MAS: Betriebssysteme

Prozesse und Threads

T. Pospíšek

Gesamtüberblick

1. Einführung in Computersysteme
2. Entwicklung von Betriebssystemen
3. Architekturansätze
4. Interruptverarbeitung in Betriebssystemen
5. **Prozesse und Threads**
6. CPU-Scheduling
7. Synchronisation und Kommunikation
8. Speicherverwaltung
9. Geräte- und Dateiverwaltung
10. Betriebssystemvirtualisierung

Zielsetzung

- Das Prozess- und das Threadmodell verstehen und erläutern können
- Den Lebenszyklus von Prozessen und Threads innerhalb eines Betriebssystems verstehen und erläutern können

Überblick

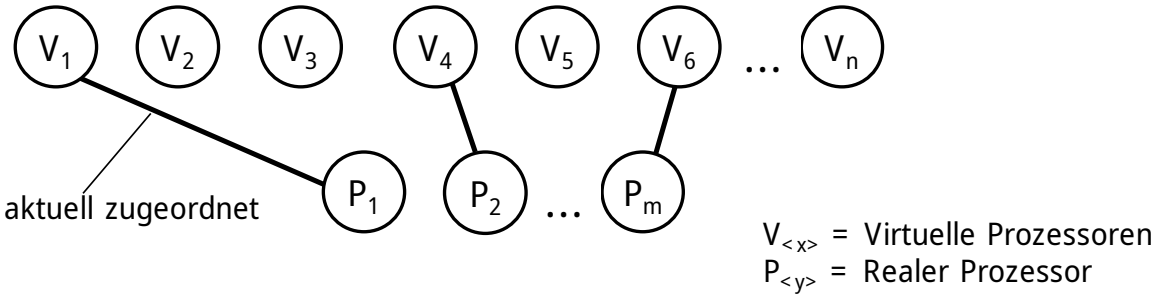
1. **Prozesse und Lebenszyklus von Prozessen**
2. Threads
3. Threads im Laufzeitsystem

Prozesse

- Informelle Definitionsansätze: Ein **Prozess** (manchmal auch Task genannt):
  - ist die Ausführung (Instanzierung) eines Programms auf einem Prozessor
  - ist eine dynamische Folge von Aktionen verbunden mit entsprechenden Zustandsänderungen
  - ist die gesamte Zustandsinformation der Betriebsmittel eines Programms

Virtuelle Prozessoren

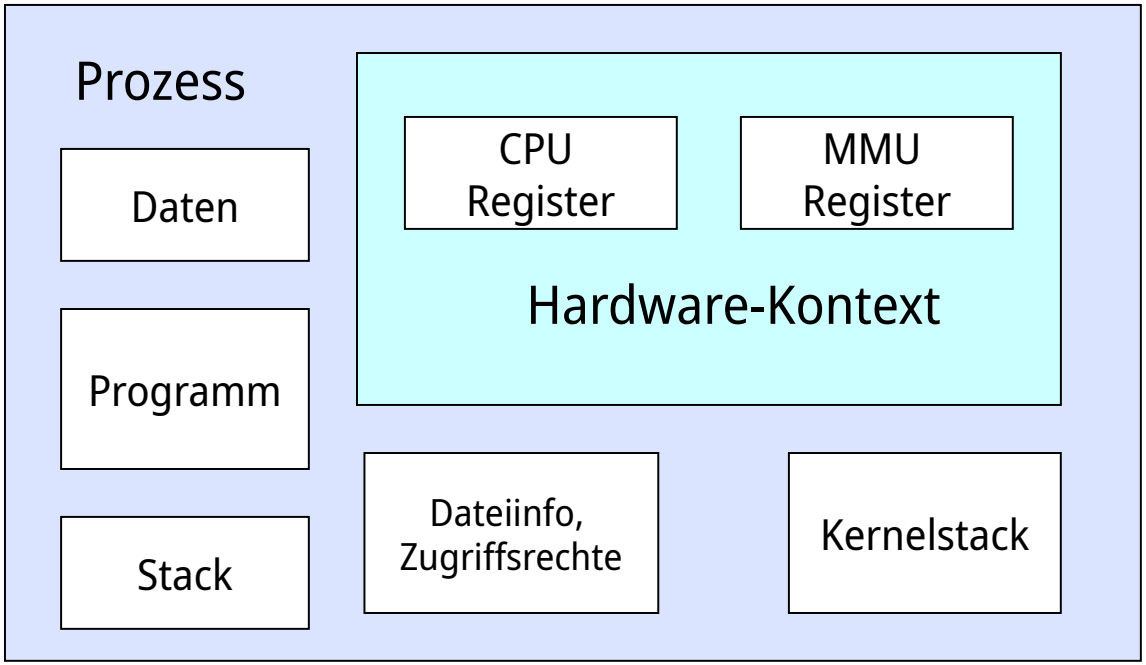
- Das Betriebssystem ordnet im Multiprogramming jedem Prozess einen **virtuellen Prozessor** zu
- Echte Parallelarbeit, falls jedem virtuellen Prozessor ein **realer Prozessor** bzw. Rechnerkern zugeordnet wird
- **Quasi parallel**: Jeder reale Prozessor ist zu einer Zeit immer nur einem virtuellen Prozessor zugeordnet. Der reale Prozessor wird periodisch einem anderen virtuellen Prozessor zugewiesen.



Prozesse und Betriebsmittel

- Prozesse **konkurrieren** um die Betriebsmittel
- Beispiel bei nur einer CPU und mehreren Prozessen:
  - Prozesse laufen abwechselnd einige Millisekunden
  - Dadurch entsteht der Eindruck paralleler Verarbeitung
  - Dazwischen sind Prozesswechsel (**Kontextwechsel** oder „context switch“)
    - Ausführung des bisherigen Prozesses wird unterbrochen („Prozess wird gestoppt“)
    - Ausführung eines anderen Prozesses wird fortgeführt („neuer Prozess wird (re)aktiviert“)

