# Betriebssysteme I

## WS 2019/2020

Roland Wismüller
Betriebssysteme / verteilte Systeme
roland.wismueller@uni-siegen.de
Tel.: 0271/740-4050, Büro: H-B 8404

Stand: 14. November 2019

# Betriebssysteme I

## WS 2019/2020

31.10.2019

Roland Wismüller
Betriebssysteme / verteilte Systeme
roland.wismueller@uni-siegen.de
Tel.: 0271/740-4050, Büro: H-B 8404

Stand: 14. November 2019

# Betriebssysteme I

## WS 2019/2020

## 2 Prozesse und Threads

# 2 Prozesse und Threads ...

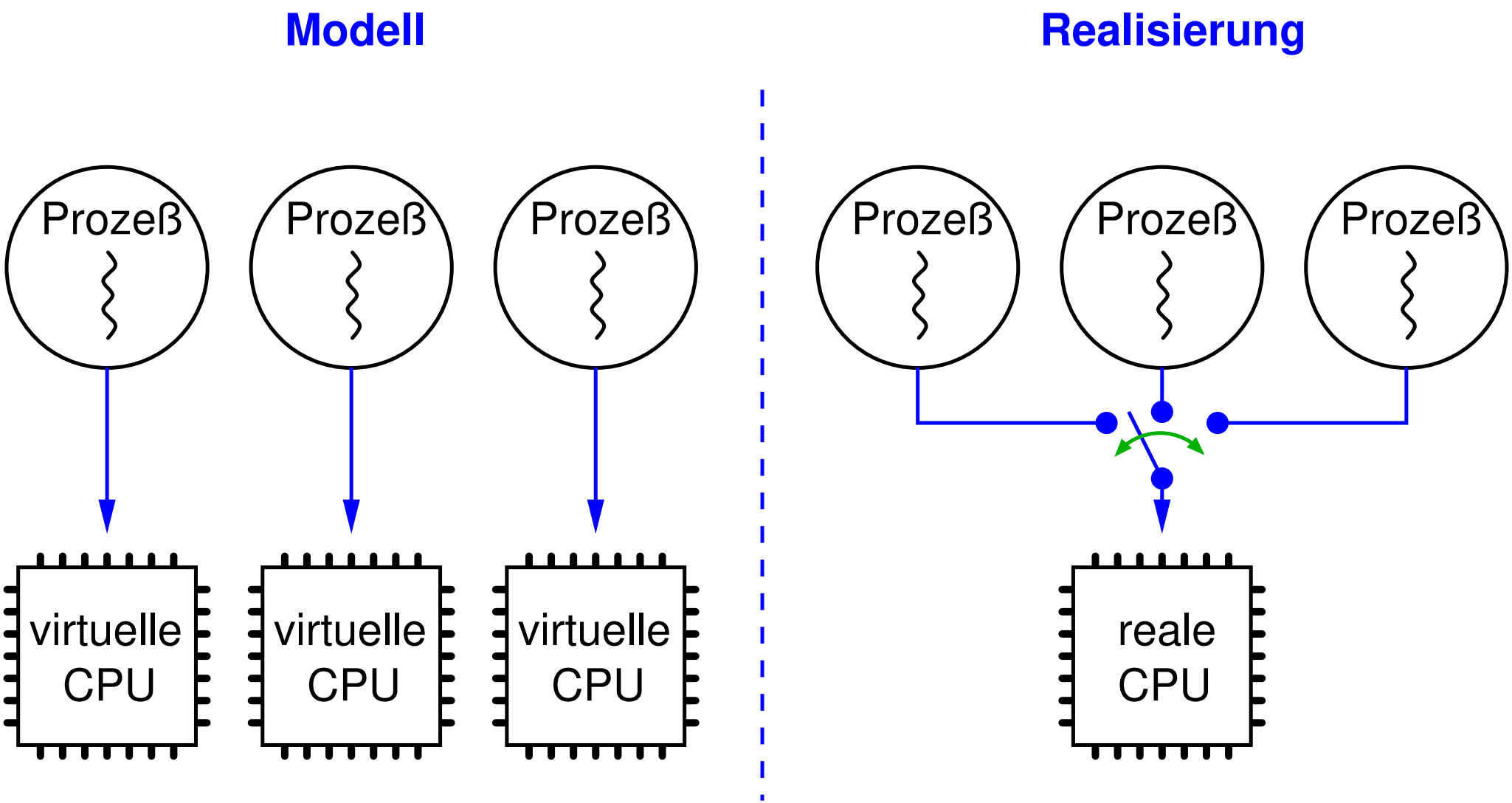
- Begriffsklärung
- Thread-/Prozeßmodell und -zustände
- Implementierung von Prozessen und Threads
- Implementierungsvarianten für Threads
- Thread-Schnittstellen

- Tanenbaum 2.1 - 2.2
- Stallings 3.1 - 3.2

# 2.1 Begriffsklärung

- Ein Prozeß ist ein Programm in Ausführung
- Wunsch: ein Rechner soll mehrere Programme „gleichzeitig“ ausführen können
- Konzeptuell: jeder Prozeß
  - wird durch eine eigene, virtuelle CPU ausgeführt
    - **nebenläufige** (quasi-parallele) Abarbeitung der Prozesse
  - hat seinen eigenen (virtuellen) Adreßraum („Speicher“, ☞ **6**)
- Real: (jede) CPU schaltet zwischen den Prozessen hin und her
  - **Multiprogrammierung**, **Mehrprogrammbetrieb**
  - Umschalten durch Umladen der CPU-Register (incl. PC)
  - Beachte: Annahmen über die Geschwindigkeit der Ausführung sind nicht zulässig

# 2.1 Begriffsklärung ...

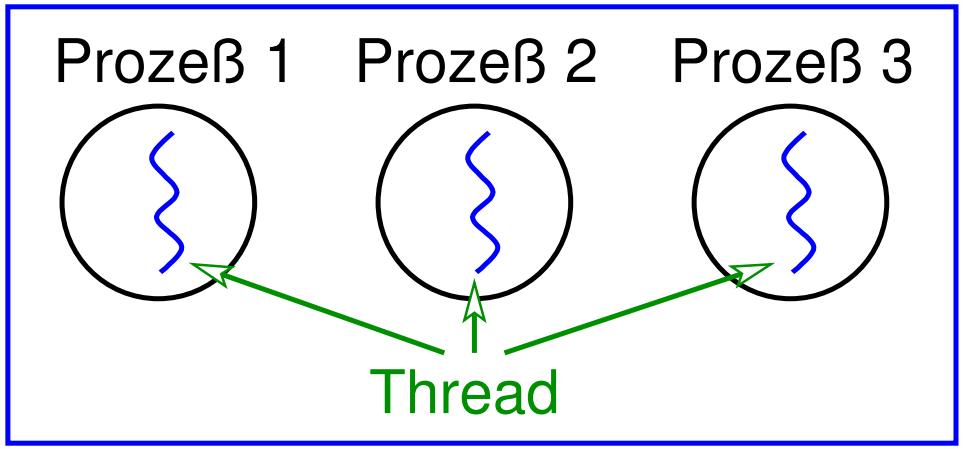


## Ein (klassischer) Prozeß besitzt zwei Aspekte:

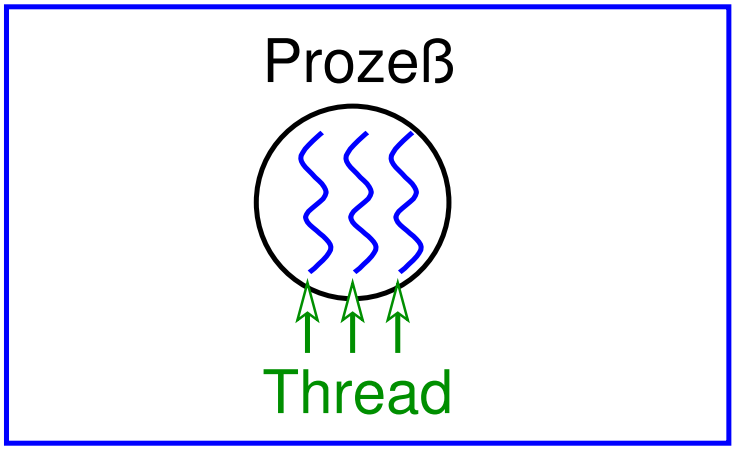
- Einheit des Ressourcenbesitzes
  - eigener (virtueller) Adreßraum
  - allgemein: Besitz / Kontrolle von Ressourcen (Hauptspeicher, Dateien, E/A-Geräte, ...)
  - BS übt Schutzfunktion aus
- Einheit der Ablaufplanung / Ausführung
  - Ausführung folgt einem Weg (*Trace*) durch ein Programm
  - verzahnt mit der Ausführung anderer Prozesse
  - BS entscheidet über Zuteilung des Prozessors
- vgl. Definition aus 1.5.1

