Betriebssysteme und nebenläufige Programmierung

SoSe 2025

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

Stand: 1. April 2025

Betriebssysteme und nebenläufige Programmierung

SoSe 2025

5 Verklemmungen (*Deadlocks*)

5 Verklemmungen (*Deadlocks*) ...

Inhalt:

- Einführung
- Formale Definition, Voraussetzungen
- Behandlung von Deadlocks:
  - Erkennung und Behebung
  - Vermeidung (*Avoidance*)
  - Verhinderung (*Prevention*)

- Tanenbaum 3
- Stallings 6.1-6.6
- Nehmer/Sturm 8

5.1 Einführung

- Wichtige Aufgabe des BSs: Verwaltung von Ressourcen
  - Ressourcen werden an Prozesse zugeteilt
  - Ressource kann nur jeweils von einem Prozeß genutzt werden
    - wechselseitiger Ausschluß
  - aber: mehrere identische Instanzen einer Ressource möglich
- Mögliches Problem: **Deadlock**, z.B.
  - Prozeß A hat Scanner belegt, benötigt CD-Brenner
  - Prozeß B hat CD-Brenner belegt, benötigt Scanner
  - A wartet auf B, B wartet auf A, ...

Unterbrechbare und ununterbrechbare Ressourcen

- **Unterbrechbare Ressource**
  - kann einem Prozeß ohne Schaden wieder entzogen werden
  - z.B. Prozessor (Sichern und Wiederherstellen des Prozessor-zustands beim Threadwechsel)
  - z.B. Hauptspeicher (Auslagern auf Platte)
  - Deadlocks können verhindert werden
- **Ununterbrechbare Ressource**
  - kann einem Prozeß nicht entzogen werden, ohne daß seine Ausführung fehlschlägt
  - z.B. CD-Brenner
- Im Folgenden: ununterbrechbare Ressourcen

Anforderung von Ressourcen

- Systemabhängig, z.B.
  - explizite Anforderung über speziellen Systemauruf
  - implizit beim Öffnen eines Geräts (Systemaufruf `open`)
  - falls Ressource nicht verfügbar: Systemaufruf blockiert*
- Häufig wird „Zuteilung“ auch explizit programmiert
  - z.B. durch Nutzung von Semaphoren
- Umgekehrt ist auch Belegung eines Semaphors als Ressourcenzuteilung interpretierbar
  - dann i.d.R. Threads statt Prozesse

* Vereinfachung in diesem Kapitel: Prozesse mit nur einem Thread, d.h. gesamter Prozess blockiert!

Beispiel: Nutzung von zwei Ressourcen

- Schutz durch zwei Semaphore

```
Semaphore resource1 = 1;
Semaphore resource2 = 1;
```

Thread A

```
P(resource1);
P(resource2);
UseBothResources();
V(resource2);
V(resource1);
```

Beispiel: Nutzung von zwei Ressourcen

- Schutz durch zwei Semaphore

```
Semaphore resource1 = 1;
Semaphore resource2 = 1;
```

Thread B

```
P(resource2);
P(resource1);
UseBothResources();
V(resource1);
V(resource2);
```

Beispiel: Nutzung von zwei Ressourcen

- Verklemmung möglich

```
Semaphore resource1 = 1;
Semaphore resource2 = 1;
```

Thread A

```
P(resource1);
P(resource2);
UseBothResources();
V(resource2);
V(resource1);
```

Thread B

```
P(resource2);
P(resource1);
UseBothResources();
V(resource1);
V(resource2);
```

Beispiel: Nutzung von zwei Ressourcen

- Verklemmung möglich

```
Semaphore resource1 = 1;
Semaphore resource2 = 1;
```

Thread A

```
  P(resource1);
⇢ P(resource2);
  UseBothResources();
  V(resource2);
  V(resource1);
```

Thread B

```
  P(resource2);
⇢ P(resource1);
  UseBothResources();
  V(resource1);
  V(resource2);
```

Beispiel: Nutzung von zwei Ressourcen

- Verklemmungsfreie Lösung

```
Semaphore resource1 = 1;
Semaphore resource2 = 1;
```

Thread A

```
P(resource1);
P(resource2);
UseBothResources();
V(resource2);
V(resource1);
```

Thread B

```
P(resource1);
P(resource2);
UseBothResources();
V(resource2);
V(resource1);
```

5.2 Formale Beschreibung

Definition

Eine Menge von Prozessen befindet sich in einem* ***Deadlock****-Zustand (****Verklemmungs****-Zustand),*
wenn jeder Prozeß aus der Menge auf ein Ereignis* ***wartet****,*
das nur ein anderer Prozeß aus dieser Menge auslösen kann.*

- Alle Prozesse* warten
- Die Ereignisse werden daher niemals ausgelöst
- Keiner der Prozesse* wird jemals wieder aufwachen

- Im BS-Kontext oft: Ereignis = Freigabe einer Ressource

* Bzw. Thread(s)

Bedingungen für einen Ressourcen-Deadlock

1. **Wechselseitiger Ausschluß**:
   Jede Ressource kann zu einem Zeitpunkt von höchstens einem Prozeß genutzt werden.

2. **Hold-and-Wait (Besitzen und Warten)**:
   Ein Prozeß, der bereits Ressourcen besitzt, kann noch weitere Ressourcen anfordern.

3. **Ununterbrechbarkeit (kein Ressourcenentzug)**:
   Einem Prozeß, der im Besitz einer Ressource ist, kann diese nicht gewaltsam entzogen werden.

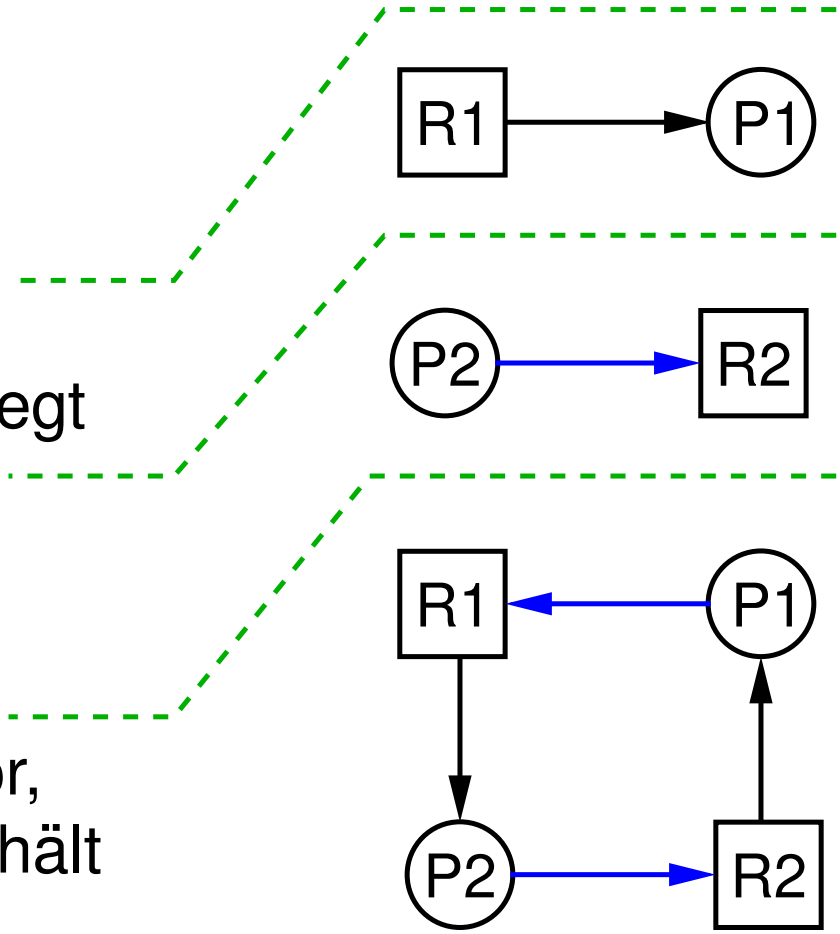
4. **Zyklisches Warten**:
   Es gibt eine zyklische Kette von Prozessen, bei der jeder Prozeß auf eine Ressource wartet, die vom nächsten Prozeß in der Kette belegt ist.

Bedingungen für einen Deadlock ...

- Anmerkungen:
  - Bedingungen 1-3 sind **notwendige** Bedingungen, aber nicht hinreichend
  - Bedingung 4 ist eine potentielle Konsequenz aus 1-3
    - die Unauflösbarkeit des zyklischen Wartens ist eine Folge aus 1-3
  - Alle vier Bedingungen zusammen sind **notwendig** und **hinreichend** für eine Verklemmung
- Konsequenz:
  - wenn eine der Bedingungen unerfüllbar ist, können keine Deadlocks auftreten

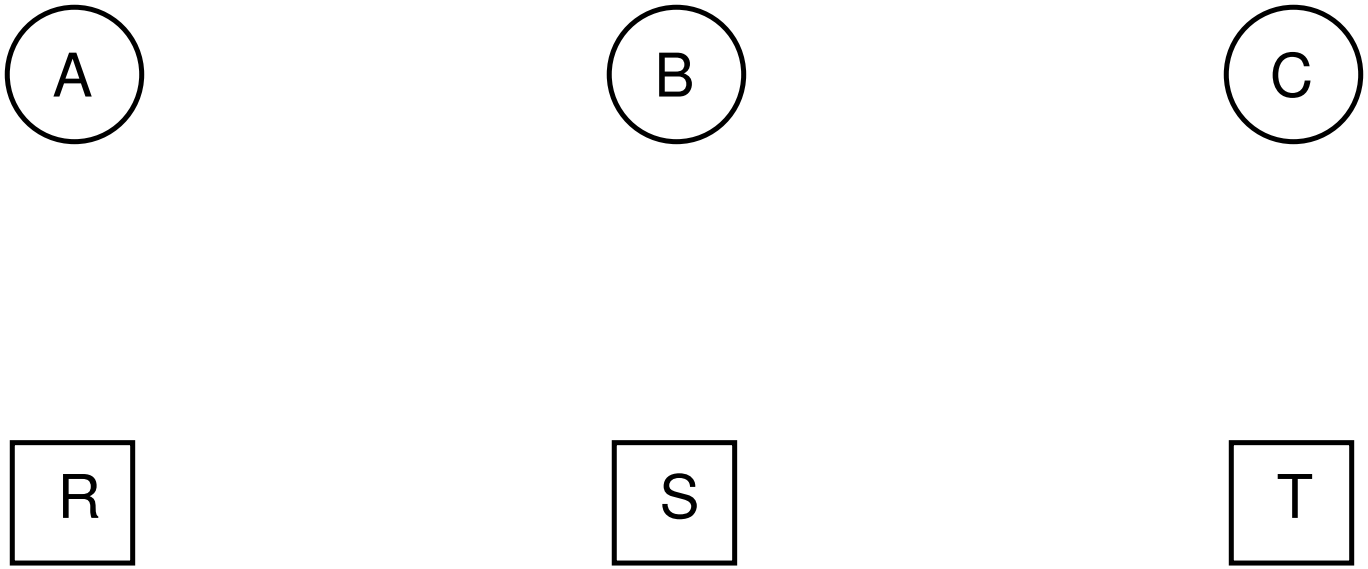
Modellierung von Deadlocks

- **Belegungs-Anforderungs-Graph**:
  - gerichteter Graph
  - zwei Arten von Knoten:
    - Prozesse (◯)
    - Ressourcen (□)
  - Kante Ressource → Prozeß:
    Ressource ist vom Prozeß belegt
  - Kante Prozeß → Ressource:
    Prozeß wartet auf Zuteilung
    der Ressource
- Ein Deadlock liegt genau dann vor,
  wenn der Graph einen Zyklus enthält



Beispiel: Ablauf mit Verklemmung

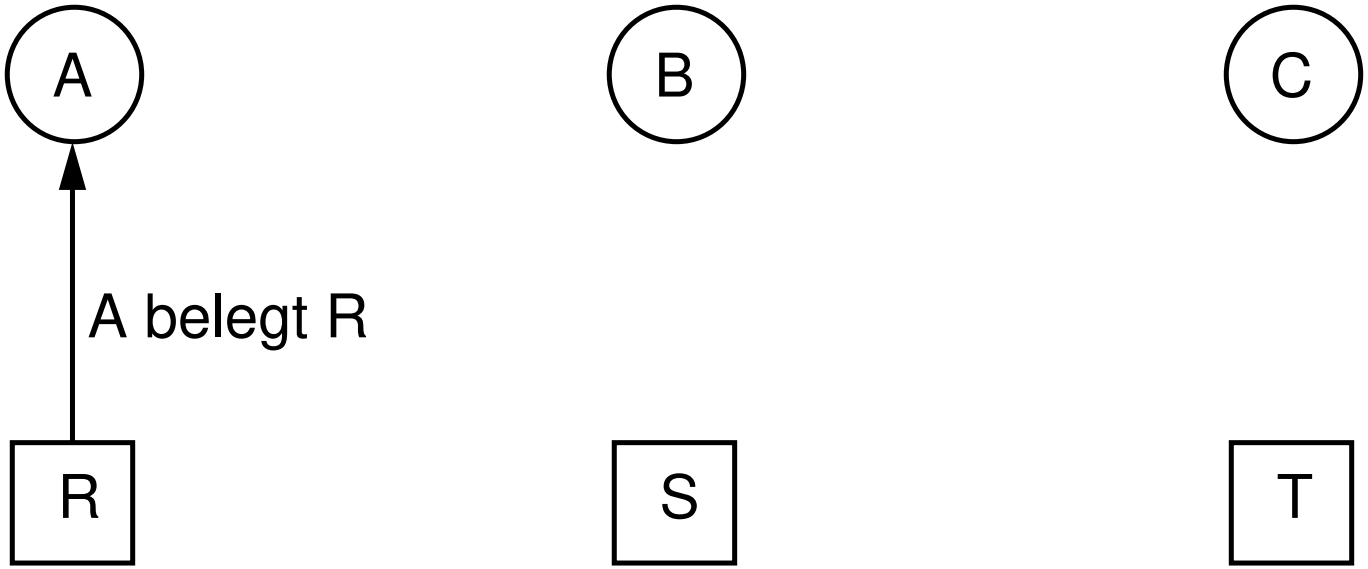
A	B	C
Anfrage R	Anfrage S	Anfrage T
Anfrage S	Anfrage T	Anfrage R
Freigabe R	Freigabe S	Freigabe T
Freigabe S	Freigabe T	Freigabe R



Reihenfolge: A–B–C–A–B–C...

