

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

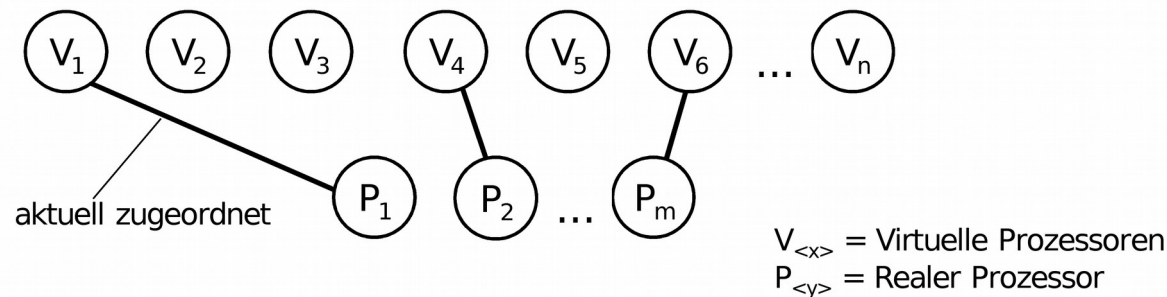
- 1. Prozesse und Lebenszyklus von Prozessen**
2. Threads
3. Threads im Laufzeitsystem

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

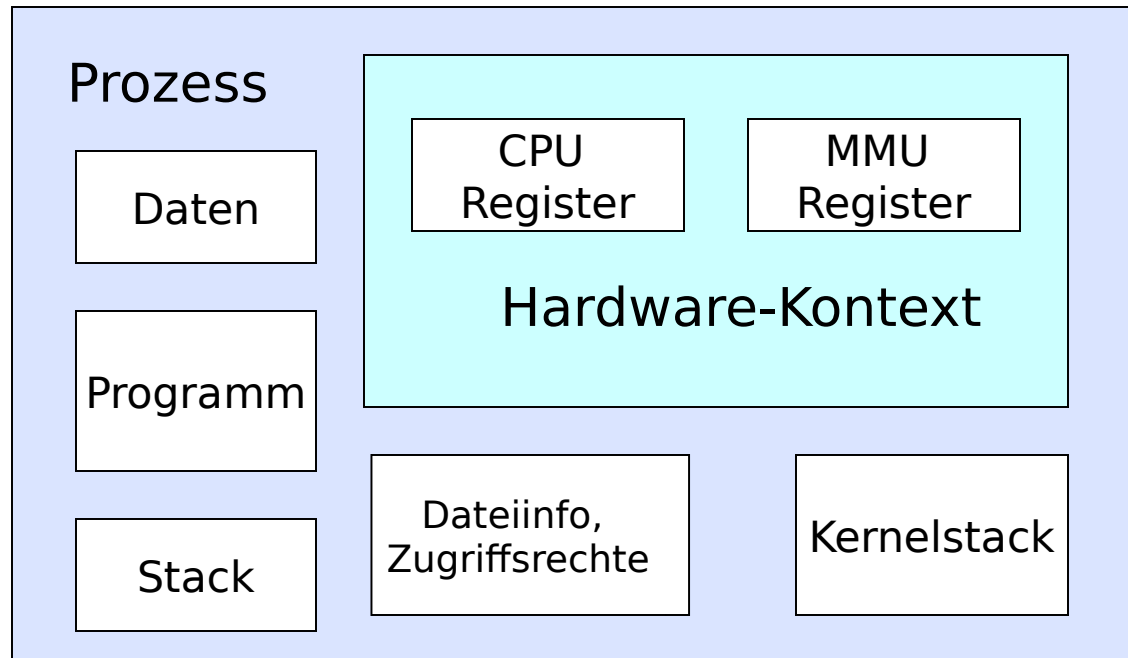
- Das Betriebssystem ordnet im Multiprogramming jedem Prozess einen **virtuellen Prozessor** zu
- Echte Parallelarbeit, falls jedem virtuellen Prozessor ein **realer Prozessor** bzw. Rechnerkern zugeordnet wird
- **Quasi parallel:** Jeder reale Prozessor ist zu einer Zeit immer nur einem virtuellen Prozessor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



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 Prozess 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 etwas_machen(int *);
```