## In heutigen BSen: Trennung der Aspekte

- **Prozeß**: Einheit des Ressourcenbesitzes und Schutzes
- **Thread**: Einheit der Ausführung (Prozessorzuteilung)
  - Ausführungsfaden, leichtgewichtiger Prozeß
- Damit: innerhalb eines Prozesses auch mehrere Threads möglich
  - d.h., Anwendungen können mehrere nebenläufige Aktivitäten besitzen




3 (klassische) Prozesse




3 Threads in einem Prozeß

## Vorteile bei der Nutzung mehrerer Threads in einer Anwendung

- Nebenläufige Programmierung möglich: mehrere Kontrollflüsse
- Falls ein Thread auf Ein-/Ausgabe wartet: die anderen können weiterarbeiten
- Kürzere Reaktionszeit auf Benutzereingaben
- Bei Multiprozessor-Systemen (bzw. mit Hyperthreading): echt parallele Abarbeitung der Threads möglich

## Beispiel: GUI-Programmierung

- Sequentielles Programm (1 Thread):

```
while (true) {
    ComputeStep();              // z.B. Animationsschritt
    if (QueryEvent()) {         // Ereignis angekommen?
        e = ReceiveEvent(); // Ereignis abholen
        ProcessEvent(e);    // und bearbeiten
    }
}
```

  - Verzahnung von Berechnung und Ereignisbehandlung
  - **Polling** von Ereignissen: wann / wie oft?

## Beispiel: GUI-Programmierung ...

- Nebenläufiges Programm mit 2 Threads:

Thread 1:

```
while (true) {
    ComputeStep();
}
```

Thread 2:

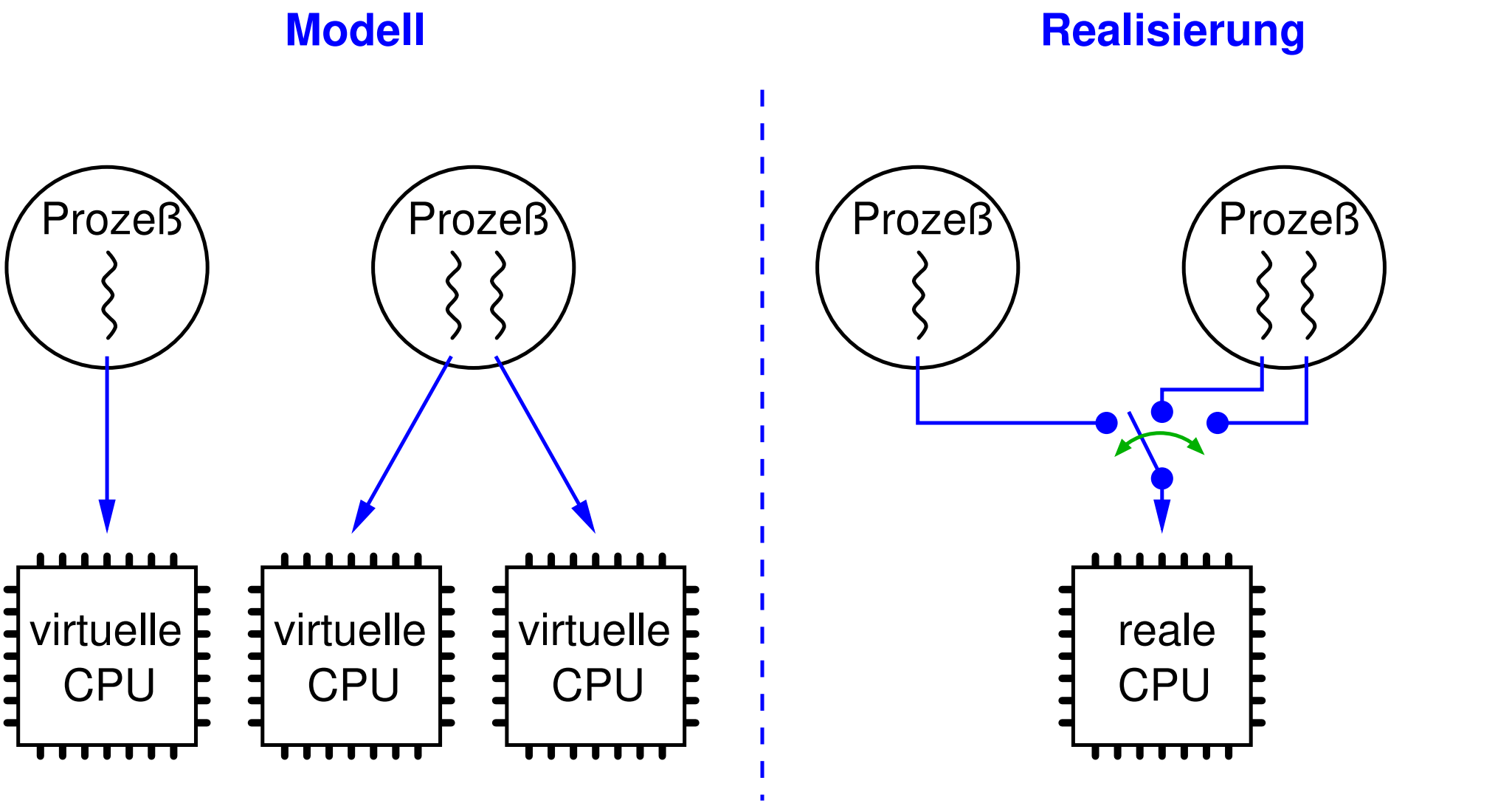
```
while (true) {
    e = ReceiveEvent();
    ProcessEvent(e);
}
```

- einfachere Programmstruktur
- aber: Zugriff auf gemeinsame Variable erfordert Synchronisation (☞ **3.1**)

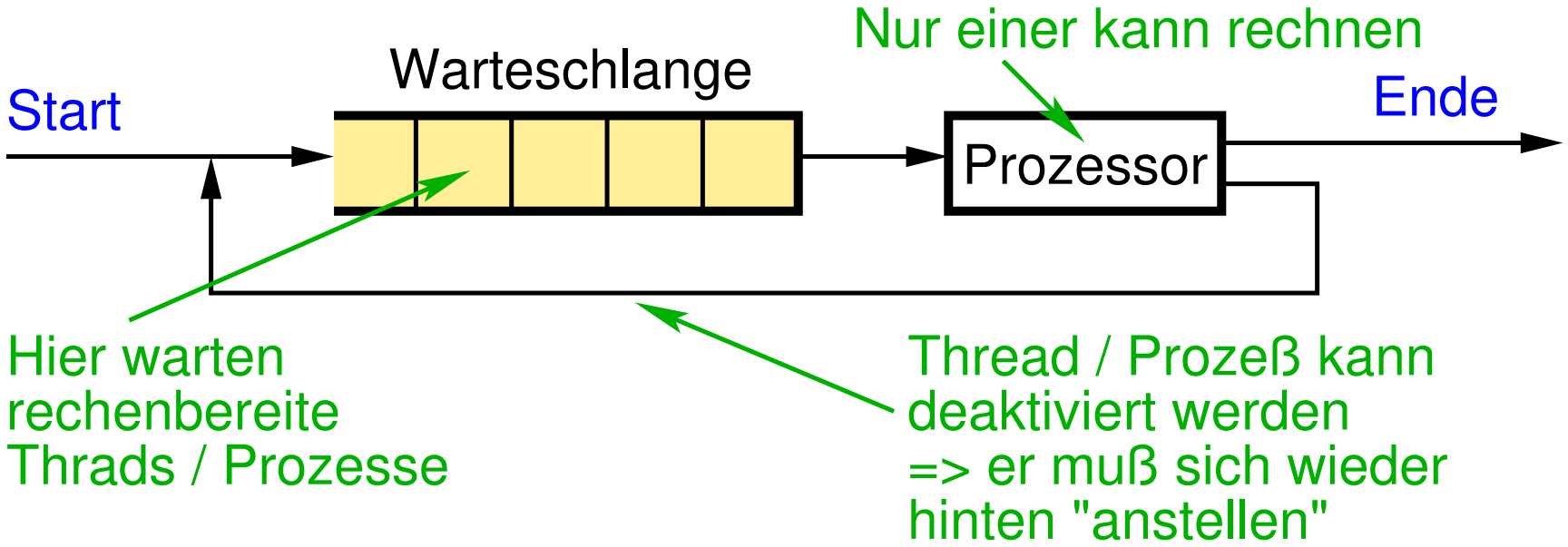
## Realisierung von Threads

- Heute meist direkt durch das BS
  - andere Alternativen: siehe **2.5**
- Konzeptuell: jeder Thread
  - wird durch eine eigene, virtuelle CPU ausgeführt
    - nebenläufige (quasi-parallele) Abarbeitung der Threads
  - nutzt alle anderen Ressourcen seines Prozesses (u.a. den virtuellen Adreßraum) gemeinsam mit dessen anderen Threads
- Real: (jede) CPU schaltet zwischen den Threads hin und her
  - **Multithreading**
  - Umschalten durch Umladen der CPU-Register (incl. PC)