Beispiel: Ablauf mit Verklemmung

Anfrage R	Anfrage S	Anfrage T
Anfrage S	Anfrage T	Anfrage R
Freigabe R	Freigabe S	Freigabe T
Freigabe S	Freigabe T	Freigabe R



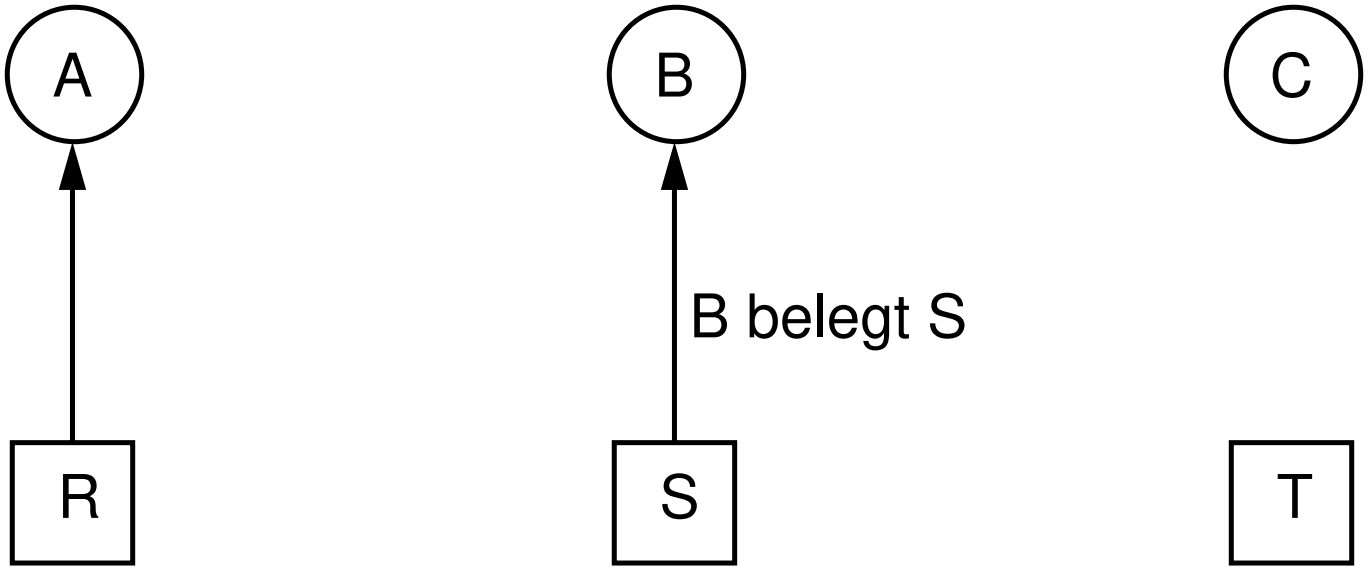
Reihenfolge: A–B–C–A–B–C...

Beispiel: Ablauf mit Verklemmung

→ Anfrage R
Anfrage S
Freigabe R
Freigabe S

→ Anfrage S
Anfrage T
Freigabe S
Freigabe T

Anfrage T
Anfrage R
Freigabe T
Freigabe R



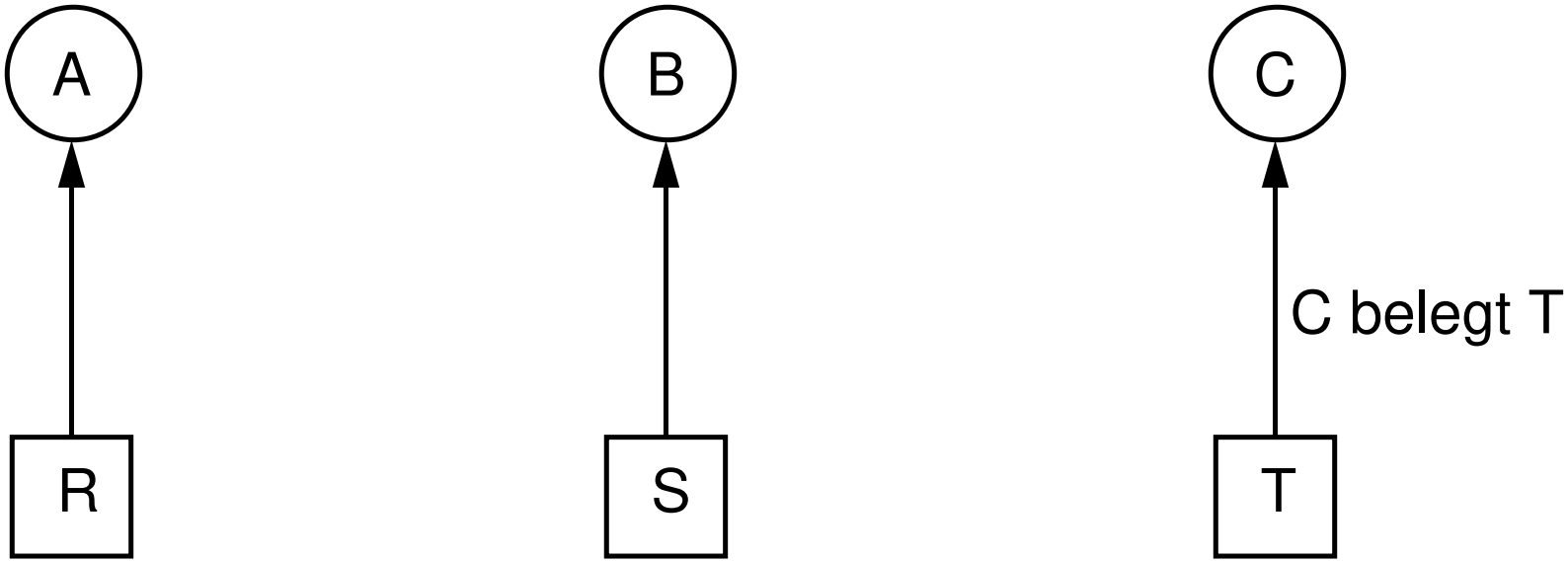
Reihenfolge: A–B–C–A–B–C...

Beispiel: Ablauf mit Verklemmung

→ Anfrage R
Anfrage S
Freigabe R
Freigabe S

→ Anfrage S
Anfrage T
Freigabe S
Freigabe T

→ Anfrage T
Anfrage R
Freigabe T
Freigabe R



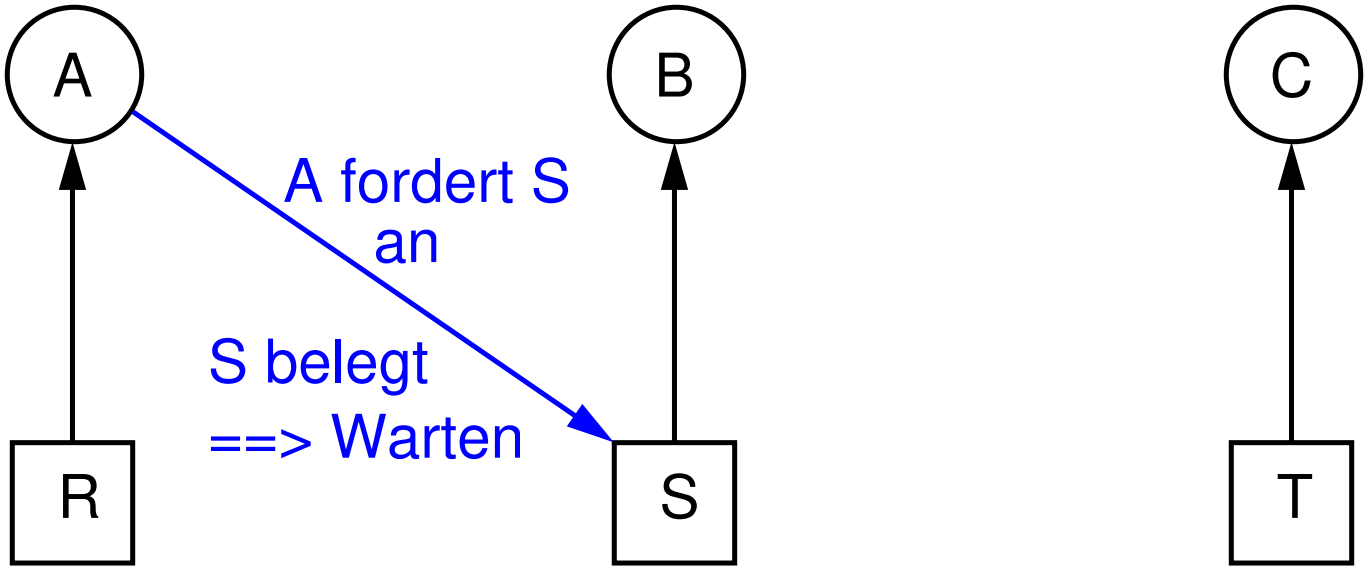
Reihenfolge: A–B–C–A–B–C...

Beispiel: Ablauf mit Verklemmung

Anfrage R
Anfrage S
Freigabe R
Freigabe S

Anfrage S
Anfrage T
Freigabe S
Freigabe T

Anfrage T
Anfrage R
Freigabe T
Freigabe R



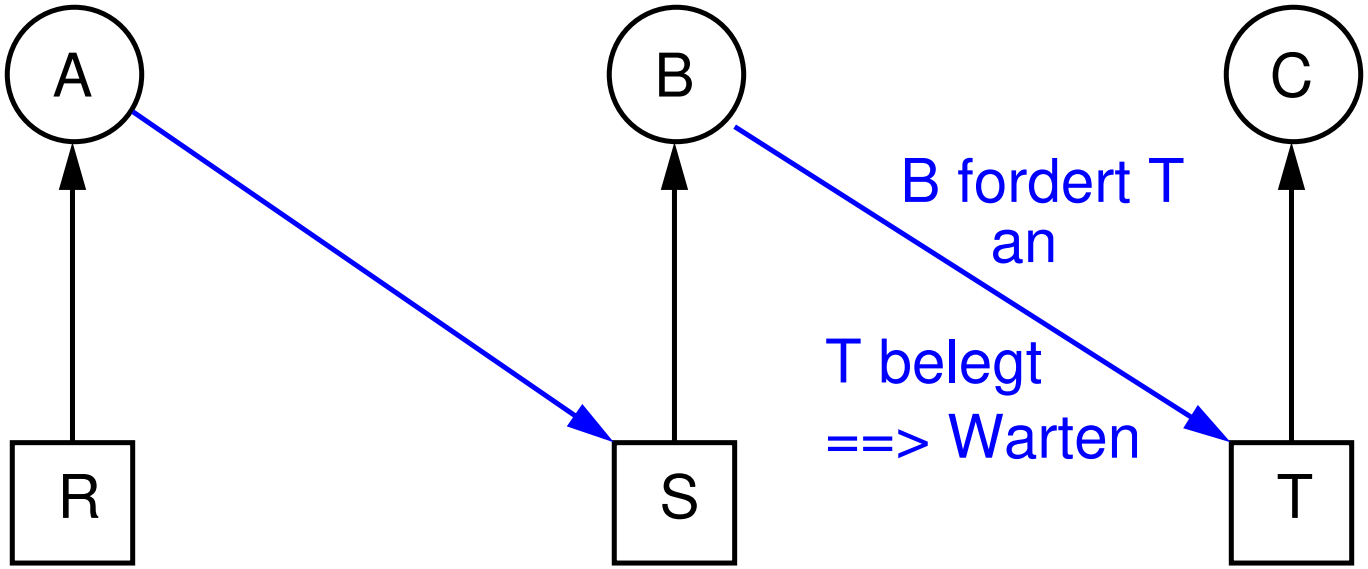
Reihenfolge: A–B–C–A–B–C...

