

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

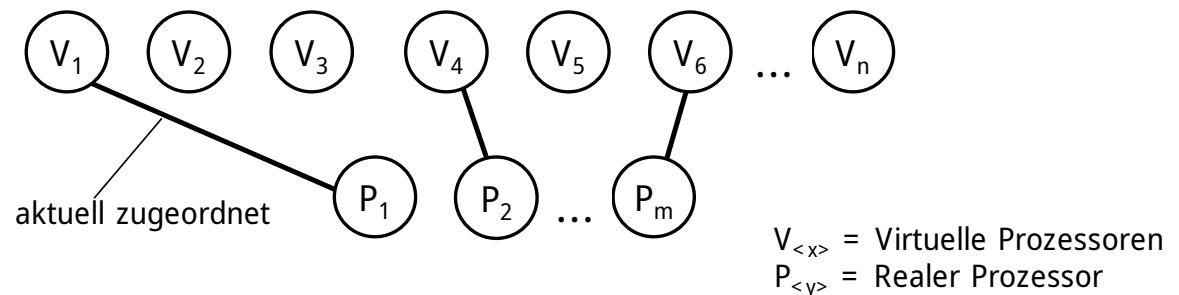
- 1. Prozesse und Lebenszyklus von Prozessen**
2. Threads
3. Threads im Laufzeitsystem

Prozesse

- Informelle Definitionsansätze: Ein **Prozess** (manchmal auch Task genannt):
 - ist die Ausführung (Instanziierung) 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

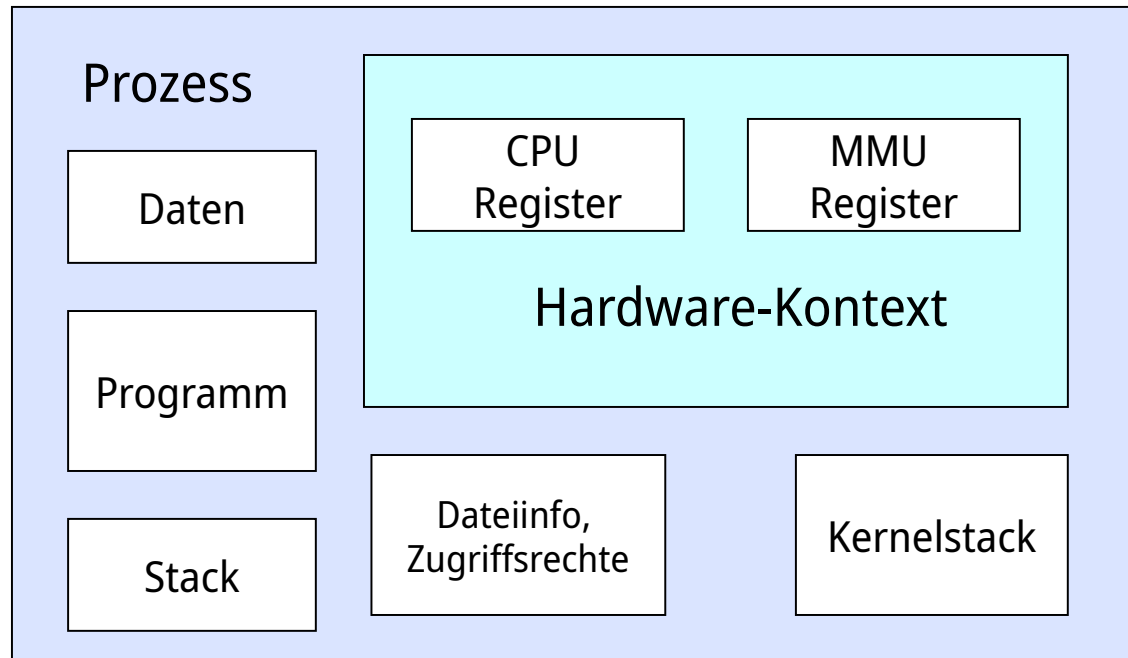
- Das Betriebssystem ordnet im Multiprogramming jedem Prozess einen **virtuellen Prozessor** zu
- Echte Parallelarbeit, falls jedem virtuellen Prozessor ein **realer Prozessor** bzw. Rechnerkern zugeordnet wird
- **Quasi parallel:** Jeder reale Prozessor ist zu einer Zeit immer nur einem virtuellen Prozessor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

Register

SP
PC
GP0
GP1
...

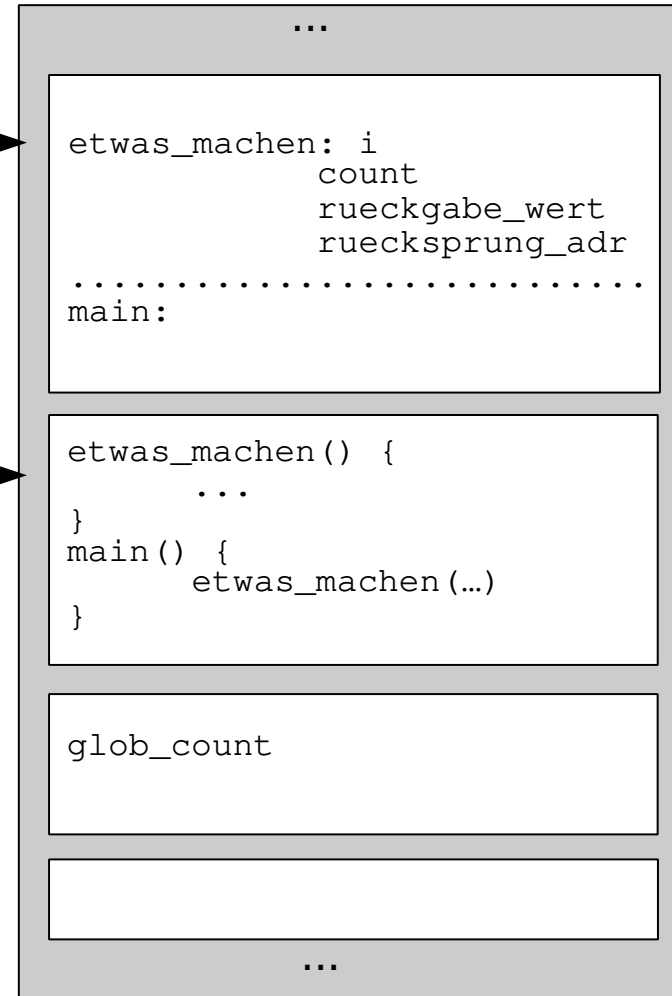
Identität

PID
UID
GID
...

