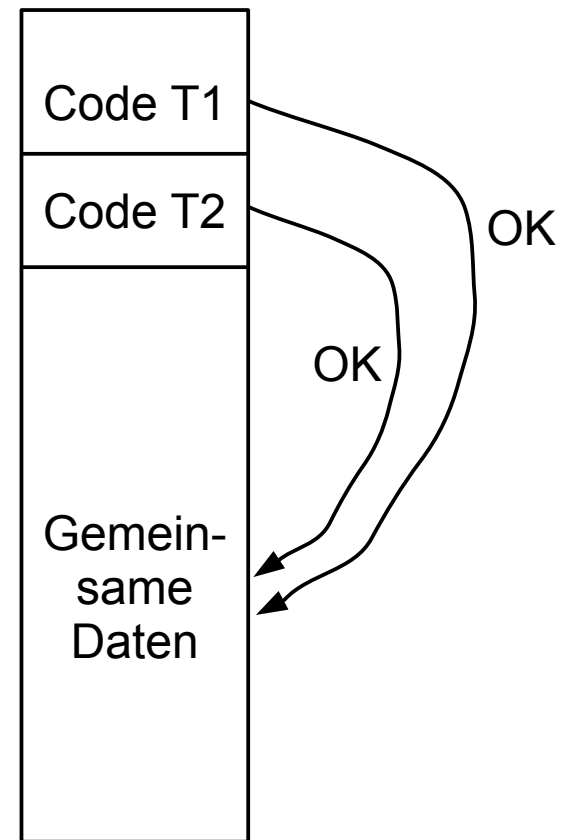
- Parallel programmieren wahlweise mit mehreren Prozessen / mehreren Threads
- Austausch / Kommunikation untereinander
 - **Prozesse:** kein gemeinsamer Speicher. Austausch z. B. über Nachrichten, Zugriff auf Datei
 - **Threads:** gemeinsamer Speicher, Austausch z. B. durch direktes Auslesen von Variablen

Unterschied Prozesse / Threads (2/2)

Zwei Prozesse



Zwei Threads



POSIX-Threads

Linux: pthread-Bibliothek (POSIX Threads)

	Thread	Prozess
Erzeugen	<code>pthread_create()</code>	<code>fork()</code>
Auf Ende warten	<code>pthread_join()</code>	<code>wait()</code>

- Bibliothek einbinden:

```
#include <pthread.h>
```

- Kompilieren:

```
gcc -o prog prog.c -lpthread
```

POSIX-Threads

- Neuer Thread:
`pthread_create()` erhält als Argument eine Funktion, die im neuen Thread läuft.
- Auf Thread-Ende warten:
`pthread_join()` wartet auf einen *bestimmten* Thread.

POSIX-Threads

1. Thread-Funktion definieren:

```
void *thread_funktion(void *arg) {  
    ...  
    return ...;  
}
```

2. Thread erzeugen:

```
pthread_t thread;  
  
if ( pthread_create( &thread, NULL,  
    thread_funktion, NULL) ) {  
    printf("Fehler bei Thread-Erzeugung.\n");  
    abort();  
}
```

```

#include <pthread.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>

void *thread_function1(void *arg) {
    int i;
    for ( i=0; i<10; i++ ) {
        printf("Thread 1 sagt Hi!\n");
        sleep(1);
    }
    return NULL;
}

void *thread_function2(void *arg) {
    int i;
    for ( i=0; i<10; i++ ) {
        printf("Thread 2 sagt Hallo!\n");
        sleep(1);
    }
    return NULL;
}

int main(void) {

    pthread_t mythread1;
    pthread_t mythread2;

    if ( pthread_create( &mythread1, NULL,
        thread_function1, NULL) ) {
        printf("Fehler bei Thread-Erzeugung.");
        abort();
    }

```

```

sleep(5);

    if ( pthread_create( &mythread2, NULL,
        thread_function2, NULL) ) {
        printf("Fehler bei Thread-Erzeugung .");
        abort();
    }

    sleep(5);

    printf("bin noch hier...\n");

    if ( pthread_join ( mythread1, NULL ) ) {
        printf("Fehler beim Join.");
        abort();
    }

    printf("Thread 1 ist weg\n");

    if ( pthread_join ( mythread2, NULL ) ) {
        printf("Fehler beim Join.");
        abort();
    }

    printf("Thread 2 ist weg\n");

    exit(0);
}

```

POSIX-Threads

Keine „Vater-“ oder „Kind-Threads“

- POSIX-Threads kennen keine Verwandtschaft wie Prozesse (Vater- und Sohnprozess)
- Zum Warten auf einen Thread ist Thread-Variable nötig: `pthread_join (thread, ...)`

POSIX-Threads

Prozess mit mehreren Threads:

- Nur ein Eintrag in normaler Prozessliste
- Status: `l`, multi-threaded
- Über `ps -eLf` Thread-Informationen
 - NLWP: Number of light weight processes
 - LWP: Thread ID

```
$ ps auxw | grep thread
USER          PID %CPU %MEM    VSZ   RSS TTY      STAT START   TIME COMMAND
esser        12022  0.0  0.0  17976   436 pts/15    Sl+  22:58   0:00 ./thread
```

```
$ ps -eLf | grep thread
UID          PID  PPID  LWP  C  NLWP  STIME  TTY          TIME CMD
esser        12166  4031  12166  0    3  23:01  pts/15      00:00:00 ./thread1
esser        12166  4031  12167  0    3  23:01  pts/15      00:00:00 ./thread1
esser        12166  4031  12177  0    3  23:01  pts/15      00:00:00 ./thread1
```


POSIX-Threads

Unterschiedliche Semantik:

- Prozess erzeugen mit `fork ()`
 - erzeugt zwei (fast) identische Prozesse,
 - beide Prozesse setzen Ausführung an gleicher Stelle fort (nach Rückkehr aus `fork ()`-Aufruf)
- Thread erzeugen mit `pthread_create (... , funktion, ...)`
 - erzeugt neuen Thread, der in die angeg. Funktion springt
 - erzeugender Prozess setzt Ausführung hinter `pthread_create ()`-Aufruf fort

Synchronisation

- Zugriff auf gemeinsame Ressourcen (z. B. prozessweit gültige Variablen in mehreren Threads) einschränken
- POSIX-Semaphore
- POSIX-Mutexe
- Beispiel für Synchronisationsproblem

POSIX-Semaphore

- Deklarieren: `sem_t s;`
- Initialisieren: `sem_init (&s, 0, Start);`
- Erniedrigen oder blockieren (falls =0):
`sem_wait (&s);`
- Erhöhen oder wartenden Thread wecken
(falls Threads in Warteschlange):
`sem_post (&s);`

POSIX-Semaphor als Mutex

Mutex: mutual exclusion

- Deklarieren: `sem_t m;`
- Initialisieren: `sem_init (&m, 0, 1);`
- Erniedrigen oder blockieren (falls =0):
`sem_wait (&m);`
- Erhöhen oder wartenden Thread wecken
(falls Threads in Warteschlange):
`sem_post (&m);`

Oder: POSIX-Mutex

Eigener Mutex-Typ:

- Deklarieren: `pthread_mutex_t m;`
- Initialisieren: `pthread_mutex_init (&m, NULL);`
- Sperren: `pthread_mutex_lock (&m);`
- Freigeben: `pthread_mutex_unlock (&m);`

Beispiel: Synchr.-Problem

```
#include <pthread.h>
#include <semaphore.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#define ITERATIONEN 10000000

int count = 0;
sem_t mutex;

void* addierer () {
    int i, tmp;
    for (i = 0;
         i < ITERATIONEN; i++) {
        tmp = count;
        tmp++;
        count = tmp;
    }
}
```

```
int main () {
    pthread_t t1, t2;
    pthread_create (&t1, NULL, addierer, NULL);
    pthread_create (&t2, NULL, addierer, NULL);
    pthread_join (t1, NULL);
    pthread_join (t2, NULL);

    if (count != 2 * ITERATIONEN)
        printf ("Fehler: count = %d, "
                "sollte aber %d sein.\n",
                count, 2*ITERATIONEN);
    else
        printf ("OK: count = %d\n", count);
    return 0;
}
```

```
root@ubu64:/home/esser/thread-sem# ./a.out
Fehler: count = 11499212, sollte aber 20000000 sein.
root@ubu64:/home/esser/thread-sem# ./a.out
Fehler: count = 11841573, sollte aber 20000000 sein.
```

Lösung mit Posix-Semaphor

```
sem_t mutex;
```

```
void* addierer () {  
    int i, tmp;  
    for (i = 0; i < ITERATIONEN; i++) {  
        sem_wait (&mutex); // Zugriff sperren  
        tmp = count;  
        tmp++;  
        count = tmp;  
        sem_post (&mutex); // Zugriff wieder freigeben  
    }  
}
```

```
int main () {  
    sem_init (&mutex, 0, 1); // Mutex einrichten  
    pthread_t t1, t2;  
    pthread_create(&t1, NULL, addierer, NULL);  
    pthread_create(&t2, NULL, addierer, NULL);  
    [...]
```

```
root@ubu64:/home/esser/thread-sem# ./a.out  
OK: count = 20000000
```

Lösung mit Posix-Mutex

```
pthread_mutex_t mutex;
```

```
void* addierer () {  
    int i, tmp;  
    for (i = 0; i < ITERATIONEN; i++) {  
        pthread_mutex_lock (&mutex); // Zugriff sperren  
        tmp = count;  
        tmp++;  
        count = tmp;  
        pthread_mutex_unlock (&mutex); // Zugriff wieder freigeben  
    }  
}
```

```
int main () {  
    pthread_mutex_init (&mutex, NULL); // Mutex einrichten  
    pthread_t t1, t2;  
    pthread_create(&t1, NULL, addierer, NULL);  
    pthread_create(&t2, NULL, addierer, NULL);  
    [...]
```

```
root@ubu64:/home/esser/thread-sem# ./a.out  
OK: count = 20000000
```