# 2.1 Begriffsklärung ...

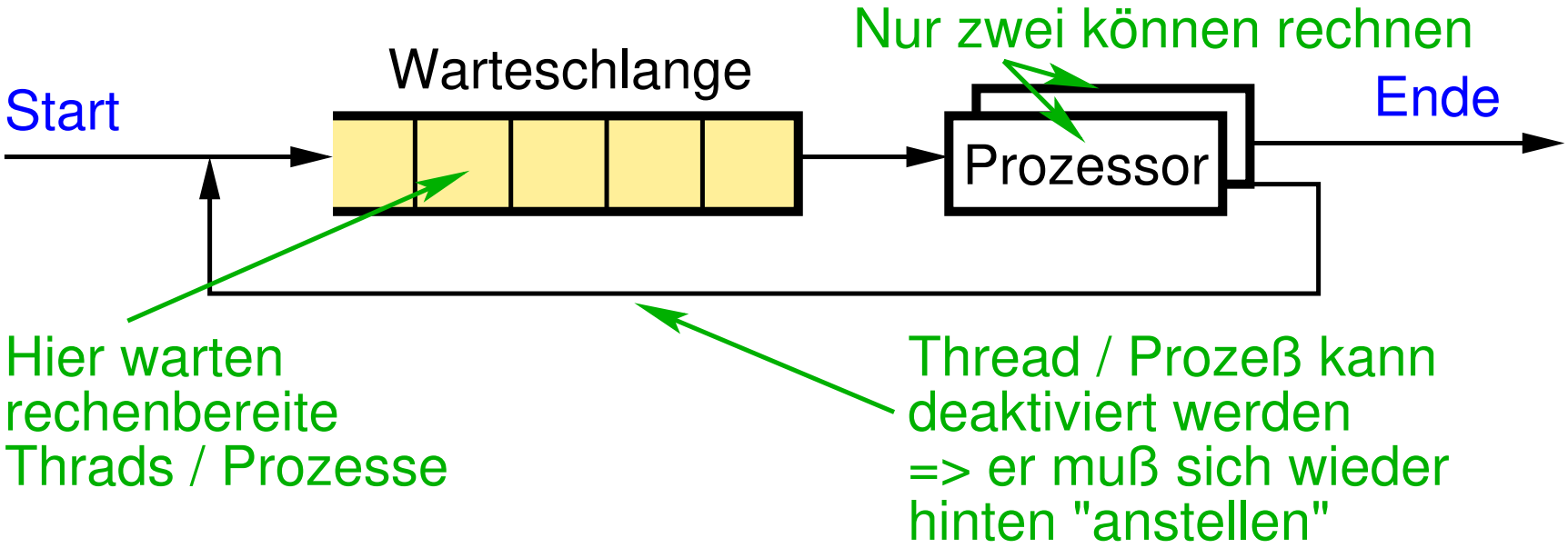


## Ein einfaches Thread/Prozeß-Modell



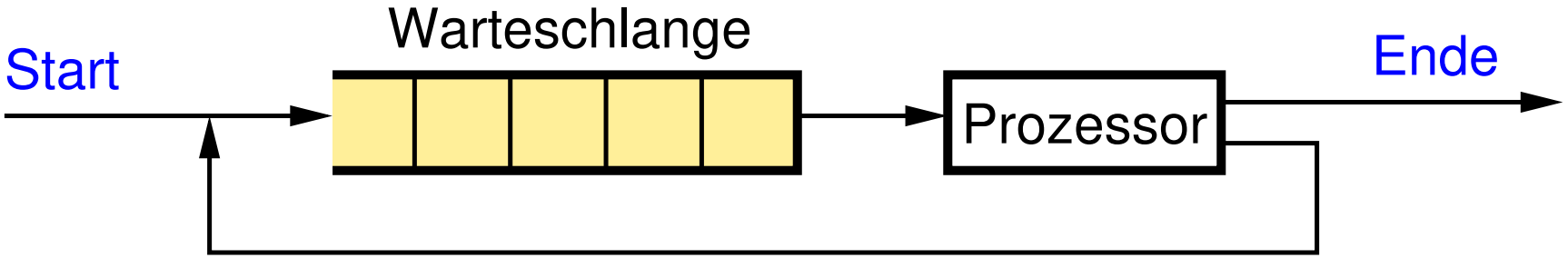

- Anmerkung: das Modell gilt sowohl für Threads als auch für klassische Prozesse (mit genau einem Thread)

## Ein einfaches Thread/Prozeß-Modell

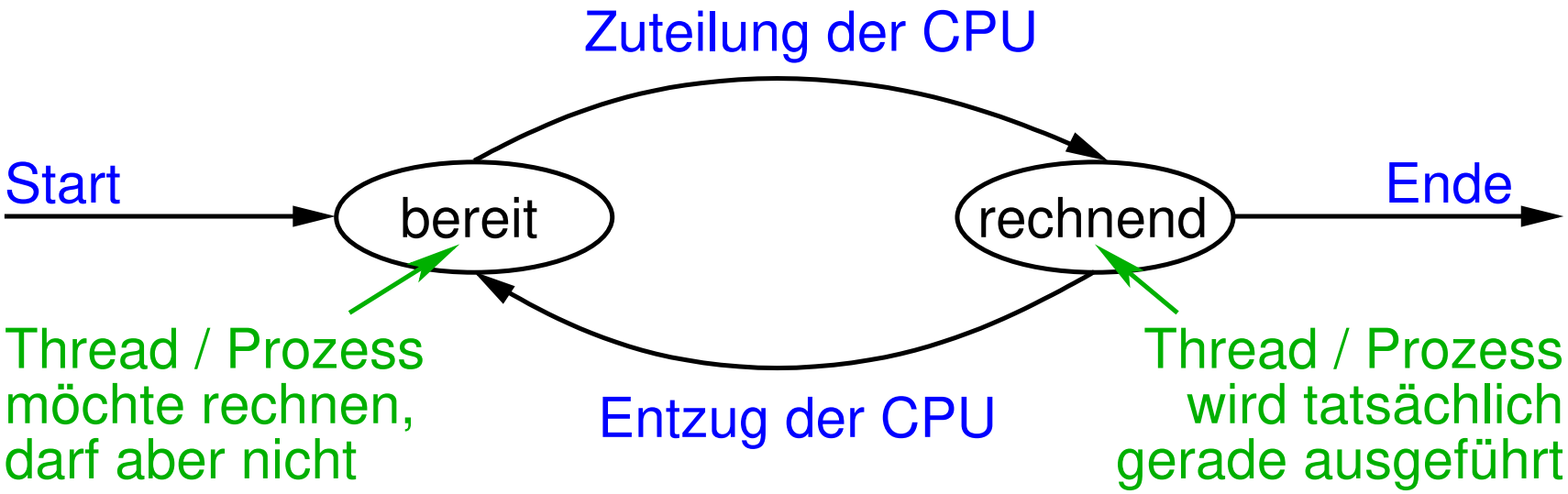



- Anmerkung: das Modell gilt sowohl für Threads als auch für klassische Prozesse (mit genau einem Thread)