Beispiel: Ablauf mit Verklemmung

Anfrage R
Anfrage S
Freigabe R
Freigabe S

Anfrage S
Anfrage T
Freigabe S
Freigabe T

Anfrage T
Anfrage R
Freigabe T
Freigabe R



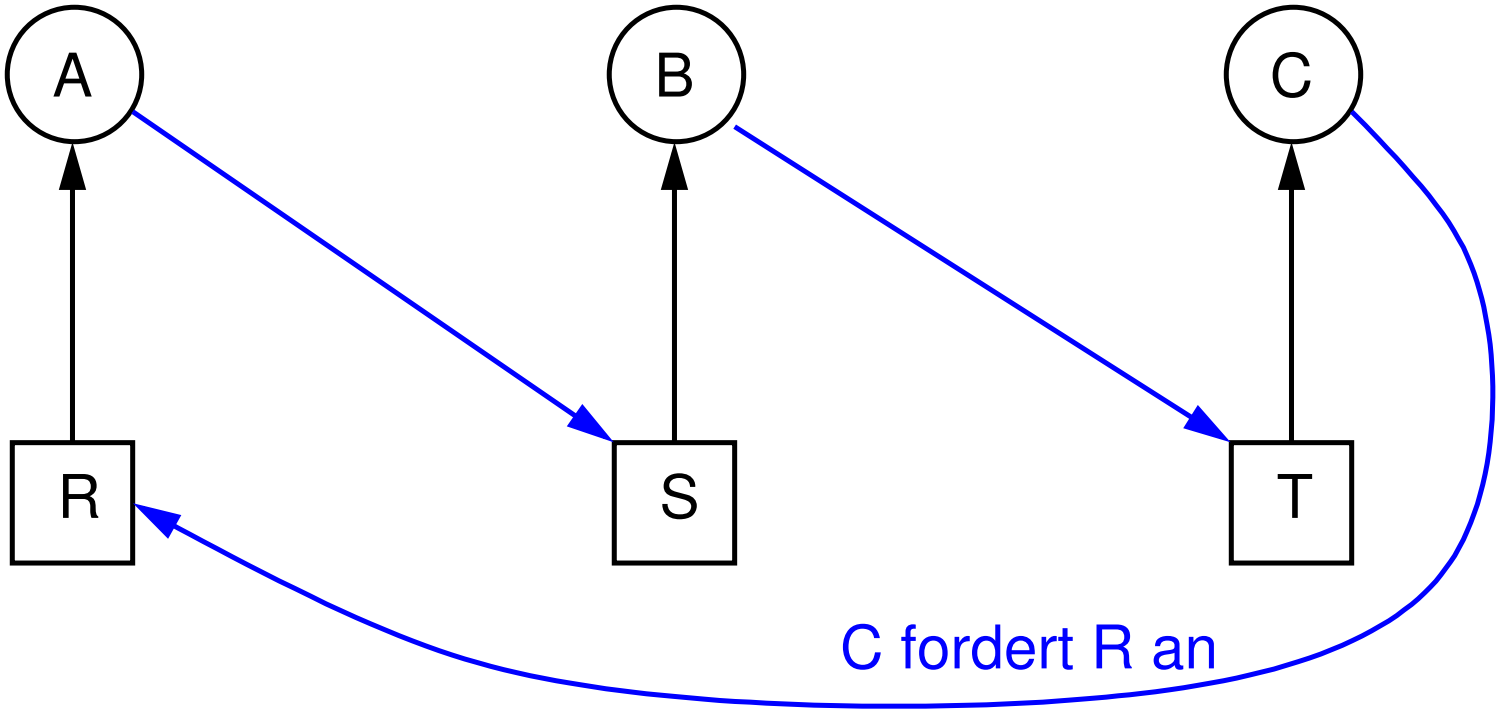
Reihenfolge: A–B–C–A–B–C...

Beispiel: Ablauf mit Verklemmung

Anfrage R
Anfrage S
Freigabe R
Freigabe S

Anfrage S
Anfrage T
Freigabe S
Freigabe T

Anfrage T
Anfrage R
Freigabe T
Freigabe R



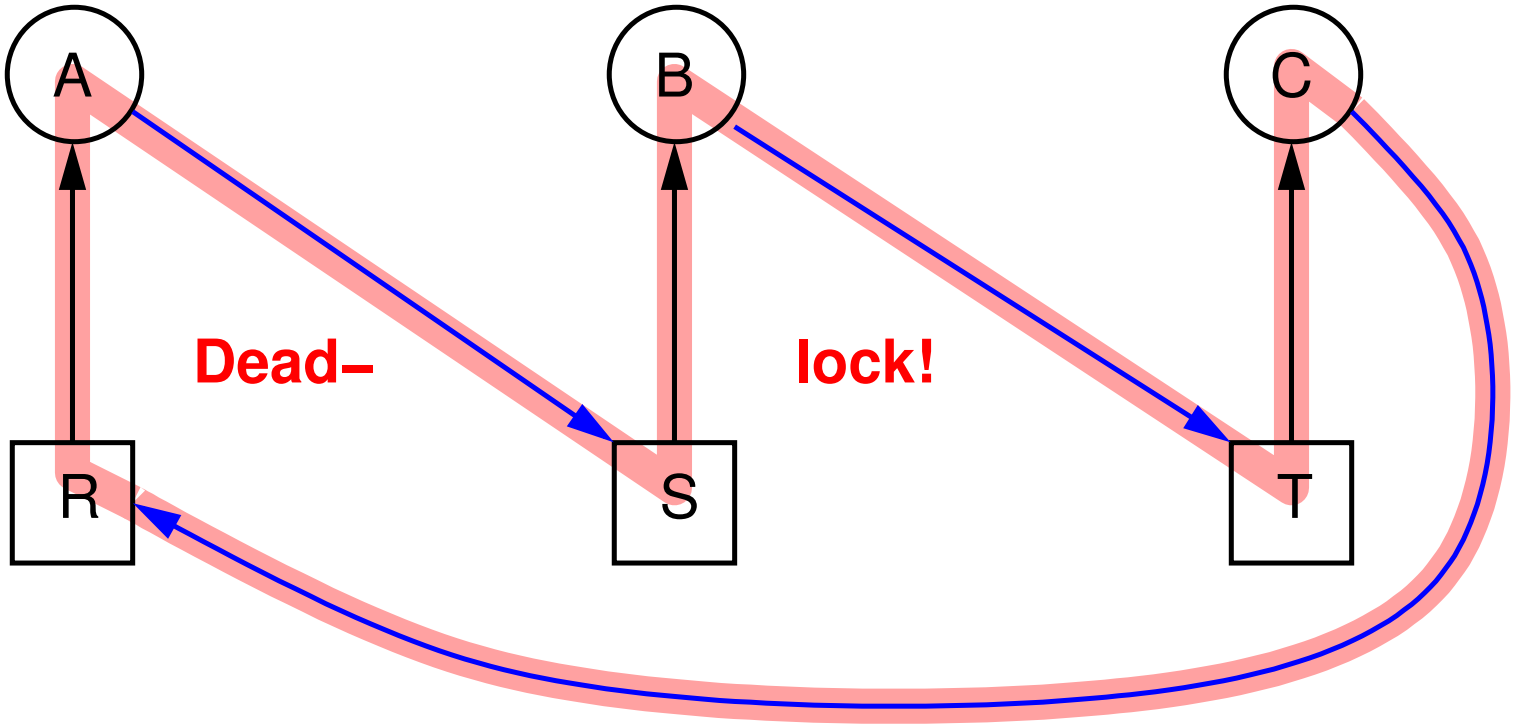
Reihenfolge: A–B–C–A–B–C...

Beispiel: Ablauf mit Verklemmung

Anfrage R
Anfrage S
Freigabe R
Freigabe S

Anfrage S
Anfrage T
Freigabe S
Freigabe T

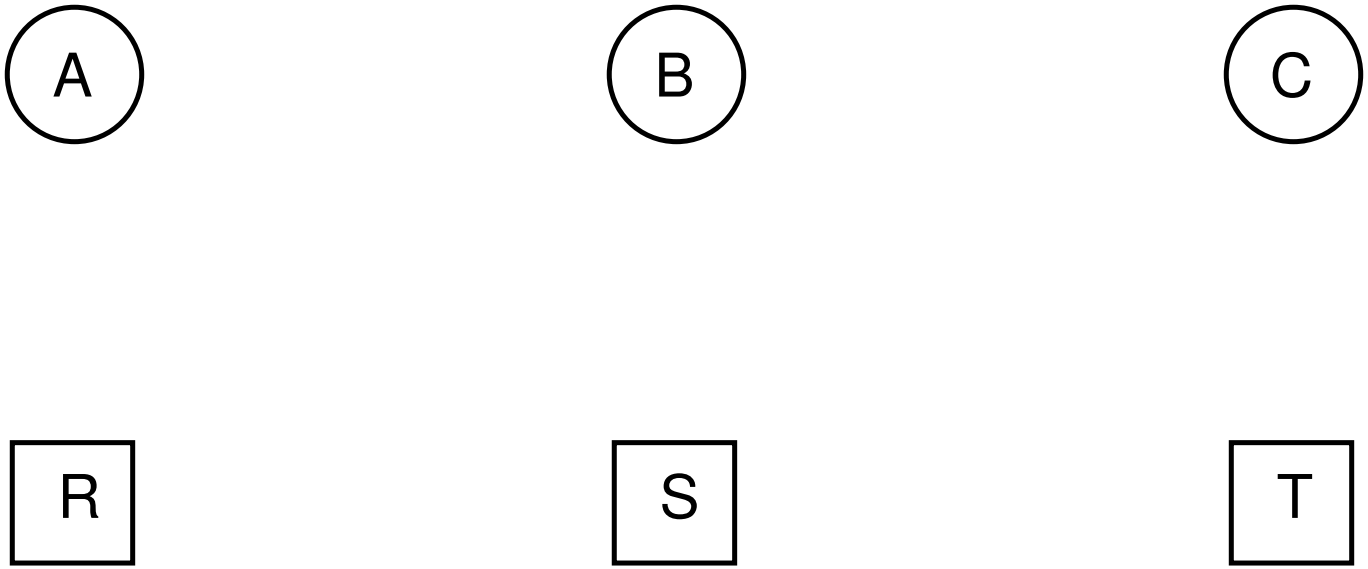
Anfrage T
Anfrage R
Freigabe T
Freigabe R



Reihenfolge: A–B–C–A–B–C...

Beispiel: Ablauf ohne Verklemmung

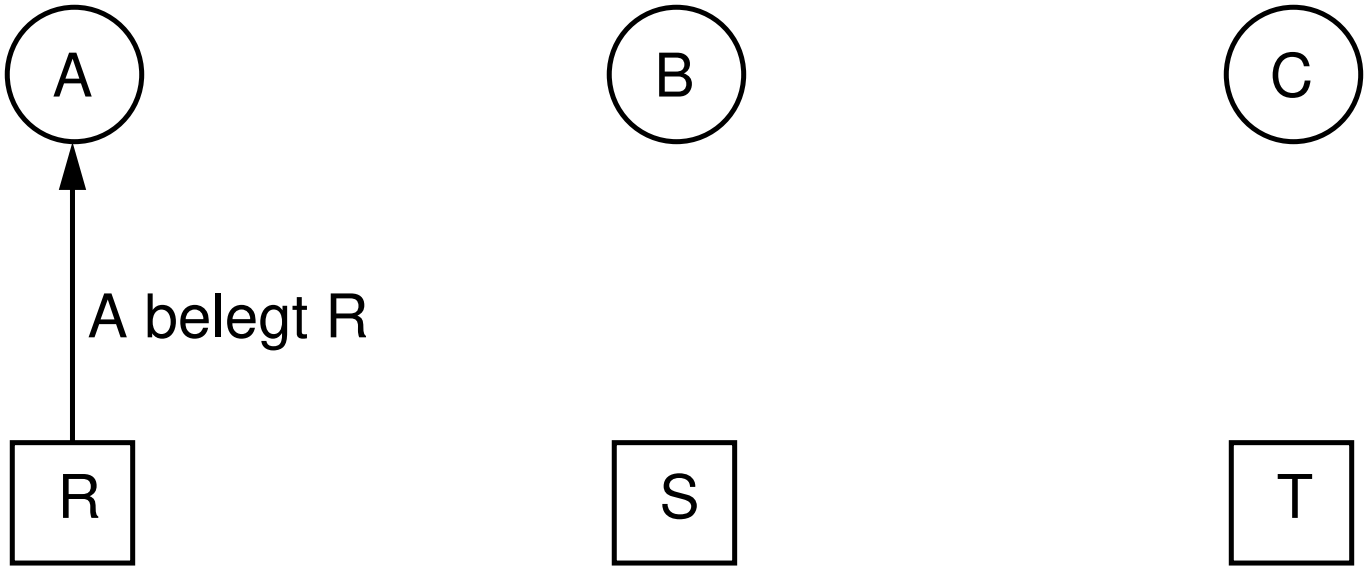
A	B	C
Anfrage R	Anfrage S	Anfrage T
Anfrage S	Anfrage T	Anfrage R
Freigabe R	Freigabe S	Freigabe T
Freigabe S	Freigabe T	Freigabe R



Reihenfolge: A–B–C–A–B–C...