Prozesskontext

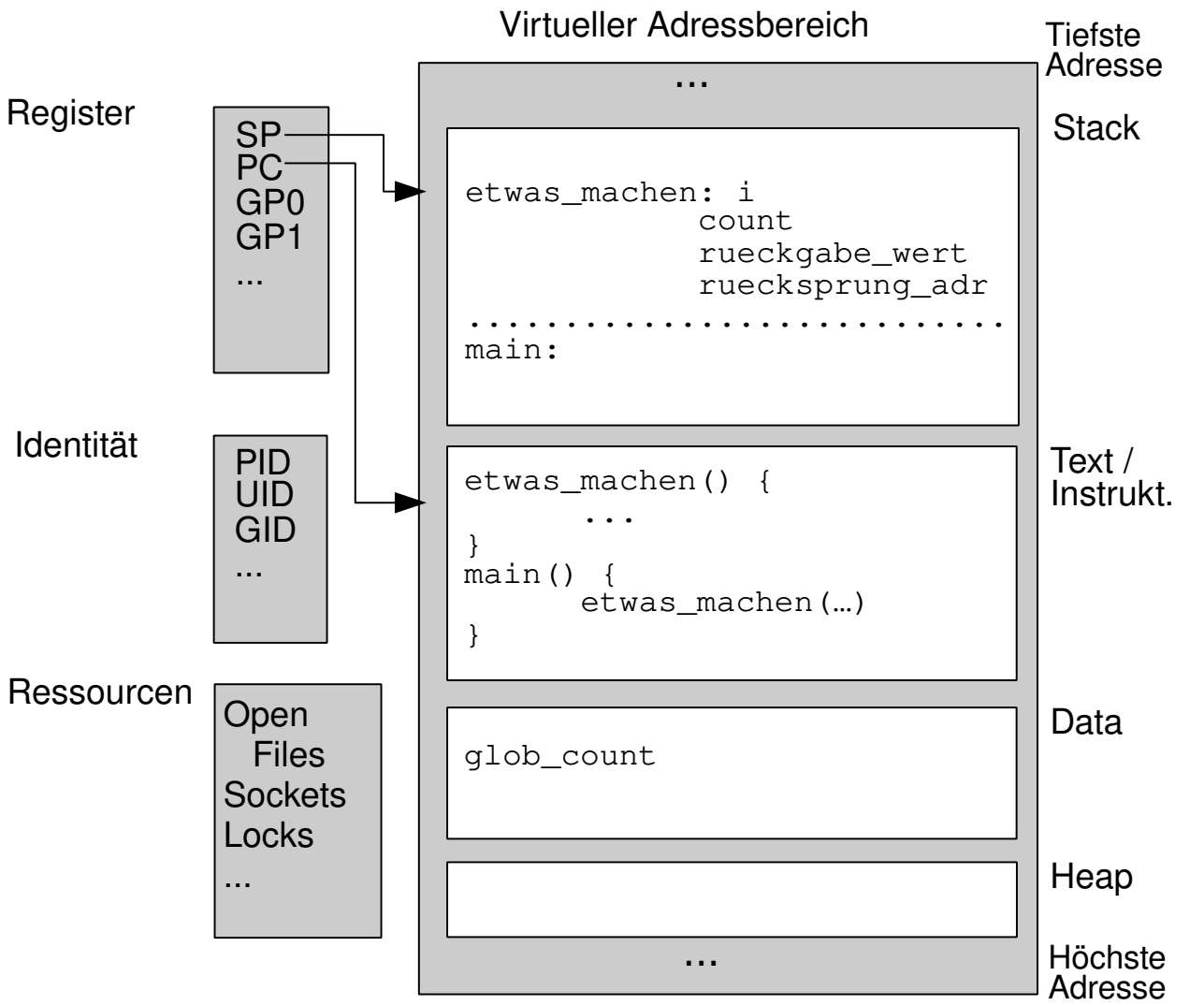


MMU = Memory Management Unit

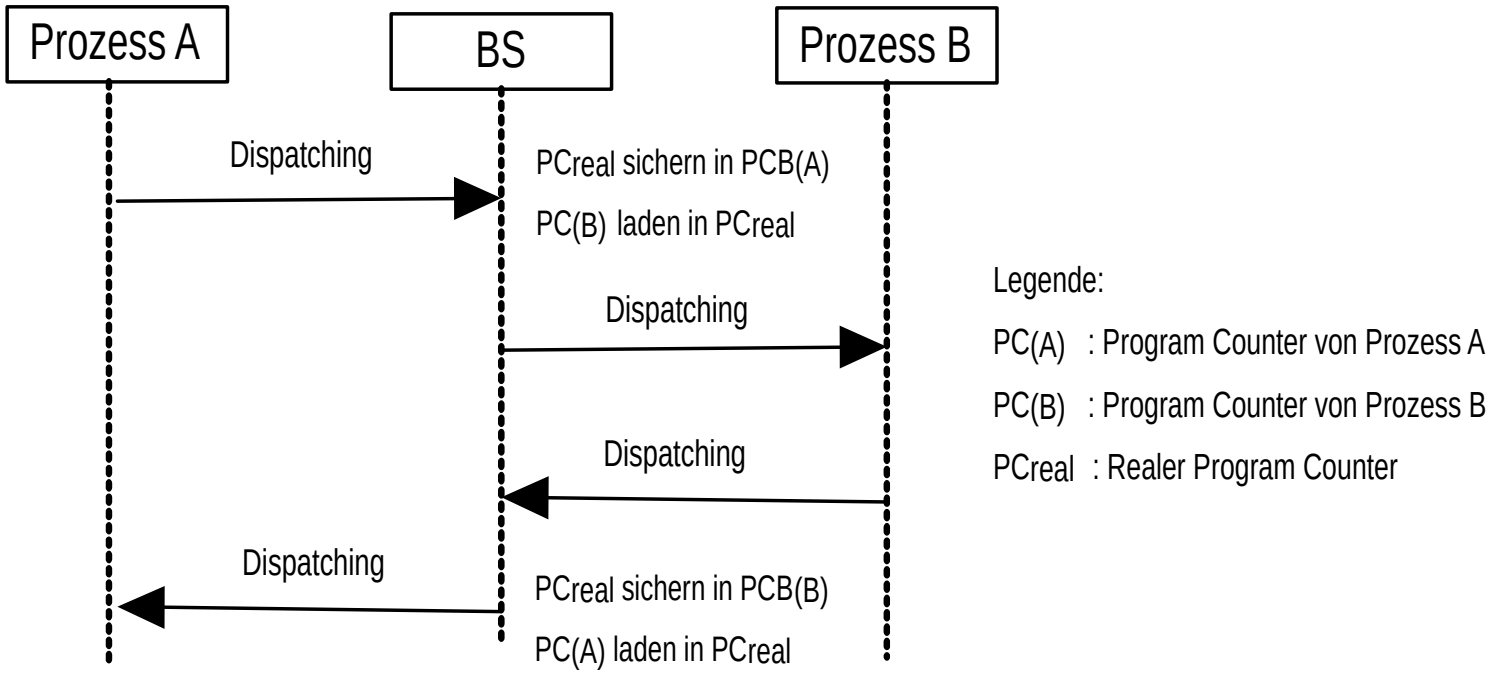
- Prozesskontext = gesamte Zustandsinformation zu einem Prozess
- Kernelstack = Stack für Systemaufrufe des Prozesses

Prozesskontext

```
#include <stdio.h>

int glob_count = 0;

int etwas_machen(int *count)
{
  int i;
  ...
}

int main()
{
  etwas_machen(&glob_count);
  return 0;
}
```



Prozesskontextwechsel



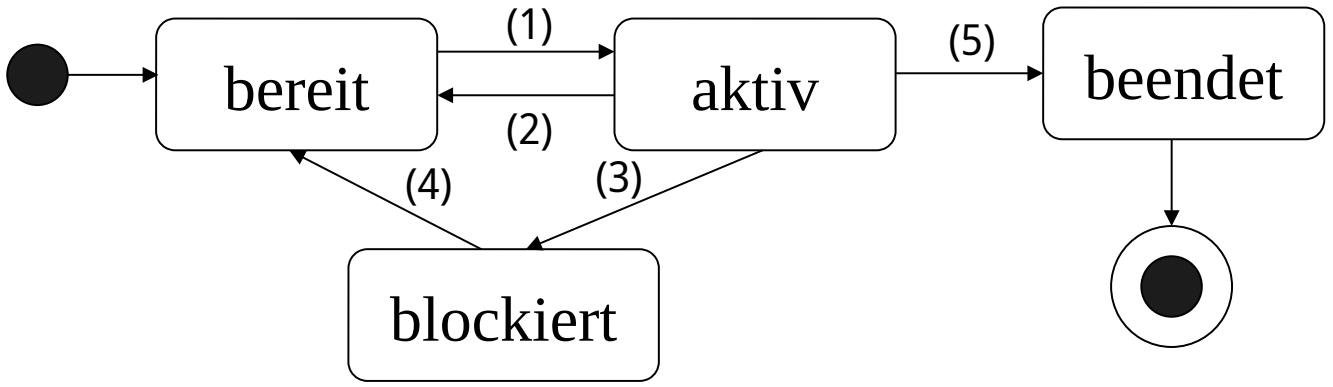
- PCB – Process Control Block
- Hardware-Kontext von Prozess A in seinen PCB sichern
- Gesicherten Hardware-Kontext von Prozess B aus seinem PCB in die Hardware (Ablaufumgebung) laden