Ressourcen

Open
Files
Sockets
Locks
...

Virtueller Adressbereich



Tiefste
Adresse

Stack

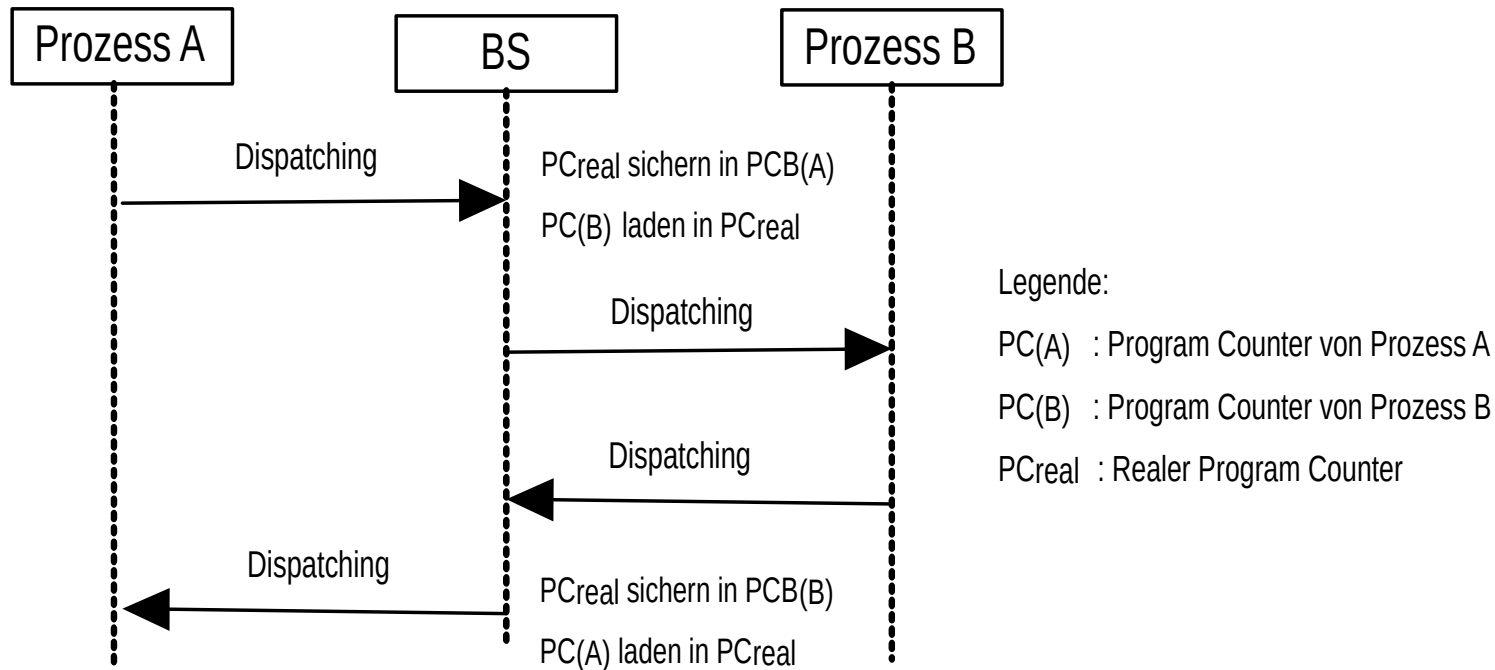
Text /
Instrukt.

Data

Heap

Höchste
Adresse

Prozesskontextwechsel



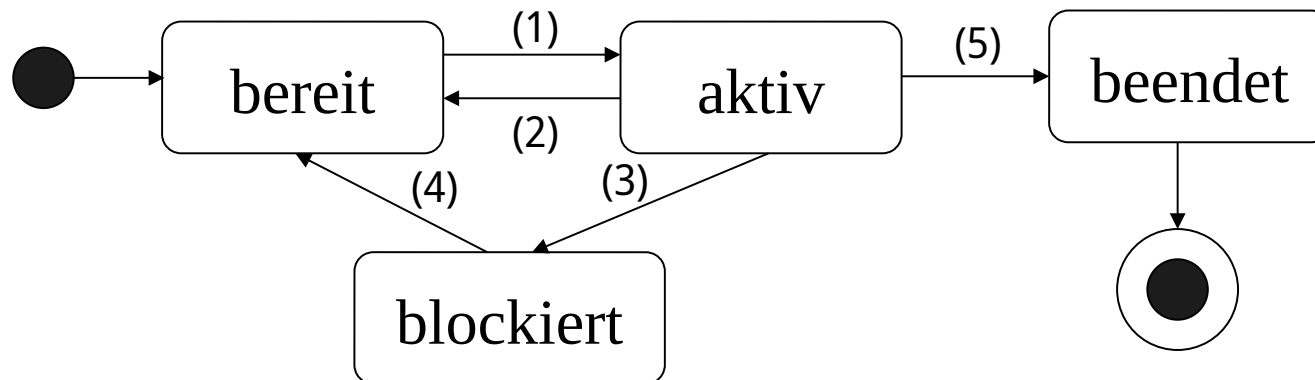
- PCB – Process Control Block
- Hardware-Kontext von Prozess A in seinen PCB sichern
- Gesicherten Hardware-Kontext von Prozess B aus seinem PCB in die Hardware (Ablaufumgebung) laden