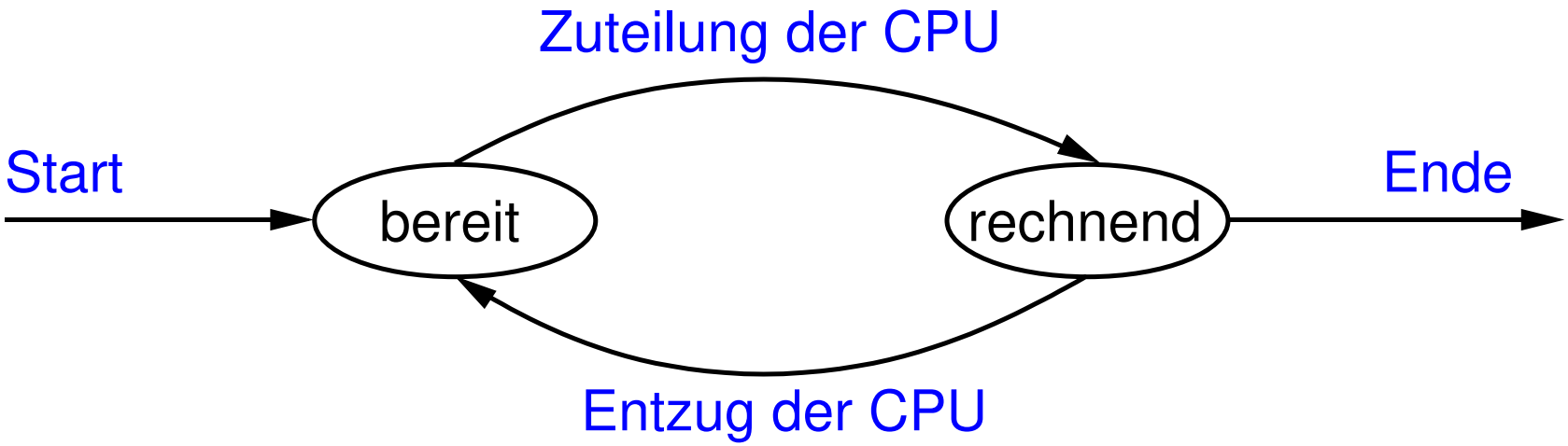
## Ein einfaches Thread/Prozeß-Modell



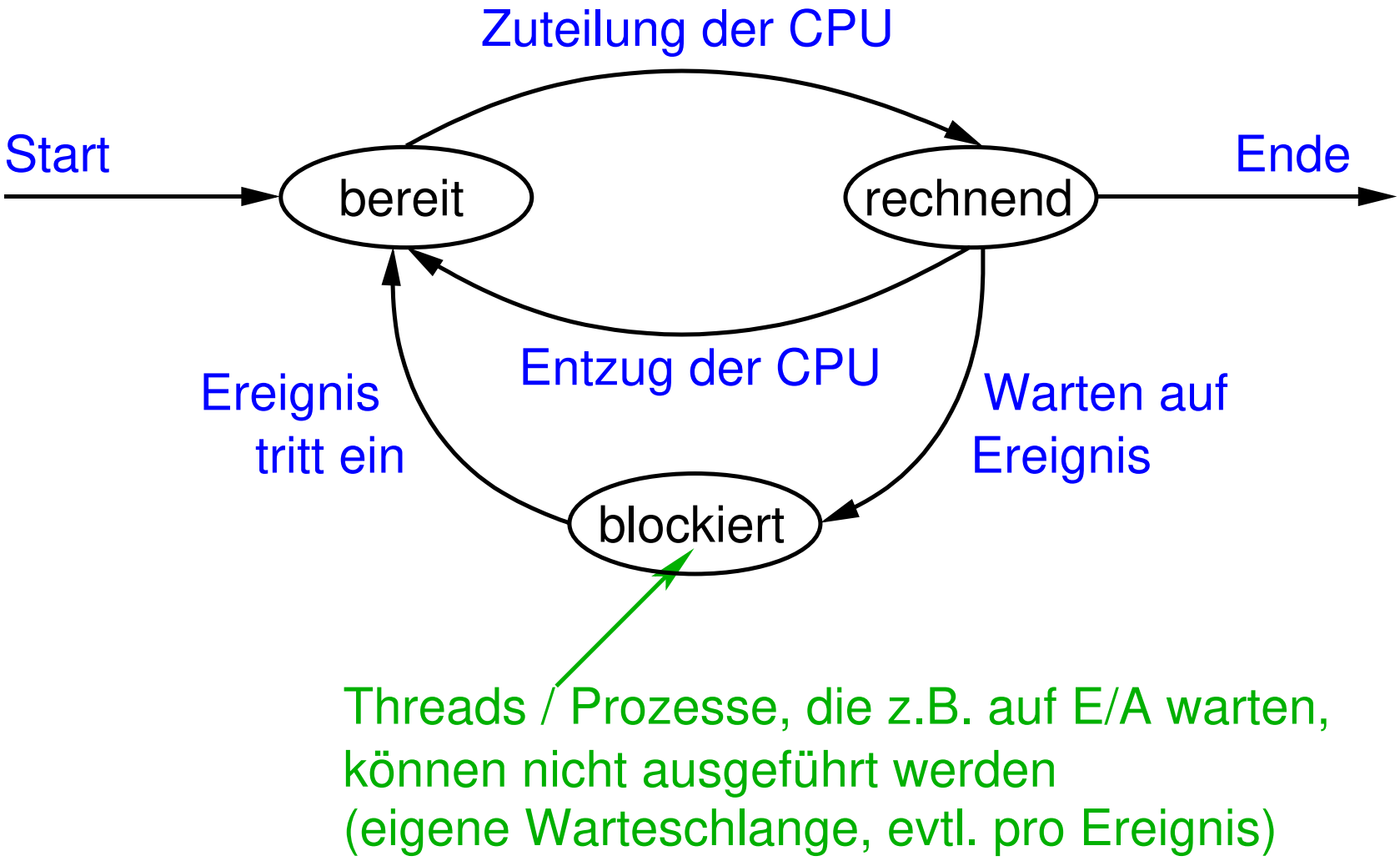

## Zustandsgraph eines Threads/Prozesses



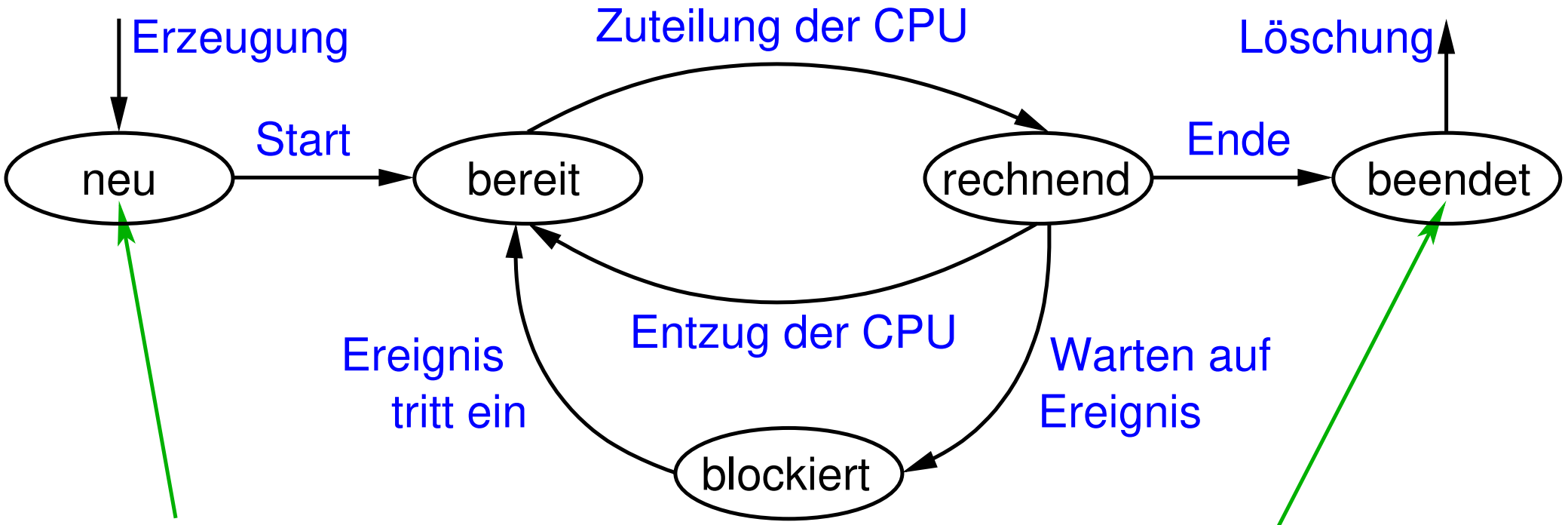
## Zustandsgraph für ein erweitertes Thread/Prozeß-Modell