Prozesslebenszyklus

- Ein Prozess wird mit Mitteln des Betriebssystems erzeugt, Beispiel in Unix: Systemaufruf ***fork()***
  - Realen Prozessor, Hauptspeicher und weitere Ressourcen zuordnen
  - (Programmcode und Daten in Speicher laden) („copy on write“)
  - Prozesskontext laden und Prozess starten
- Für das Beenden eines Prozesses gibt es mehrere Gründe:
  - Normaler exit
  - Error exit (vom Programmierer gewünscht, fatal error)
  - Durch einen anderen Prozess beendet (killed)

Prozesslebenszyklus: Zustandsautomat eines Prozesses

- Prozesse durchlaufen während ihrer Lebenszeit verschiedene Zustände (Zustandsautomat):



(1) Betriebssystem wählt den Prozess aus (Aktivieren)
(2) Betriebssystem wählt einen anderen Prozess aus (Deaktivieren, preemption, Vorrangunterbrechung)
(3) Prozess wird blockiert (z.B. wegen Warten auf Input, Betriebsmittel wird angefordert)
(4) Blockierungsgrund aufgehoben (Betriebsmittel verfügbar)
(5) Prozessbeendigung oder schwerwiegender Fehler (Terminieren des Prozesses)

Prozesstabelle und PCB

- Betriebssystem verwaltet eine **Prozesstabelle**
  - Information, welche die Prozessverwaltung für Prozesse benötigt, wird in einer Tabelle bzw. mehreren Tabellen/Listen verwaltet
- Ein Eintrag in der Prozesstabelle wird auch als Process Control Block (**PCB**) bezeichnet
- Einige wichtige Informationen im PCB
  - Programmzähler
  - Prozesszustand
  - Priorität
  - Verbrauchte Prozessorzeit seit dem Start des Prozesses
  - Prozessnummer (PID), Elternprozess (PPID)
  - Zugeordnete Betriebsmittel, z.B. Dateien (Dateideskriptoren)

Prozessverwaltung unter Unix: Prozesshierarchie und init-Prozess

- Unix besitzt eine **baumartige** Prozessstruktur (Prozesshierarchie)
- Jeder Prozess erhält vom Betriebssystem eine **PID** (eindeutige Prozess-ID)
- Besondere Prozesse unter Unix:
  - **scheduler** (PID 0), früher: **swapper-**, auch **idle**-Prozess genannt, je nach Betriebssystem
    - Speicherverwaltungsprozess für Swapping (später mehr dazu)
  - **init** (PID 1), bei macOS heißt der Prozess **launchd**
    - Urvater aller Prozesse

Prozessverwaltung unter Unix: Prozesserzeugung - fork

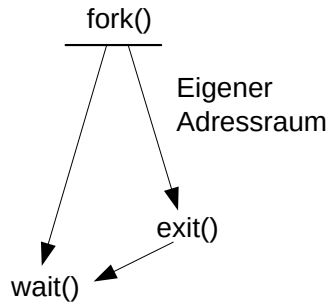
- Ein Prozess wird unter Unix durch einen ***fork()*-**Aufruf des Vaters erzeugt
- Der Kindprozess wird erzeugt und erbt dessen Umgebung **als Kopie**:
  - Alle offenen Dateien und Netzwerkverbindungen
  - Umgebungsvariablen
  - Aktuelles Arbeitsverzeichnis
  - Datenbereiche
  - Codebereiche
- Durch den System-Call ***execve()*** kann im Kindprozess ein neues Programm geladen werden

Prozesserzeugung unter Unix (C-Beispiel)

```
static void main()
{
        int ret;
        int exit_status;
        pid_t pid;

        ret = fork();
        if (ret == 0) {
                ...
                exit(0);
        }
        else {
                ...
                pid = wait(&exit_status);
                exit(0);
        }
}
```

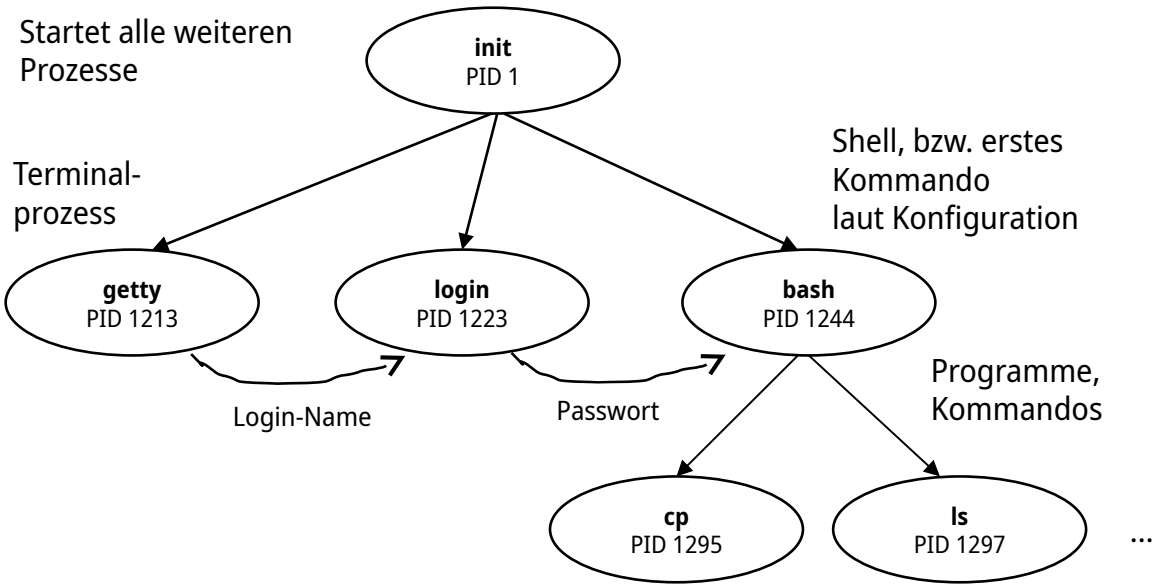
Prozesserzeugung unter Unix (C-Beispiel)

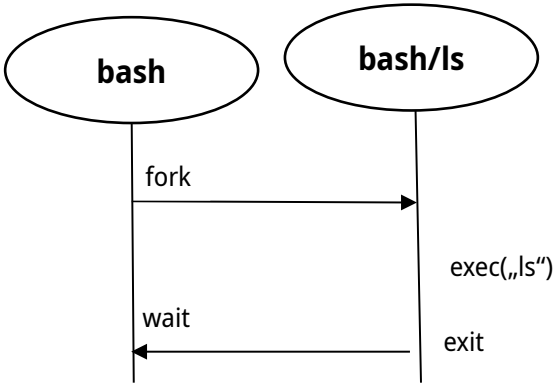
```
static void main()
{
        int ret;                        // Returncode von `fork`.
        int exit_status;                // Status des Kindprozesses bei Beendigung.
        pid_t pid;                      // pid_t ist ein spezieller Datentyp, der eine PID beschreibt.

        ret = fork();                   // Erzeuge Kindprozesses.
        if (ret == 0) {
                // Anweisungen, die im Kindprozess ausgeführt werden.
                ...
                exit(0);                // beende den Kindprozesses mit Status 0 (ok)
        }
        else {
                // Anweisungen, die nur im Elternprozess ausgeführt werden.
                // Zur Ablaufzeit kommt hier nur der Elternprozess rein.
              // ret = PID des Kindprozesses


                ...
                pid = wait(&exit_status);       // warte auf Beendigung des Kindprozesses
                exit(0);                                // beende Vaterprozesses mit Status 0 (ok)
        }
}
```