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;

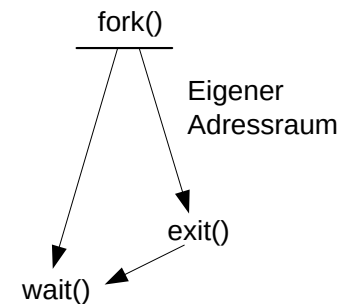
    ret = fork();
    if (ret == 0) {
        ...
        exit(0);
    }
    else {
        ...
        pid = wait(&exit_status);
        exit(0);
    }
}
```


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.

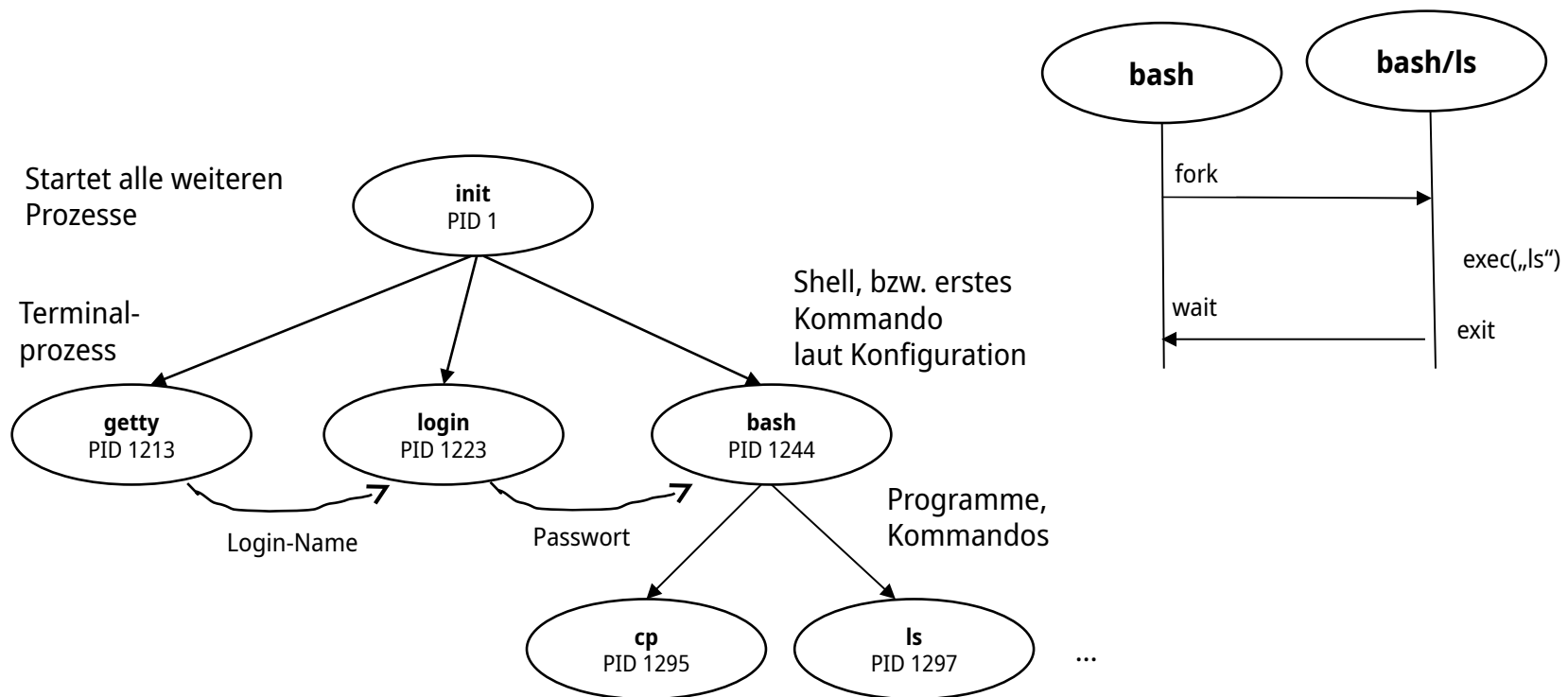
    ret = fork();         // Erzeuge Kindprozesses.
    if (ret == 0) {
        // Anweisungen, die im Kindprozess ausgeführt werden.
        ...
        exit(0);           // beende den Kindprozesses mit Status 0 (ok)
    }
    else {
        // Anweisungen, die nur im Elternprozess ausgeführt werden.
        // 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)
    }
}
```