## Zustandsgraph für ein erweitertes Thread/Prozeß-Modell



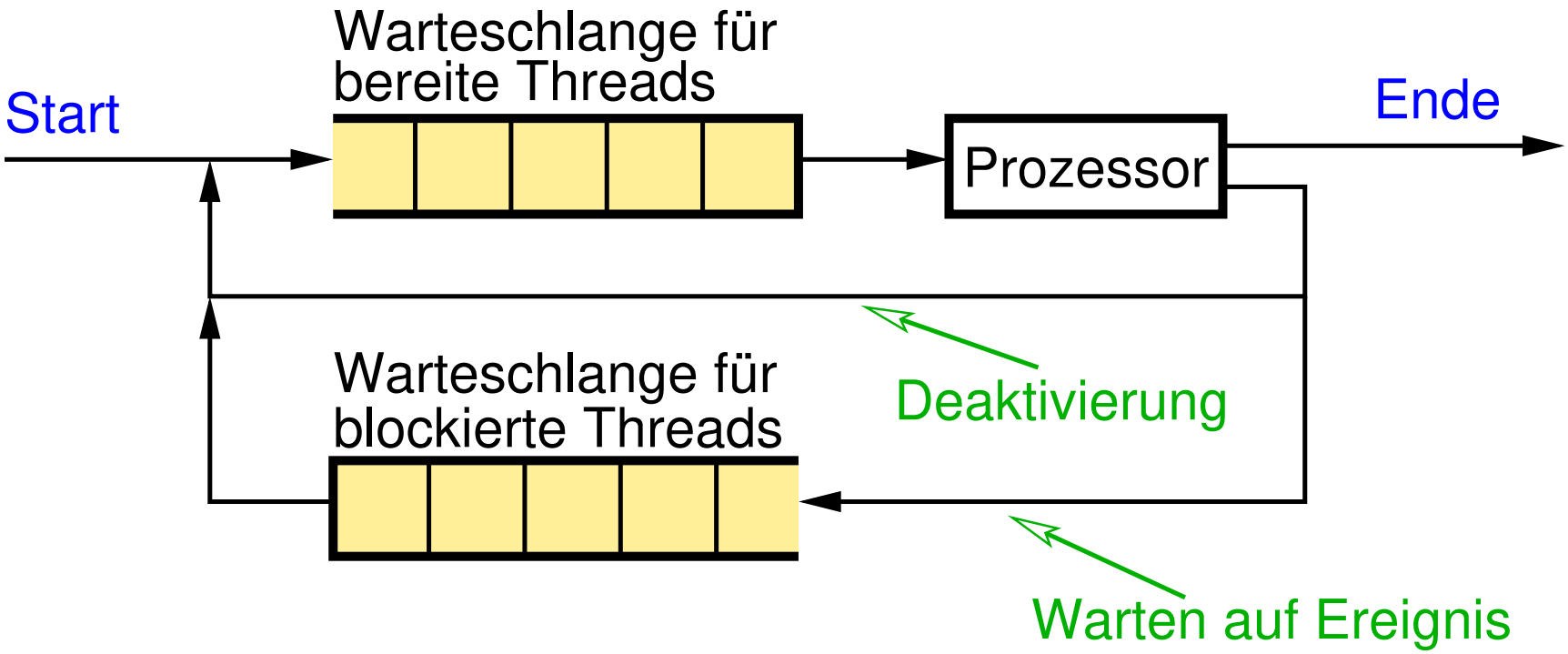
## Zustandsgraph für ein erweitertes Thread/Prozeß-Modell ...



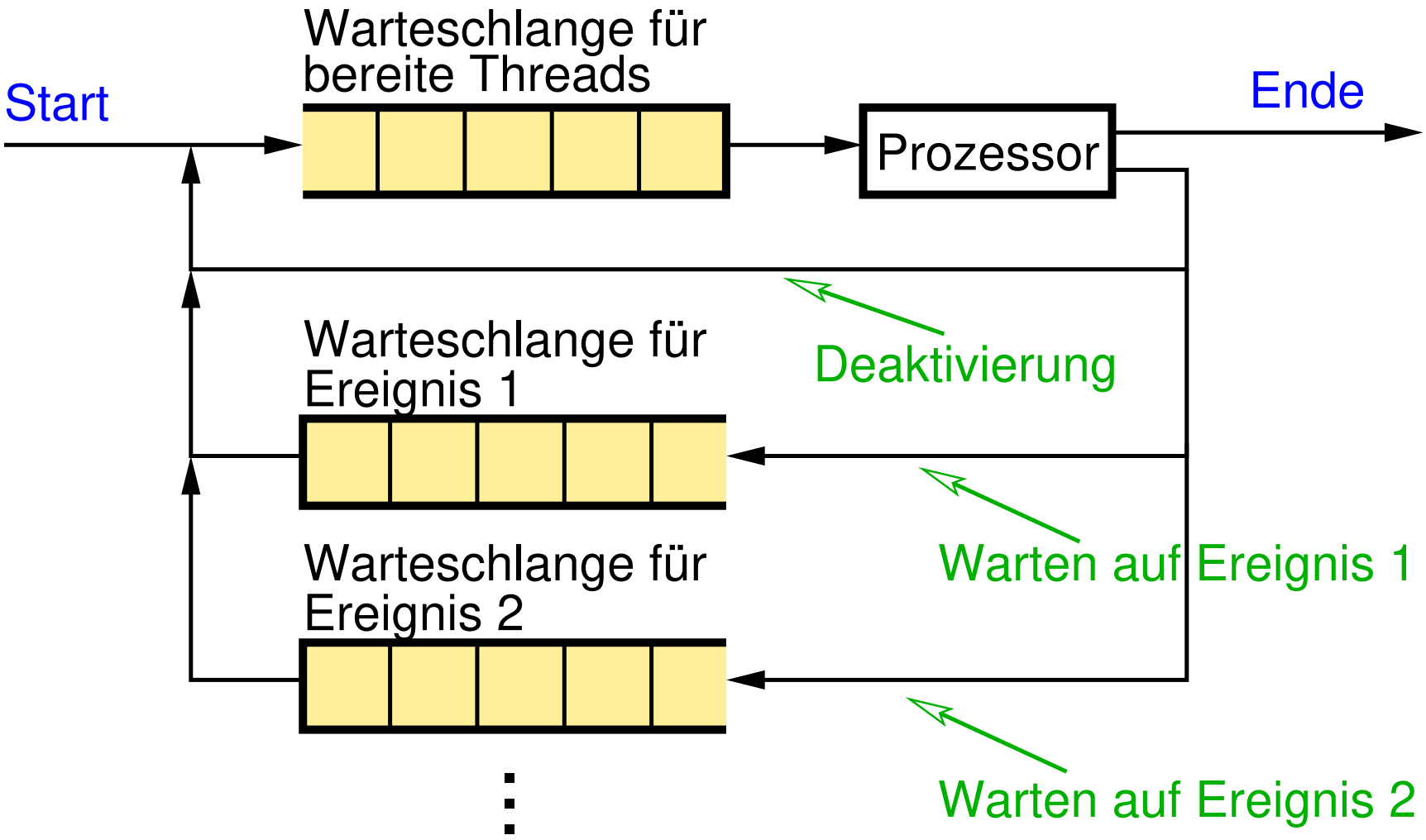

Die Verwaltungsdatenstruktur für den Thread / Prozeß ist bereits angelegt, der Thread / Prozeß selbst existiert aber noch nicht

Thread / Prozeß ist terminiert, Verwaltungsdaten sind noch vorhanden (z.B. zum Auslesen des Exit–Status)

## Eine Warteschlange für alle blockierten Threads



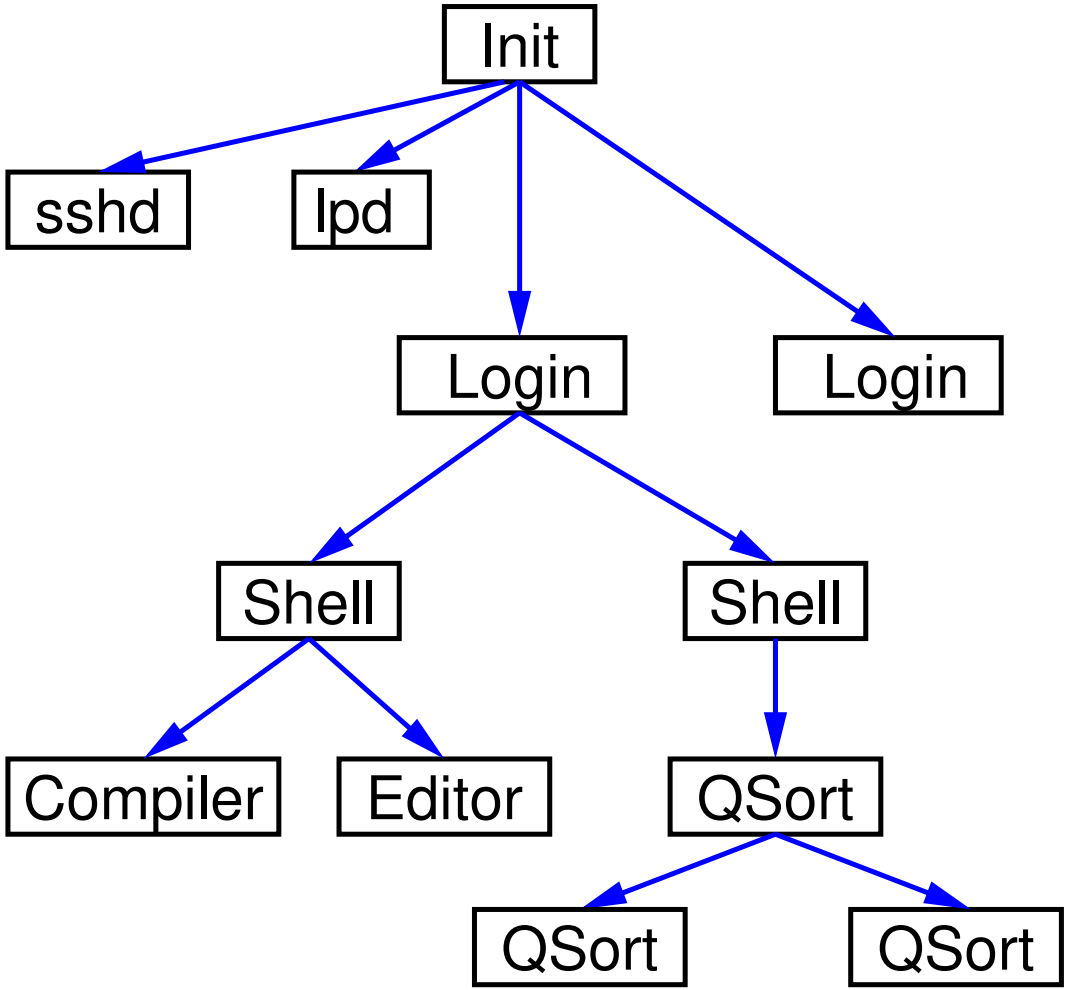
## Eine Warteschlange pro Ereignis



## Gründe für Prozeßerzeugung:

- Initialisierung des Systems
  - Hintergrundprozesse (*Daemons*) für BS-Dienste
- Benutzeranfrage
  - Interaktive Anmeldung, Start eines Programms
- Erzeugung durch Systemaufruf eines bestehenden Prozesses
- Initiierung eines *Batch-Jobs*
  - in Mainframe-BSen
- Technisch wird ein neuer Prozeß (fast) immer durch einen Systemaufruf (z.B. `fork` bzw. `CreateProcess`) erzeugt
  - führt zu **Prozeßhierarchie**