Unix-Prozessbaum

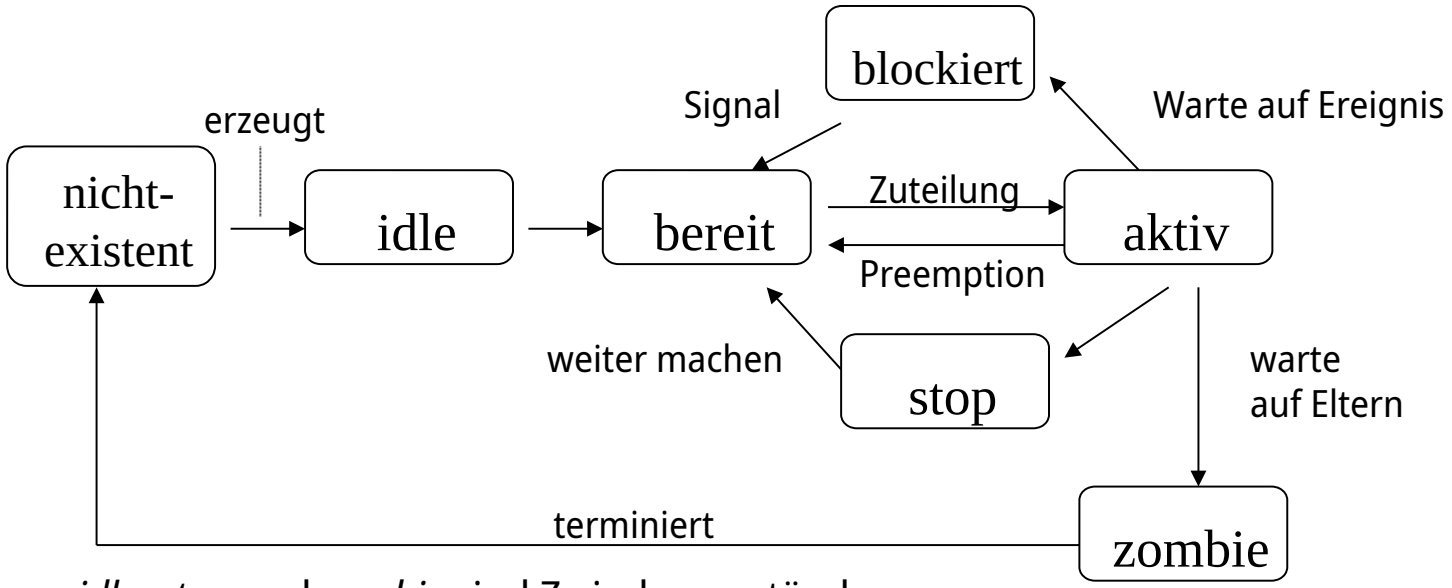
- Je Terminal wartet ein `getty`-Prozess auf eine Eingabe (Login)
- Nach erfolgreichem Login wird ein Shell-Prozess gestartet
- Jedes Kommando wird gewöhnlich in einem eigenen Prozess ausgeführt
- `pstree` oder `ps faux` für Prozessbaum Anzeige





Zustandsautomat eines Unix-Prozesses

- Jeder Prozess, außer der init-Prozess, hat einen Elternprozess
- Zustand *zombie* wird vom Kindprozess eingenommen, bis der Elternprozess Nachricht über Ableben erhalten hat
- Elternprozess stirbt vorher –> init-Prozess wird „Pflegevater“

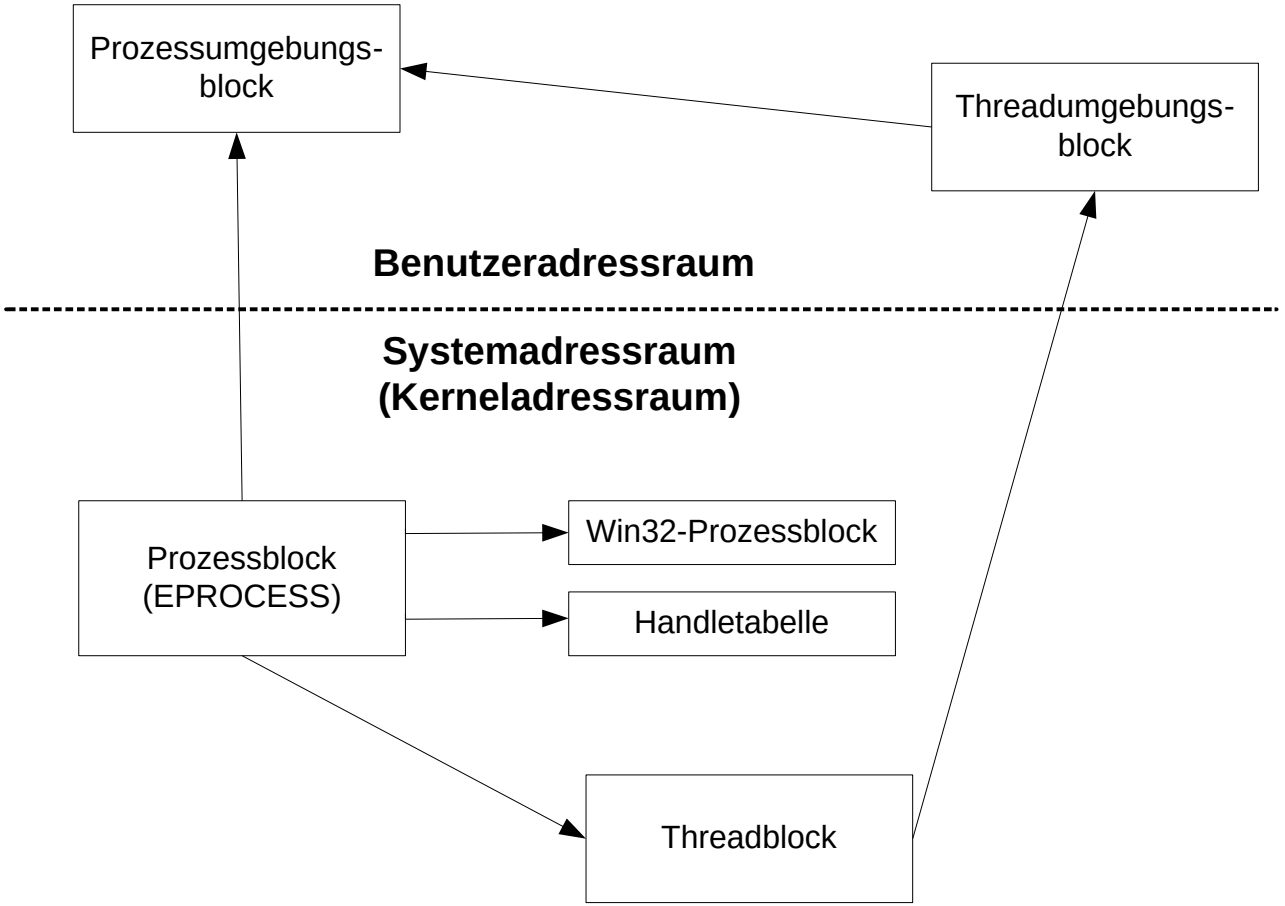


idle, stop und *zombie* sind Zwischenzustände

Prozessverwaltung unter Windows

- Die Prozesserzeugung ist in Windows komplexer als unter Unix
- System Call ***CreateProcess()*** dient der Erzeugung von Prozessen
- Jeder Prozess erhält zur Verwaltung ein Objekt-Handle mit **PID** (Idle-Prozess hat PID 0)
- **POSIX-fork()-**Mechanismus geht auch unter Windows (in einem POSIX-Prozess) und wird auf *CreateProcess()* abgebildet