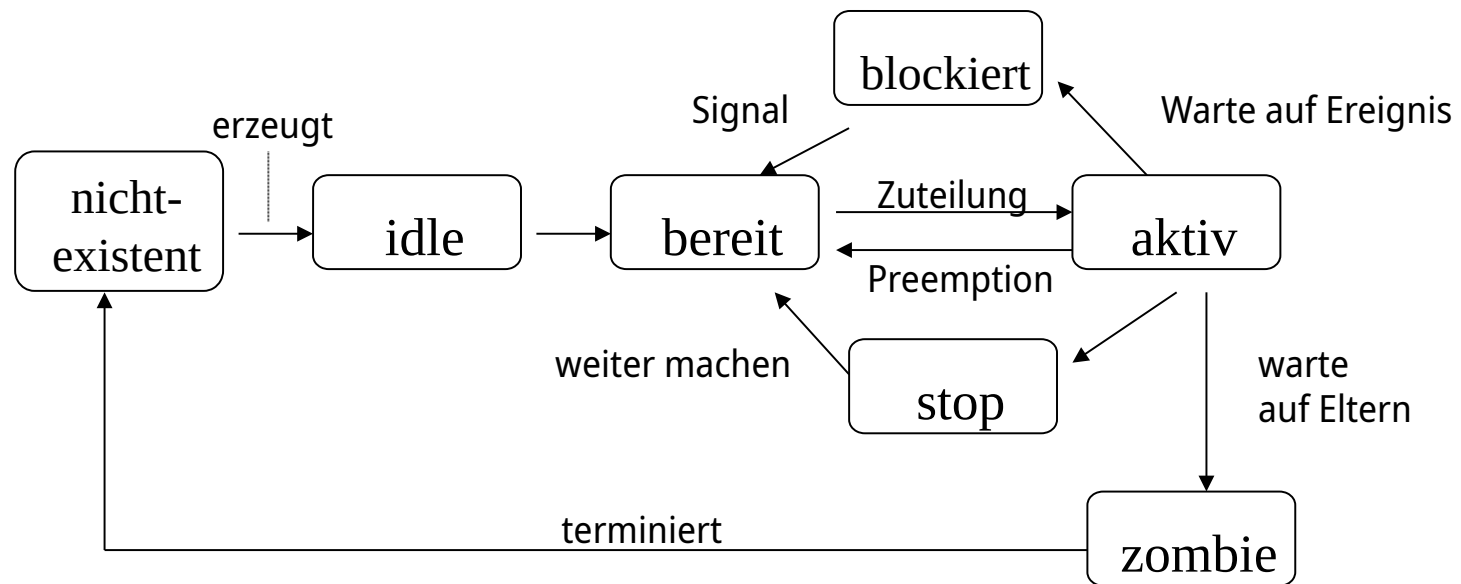
Unix-Prozessbaum

- 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
- `ps tree` 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“



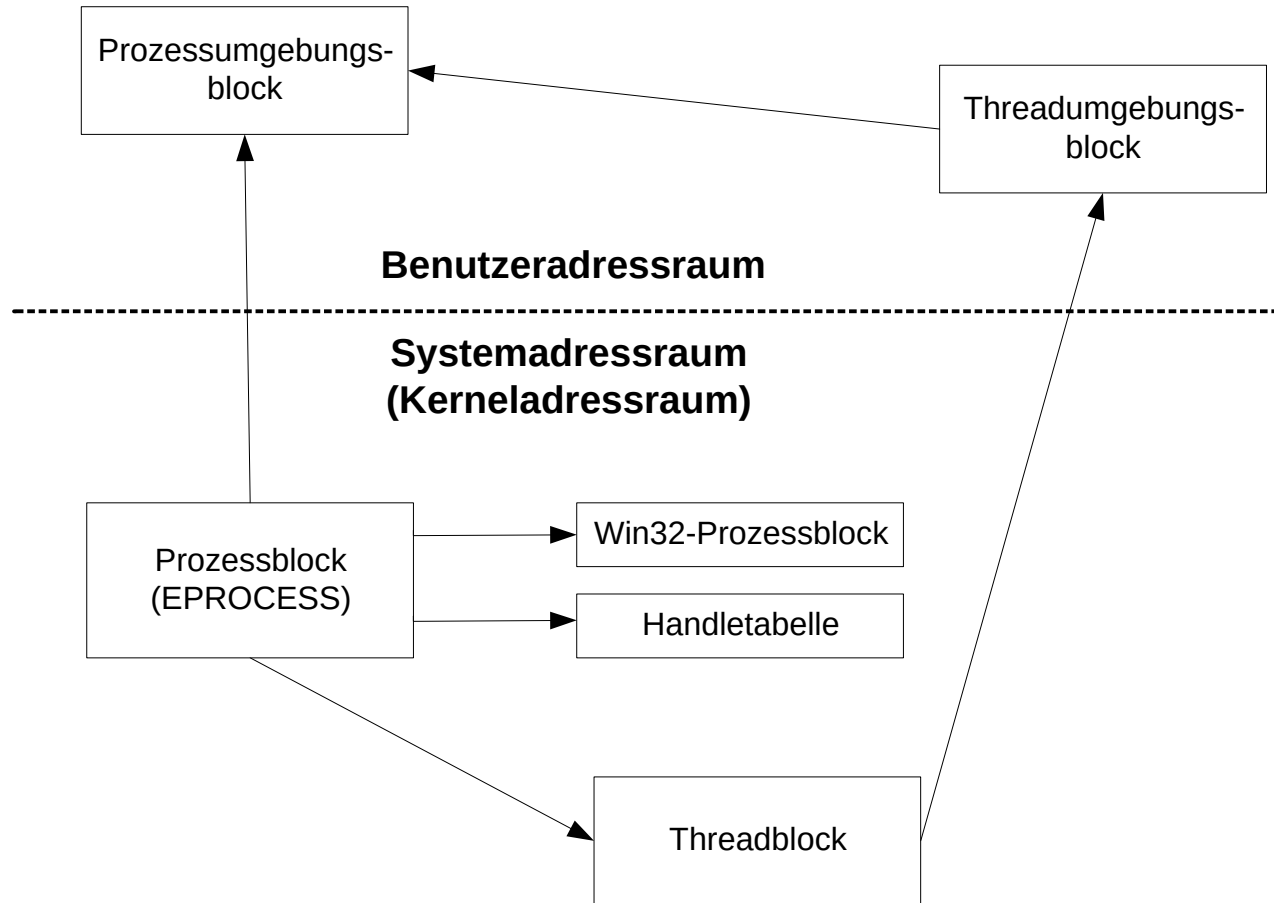
idle, stop und zombie sind Zwischenzustände