## Beispiel: Prozeßhierarchie unter UNIX




Initialisierungsprozeß

Daemons

Für jeden Benutzer ein Login–Prozeß

Mehrere Kommando–interpreter (Shells) pro Benutzer

Anwendungen

## Gründe für Prozeßterminierung:

- Freiwillig
  - durch Aufruf von z.B. `exit` bzw. `ExitProcess`
  - normal oder wegen Fehler
- Unfreiwillig (Abbruch durch BS)
  - wegen schwerwiegender Fehler, z.B. Speicherüberschreitung, Ausnahme, E/A-Fehler, Schutzverletzung
  - durch andere (berechtigte) Prozesse, über Systemaufruf (z.B. `kill` bzw. `TerminateProcess`)
  - Teilweise ist noch eine Reaktion des Prozesses auf das Ereignis möglich (☞ **3.2.4**: Signale)

# 2.4 Implementierung von Prozessen und Threads

- BS pflegt **Prozeßtabelle** mit Informationen über alle Prozesse
  - der Eintrag für einen Prozeß heißt **Prozeßkontrollblock**
- Analog: **Threadtabelle** für alle Threads
  - Eintrag: **Threadkontrollblock**
- Prozeßadressraum, Prozeßkontrollblock und Threadkontroll-blöcke beschreiben einen Prozeß vollständig
- Typische Elemente des Prozeßkontrollblocks:
  - Prozeßidentifikation, Zustands- und Ressourceninformation
- Typische Elemente des Threadkontrollblocks:
  - Threadidentifikation, Zustandsinformation
  - Scheduling- und Prozessorstatus-Information

## Inhalt des Prozeßkontrollblocks

- Prozeßidentifikation
  - Kennung des Prozesses und des Elternprozesses
  - Benutzerkennung
  - Liste der Kennungen aller Threads
- Zustandsinformation
  - Priorität, verbrauchte CPU-Zeit, ...
- Verwaltungsinformation
  - Daten für Interprozeßkommunikation (☞ **3**)
  - Prozeßprivilegien
  - Tabellen für Speicherabbildung (Speicherverwaltung, ☞ **6**)
  - Ressourcenbesitz und -nutzung
    - offene Dateien, Arbeitsverzeichnis, ...

## Inhalt des Threadkontollblocks

- Threadidentifikation
  - Kennung des Threads
  - Kennung des zugehörigen Prozesses
- Scheduling- und Zustandsinformation
  - Threadzustand (bereit, rechnend, blockiert, ...)
  - ggf. Ereignis, auf das der Thread wartet
  - Priorität, verbrauchte CPU-Zeit, ...
- Prozessorstatus-Information
  - Datenregister
  - Steuer- und Statusregister: PC, PSW, ...
  - Kellerzeiger (SP)

## Elemente von Prozessen und Threads

| Elemente pro Prozeß | Elemente pro Thread |
|---|---|
| Adreßraum | Befehlszähler |
| geöffnete Dateien | Register |
| Kindprozesse | Keller* |
| Signale | Zustand (bereit, ...) |
| Privilegien | |
| ... | |
| ... | * genauer: Kellerzeiger |

➥ (Bei Verwendung höherer Programmiersprachen:
lokale Variable sind pro Thread, globale pro Prozeß)

## Ablauf einer Prozeßerzeugung

- Eintrag mit eindeutiger Kennung in Prozeßtabelle erzeugen
- Zuteilung von Speicherplatz an den Prozeß
  - für Programmcode, Daten, und Keller
  - (siehe später: **6**. Speicherverwaltung)
- Initialisierung des Prozeßkontrollblocks
  - Ressourcen evtl. von Elternprozeß geerbt
- Erzeugung und Initialisierung eines Threadkontrollblocks
  - PC und SP (und alle anderen Register)
  - Threadzustand: bereit
  - Prozeß startet mit genau einem Thread
- Einhängen des Threads in die Bereit-Warteschlange

## Ablauf eines Threadwechsels

1. Prozessorstatus im Threadkontrollblock sichern
   - ➥ PC, PSW, SP, andere Register
2. Thread- und Prozeßkontrollblock aktualisieren
   - ➥ Threadzustand, Grund der Deaktivierung, Buchhaltung, ...
3. Thread in entsprechende Warteschlange einreihen
4. Nächsten bereiten Thread auswählen (☞ **5**. Scheduling)
5. Threadkontrollblock des neuen Threads aktualisieren
   - ➥ Zustand auf „rechnend“ setzen
6. Falls neuer Thread in anderem Prozess liegt:
   - ➥ Aktualisierung der Speicherverwaltungsstrukturen (☞ **6**)
7. Prozessorstatus aus neuem Threadkontrollblock laden

## Anmerkungen

- Beim Threadwechsel **innerhalb desselben Prozesses** entfällt die Aktualisierung der Speicherverwaltungsstrukturen
  - Threads im selben Prozeß haben gemeinsamen Speicher
- BS (Scheduler) entscheidet direkt, welcher **Thread** als nächstes rechnen soll
  - falls nötig, wird dann auch der Prozeß mit umgeschaltet
  - Scheduler kann/sollte die Zuordnung von Threads zu Prozessen bei der Entscheidung berücksichtigen
    - z.B. wegen unterschiedlicher Kosten

## Wann erfolgt ein Threadwechsel?

- Threadwechsel kann immer dann erfolgen, wenn BS die Kontrolle erhält:
  - bei Systemaufruf (z.B. E/A)
    - Thread gibt Kontrolle (d.h. Prozessor) freiwillig ab
  - bei Ausnahme (z.B. unzulässigem Befehl)
    - Prozeß wird ggf. beendet
    - evtl. auch Behandlung der Ausnahme durch BS
  - bei Interrupt (z.B. E/A-Gerät, Timer)
    - Behandlung des Interrupts erfolgt im BS
    - **periodischer Timer-Interrupt** stellt sicher, daß kein Thread die CPU monopolisieren kann

## Ablauf beim Systemaufruf

- Durch Hardware: Einsprung ins BS (Systemmodus)
- Ablauf im BS:
  - Sichern des gesamten Prozessorstatus (1)
  - Thread in Zustand „bereit“ setzen (2,3)
  - Ausführung bzw. Initiierung des Auftrags
    - evtl. Thread in Zustand „blockiert“ setzen (2,3)
  - Sprung zum Scheduler (4-7)
    - Aktivieren eines (anderen) Threads
      - dieser Thread wird nach Rückkehr in den Benutzer-modus fortgesetzt