```
int glob_count = 0;
```

```
int main()
```

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

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

Register

SP
PC
GP0
GP1
...

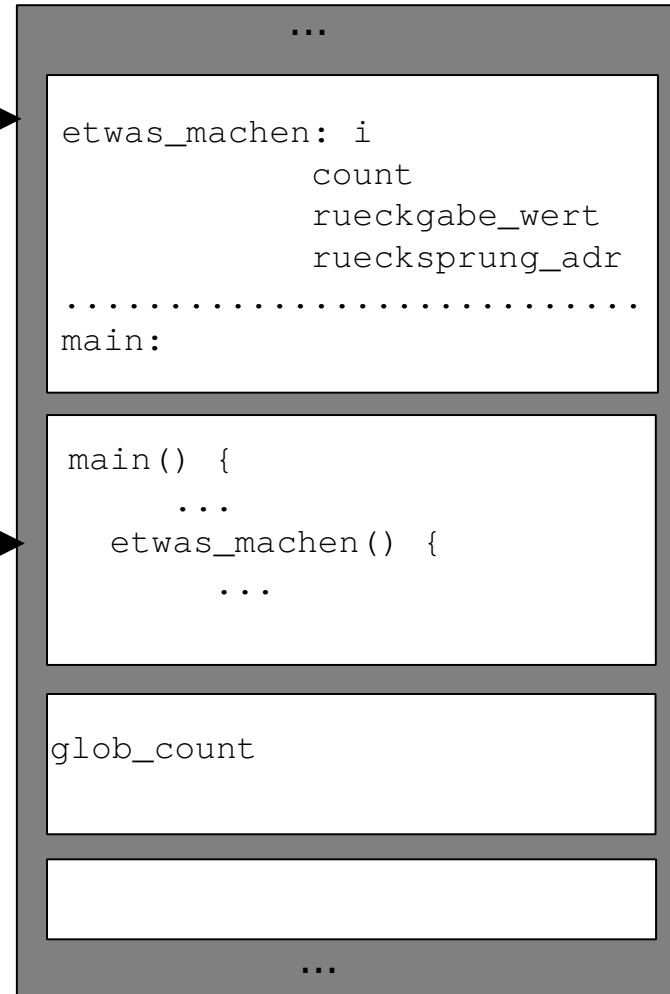
Identität

PID
UID
GID
...

Ressourcen

Open
Files
Sockets
Locks
...

Virtueller Adressbereich



Tiefste
Adresse
Stack

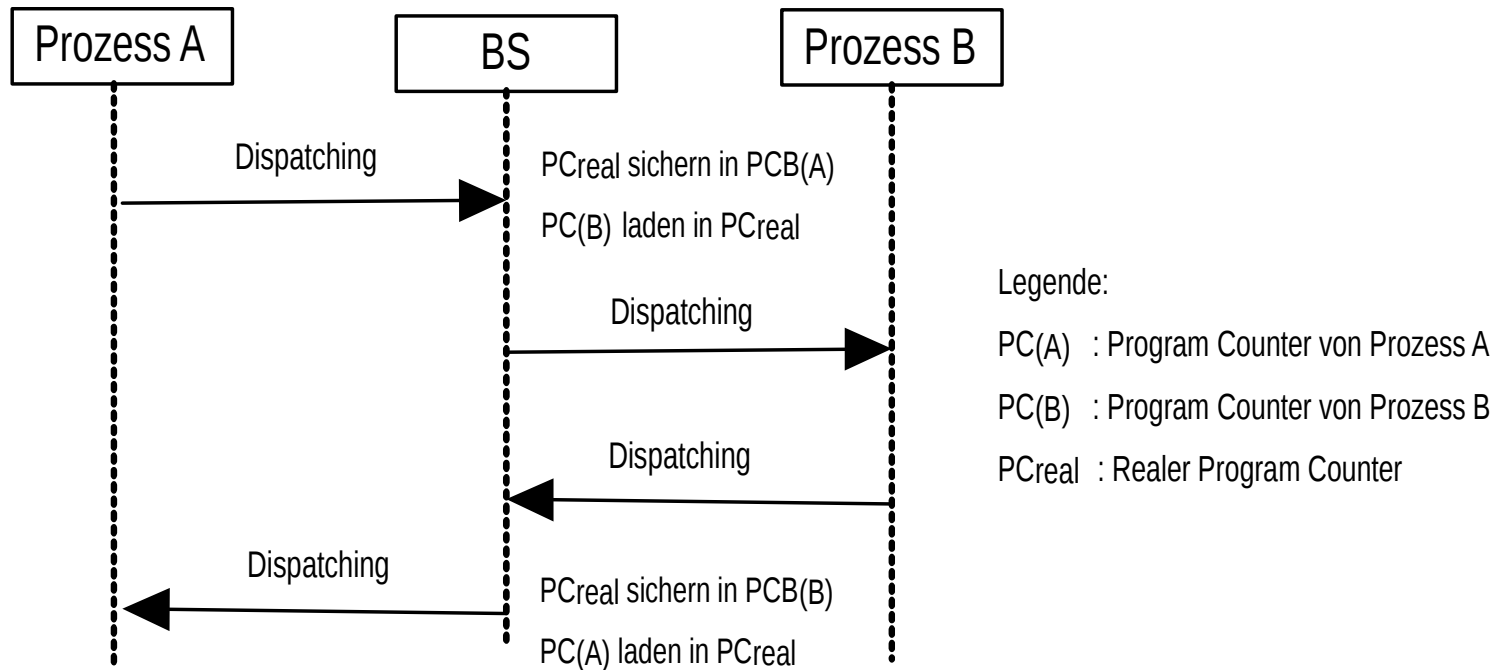
Text /
Instrukt.

Data

Heap

Höchste
Adresse

Prozesskontextwechsel



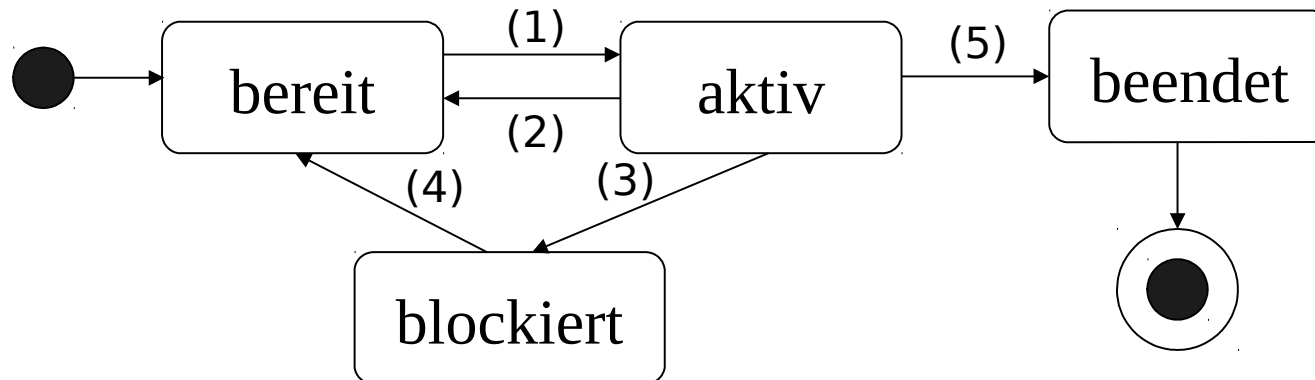
- PCB – Process Control Block
- Hardware-Kontext von Prozess A in seinen PCB sichern
- Gesicherten Hardware-Kontext von Prozess B aus seinem PCB in die Hardware (Ablaufumgebung) laden

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 (PID)