Prozessverwaltung unter Windows

- Die Prozesserstellung 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

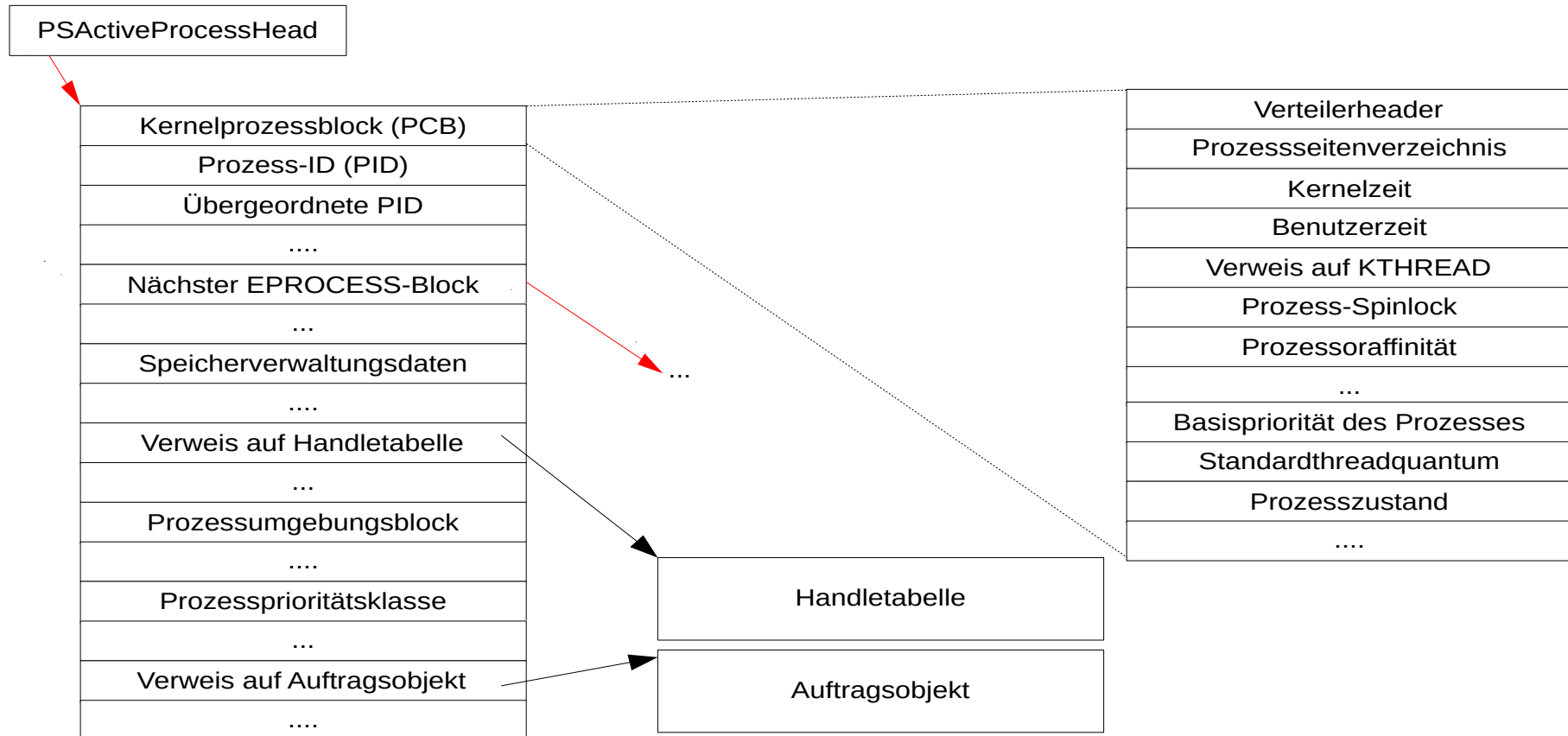


Quelle: Solomon, D. A.; Russinovich, M.: Microsoft Windows Internals, Microsoft Press, Part 1 und 2, 6. Auflage, 2013



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

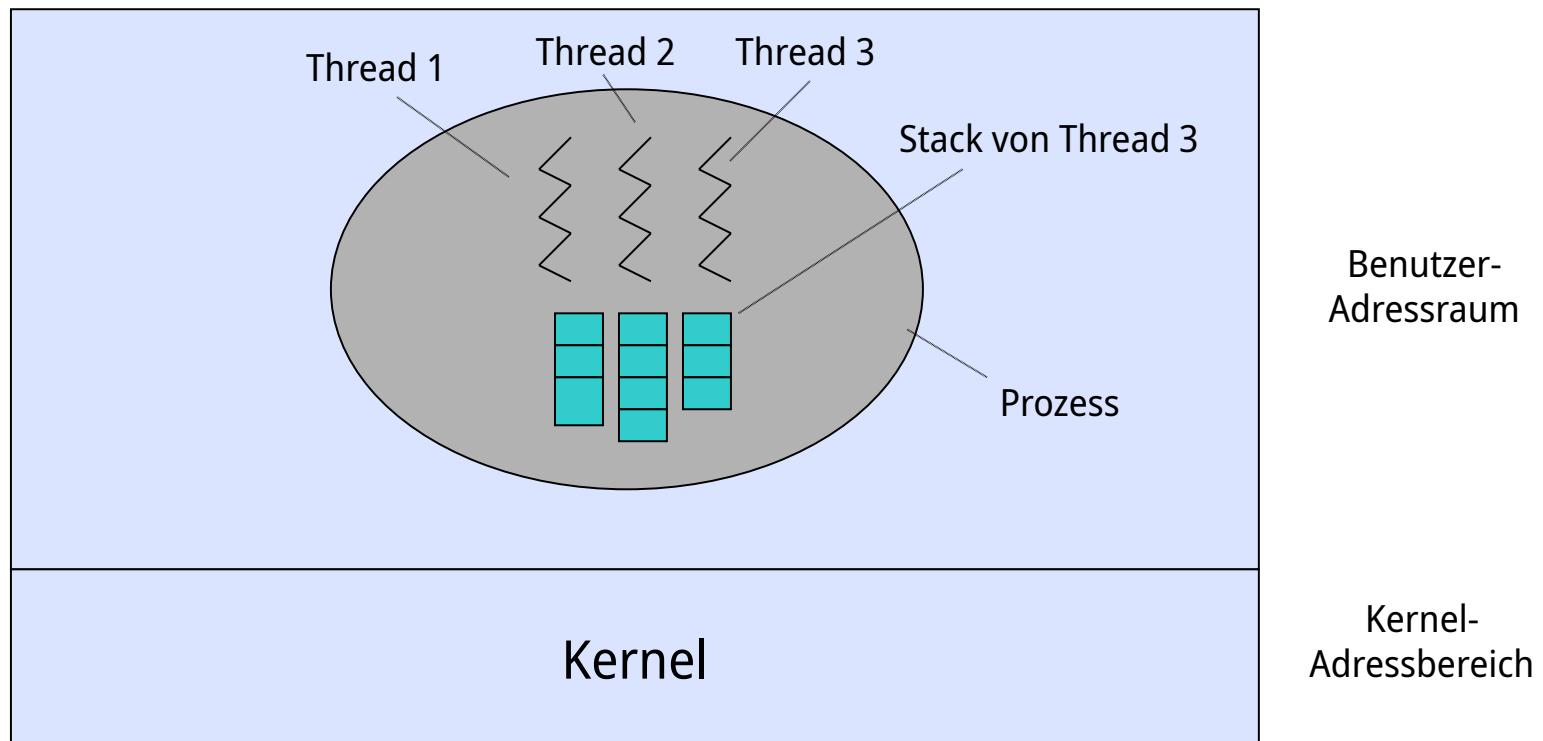
1. Prozesse und Lebenszyklus von Prozessen
- 2. Threads**
3. Threads im Laufzeitsystem