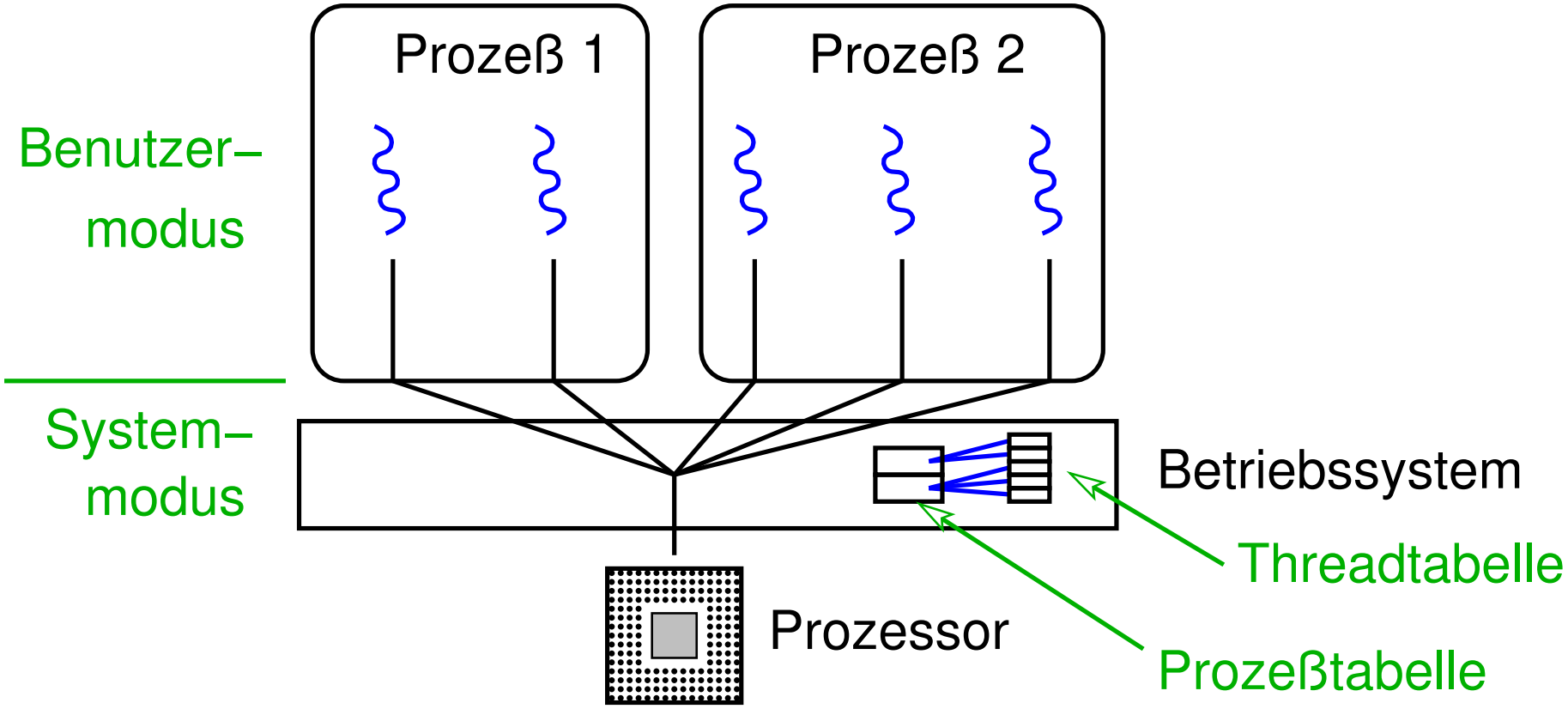
## Ablauf bei Ausnahme

- Durch Hardware: Einsprung ins BS (Systemmodus)
- Ablauf im BS:
  - Sichern des gesamten Prozessorstatus (1)
  - je nach Art der Ausnahme:
    - Beenden des Prozesses (2)
    - Blockieren des Threads (2,3)
      (z.B. bei Seitenfehler, ☞ **6.3.2**: dyn. Seitenersetzung)
    - Behebung der Ursache der Ausnahme (2,3)
  - Sprung zum Scheduler (4-7)

## Ablauf bei Interrupt

- Durch Hardware: Einsprung ins BS (Systemmodus)
- Ablauf im BS:
  - Sichern des gesamten Prozessorstatus (1)
  - aktuellen Thread auf „bereit“ setzen (2,3)
  - Ursache der Unterbrechung ermitteln
  - Ereignis (z.B. Ende der E/A) entsprechend behandeln
  - evtl. blockierte Threads wieder auf „bereit“ setzen (2,3)
  - Sprung zum Scheduler (4-7)

## Realisierung durch BS-Kern

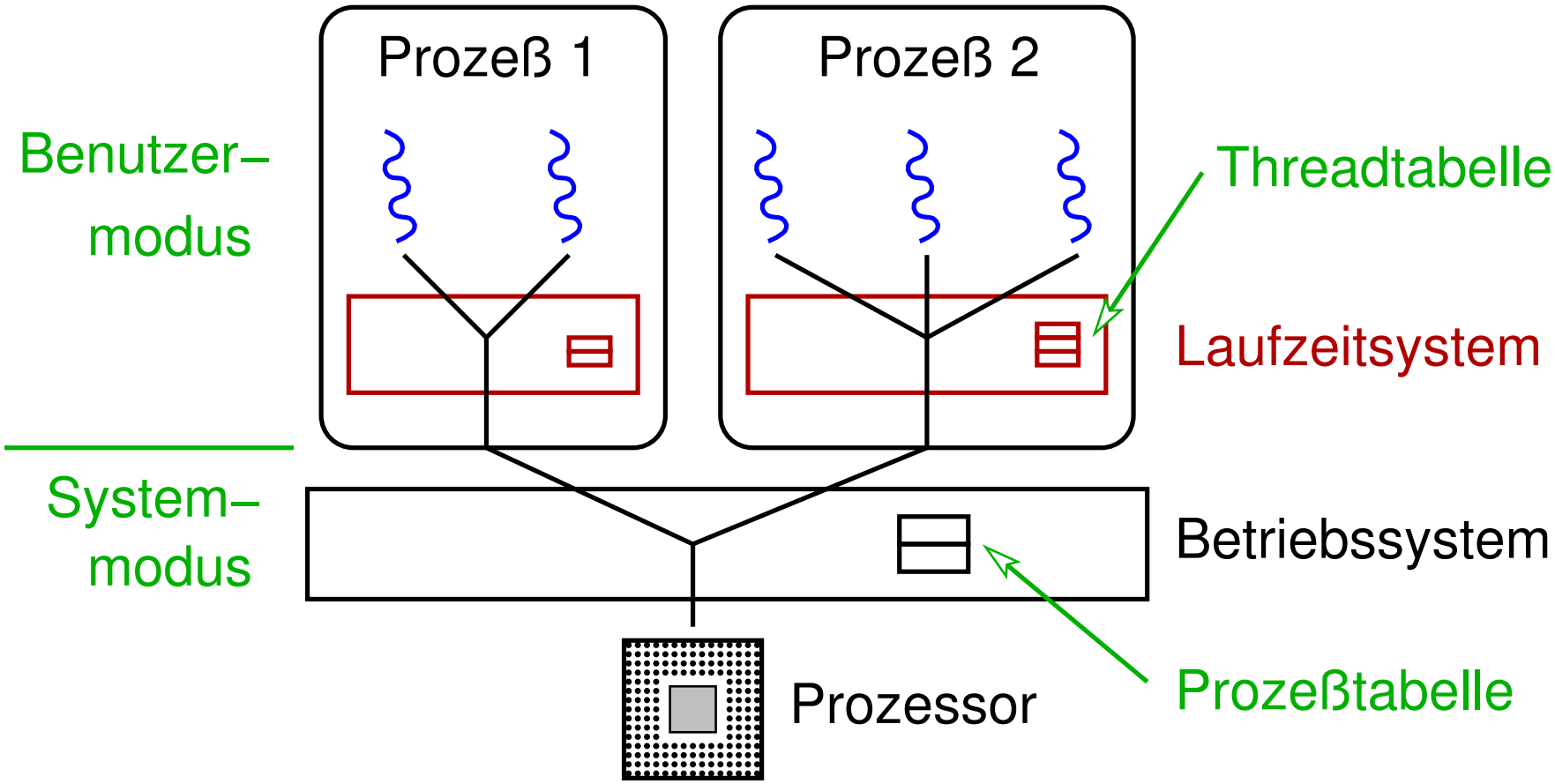



➥ Heute gängigste Realsierungsvariante

## Realisierung durch BS-Kern: Diskussion

- Vorteile:
  - bei Blockierung eines Threads kann BS einen anderen Thread desselben Prozesses auswählen
  - bei Mehrprozessorsystemen: echte Parallelität innerhalb eines Prozesses möglich
- Nachteil: hoher Overhead
  - Threadwechsel benötigt Moduswechsel zum BS-Kern
  - Erzeugen, Beenden, etc. benötigt Systemaufruf