 - 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 Mac OS X heißt der Prozess **launchd**
 - Urvater aller Prozesse

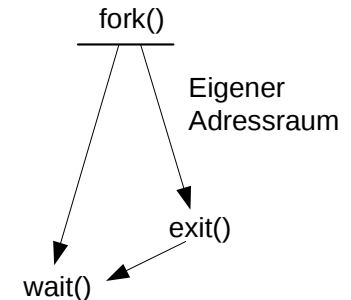
Prozessverwaltung unter Unix: Prozesserzeugung - fork

- Ein Prozess wird unter Unix durch einen ***fork()***-Aufruf des Vaters erzeugt
- Der Kindprozess 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)

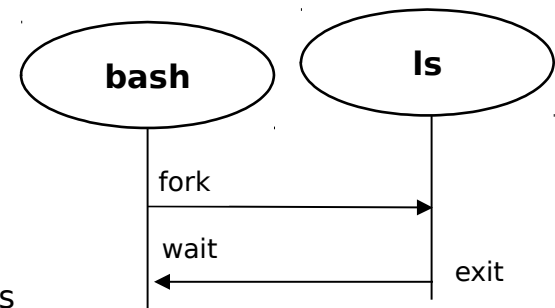
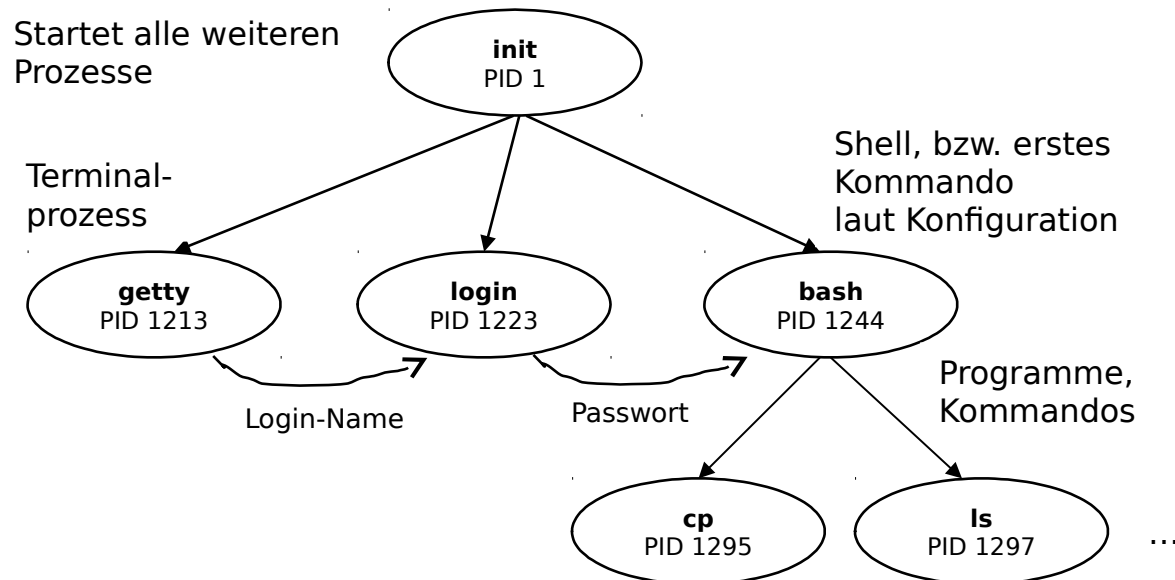
```
static void main()
{
    int ret;           // Returncode von fork
    int status;        // Status des Kindprozesses
    pid_t pid;         // pid_t ist ein spezieller Datentyp, der eine PID beschreibt
    ret = fork();    // erzeuge Kindprozesses