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



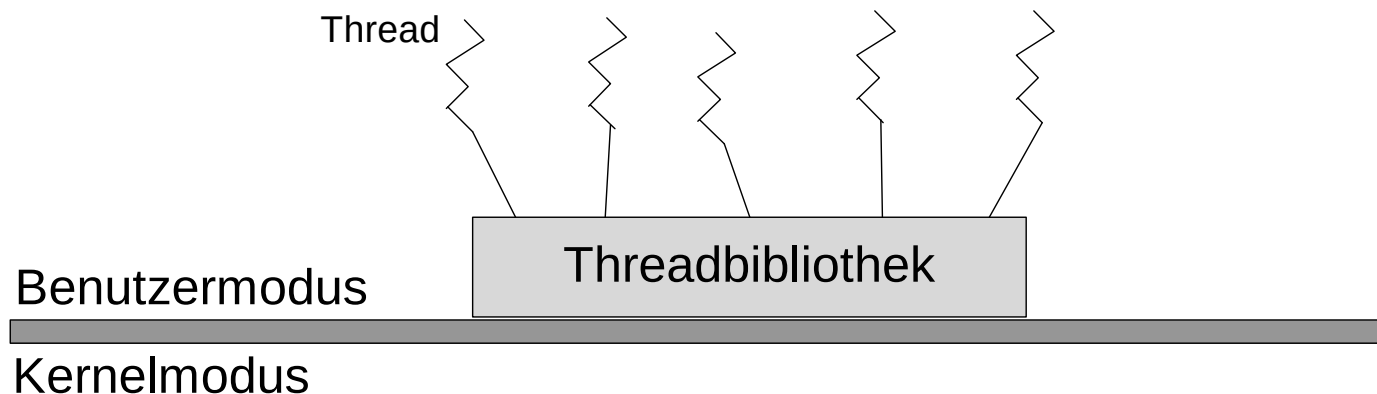
Quelle: Tanenbaum, A. S.: Moderne Betriebssysteme, 3. aktualisierte Auflage, Pearson Studium, 2009