## Realisierung im Benutzeradreßraum




➥ Genutzt in frühen Thread-Implementierungen

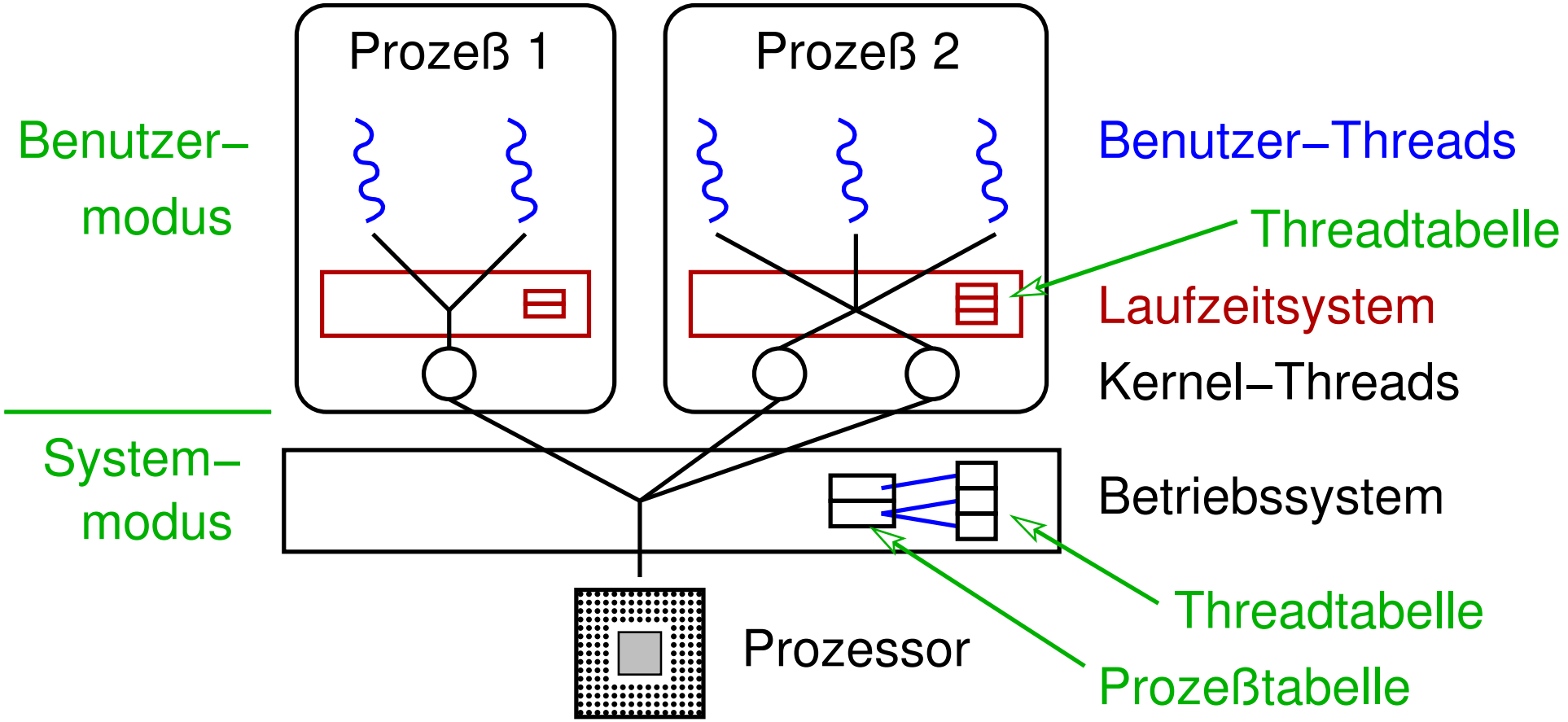
## Realisierung im Benutzeradreßraum: Diskussion

- Vorteile:
  - keine Unterstützung durch BS notwendig
  - schnelle Threaderzeugung und Threadwechsel
    - z.B. Zeit für Erzeugung (BS: Solaris, CPU: Sparc2; alt!)

| Benutzer-Thread | Kernel-Thread | Prozess |
|---|---|---|
| 52 $\mu s$ | 350 $\mu s$ | 1700 $\mu s$ |

  - individuelle Scheduling-Algorithmen möglich
- Nachteile:
  - blockierender Systemaufruf blockiert alle Threads
    - macht eine Hauptmotivation für Threads zunichte
  - Threads müssen Prozessor i.d.R. freiwillig abgeben
    - Threadwechsel erfolgt durch Bibliotheksfunktion

## Hybride Realisierung




- Z.B. in alten Versionen von Solaris
- Heute: für Programme mit sehr vielen nebenläufigen Aktivitäten

# Betriebssysteme I

## WS 2019/2020

07.11.2019

Roland Wismüller
Betriebssysteme / verteilte Systeme
roland.wismueller@uni-siegen.de
Tel.: 0271/740-4050, Büro: H-B 8404

Stand: 14. November 2019

# 2.6 Schnittstellen zur Nutzung von Threads

- Alle heute gängigen BSe unterstützen (Kernel-)Threads
- Anwendungen nutzen jedoch i.d.R. nicht die Systemaufrufe, sondern höhere Programmierschnittstellen
- Beispiele:
  - POSIX Threads (Programmierbibliothek)
  - Java Threads (Sprachkonstrukt)

## POSIX Threads (PThreads)

- IEEE 1003.1c: Standardschnittstelle zur Programmierung mit Threads
  - (weitestgehend) betriebssystemunabhängig
  - in fast allen PC/Server-BSen verfügbar
- Programmiermodell:
  - bei Programmstart: genau ein (Master-)Thread
  - Master-Thread erzeugt andere Threads und wartet auf deren Beendigung
  - Prozeß terminiert bei Beendigung des Master-Threads

## PThreads: Funktionen zur Threadverwaltung (unvollständig)

- `pthread_create`: erzeugt neuen Thread
  - Parameter: Prozedur, die der Thread abarbeiten soll
  - Ergebnis: Thread-*Handle* ( = Referenz)
- `pthread_exit`: eigene Terminierung (mit Ergebniswert)
- `pthread_cancel`: terminiert anderen Thread
- `pthread_join`: wartet auf Terminierung eines Threads, liefert Ergebniswert

## Code-Beispiel: Hello World mit PThreads in C

```
#include <pthread.h>

void * SayHello(void *arg) {
  printf("Hello World!\n");
  return NULL;
}

int main(int argc, char **argv) {
  pthread_t t;
  if (pthread_create(&t, NULL, SayHello, NULL) != 0) {
    /* FEHLER! */
  }
  pthread_join(t, NULL);
  exit(0);
}
```

Diese Funktion wird durch einen neuen Thread abgearbeitet

Erzeugung des Threads

Warten auf Beendigung

## Java Threads

- Grundlage: die Klasse `Thread`
  - Konstruktoren (u.a.):
    - `Thread()`, `Thread(Runnable target)`
  - Methoden (u.a.):
    - `void start()` – startet einen Thread
    - `void join()` – wartet auf Ende des Threads
- Definieren von Threads
  - Deklaration einer neuen Klasse
    - als Unterklasse der Klasse `Thread`
    - oder: als Implementierung der Schnittstelle `Runnable`
  - Überschreiben / Implementieren der Methode `void run()` mit dem auszuführenden Code

## Code-Beispiel: Hello World mit Java Threads (1)

```
public class MyThread extends Thread
{
  public void run()
  {
    System.out.println("Hello World!");
  }
  public static void main(String[] args)
  {
    MyThread t = new MyThread();
    t.start();
    t.join();
  }
}
```

Diese Methode wird durch den neuen Thread abgearbeitet

Erzeugung des Threads

Warten auf Beendigung

## Code-Beispiel: Hello World mit Java Threads (2)

```
public class HelloWorld implements Runnable
{
  public void run()
  {
    System.out.println("Hello World!");
  }

  public static void main(String[] args)
  {
    HelloWorld runner = new HelloWorld();
    Thread t = new Thread(runner);
    t.start();
    t.join();
  }
}
```

Diese Methode wird durch den neuen Thread abgearbeitet

Erzeugung des Threads

Warten auf Beendigung

## Anmerkungen zu den Code-Beispielen

- Programmiermodell:
  - bei Programmstart: genau ein Thread
  - Prozeß terminiert erst, wenn alle Threads beendet sind
- Jeder `Thread` darf nur einmal über `start()` gestartet werden
- Übergabe von Parametern und Ergebnissen:
  - über Attribute des `Thread` bzw. `Runnable`-Objekts
  - Eingabeparameter werden vor `start()` gesetzt (z.B. durch Konstruktor)
  - Ergebnisse können nach `join()` z.B. durch Getter-Methoden ausgelesen werden

# 2.7 Zusammenfassung / Wiederholung

- Zwei Aspekte:
  - Prozeß: Einheit der Ressourcenverwaltung, Schutzeinheit
  - Thread: Einheit der Prozessorzuteilung
    - pro Prozeß mehrere Threads möglich
- Threadmodell
  - Zustände „rechnend“, „bereit“, „blockiert“ + andere
  - Warteschlangen
- Zum Prozeß gehören u.a.:
  - Adreßraum, geöffnete Dateien, Signale, Privilegien, ...
- Zum Thread gehören u.a.:
  - Befehlszähler, CPU-Register, Keller(zeiger), Scheduling-Zustand, ...

# 2.7 Zusammenfassung / Wiederholung ...

- Threadwechsel:
  - Umladen des Prozessorkontexts
  - bei Prozeßwechsel auch Wechsel der Speicherabbildung
  - kann bei Systemaufruf, Ausnahme und Interrupt erfolgen
- Realisierungsvarianten für Threads:
  - im BS-Kern, Benutzeradreßraum, hybrid
- Thread-Schnittstellen:
  - POSIX-Threads, Java Threads