Beispiel: Ablauf ohne Verklemmung

Anfrage R	Anfrage S	Anfrage T
Anfrage S	Anfrage T	Anfrage R
Freigabe R	Freigabe S	Freigabe T
Freigabe S	Freigabe T	Freigabe R



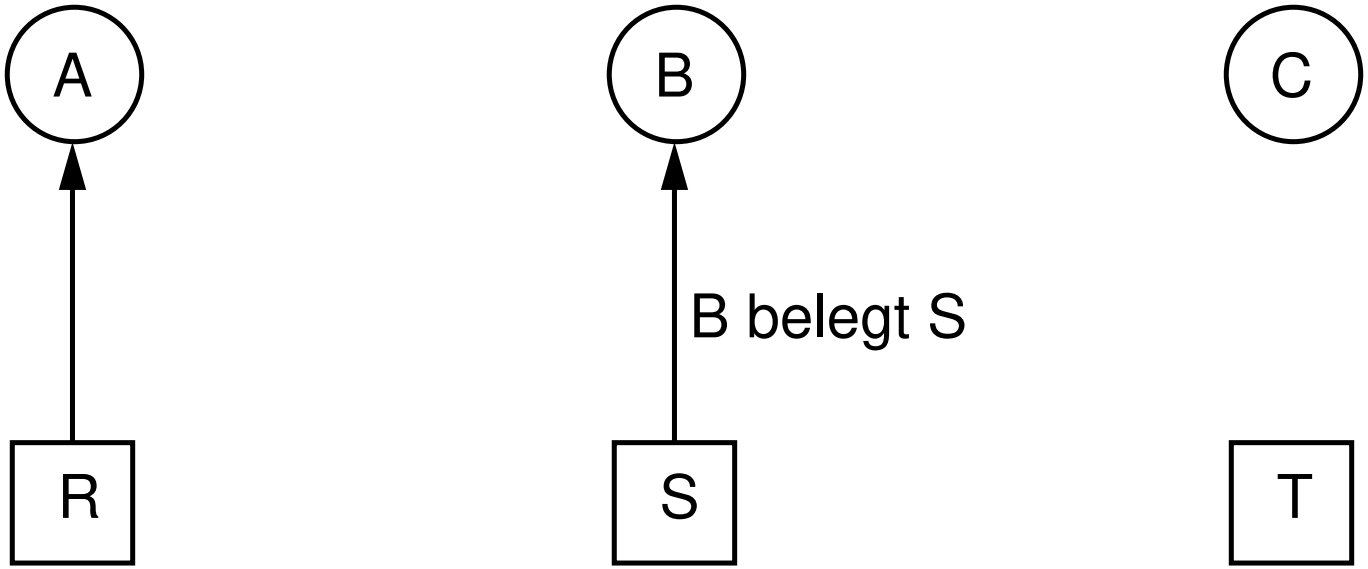
Reihenfolge: A–B–C–A–B–C...

Beispiel: Ablauf ohne Verklemmung

→ Anfrage R
Anfrage S
Freigabe R
Freigabe S

→ Anfrage S
Anfrage T
Freigabe S
Freigabe T

Anfrage T
Anfrage R
Freigabe T
Freigabe R



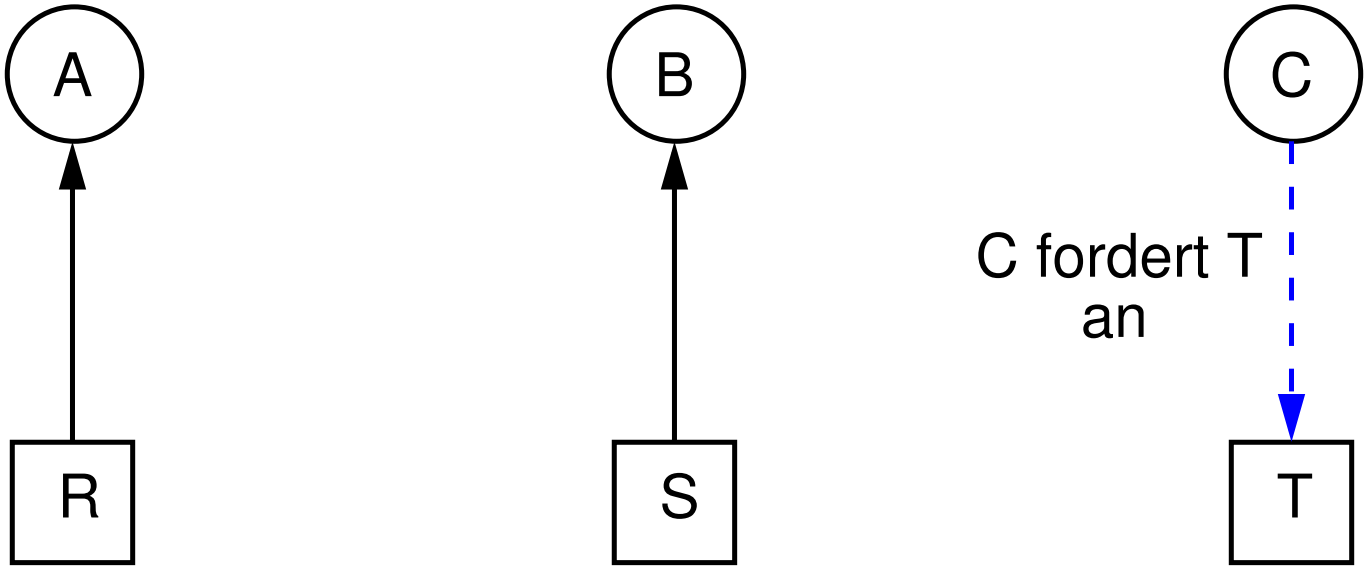
Reihenfolge: A–B–C–A–B–C...

Beispiel: Ablauf ohne Verklemmung

Anfrage R
Anfrage S
Freigabe R
Freigabe S

Anfrage S
Anfrage T
Freigabe S
Freigabe T

Anfrage T
Anfrage R
Freigabe T
Freigabe R



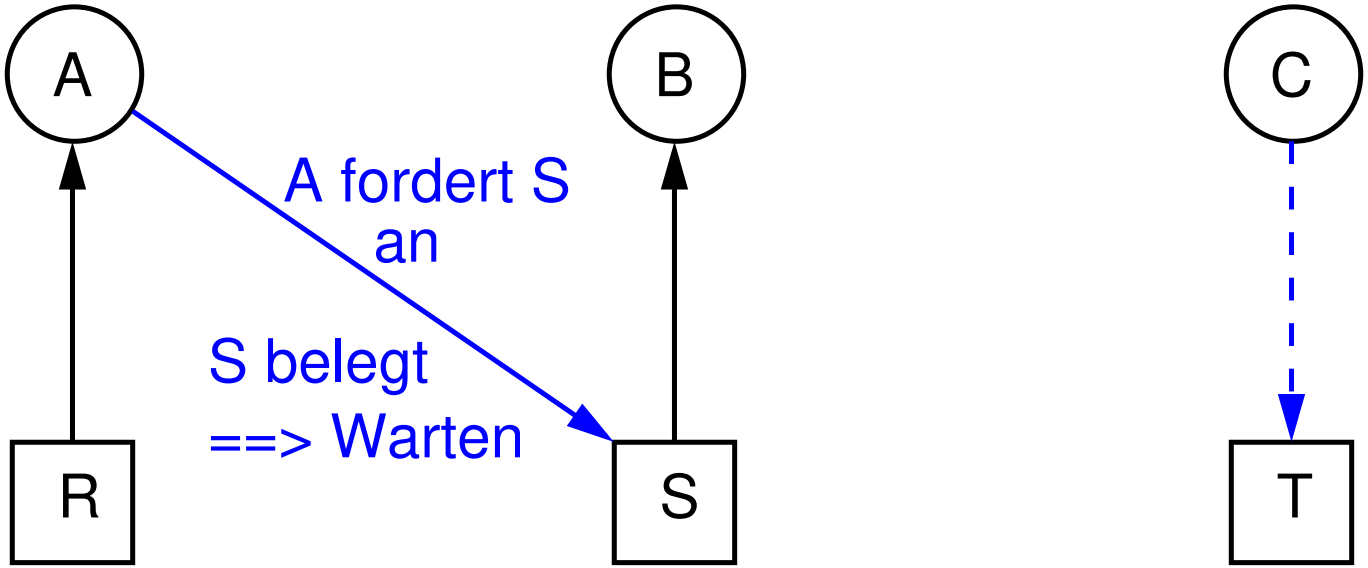
Betriebssystem erkennt, daß Belegung von T durch C zu Deadlock führen könnte ==> C wird blockiert