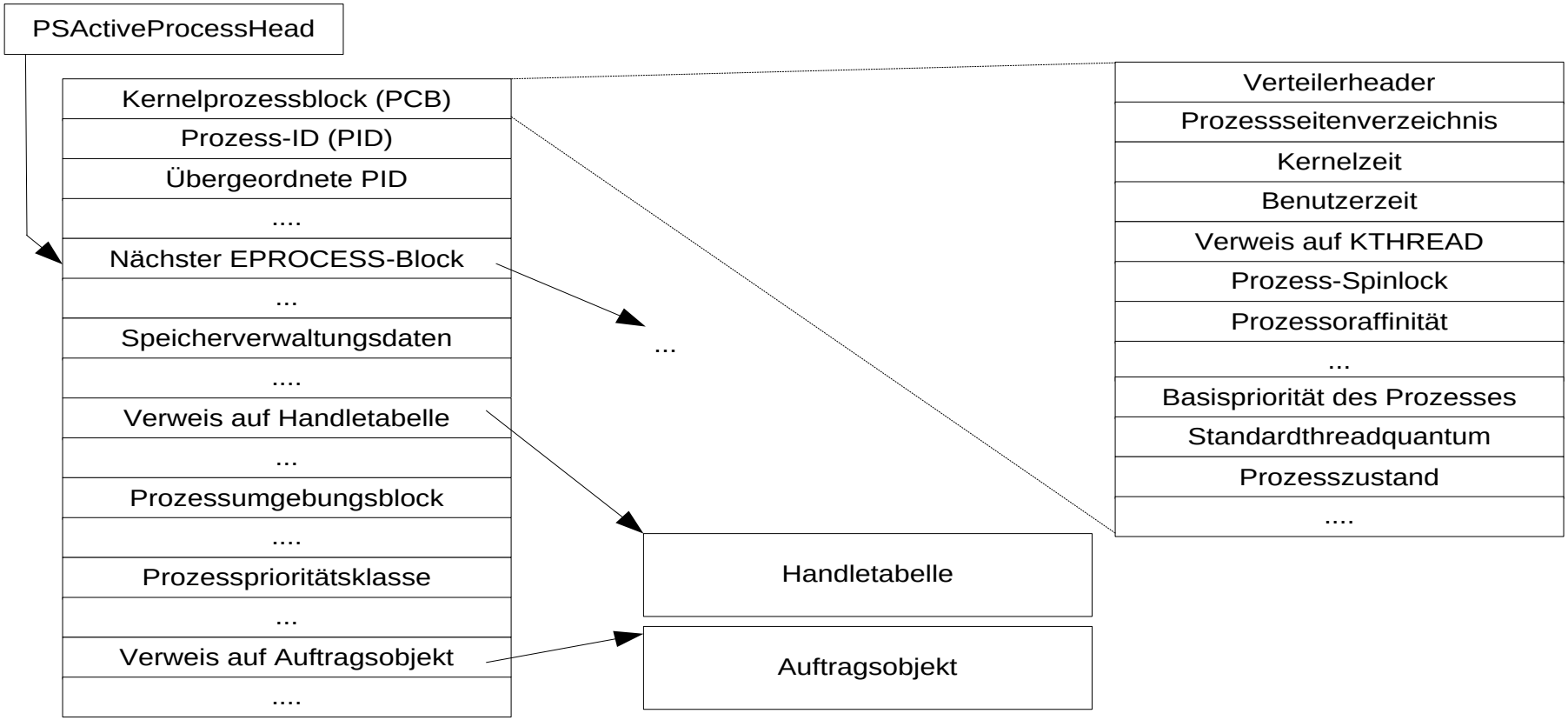
Datenstrukturen unter Windows



Quelle: *Solomon, D. A.; Russinovich, M.:* Microsoft Windows Internals, Microsoft Press, Part 1 und 2, 6. Auflage, 2013

Der EPROCESS-Block unter Windows

- Der EPROCESS-Block enthält wichtige Informationen zum Prozess



Quelle: *Solomon, D. A.; Russinovich, M.:* Microsoft Windows Internals, Microsoft Press, Part 1 und 2, 6. Auflage, 2013

Überblick

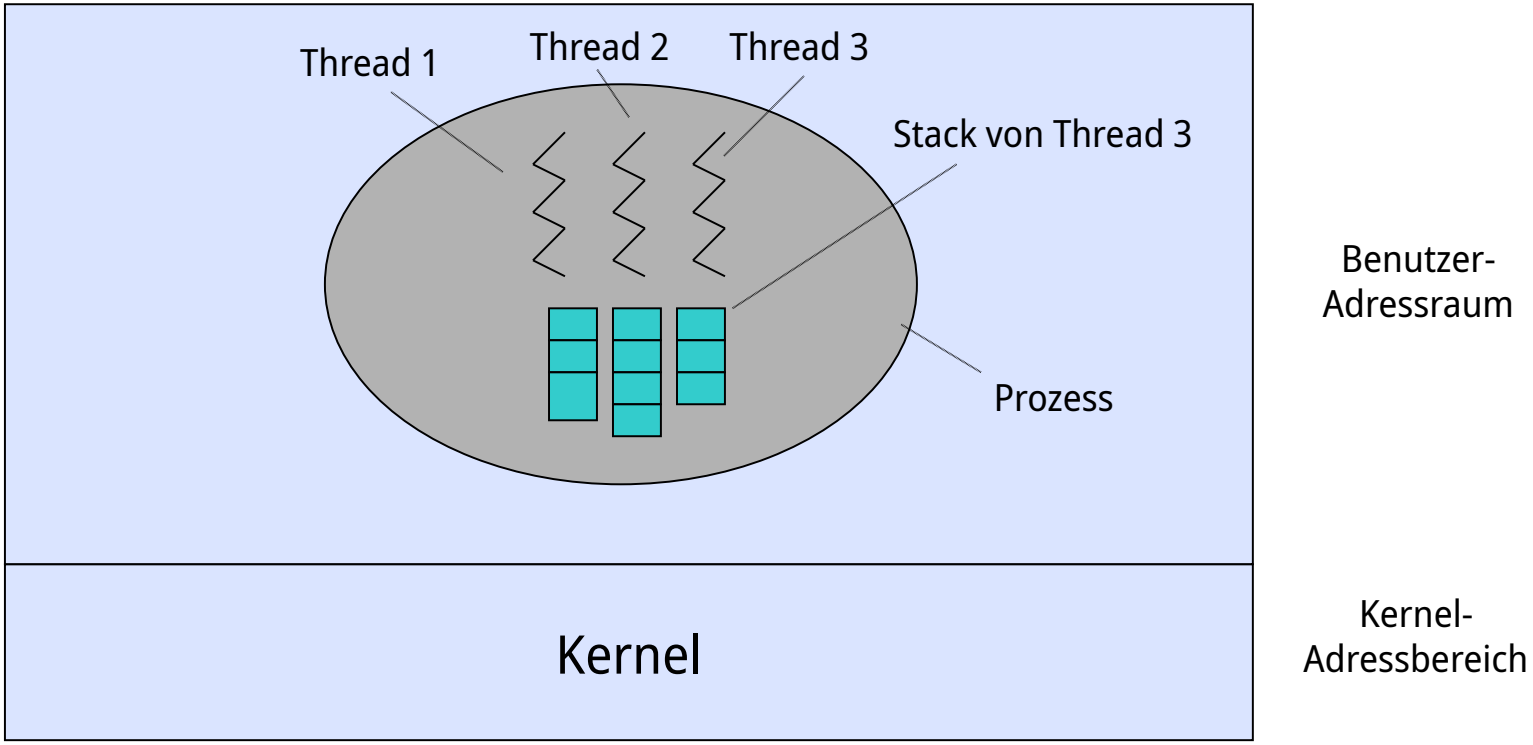
1. Prozesse und Lebenszyklus von Prozessen
2. **Threads**
3. Threads im Laufzeitsystem