    if (ret == 0) {
        // Anweisungen, die 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(&status); // warte auf Beendigung des Kindprozesses
        exit(0);             // beende Vaterprozesses mit Status 0 (ok)
    }
}
```



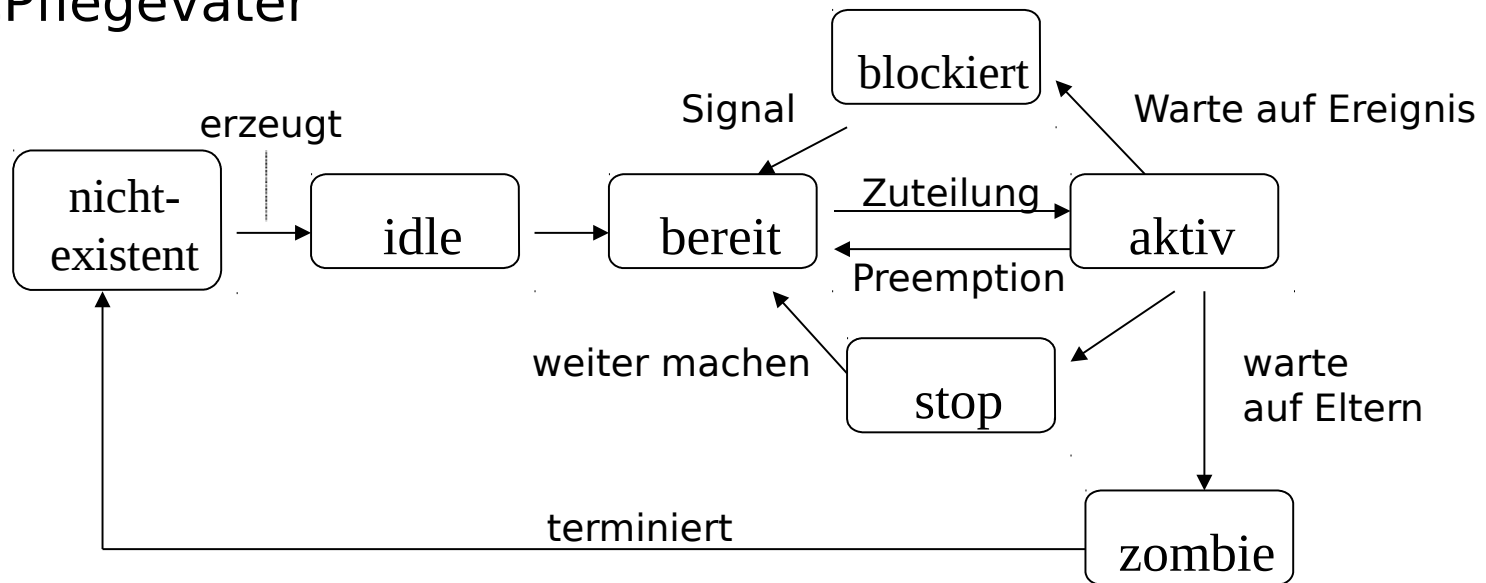
Unix-Prozessbaum

- Je Terminal wartet ein `getty`-Prozess auf eine Eingabe (Login)
- Nach erfolgreichem Login wird ein Shell-Prozess eröffnet
- 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“

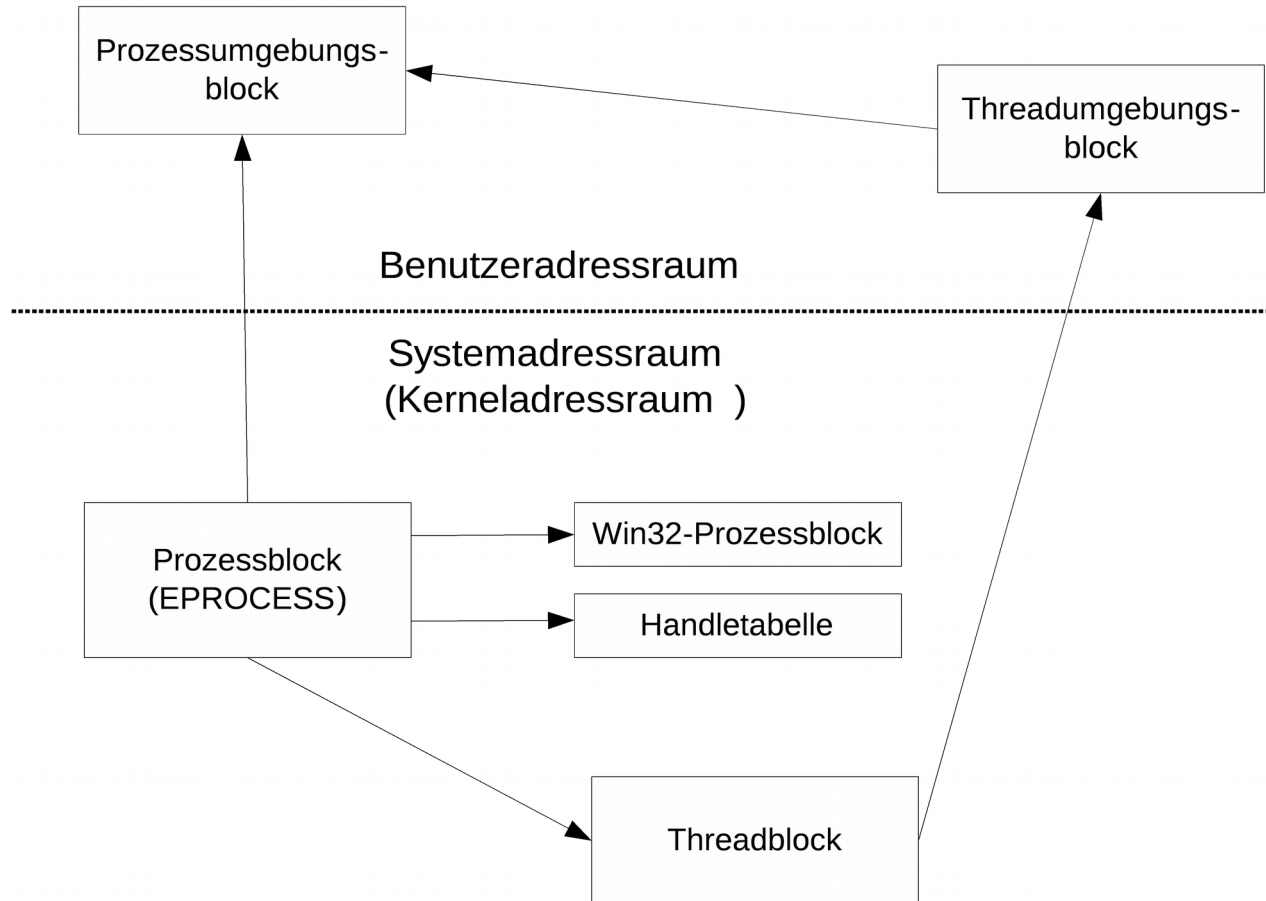


idle und *zombie* sind Zwischenzustände

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

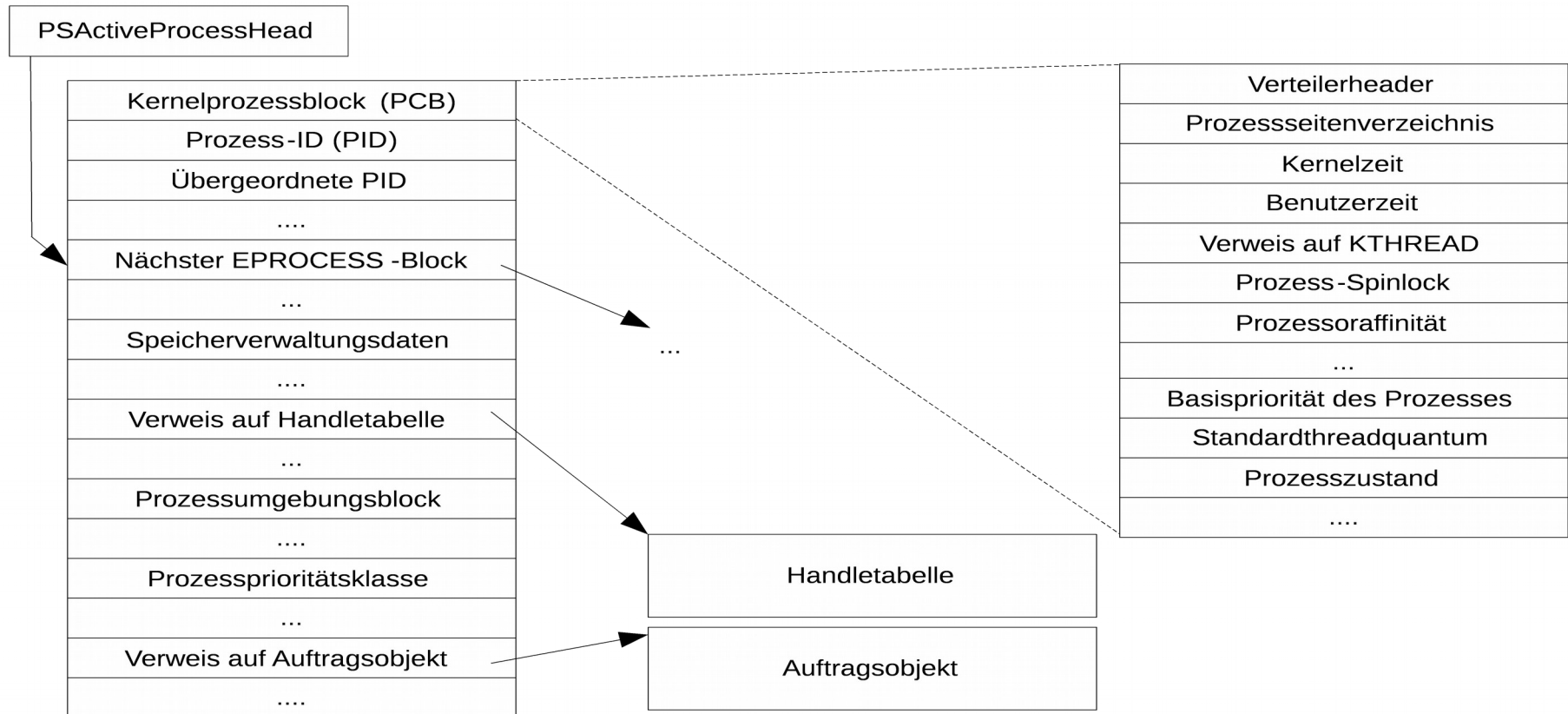
Datenstrukturen unter Windows



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