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

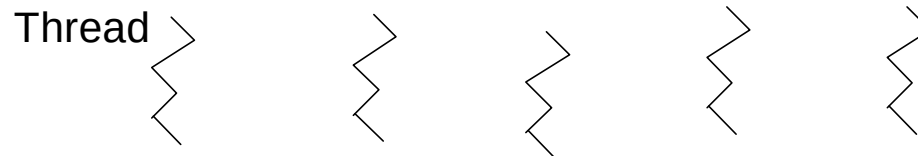


Implementierungsvarianten für Threads

- 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

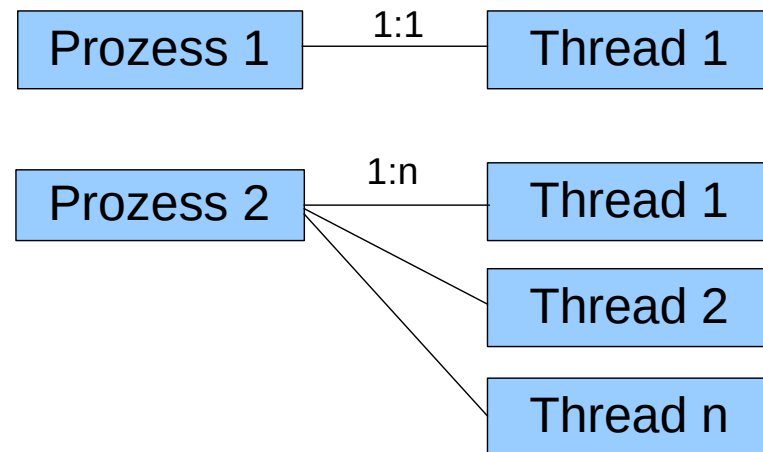
Benutzermodus

Kernelmodus



Zuordnung von Threads zu Prozessen

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

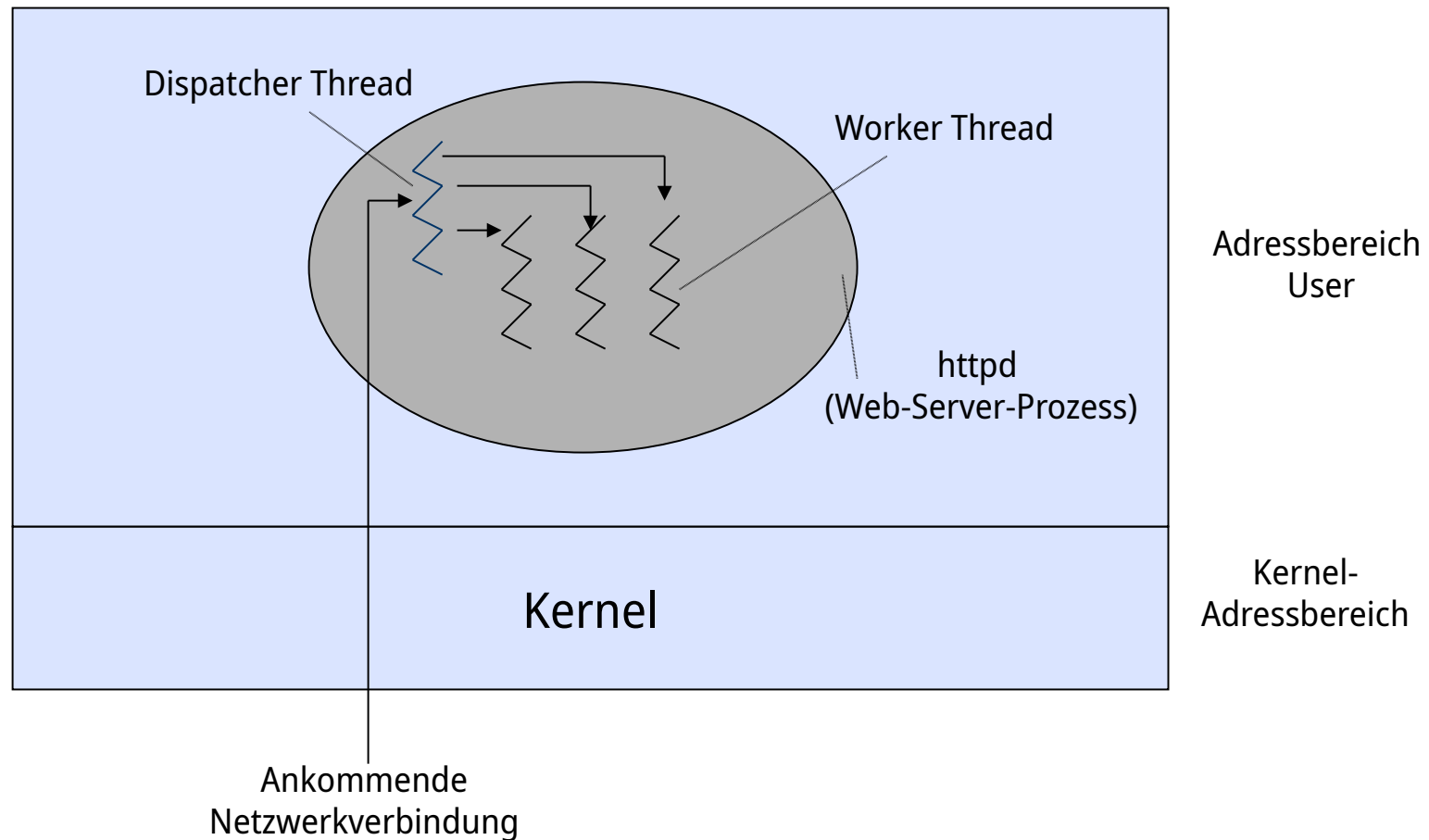


- Auch die Zuordnung von User-Level-Threads zu Kernel-Level-Threads ist wichtig
- Es muss definiert sein: Was ist die Scheduling-Einheit?

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



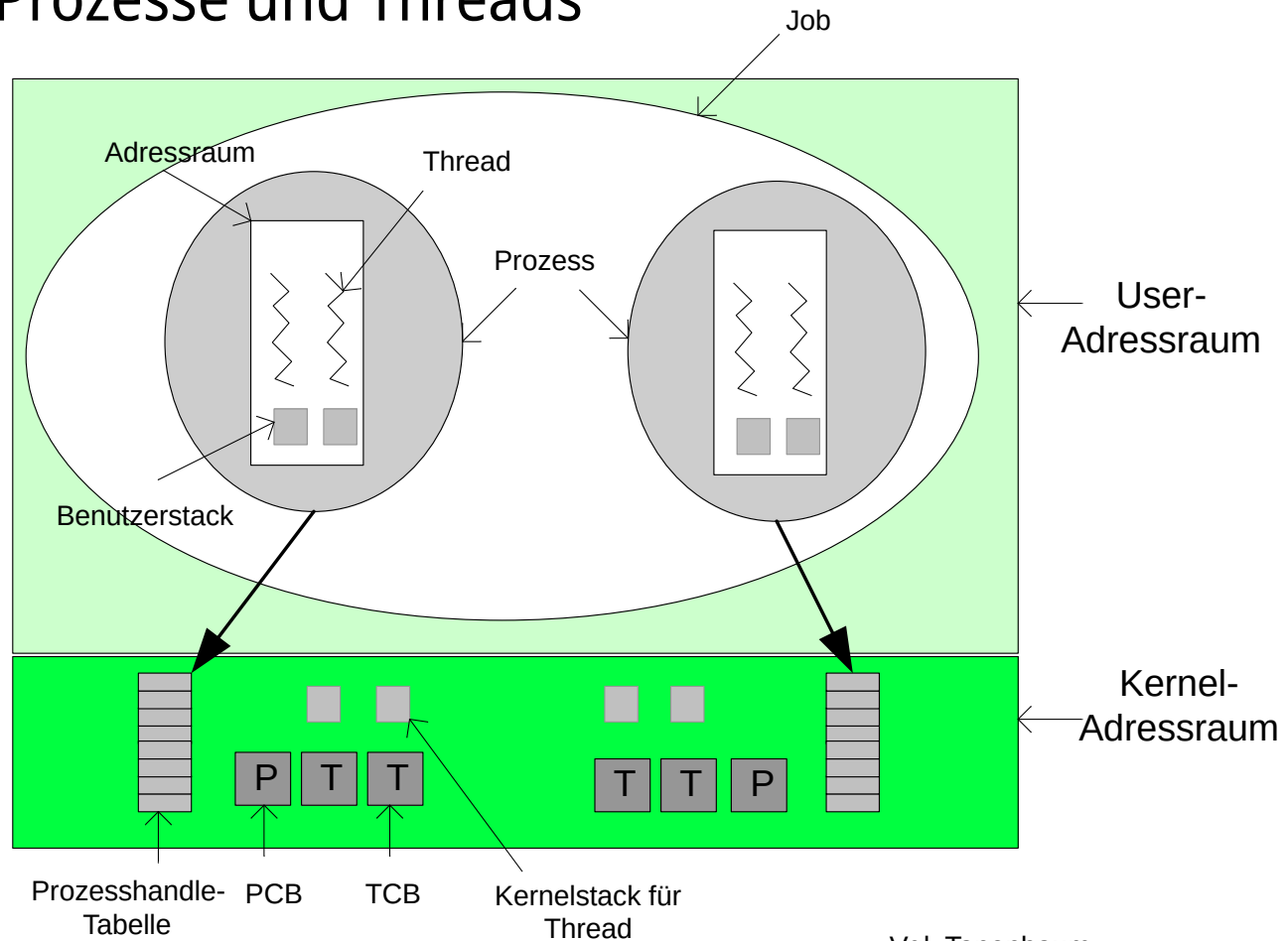
Quelle: Tanenbaum, A. S.: Moderne Betriebssysteme, 3. aktualisierte Auflage, Pearson Studium, 2009