Beispiel: Ablauf ohne Verklemmung

Anfrage R
Anfrage S
Freigabe R
Freigabe S

Anfrage S
Anfrage T
Freigabe S
Freigabe T

Anfrage T
Anfrage R
Freigabe T
Freigabe R

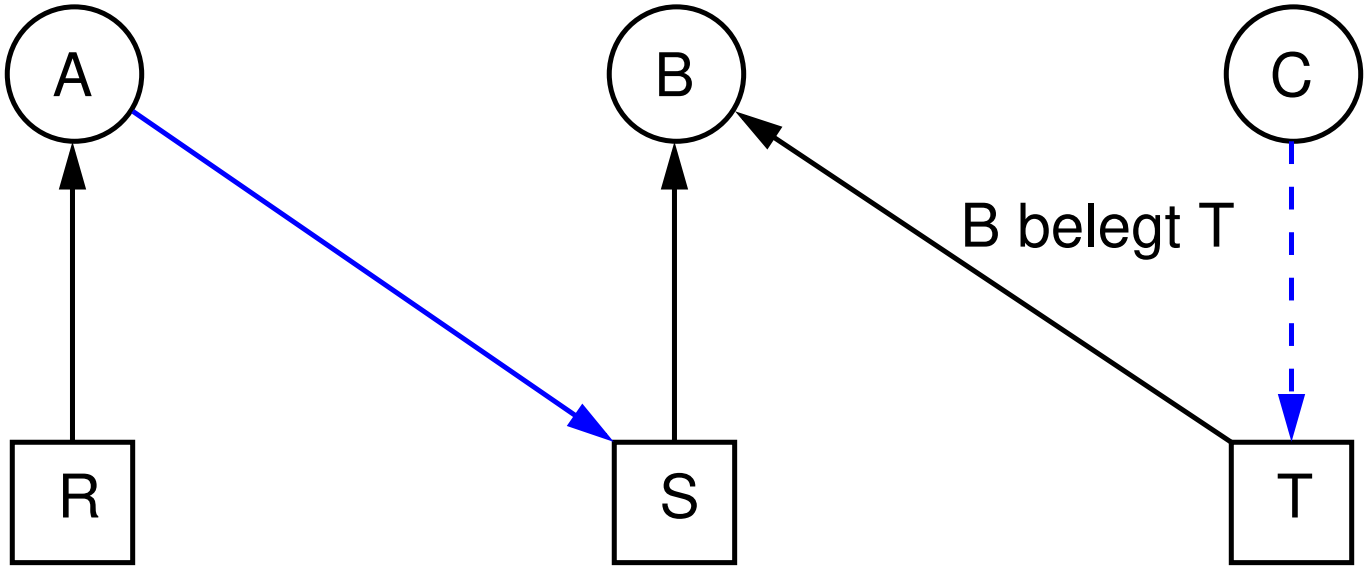


Beispiel: Ablauf ohne Verklemmung

Anfrage R
Anfrage S
Freigabe R
Freigabe S

Anfrage S
Anfrage T
Freigabe S
Freigabe T

Anfrage T
Anfrage R
Freigabe T
Freigabe R

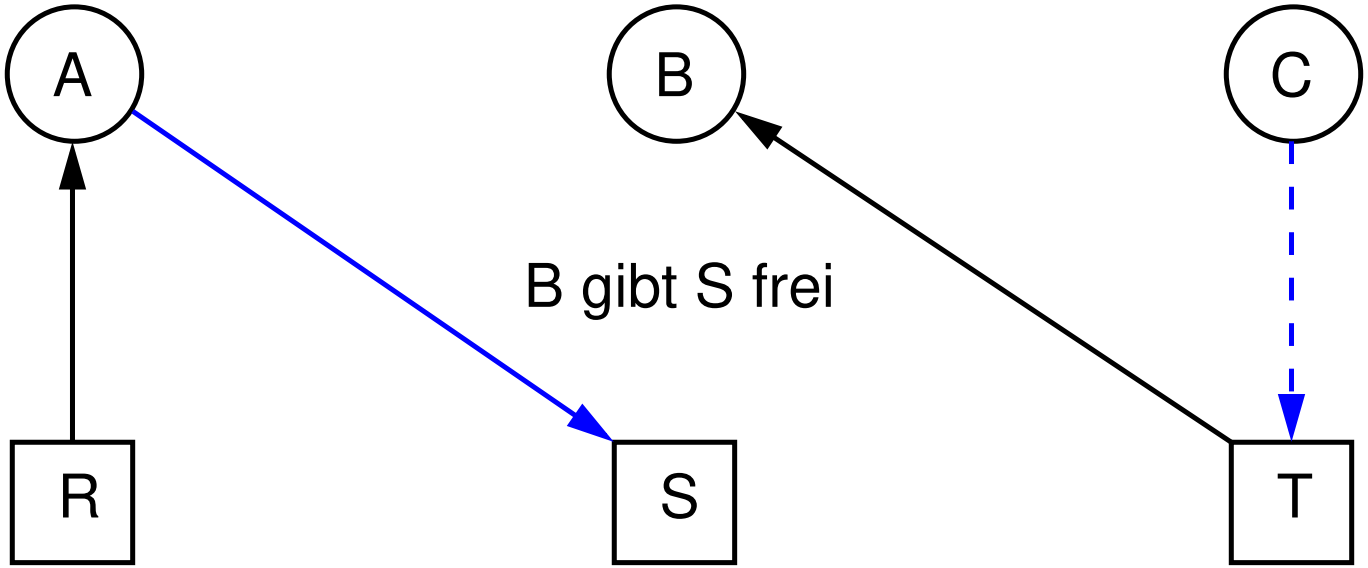


Beispiel: Ablauf ohne Verklemmung

Anfrage R
Anfrage S
Freigabe R
Freigabe S

Anfrage S
Anfrage T
Freigabe S
Freigabe T

Anfrage T
Anfrage R
Freigabe T
Freigabe R

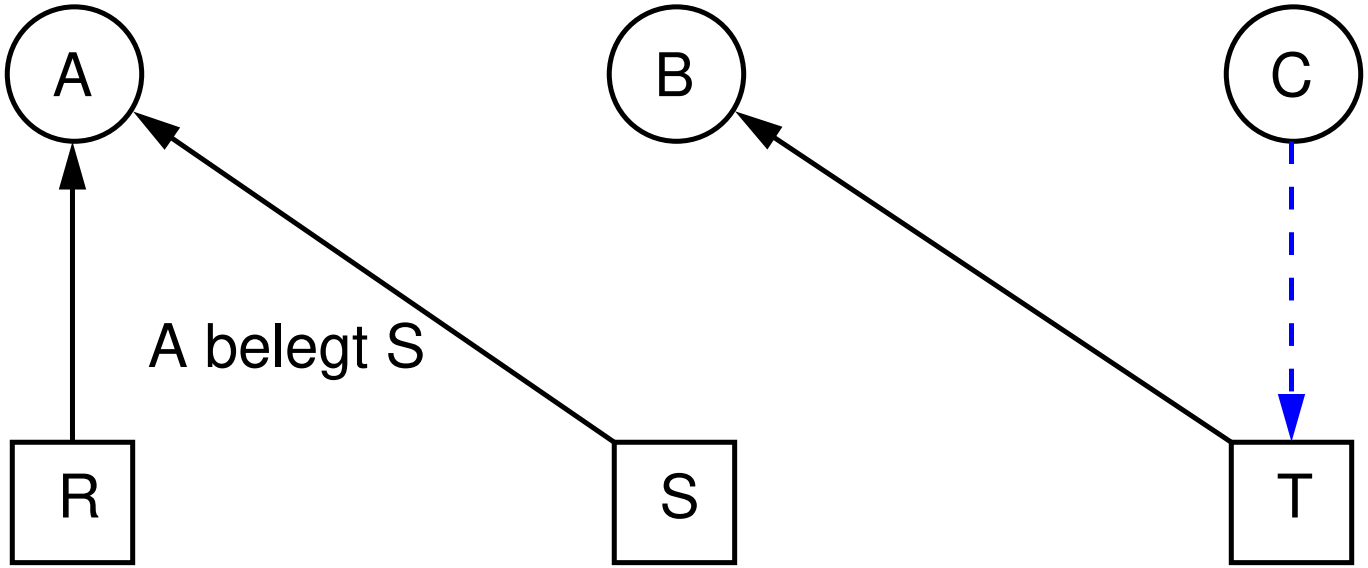


Beispiel: Ablauf ohne Verklemmung

Anfrage R
Anfrage S
Freigabe R
Freigabe S

Anfrage S
Anfrage T
Freigabe S
Freigabe T

Anfrage T
Anfrage R
Freigabe T
Freigabe R

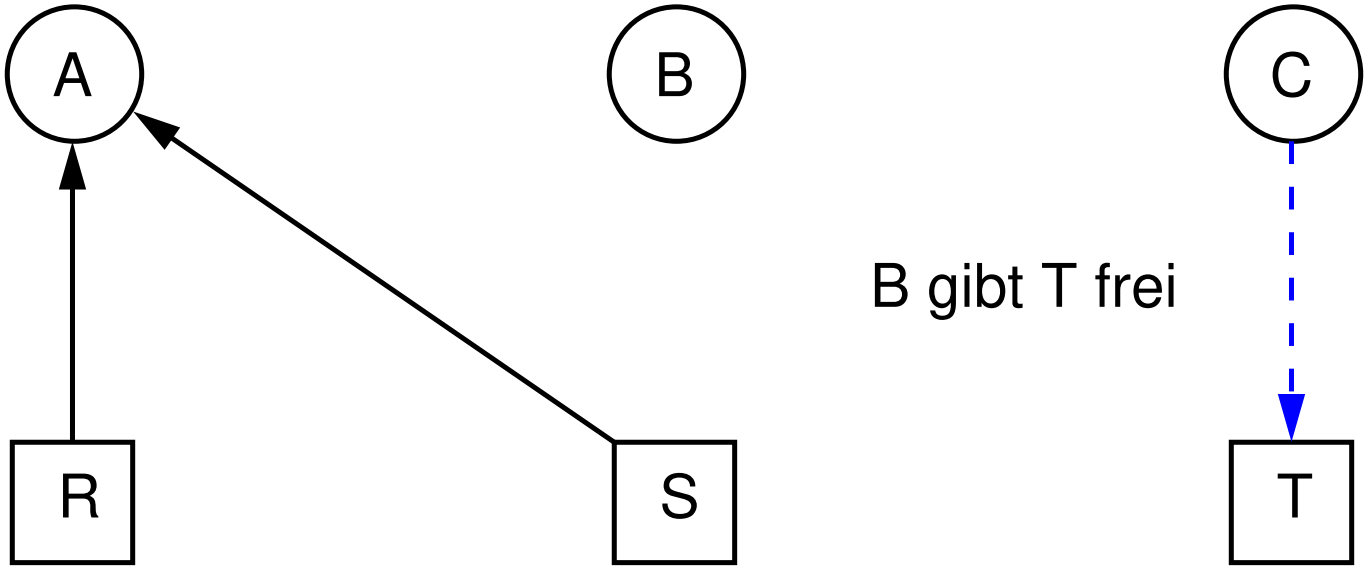


Beispiel: Ablauf ohne Verklemmung

Anfrage R
Anfrage S
Freigabe R
Freigabe S

Anfrage S
Anfrage T
Freigabe S
Freigabe T

Anfrage T
Anfrage R
Freigabe T
Freigabe R



Jetzt kann C weiterlaufen und T belegen

5.3 Behandlung von Deadlocks

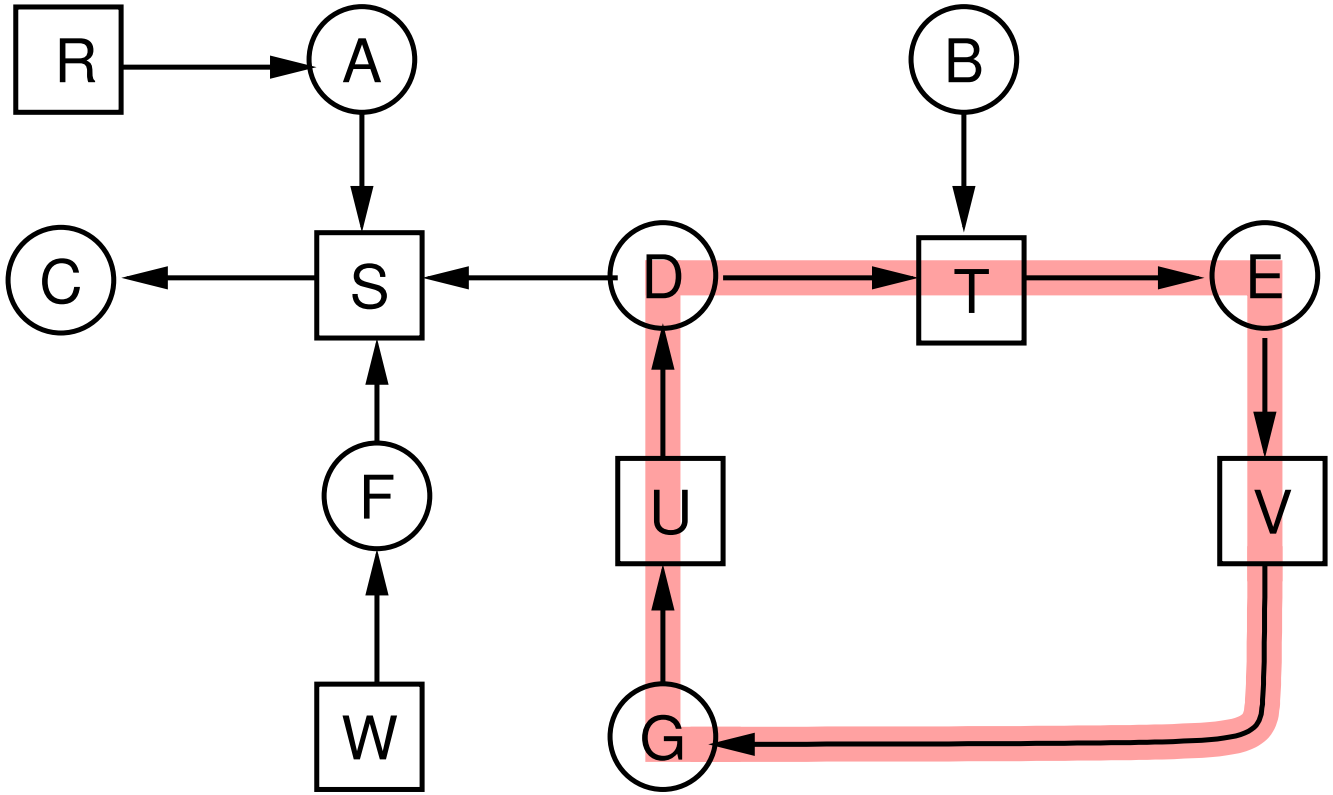
Prinzipiell vier Möglichkeiten

- Vogel-Strauß-Algorithmus
  - nichts tun und hoffen, daß alles gut geht
- **Deadlock-Erkennung und -Behebung**
  - lässt zunächst alle Anforderungen zu, löst ggf. Deadlock auf
- ***Deadlock-Avoidance*** (Deadlock-Vermeidung)
  - BS lässt Resourcenanforderung nicht zu, wenn dadurch ein Deadlock entstehen könnte
- ***Deadlock-Prevention*** (Deadlock-Verhinderung)
  - macht eine der 4 Deadlock-Bedingungen unerfüllbar

Achtung: Begriffsverwirrung bei Verhinderung vs. Vermeidung!