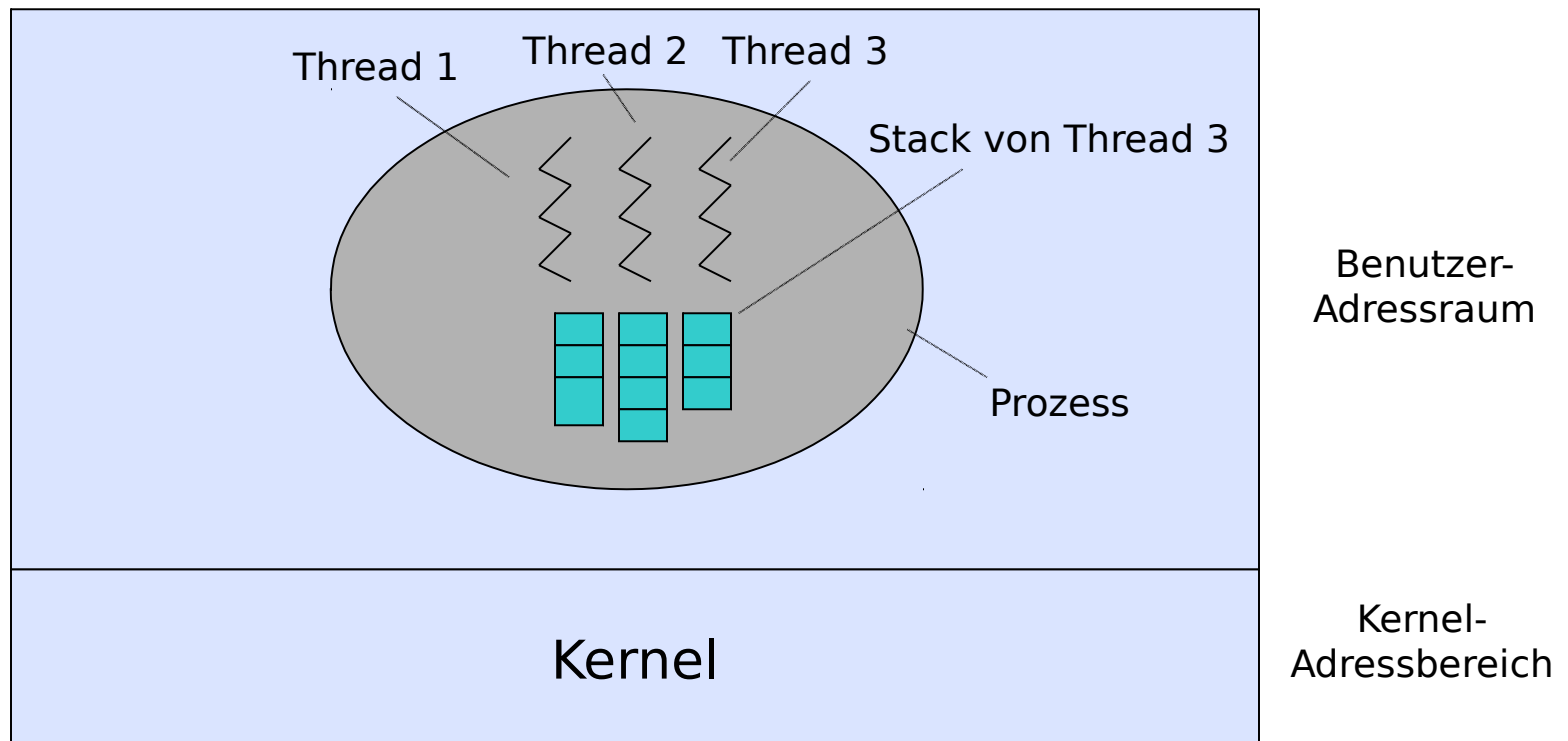
1. Prozesse und Lebenszyklus von Prozessen
- 2. Threads**
3. Threads im Laufzeitsystem

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

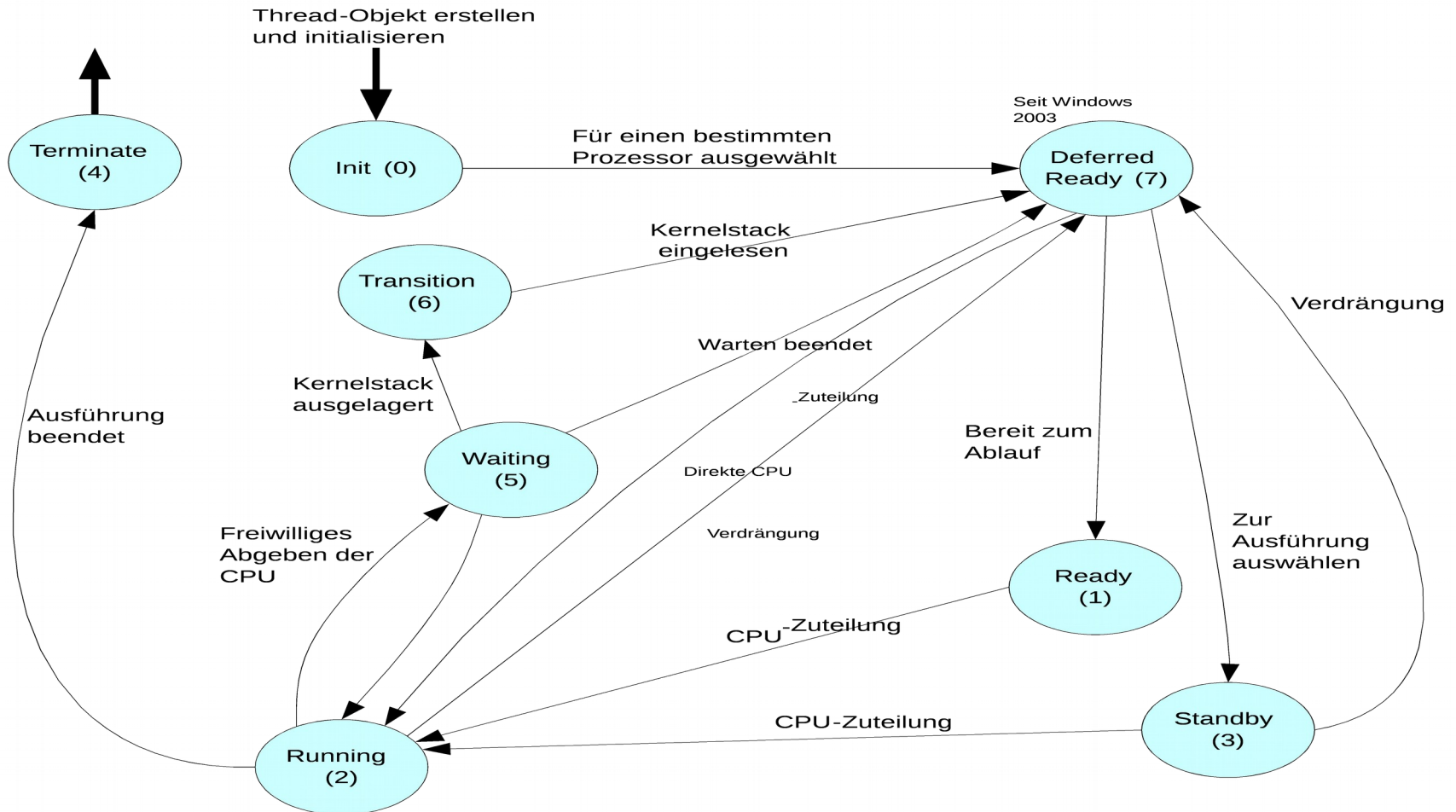
Threads, Stack

- 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

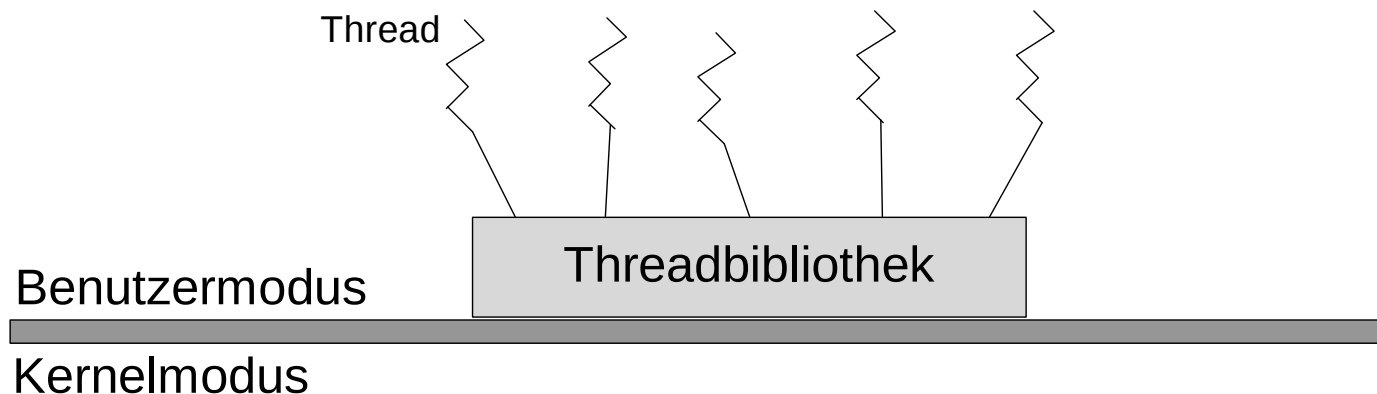


Quelle: Solomon, D. A.; Russinovich, M.: Microsoft Windows Internals, Microsoft Press, Part 1 und 2, 6. Auflage, 2013

Implementierungsvarianten für Threads

■ Implementierung **auf Benutzerebene**

- auch „green threads“
- Thread-Bibliothek übernimmt das Scheduling und Dispatching für Threads
- Scheduling-Einheit ist der Prozess
- Kernel merkt nichts von Threads