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



Prozess-Thread-Verwaltung unter Windows

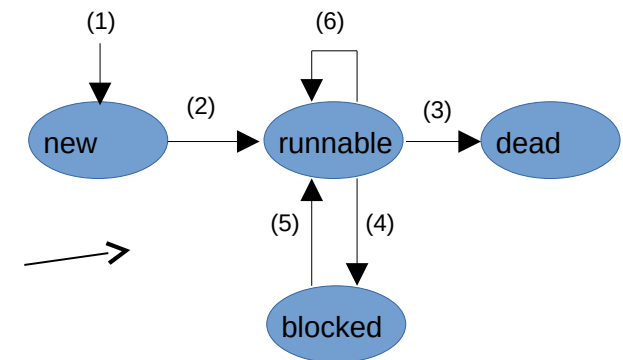
- **Job** = Gruppe von Prozessen, die als eine Einheit verwaltet werden, haben Quotas und Limits
 - Maximale Speichernutzung je Prozess
 - Maximale Anzahl an Prozessen
 - ...
- **Prozess** = Container zur Speicherung von Ressourcen
 - Threads, Speicher,...
- **Thread** = Scheduling-Einheit
- **Fiber** = 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) Konstruktoraufwurf 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

```
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.Thread(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,
 - die kein Input/Output machen sind green Threads
 - sobald sie aber I/O machen sind sie red Threads
- Der Python Interpreter unterstützt nicht wirklich Multithreading. Python hat eine „GIL“ eine „global interpreter lock“, welche verhindert, dass zur gleichen Zeit mehrfach Python Code ausgeführt werden kann. I/O **kann** jedoch parallel zur Ausführung von Code oder zu anderem I/O durchgeführt werden!

Einschub: Sprachen mit red threads

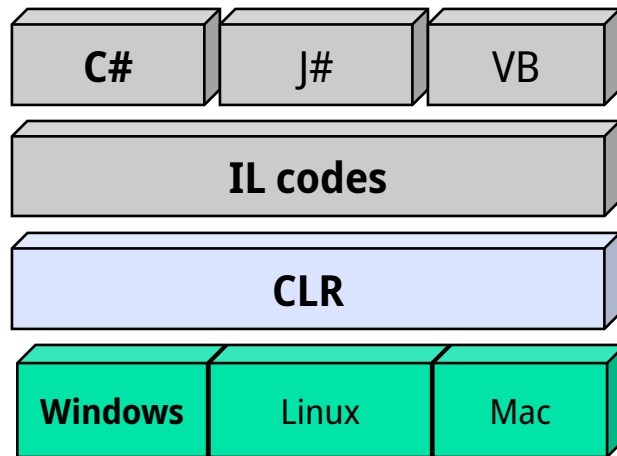
- andere Sprachen, z.B. C, C++, C#, Java, Go, Rust etc. unterstützen Betriebssystem Threads und können diese **gleichzeitig** ausführen!
- Sprachen, welche auf einer eigenen virtuellen Maschine basieren, wie C# oder Java haben Threads für Verwaltung der Runtime, wie z.B. Garbage Kollektoren



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

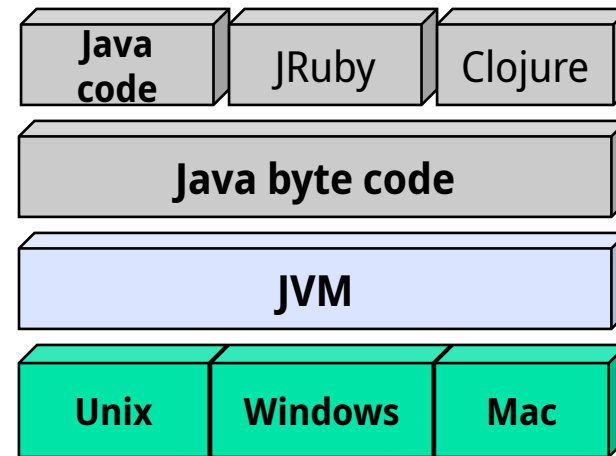
- .NET Framework: Plattform zur Entwicklung und Ausführung von Anwendungsprogrammen
- CIL = Common Intermediate Language ist ein Zwischencode
 - entspricht Java Byte Code
- CLR = Common Language Runtime
 - entspricht JVM
- Alle Microsoft-Compiler erzeugen CIL-Code
- FCL = Framework Class Library
 - Klassenbibliothek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

Runtimes Ausflug: CLR versus JVM



.NET - Lösung

IL = Intermediate Language



Java - Lösung



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