Threads

- **Leichtgewichtige** Prozesse (lightweight processes, LWP)
- Gemeinsame Ressourcen im Prozess:
  - **Gemeinsamer Adressraum**
  - Offene Files, Netzwerkverbindungen …
- Eigener **Zustandsautomat** ähnlich wie Prozess
- Mehrere Threads im Prozess ➜ **Multithreading**
- Threads können auf Benutzerebene oder auf Kernelebene implementiert werden
- Threads sind nicht gegeneinander geschützt
  - Synchronisationsmaßnahmen erforderlich

Threads, Stack

- Threads haben einen eigenen Programmzähler, einen eigenen log. Registersatz und einen eigenen Stack



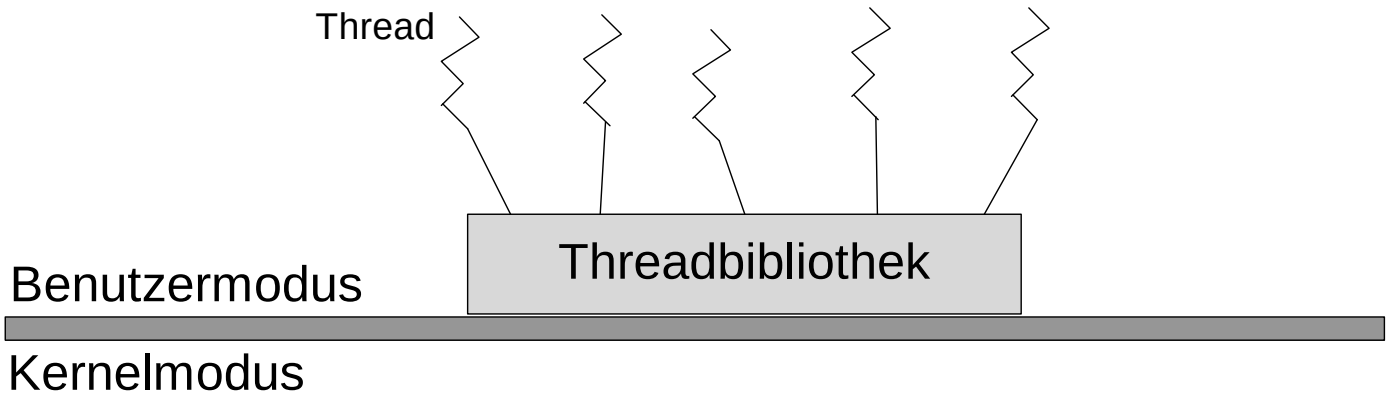
Quelle: *Tanenbaum, A. S.*: Moderne Betriebssysteme, 3. aktualisierte Auflage, Pearson Studium, 2009

Thread-Zustandsautomat unter Windows

- optional:
  - Thread-Zustandsautomat unter Windows – siehe `optional/05-2_Prozesse_und_Threads_Windows_Zustandsautomat.odp`

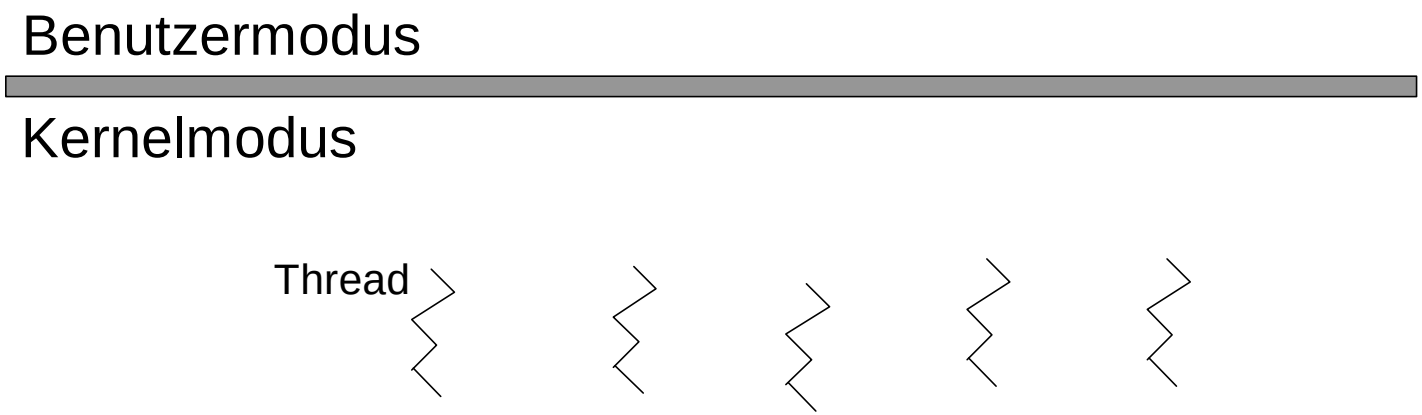
Implementierungsvarianten für Threads

- Implementierung **auf Benutzerebene**
  - auch „green threads“
  - uU. mit „`yield`“, zur Kontrollabgabe implementiert
  - Thread-Bibliothek übernimmt das Scheduling und Dispatching für Threads
  - Scheduling-Einheit ist der Prozess
  - Kernel merkt nichts von Threads



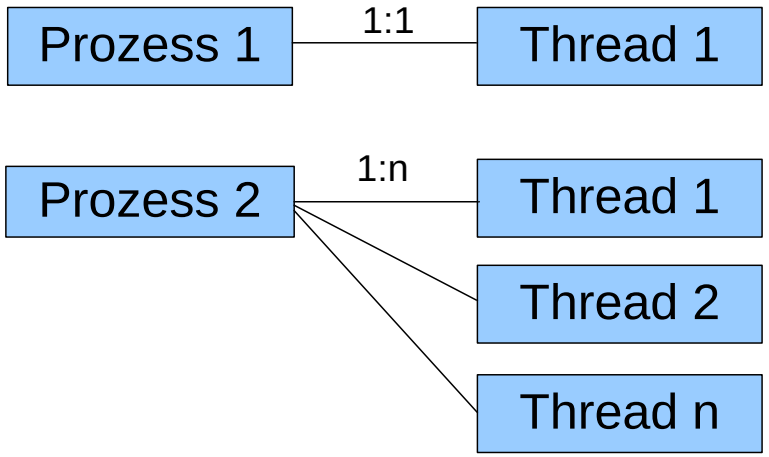
Implementierungsvarianten für Threads

- Implementierung **auf Kernelebene**
  - auch „red threads“
  - Prozess ist nur noch Verwaltungseinheit für Betriebsmittel
  - Scheduling-Einheit ist hier der Thread, nicht der Prozess
  - Nicht so effizient, da Thread-Kontextwechsel über Systemcall



Zuordnung von Threads zu Prozessen

- 1:1: Genau ein Thread läuft in einem Prozess
- 1:n: Mehrere Threads laufen in einem Prozess