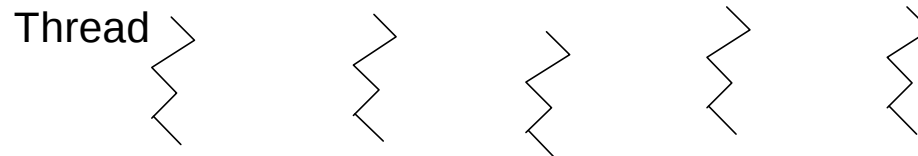
Implementierungsvarianten für Threads

■ 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

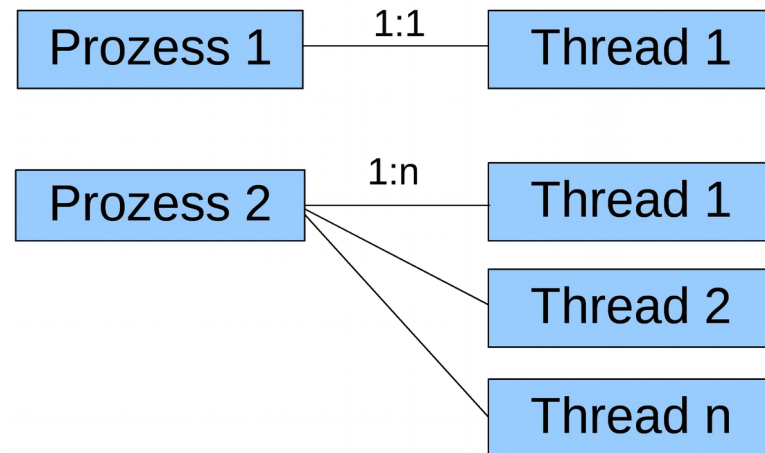
Benutzermodus

Kernelmodus



Zuordnung von Threads zu Prozessen

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

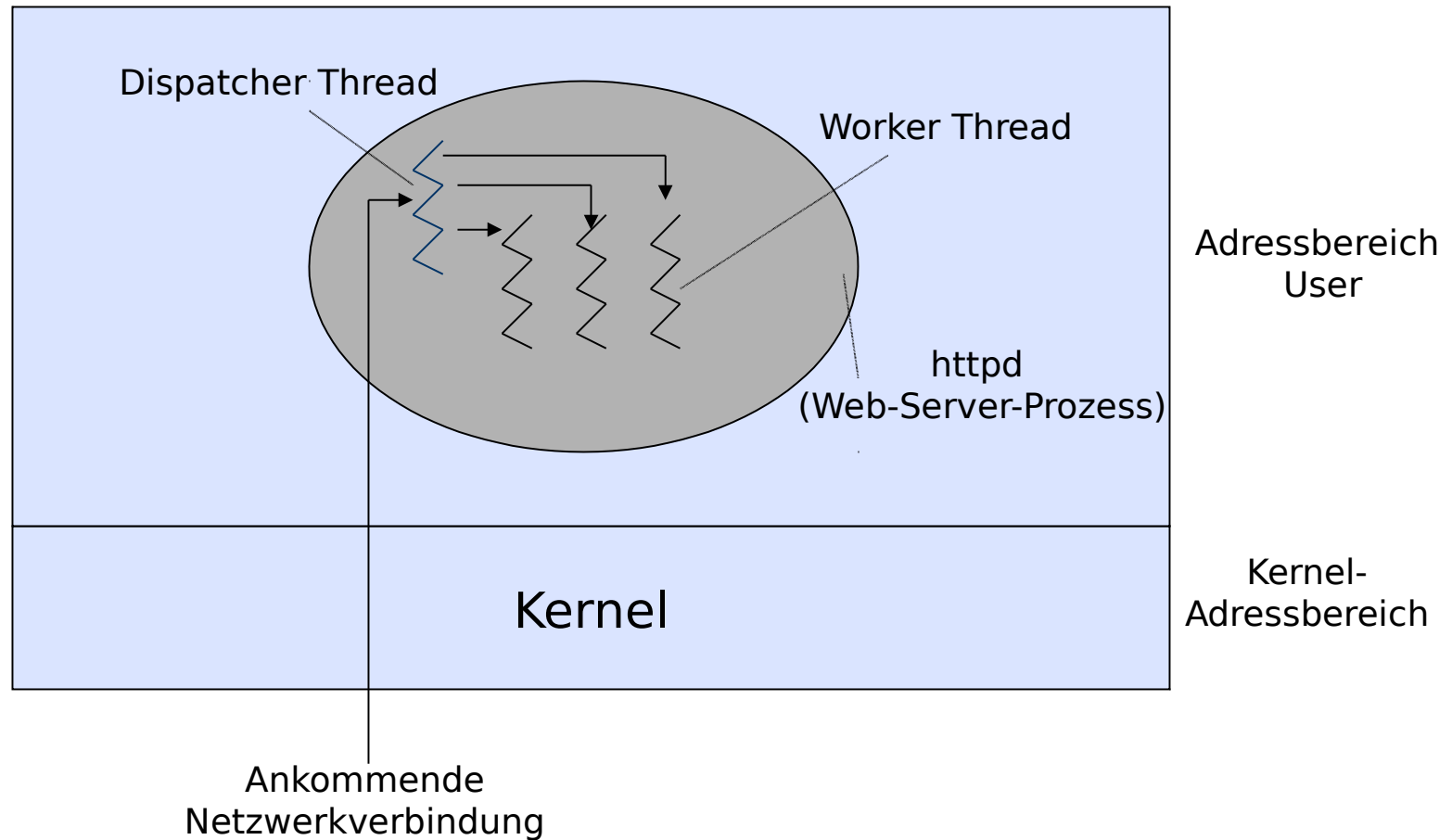


- Auch die Zuordnung von User-Level-Threads zu Kernel-Level-Threads ist wichtig
- Es muss definiert sein: Was ist die Scheduling-Einheit?

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
- 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

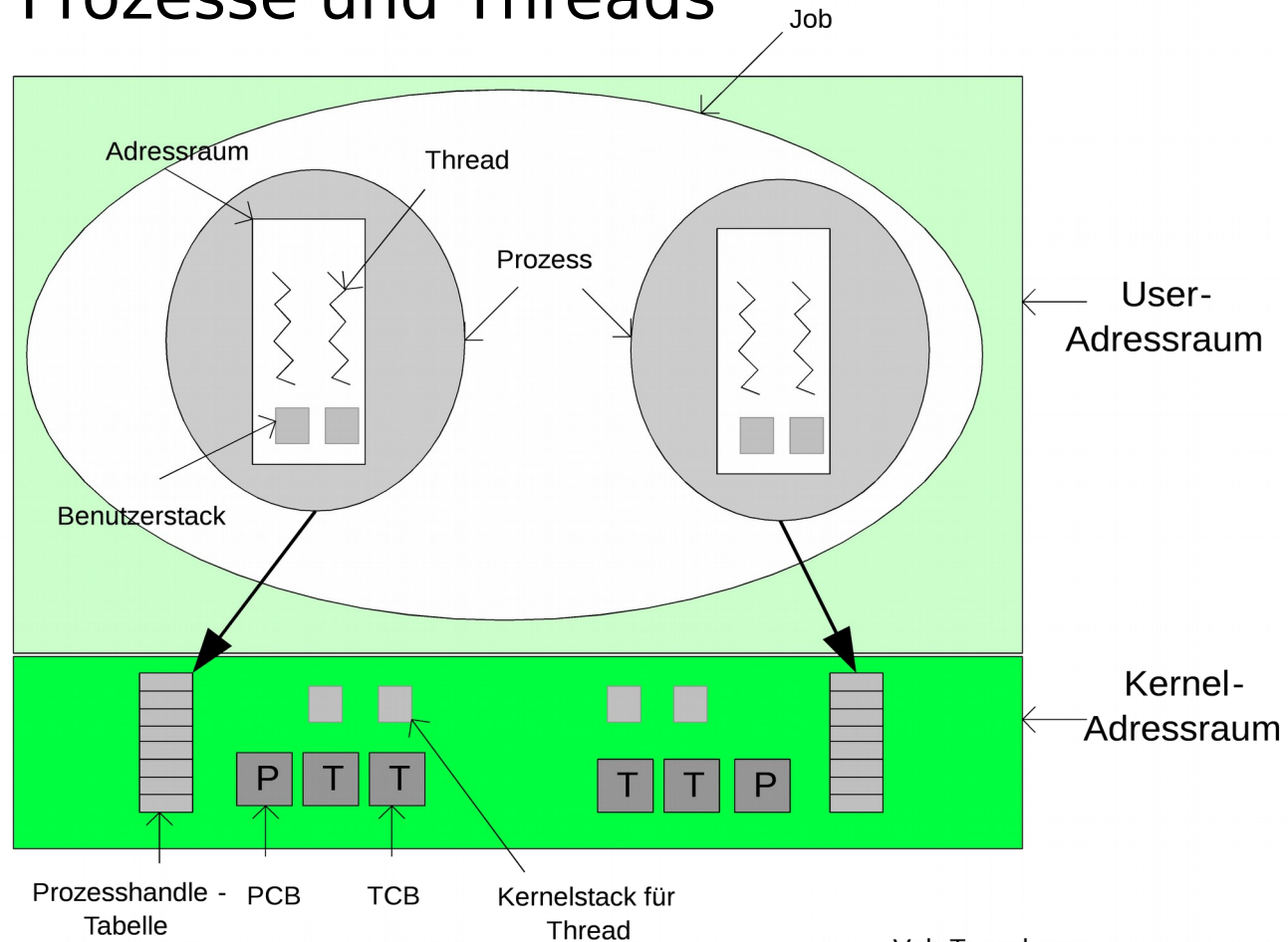
Einsatzbeispiel für Threads: Pseudocode

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