Deadlock-Erkennung bei einer Ressource pro Typ

- Deadlock ⇔ Belegungs-Anforderungs-Graph enthält Zyklus



- Benötigt Algorithmus, der Zyklen in Graphen findet

Deadlock-Erkennung bei mehreren Ressourcen pro Typ

- Belegungs-Anforderungs-Graph nicht mehr adäquat
  - Prozeß wartet nicht auf **bestimmte** Ressource, sondern auf irgendeine Ressource des passenden Typs
- Im Folgenden: **Matrix-basierter Algorithmus**
- Das System sei wie folgt modelliert:
  - n Prozesse $P_1, ..., P_n$
  - m Klassen von Ressourcen
  - Klasse i $(1 \leq i \leq m)$ enthält E_i Ressource-Instanzen

Datenstrukturen des Matrix-Algorithmus

- **Ressourcenvektor E**
  - Anzahl verfügbarer Ressourcen für jede Klasse
- **Ressourcenrestvektor A**
  - gibt für jede Klasse an, wieviele Ressourcen noch frei sind
- **Belegungsmatrix C**
  - C_{ij} = Anzahl der Ressourcen der Klasse j, die Prozeß P_i belegt
  - Invariante: $\forall j = 1 \ldots m : \sum_{i=1}^{n} C_{ij} + A_j = E_j$
- **Anforderungsmatrix R**
  - R_{ij} = Anzahl der Ressourcen der Klasse j, die Prozeß P_i im Moment anfordert bzw. auf deren Zuteilung er wartet

Beispiel:

Bandgeräte Plotter Scanner CD–ROM

$$E = (4 \quad 2 \quad 3 \quad 1)$$

Ressourcenvektor

Bandgeräte Plotter Scanner CD–ROM

$$A = (2 \quad 1 \quad 0 \quad 0)$$

Ressourcenrestvektor

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

Belegungsmatrix

Zeile 2: Belegung durch Prozeß 2

$$R = \begin{bmatrix} 2 & 2 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 3 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Anforderungsmatrix

Zeile 2: Forderungen von Prozeß 2

Matrix-Algorithmus

1. Suche unmarkierten Prozeß P_i, so daß i-te Zeile von R kleiner oder gleich A ist, d.h. $R_{ij} \leq A_j$ für alle $j = 1...m$
2. Falls ein solcher Prozeß existiert:
   addiere i-te Zeile von C zu A, markiere Prozeß P_i, gehe zu 1
3. Andernfalls: Ende

➥ Alle am Ende nicht markierten Prozesse sind an einem Deadlock beteiligt

➥ Schritt 1 sucht Prozeß, der zu Ende laufen könnte

➥ Schritt 2 simuliert Freigabe der Ressourcen am Prozeßende

Beispiel:

Bandgeräte Plotter Scanner CD–ROM

$$E = (4 \quad 2 \quad 3 \quad 1)$$

Ressourcenvektor

Bandgeräte Plotter Scanner CD–ROM

$$A = (2 \quad 1 \quad 0 \quad 0)$$

Ressourcenrestvektor

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

Belegungsmatrix

Zeile 2: Belegung durch Prozeß 2

$$R = \begin{bmatrix} 2 & 2 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 3 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Anforderungsmatrix

Zeile 2: Forderungen von Prozeß 2

Beispiel:

$$\begin{array}{cccc} \text{Bandgeräte} & \text{Plotter} & \text{Scanner} & \text{CD–ROM} \end{array}$$

$$\boldsymbol{E} = (\,4 \quad 2 \quad 3 \quad 1\,)$$

Ressourcenvektor

$$\begin{array}{cccc} \text{Bandgeräte} & \text{Plotter} & \text{Scanner} & \text{CD–ROM} \end{array}$$

$$\boldsymbol{A} = (\,2 \quad 1 \quad 0 \quad 0\,)$$

Ressourcenrestvektor

$$\boldsymbol{C} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

Belegungsmatrix

$$\boldsymbol{R} = \begin{bmatrix} 2 & 2 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 3 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Anforderungsmatrix

1. $R_{3,j} <= A_j$ für $j = 1 \ldots 4$

   Anforderungen von Prozeß 3 erfüllbar

Beispiel:

Bandgeräte Plotter Scanner CD–ROM

$$E = (4 \quad 2 \quad 3 \quad 1)$$

Ressourcenvektor

Bandgeräte Plotter Scanner CD–ROM

$$A = (2 \quad 2 \quad 2 \quad 0)$$

Ressourcenrestvektor

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 1 \\ \cancel{0} & \cancel{1} & \cancel{2} & \cancel{0} \end{bmatrix}$$

Belegungsmatrix

$$R = \begin{bmatrix} 2 & 2 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 3 & 0 \\ \cancel{2} & \cancel{1} & \cancel{0} & \cancel{0} \end{bmatrix}$$

Anforderungsmatrix

2. $A_j = A_j + C_{3,j}$; markiere Prozeß 3

Prozeß 3 kann zu Ende laufen und Ressourcen freigeben

Beispiel:

$$E = \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} \text{Bandgeräte} & \text{Plotter} & \text{Scanner} & \text{CD–ROM} \end{array} \\ \begin{pmatrix} 4 & 2 & 3 & 1 \end{pmatrix} \end{array}$$

Ressourcenvektor

$$A = \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} \text{Bandgeräte} & \text{Plotter} & \text{Scanner} & \text{CD–ROM} \end{array} \\ \begin{pmatrix} 2 & 2 & 2 & 0 \end{pmatrix} \end{array}$$

Ressourcenrestvektor

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 1 \\ \cancel{0} & \cancel{1} & \cancel{2} & \cancel{0} \end{bmatrix}$$

Belegungsmatrix

$$R = \begin{bmatrix} 2 & 2 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 3 & 0 \\ \cancel{2} & \cancel{1} & \cancel{0} & \cancel{0} \end{bmatrix}$$

Anforderungsmatrix

1. $R_{2,3} > A_3$ Prozeß 2 kann nicht weiterlaufen

Beispiel:

$$E = \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} \text{Bandgeräte} & \text{Plotter} & \text{Scanner} & \text{CD-ROM} \end{array} \\ \begin{pmatrix} 4 & 2 & 3 & 1 \end{pmatrix} \end{array}$$

Ressourcenvektor

$$A = \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} \text{Bandgeräte} & \text{Plotter} & \text{Scanner} & \text{CD-ROM} \end{array} \\ \begin{pmatrix} 2 & 2 & 2 & 0 \end{pmatrix} \end{array}$$

Ressourcenrestvektor

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 1 \\ \cancel{0} & \cancel{1} & \cancel{2} & \cancel{0} \end{bmatrix}$$

Belegungsmatrix

$$R = \begin{bmatrix} 2 & 2 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 3 & 0 \\ \cancel{2} & \cancel{1} & \cancel{0} & \cancel{0} \end{bmatrix}$$

Anforderungsmatrix

1. $R_{1,4} > A_4$ Prozeß 1 kann auch nicht weiterlaufen

Deadlock zwischen Prozeß 1 und 2!

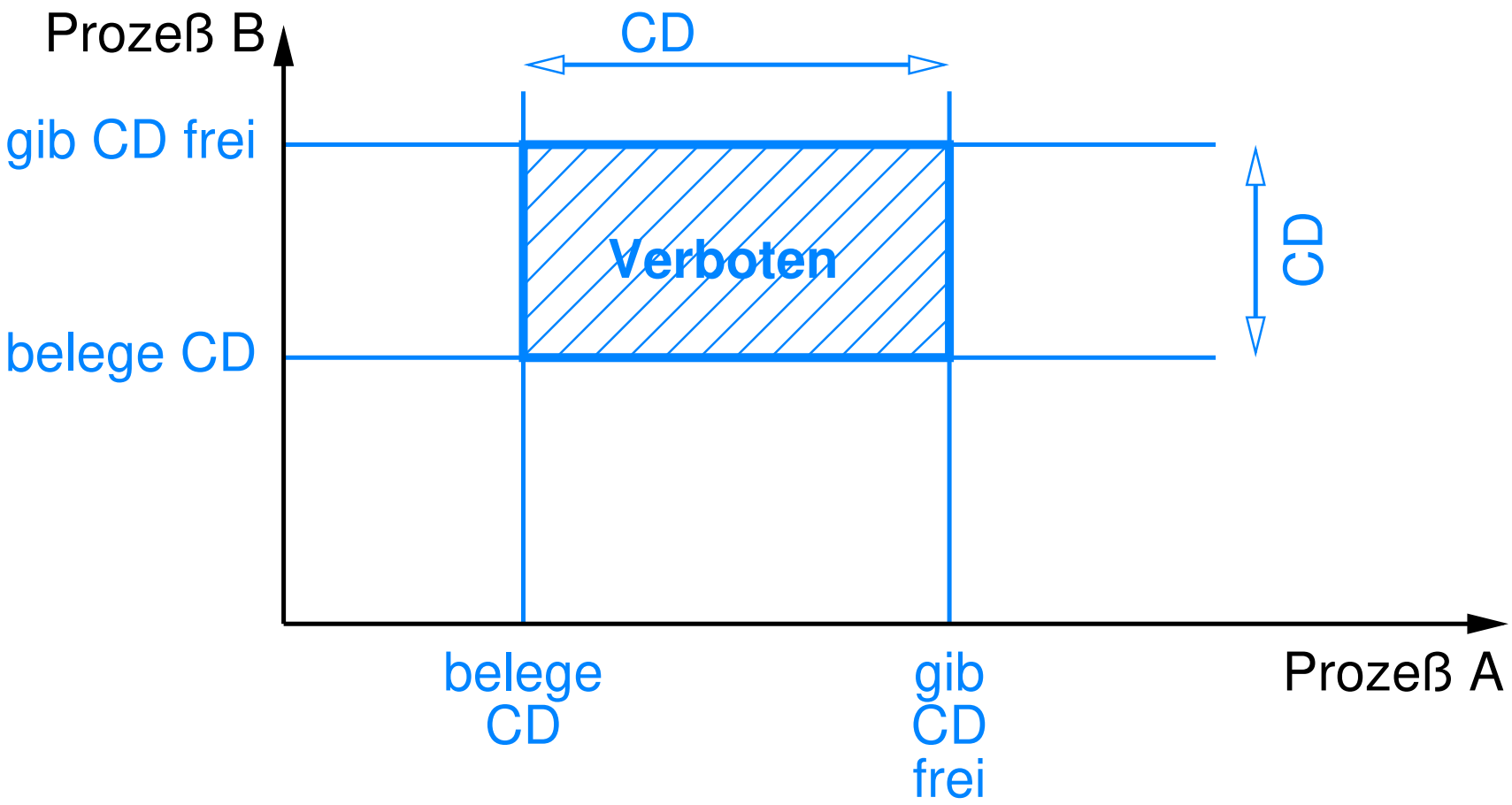
Wann wird Deadlock-Erkennung durchgeführt?

- Bei jeder Ressourcen-Anforderung:
  - Deadlocks werden schnellstmöglich erkannt
  - ggf. zu hoher Rechenaufwand
- In regelmäßigen Abständen
- Wenn Prozessorauslastung niedrig ist
  - Rechenkapazität ist verfügbar
  - niedrige Auslastung kann Hinweis auf Deadlock sein

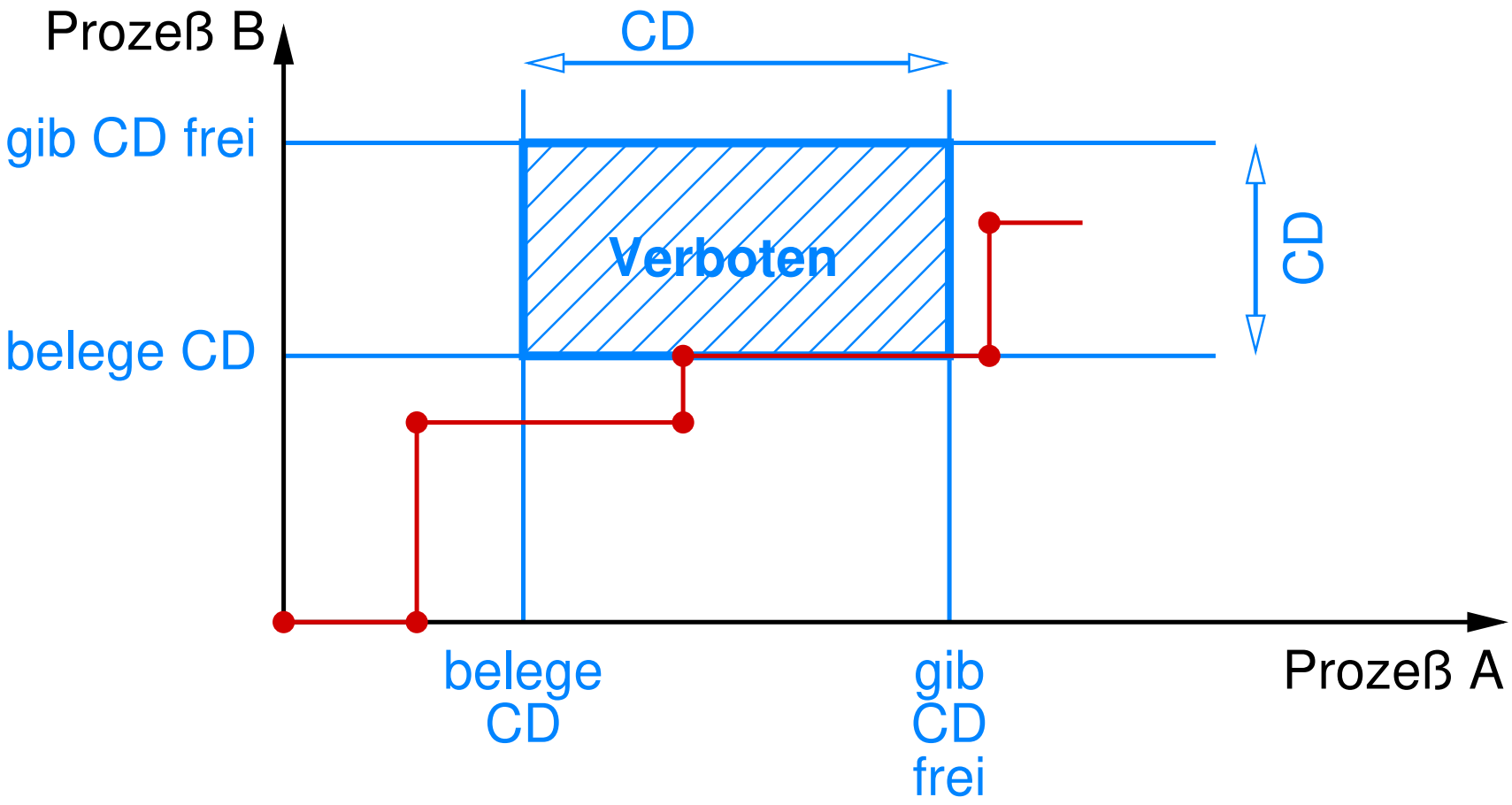
Möglichkeiten zur Behebung von Deadlocks