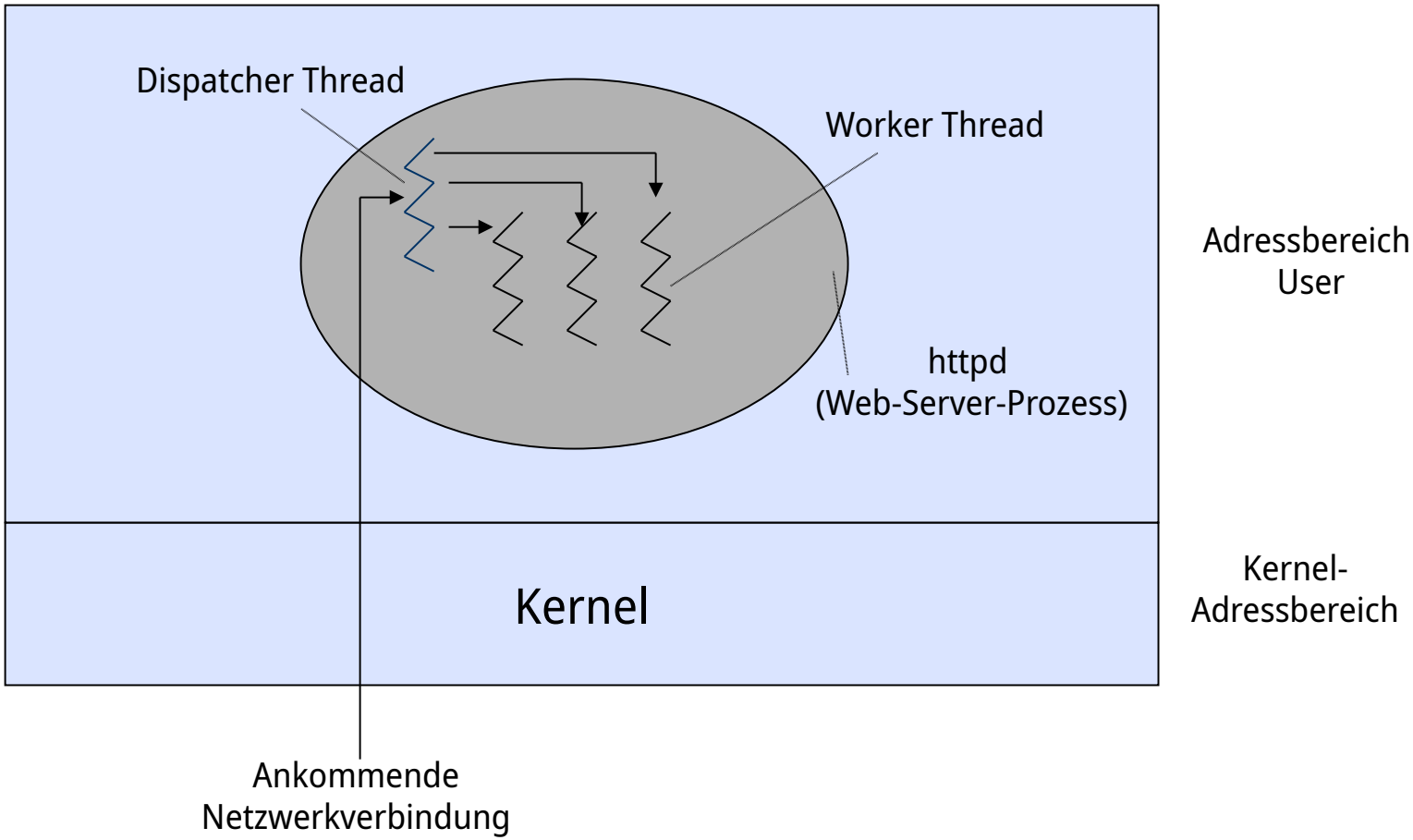


- Auch die Zuordnung von User-Level-Threads zu Kernel-Level-Threads ist wichtig
- Es muss definiert sein: Was ist die Scheduling-Einheit?

Gründe für Threads

- Thread-Kontext-Wechsel geht **schneller** als Prozess-Kontext-Wechsel
- **Parallelisierung** der Prozessarbeit (muss aber entsprechend programmiert werden); Beispiel:
  - Ein Thread hört auf Netzwerkverbindungswünsche
  - Ein Thread führt Berechnungen durch
  - Ein Thread kümmert sich um das User-Interface (Keyboard-Eingabe, Ausgabe auf Bildschirm)
- Sinnvoll bei Systemen mit mehreren CPUs/Cores
- Einsatz z.B. im Web-Server:
  - Dispatcher-Thread wartet auf ankommende HTTP-Requests
  - Mehrere Worker-Threads bearbeiten Request

Einsatzbeispiel für Threads: Web-Server



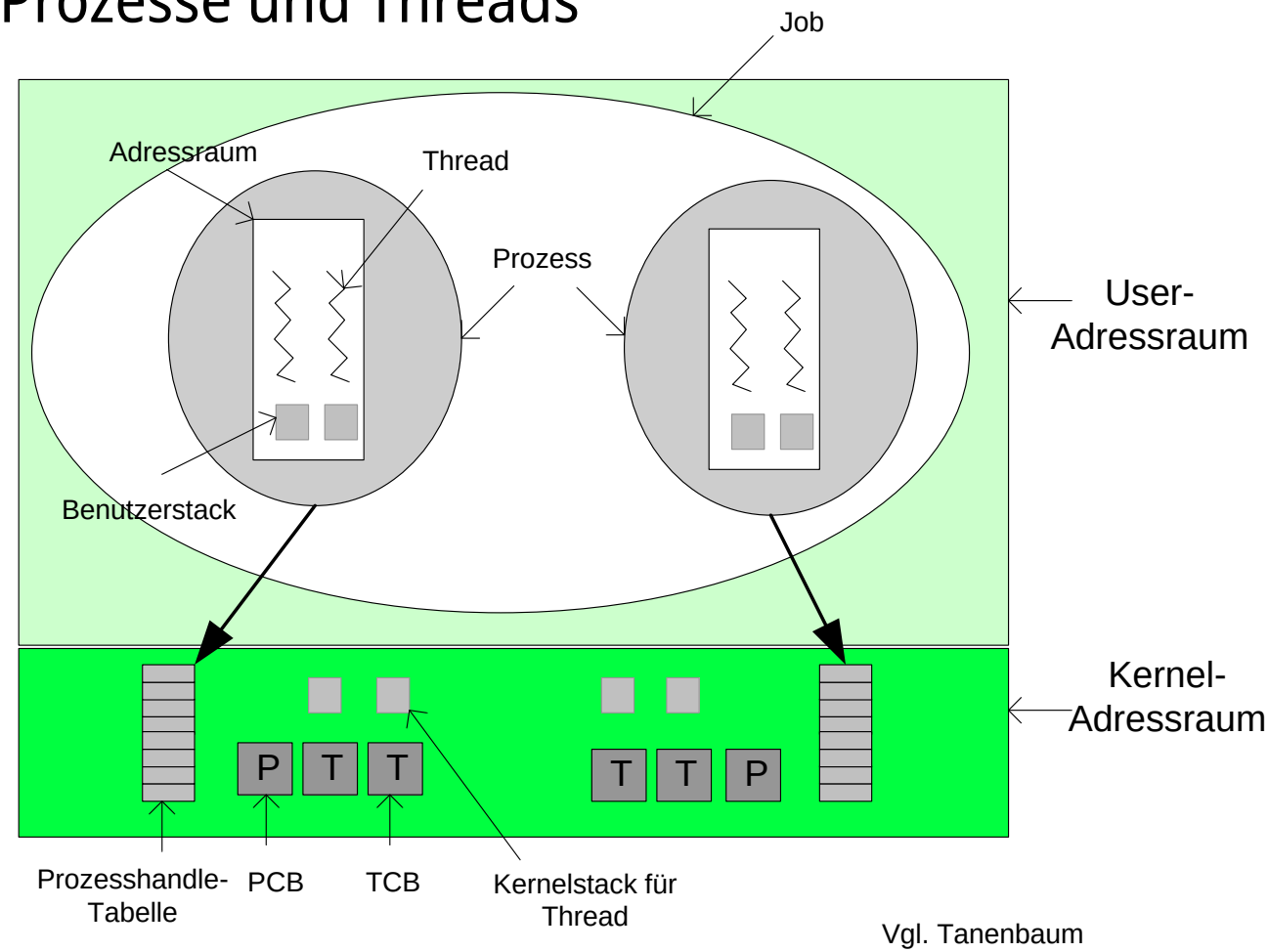
Quelle: *Tanenbaum, A. S.*: Moderne Betriebssysteme, 3. aktualisierte Auflage, Pearson Studium, 2009