```
workerThread(r) { // Thread zur Requestbearbeitung  
    a = process_request(r);  
    reply_request(a); // Antwort zurück an Requestor  
}
```

Prozess-/Thread-Verwaltung unter Windows

■ Jobs, Prozesse und Threads



Vgl. Tanenbaum

Prozess-Thread-Verwaltung unter Windows

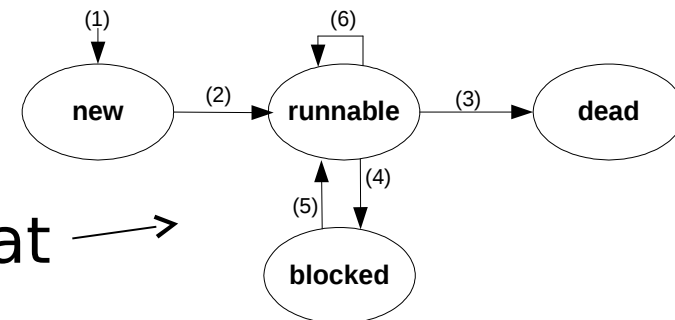
- **Job** = Gruppe von Prozessen, die als eine Einheit verwaltet werden, haben Quotas und Limits
 - Maximale Speichernutzung je Prozess
 - Maximale Anzahl an Prozessen
 - ...
- **Prozess** = Container zur Speicherung von Ressourcen
 - Threads, Speicher,...
- **Thread** = Scheduling-Einheit
- **Fiber**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

Überblick

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

Threads in Java, JVM und Threads

- Für jedes Programm wird eine eigene JVM gestartet
- JVM läuft in einem Betriebssystemprozess
 - Siehe z.B. im Windows Task Manager
- JVM unterstützt Threads
- Package **java.lang**
- Basisklasse **Thread**
- Vereinfachter Zustandsautomat →



- (1) Konstruktoraufwurf der Klasse Thread
- (2) Aufruf der Methode run()
- (3) Aufruf der Methode stop()
- (4) Aufruf der Methode sleep()
- (5) Aufruf der Methode resume()
- (6) Aufruf der Methode yield()

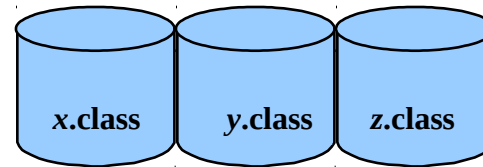
Einschub: Übersetzungsvorgang und Ablauf eines Java-Programms

Entwicklungsumgebung:
Eclipse, ...



Java-Sourcecode

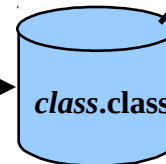
Java-Compiler
javac



Referenzierte
Klassen
jar-Files

CLASSPATH!

Java-
Interpreter



Java-Bytecode

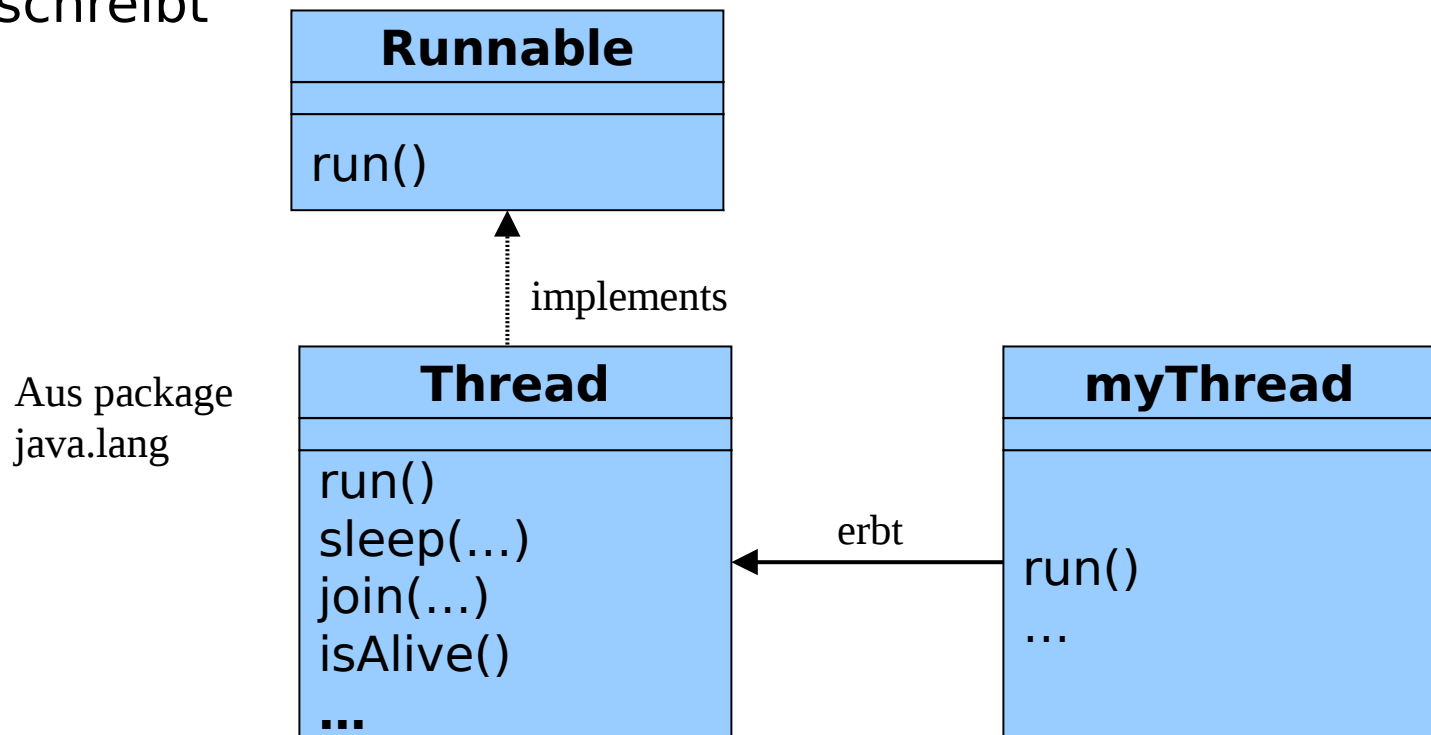
Just-in-Time-
Compiler

Java-
Prozessor

Threads in Java

Die Klasse Thread und das Interface Runnable

- Nebenläufigkeit wird durch die Klasse *Thread* aus Package `java.lang` unterstützt
- Eigene Klasse definieren, die von *Thread* abgeleitet ist und die Methode `run()` aus Interface *Runnable* überschreibt



Threads in Java

Beispiel: Eine einfache Thread-Klasse ...