- Temporärer Entzug einer Ressource
  - schwierig bis unmöglich
  - (wir betrachten hier ununterbrechbare Ressourcen ...)
- Rücksetzen eines Prozesses
  - Prozeßzustand wird regelmäßig gesichert (*Checkpoint*)
  - bei Verklemmung: Rücksetzen auf Checkpoint, bei dem Prozeß Ressource noch nicht belegt hatte
  - auch schwierig
- Abbruch eines Prozesses
  - wähle Prozeß, der problemlos neu gestartet werden kann
  - z.B. in Datenbanksystemen (Transaktionen)

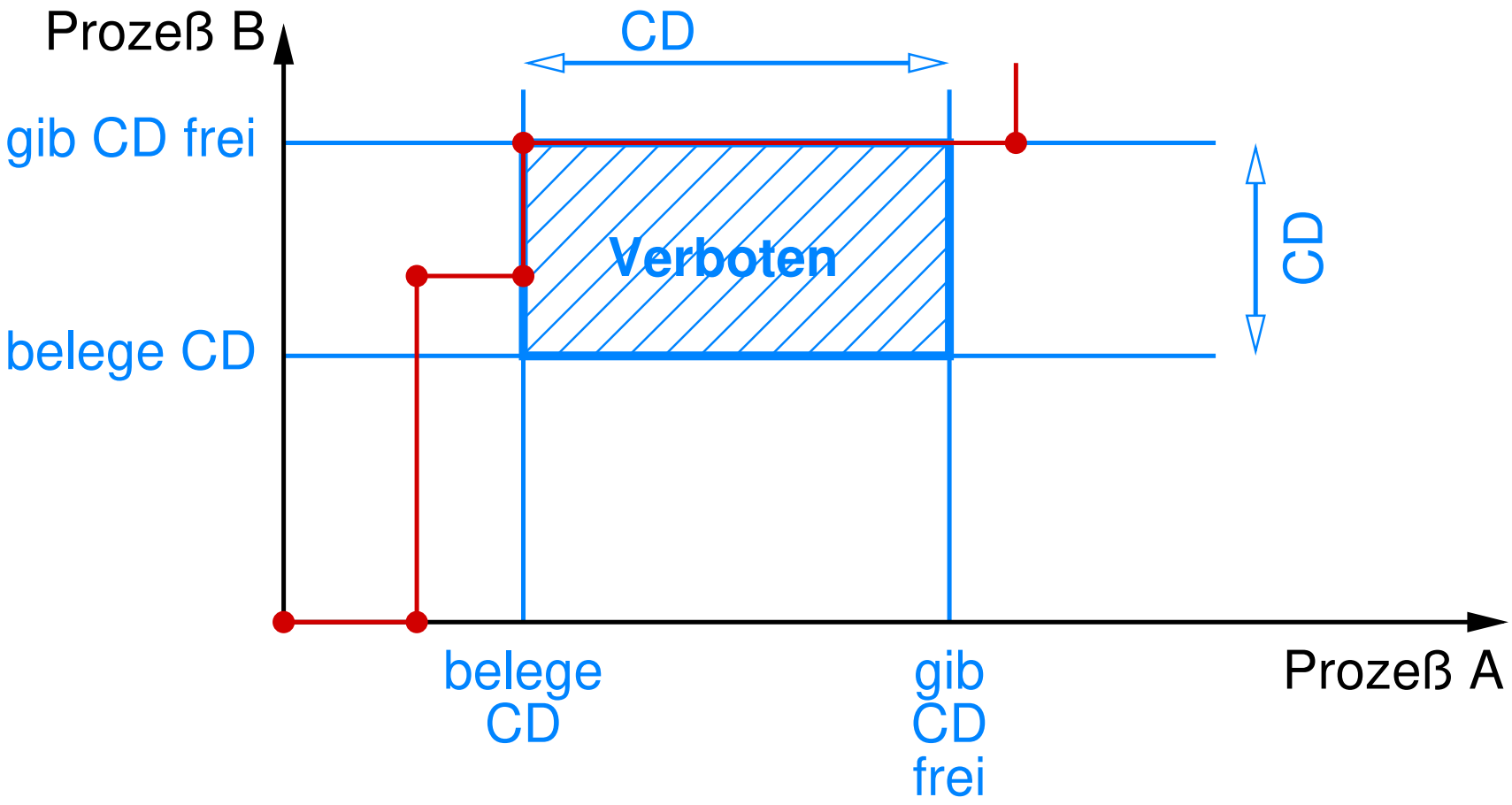
Vorbemerkung: Ressourcenspur



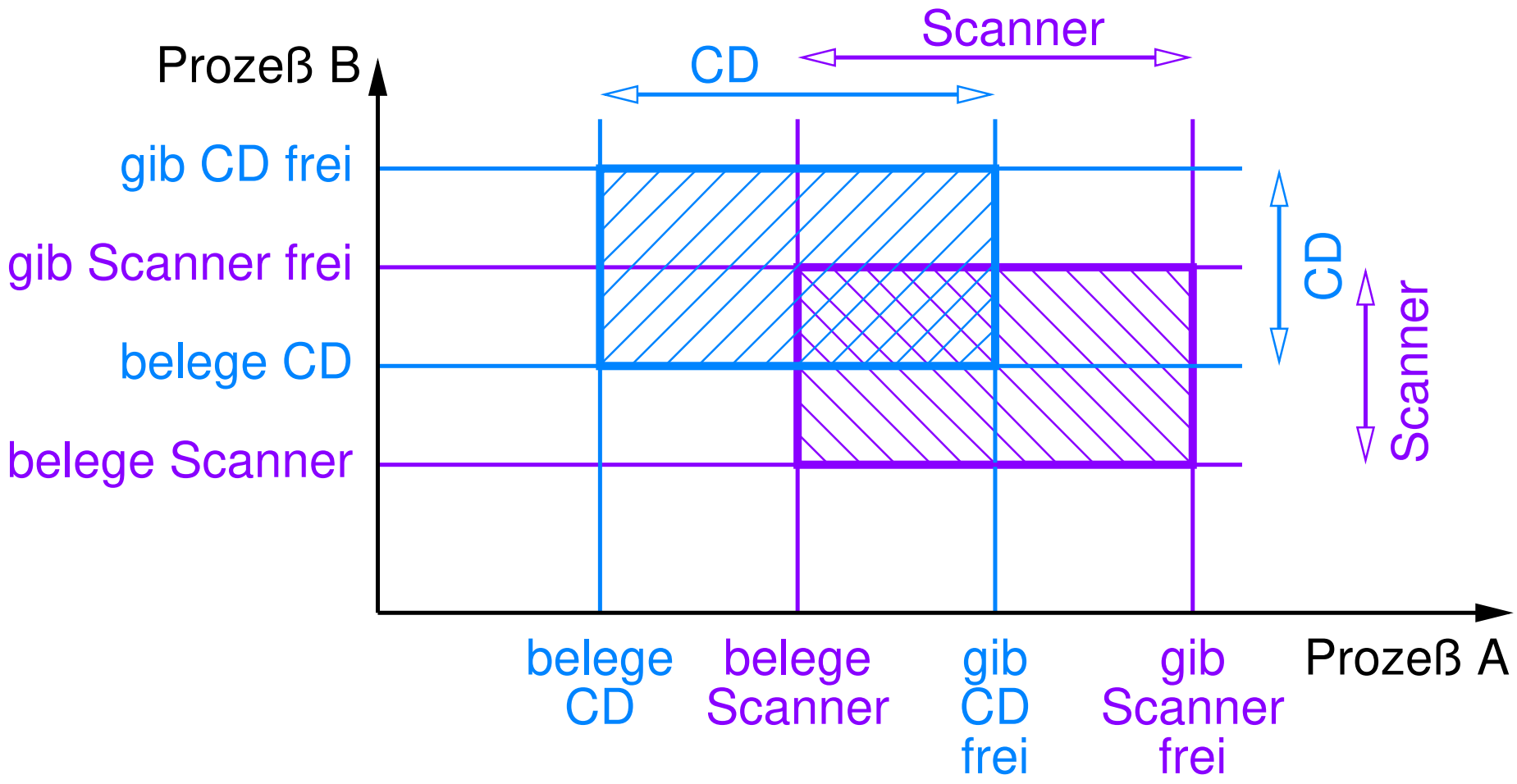
Vorbemerkung: Ressourcenspur



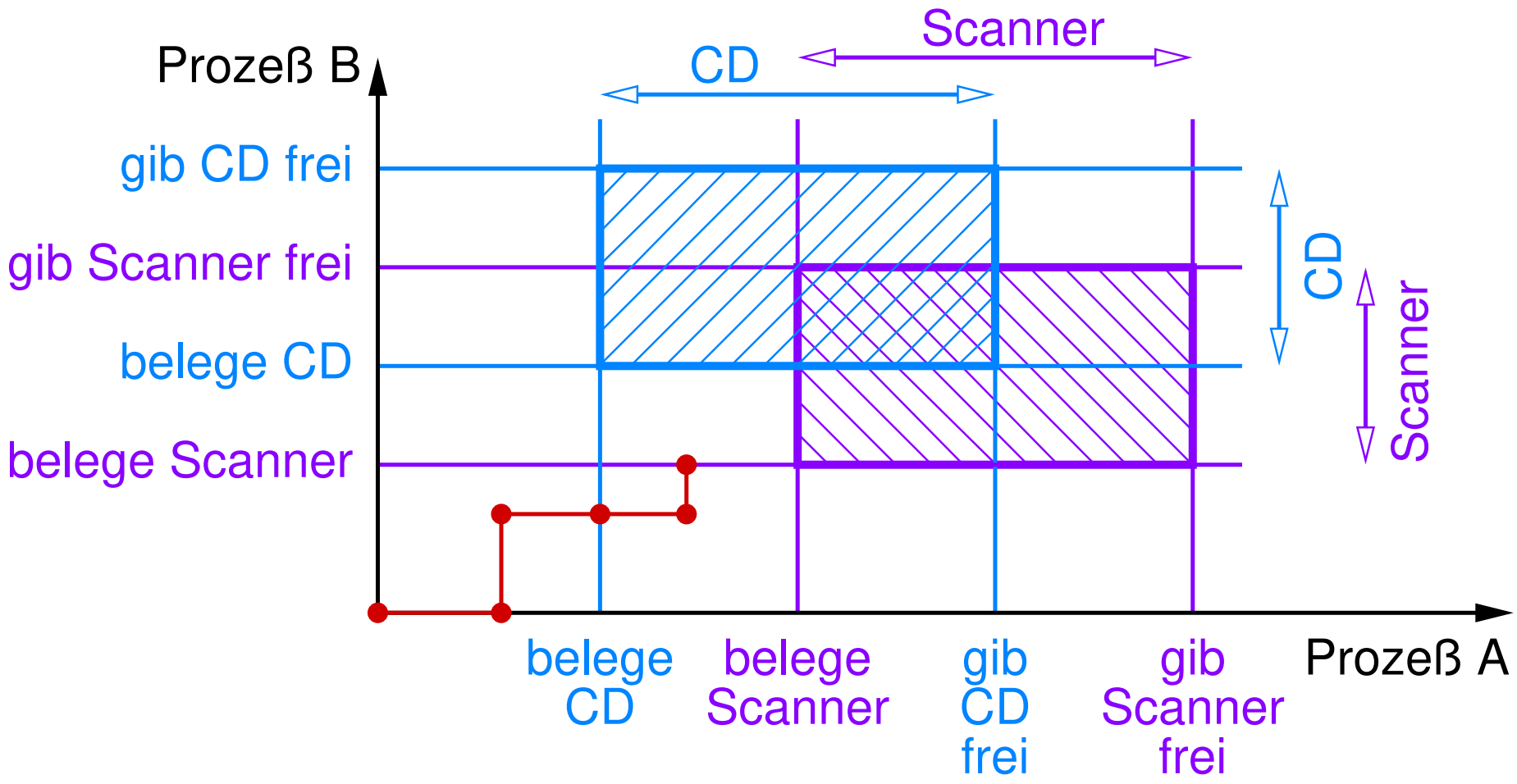
Vorbemerkung: Ressourcenspur



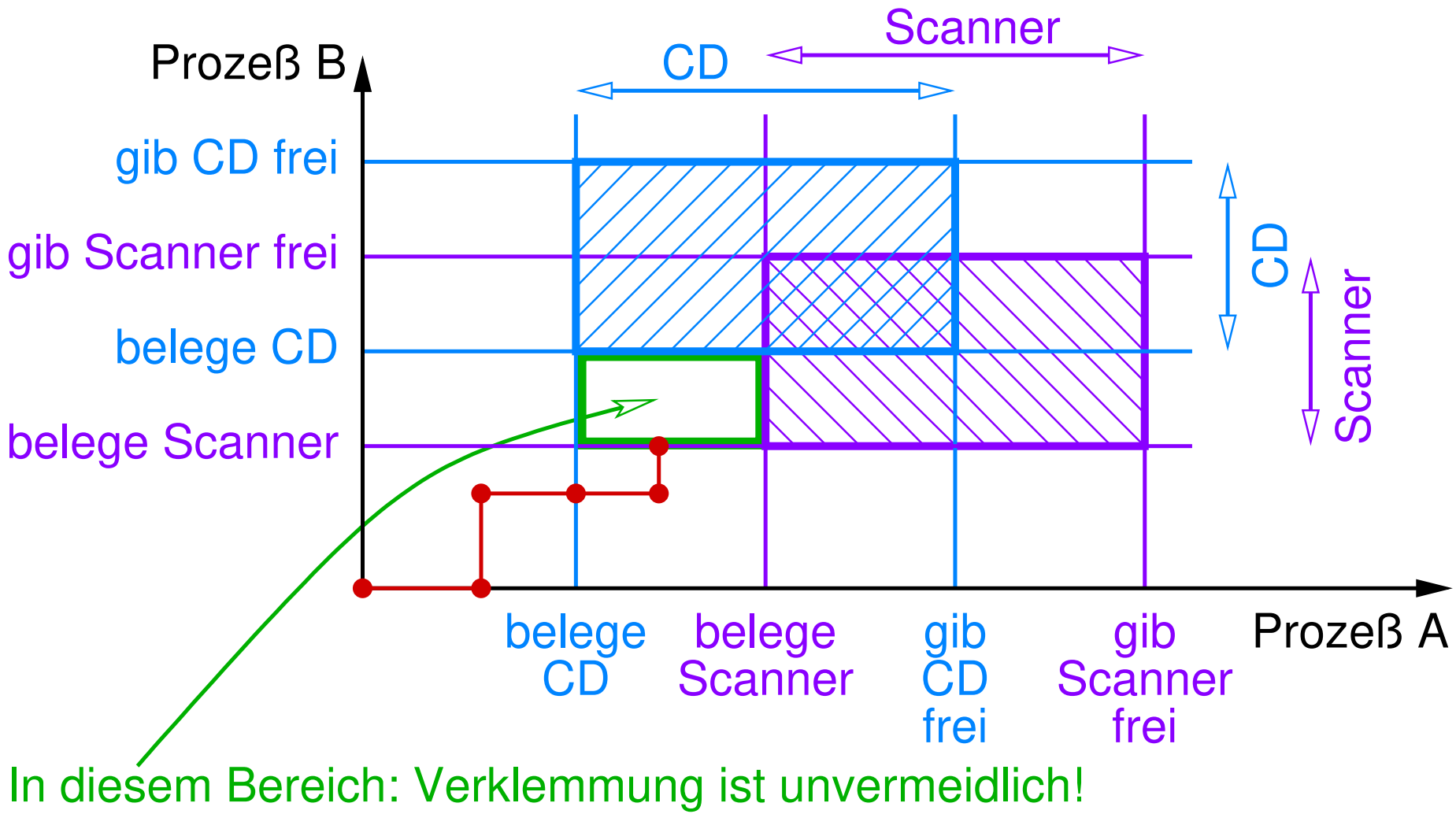
Vorbemerkung: Ressourcenspur



Vorbemerkung: Ressourcenspur

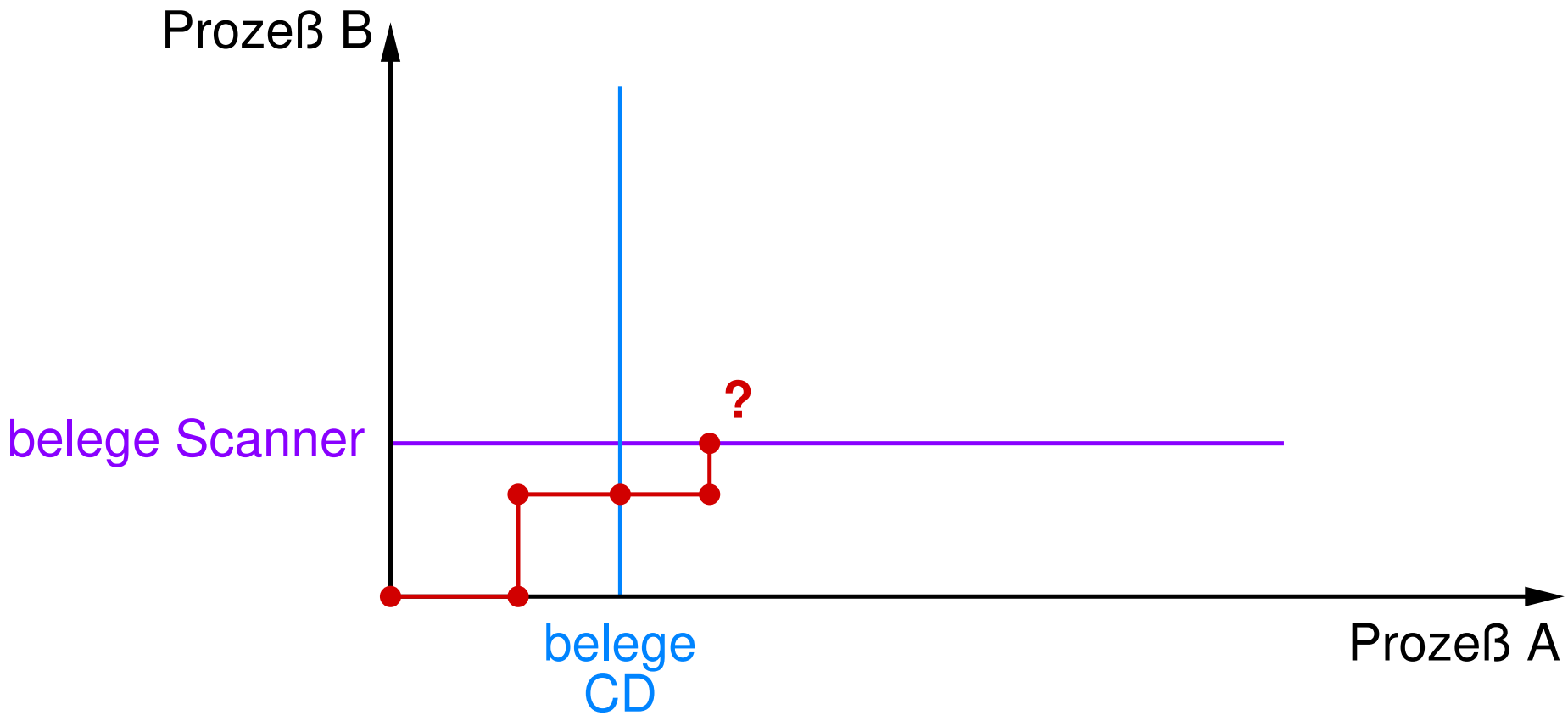


Vorbemerkung: Ressourcenspur



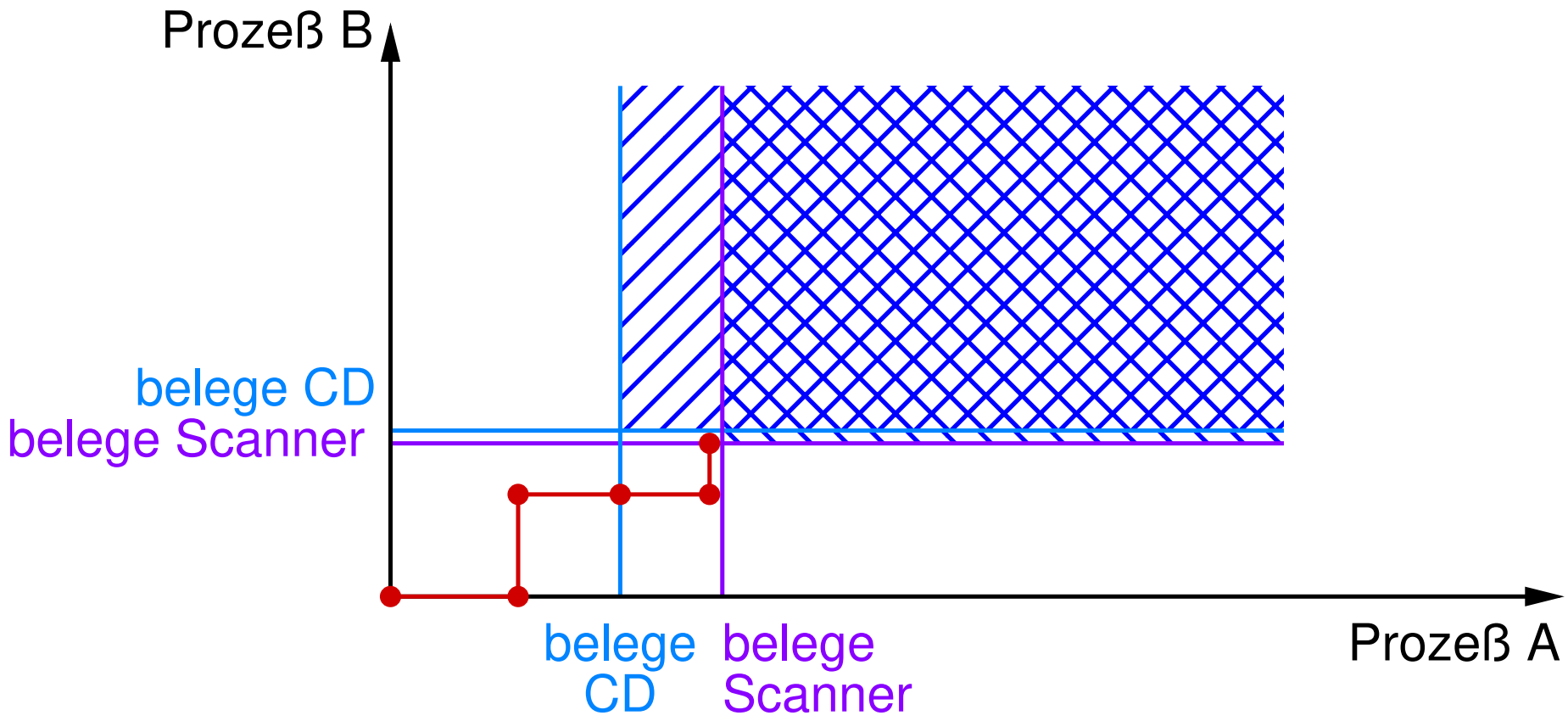
In diesem Bereich: Verklemmung ist unvermeidlich!

Vorbemerkung: Ressourcenspur



Problem: BS kennt die Zukunft nicht!

Vorbemerkung: Ressourcenspur



Was wäre, wenn unmittelbar nach Zuteilung des Scanners alle Pro–zesse ihre maximalen Restforderungen stellen würden? Verklemmung!

Sichere und unsichere Zustände:

- Ein Zustand heißt **sicher**,
  wenn es eine Ausführungsreihenfolge der Prozesse gibt,
  in der alle Prozesse (ohne Deadlock) zu Ende laufen,
  selbst wenn alle Prozesse sofort die maximalen Ressourcen-anforderungen stellen
- Sonst heißt der Zustand **unsicher**
- Anmerkung:
  - ein unsicherer Zustand muß nicht zwangsläufig in eine Verklemmung führen