Einsatzbeispiel für Threads: Pseudocode

```
dispatcher() {
   while (true) {
       req = receive_request();          // Warten auf ankommende
                                         //   Requests
       start_thread(workerThread, req); // Request eingetroffen
   }
}

workerThread(req) {                       // Thread zur Request-
                                          //   bearbeitung
   repl = process_request(req);
   reply_to_request(repl);                // Antwort zurück an
                                          //   Requestor
}
```

Prozess-/Thread-Verwaltung unter Windows

- Jobs, Prozesse und Threads



Vgl. Tanenbaum

Prozess-Thread-Verwaltung unter Windows

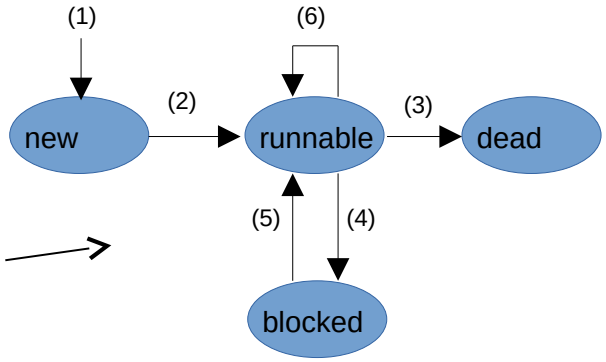
- **Job** = Gruppe von Prozessen, die als eine Einheit verwaltet werden, haben Quotas und Limits
  - Maximale Speichernutzung je Prozess
  - Maximale Anzahl an Prozessen
  - ...
- **Prozess** = Container zur Speicherung von Ressourcen
  - Threads, Speicher,...
- **Thread** = Scheduling-Einheit
- **Fiber** = Leichtgewichtiger Thread, der vom User verwaltet wird (CreateFiber, SwitchToFiber)

Überblick

1. Prozesse und Lebenszyklus von Prozessen
2. Threads
3. **Threads im Laufzeitsystem**

Threads in Python

- Für jedes Programm wird ein eigener Python Interpreter gestartet
- Python läuft in einem Betriebssystemprozess
  - Siehe z.B. im Windows Task Manager
- Python unterstützt Threads
- Python Modul **threading**
- Klasse **Thread**
- Vereinfachter Zustandsautomat



(1) Konstruktoraufruf der Klasse Thread
(2) Aufruf der Methode start() oder run()
(3) Thread beendet
(4) Thread wird blockiert z.B. durch sleep()
(5) Thread wird geweckt z.B. nach sleep()
(6) ein runnable der nicht ausgeführt wurde, wird weiter ausgeführt (gescheduled)

Threads in Python: Eine einfaches Beispiel

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
School of Engineering

```
import time
import threading

stop = False

def arbeiten():
   global stop
   while not stop:
      print("Bin am arbeiten")

thread = threading.Thread(target=arbeiten)

thread.start()

time.sleep(2);

stop = True

thread.join()
```

- Was passiert in diesem Programm?

Threads in Python: Beispiel Erläuterungen

- der Konstruktor
  `threading.Thead(target=arbeiten)`
  erstellt einen neuen Thread für „`arbeiten`“
- die `start()` Methode startet den Thread und so wird „`arbeiten`“ ausgeführt
- die Methode `join()` ohne Parameter wartet bis der Thread „stirbt“, `join(sekunden)` wartet entsprechend und dann wird weiter gemacht

Einschub: Python-Threads

- Threads in Python sind red Threads
- Der Python Interpreter unterstützt nicht wirklich Multithreading. Python hat eine „GIL“ eine „global interpreter lock“, welche verhindert, dass zur gleichen Zeit Python Code ausgeführt werden kann. Input/Output **kann** jedoch parallel zu Code durchgeführt werden!

Einschub:
Sprachen mit red threads

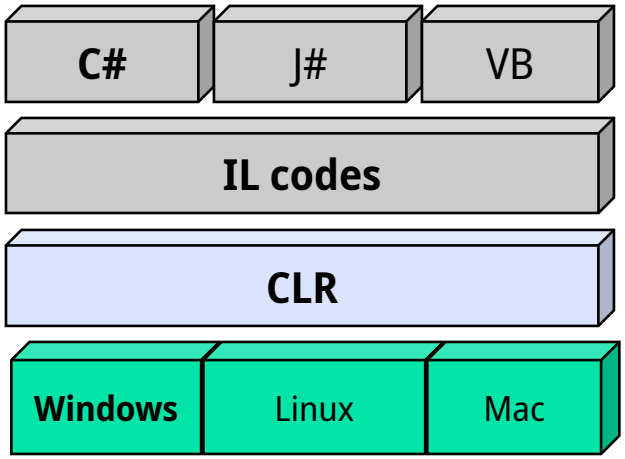
- andere Sprachen, z.B. C, C++, C#, Java, Go, Rust etc. unterstützen Betriebssystem Threads und können diese **gleichzeitig** ausführen!
- Sprachen, welche auf einer eigenen virtuelle Maschinen basieren, wie C# oder Java haben Threads für Verwaltung der Runtime, wie z.B. Garbage Kollektoren

Runtimes Ausflug: .NET Framework: CIL, CLR, FCL

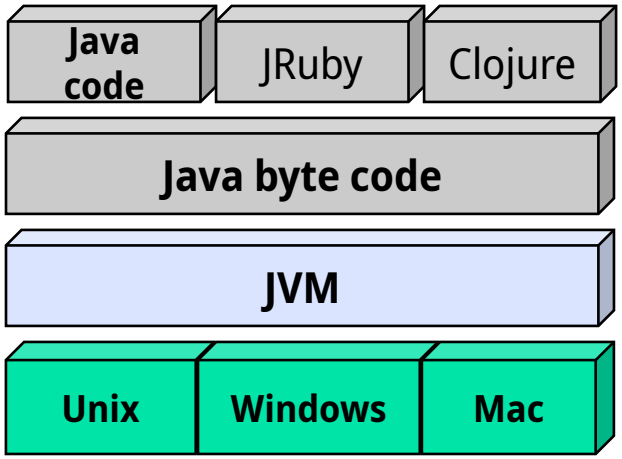
Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
School of Engineering

- .NET Framework: Plattform zur Entwicklung und Ausführung von Anwendungsprogrammen
- CIL = Common Intermediate Language ist ein Zwischencode
  - entspricht Java Byte Code
- CLR = Common Language Runtime
  - entspricht JVM
- Alle Microsoft-Compiler erzeugen CIL-Code
- FCL = Framework Class Library
  - Klassenbibliothek mit vielen Basisklassen
  - in Namespaces geordnet

Runtimes Ausflug: CLR versus JVM



.NET - Lösung



Java - Lösung

IL = Intermediate Language

weitere Ausflüge: Threads in C# und in Java

- optional:
  - Threads in Java: siehe Folien `optional/05-2_Threads_in_Java.odp`
  - C# Assemblies: siehe Folien `optional/05-2_Csharp_Assembly.odp`
  - Threads in C#: siehe Folien `optional/05-2_Prozesse_und_Threads_Csharp.odp`

Gesamtüberblick

- ✓ Einführung in Computersysteme
- ✓ Entwicklung von Betriebssystemen
- ✓ Architekturansätze
- ✓ Interruptverarbeitung in Betriebssystemen
- ✓ **Prozesse und Threads**
5. CPU-Scheduling
6. Synchronisation und Kommunikation
7. Speicherverwaltung
8. Geräte- und Dateiverwaltung
9. Betriebssystemvirtualisierung