```
import java.lang.Thread;

class myThread extends Thread { // meine Thread-Klasse

    String messageText;

    public myThread(String messageText)
    {
        this.messageText = messageText;
    }
    public void run()           // Methode, welche die eigentliche Aktion
                                // ausführt, definiert in Interface Runnable
    {
        for (;;) {
            System.out.println("Thread " + getName() + ": " + messageText);
            try {
                sleep(2000);
            }
            catch (Exception e) { /* Exception behandeln */ }
        }
    }
}
```

Threads in Java

Beispiel: ... und deren Nutzung

```
public class myThreadTest {  
  
    static void main(String args[])  
    {  
        myThread t1;  
        t1 = new myThread("...auf und nieder immer wieder...");  
        t1.start();  
        if (t1.isAlive()) {  
            for (int i=0; i < 100000000; i++) {}  
            try {  
                t1.join(10000);  
            } catch (InterruptedException e) { /* Exception behandeln */ }  
  
            System.out.println("Mainprogramm stoppt Thread myThread!!!");  
            System.out.println("Thread " + t1.getName() + " beendet");  
        }  
    }  
}
```

- Was passiert in diesem Programm?

Threads in Java

Beispiel: Erläuterungen

- Innerhalb der Methode *start()* wird automatisch die *run()*-Methode des *Runnable*-Objekts aufgerufen
- Die Methode *join()* ohne Parameter wartet bis der Thread „stirbt“, *join(long millis)* wartet „millis“ Millisekunden und dann wird weiter gemacht
- Weitere Methoden der Klasse Thread:
 - *getPriority()*: Thread-Priorität ermitteln
 - *isAlive()*: Prüfen, ob Thread lebt
 - *getThreadGroup()*: Thread-Gruppe des Threads ermitteln
 - *interrupt()*: Thread unterbrechen
 - *getName()*: Thread-Namen ermitteln
 - ...
 - Mehrere Konstruktoren

Einschub: System-Threads

- Threads sind in Java als Gruppen hierarchisch organisiert:
 - Thread-Gruppe **system** für die Threads des Systems (der JVM)
 - Thread-Gruppe **main** für die benutzerspezifischen Threads als Untergruppe von system
- Threads der Gruppe **system**:
 - **Finalizer**: Ruft für freizugebende Objekte die finalizer-Methode auf
 - ...
 - Signal dispatcher

Einschub: System-Threads

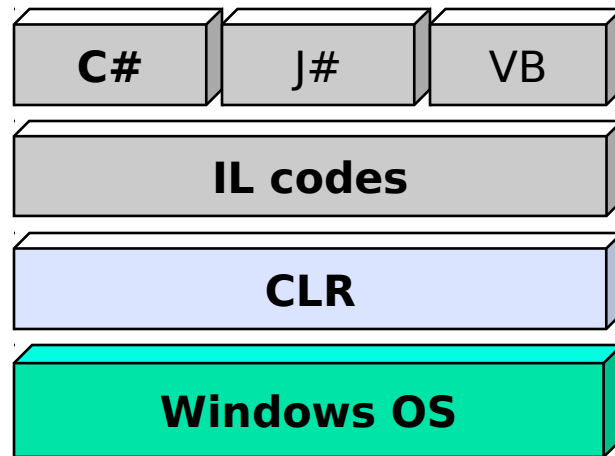
- Weitere Threads:
 - **Garbage Collection**: hat sehr niedrige Priorität (niedriger als Idle-Thread, wartet auf Signal von Idle-Thread)
 - **Idle**: Wenn er läuft, setzt er ein Kennzeichen, das der **Garbage Collection** Thread als Startsignal betrachtet, um etwas zu tun
 - **Idle** wird nur aufgerufen, wenn die JVM sonst nichts zu tun hat

Threads in C#

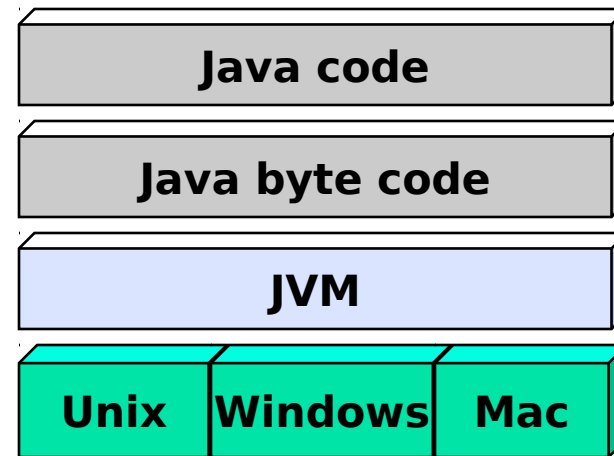
.NET Framework: CIL, CLR, FCL

- .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

Threads in C# CLR versus JVM



.NET - Lösung



Java - Lösung

IL = Intermediate Language

Threads in C# Assembly

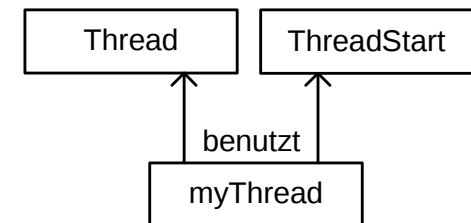
- Grundbausteine für Weitergabe, Versionskontrolle, Wiederverwendung, Sicherheitsberechtigungen
- Mehrere Quelldateien ergeben zusammen nach der Ausführung eine ausführbare Datei (Assembly)
- Dateinamen .dll und .exe, unterscheiden sich aber kaum voneinander
 - exe-Dateien haben konkreten Startpunkt (main())
 - dll-Dateien benötigen eine exe-Datei als Host
- Assembly enthält Metadaten (Manifest)
 - Objektname, Attribute,...

Threads in C#

Namespace System.Threading

- In diesem Namespace werden Basismechanismen für Threads bereitgestellt

```
namespace System.Threading
{
    public delegate void ThreadStart();
    public enum ThreadState
        { Running=0, ..., Stopped=16, .., Suspended=64,..., Aborted=256}
    ...
    public sealed class Thread { ... }
    public sealed class Monitor { ... }
    public class ThreadStateException { ... }
    public class ThreadAbortException { ... }
    public class ThreadInterruptedException { ... }
    public class SynchronizationLockException { ... }
}
```



Threads in C#

Die Klasse Thread

■ Vorgegebene Thread-Klasse

```
public sealed class Thread {  
    public Thread(ThreadStart start);  
    public void Start();  
    public bool Join(int msec);  
    public static void Sleep(int msec);  
    public void Abort();  
  
    public void ResetAbort();  
    public void Interrupt()  
  
    public void Suspend();  
    public void Resume();  
    ...}
```

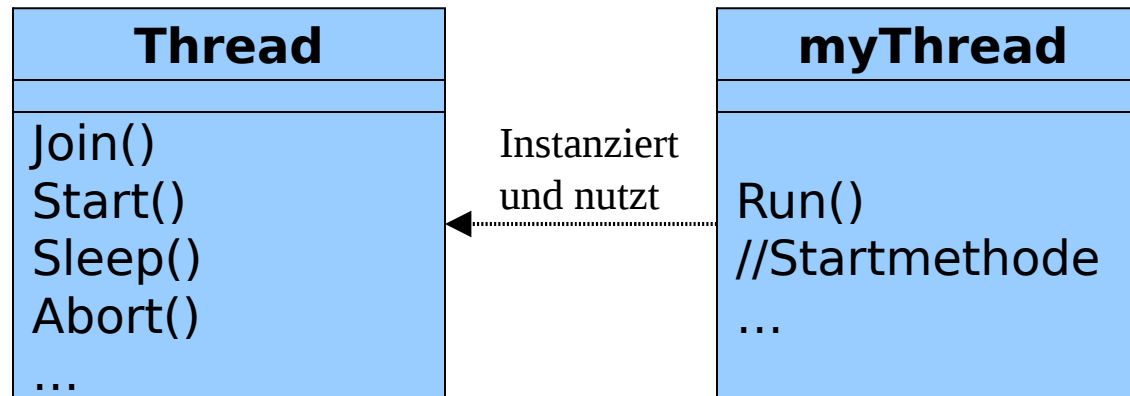
// Thread starten, Startmethode wird aktiviert
// Auf Ende des Threads warten
// Thread msec Millisekunden anhalten
// Auslösen einer Ausnahme vom Typ
// ThreadAbortException
// Abort zurücknehmen
// Thread unterbrechen, wenn eine Ausnahme
// vom Typ ThreadInterruptedException
// geworfen wird
// Thread suspendieren
// Thread wieder anstarten (nach einer Suspension)

Threads in C#

Nutzung von Threads

- Eigene Klasse nutzt Thread-Klasse
- Thread wird instanziiert
- Startmethode wird zugewiesen

Aus Namespace
System.Threading



Threads in C#

Beispielnutzung

- Keine Vererbung, Startmethode an Thread übergeben

```
using System.Threading;
class myThreadClass {
    public void myThreadClass() { .. }    // Konstruktor
    public static void Main() {
    {
        ThreadStart startMethod = new ThreadStart(Run);    // Startmethode festlegen
        Thread myThread = new Thread(startMethod);          // Neuen Thread erzeugen
        myThread.Name = ("myThread");                       // Thread erhält einen Namen
        myThread.Start();                                    // Neuer Thread wird gestartet
        ...                                                  // Erzeugender Thread macht etwas anderes
        myThread.Join();                                    // Warten, bis sich neuer Thread beendet hat
    }
    public void Run()                                       // Startmethode des Threads
    {
        // Aktionen des Threads müssen hier programmiert werden
    }
}
```

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