  - es müßen ja nicht alle Prozesse (sofort) ihre Maximalforderungen stellen!

Bankiers-Algorithmus

- BS teilt Ressource nur dann zu, wenn dadurch auf keinen Fall ein Deadlock entstehen kann
  - dazu: BS prüft bei jeder Ressourcenanforderung, ob der Zustand **nach** der Anforderung noch **sicher** ist
    - falls ja, wird die Ressource zugeteilt
    - falls nein, wird der anfordernde Prozeß blockiert
  - sehr vorsichtige (restriktive) Ressourcenzuteilung!

- Das BS muß dazu die (maximalen) zukünftigen Forderungen aller Prozesse kennen!
  - in der Praxis i.a. nicht erfüllbar
  - Verfahren nur für spezielle Anwendungsfälle tauglich

Bestimmung, ob ein Zustand sicher ist

- Durch angepaßten Matrix-Algorithmus zur Deadlock-Erkennung (☞ **5.3.1**, Folie 284)
- Der aktuelle Zustand des Systems ist durch E, A, und C beschrieben
  - vorhandene, freie und belegte Ressourcen
- R beschreibt nun die **maximalen zukünftigen Forderungen**
- Der Zustand ist genau dann sicher, wenn der Algorithmus für diese Werte von E, A, C und R keine Verklemmung erkennt
  - d.h., auch wenn im aktuellen Zustand (E, A, C) alle Prozesse sofort ihre maximalen Forderungen (R) stellen, gibt es einen Ablauf, der alle Prozesse zu Ende führt

5.3.3 Deadlock-Prevention

Ziel: Vorbeugendes Verhindern von Deadlocks

- Eine der vier Deadlock-Bedingungen wird unerfüllbar gemacht
  - damit sind Deadlocks unmöglich
  - häufigste Lösung in der Praxis!

Wechselseitiger Ausschluß

- Ressourcen nur dann direkt an einzelne Prozesse zuteilen, wenn dies unvermeidlich ist
- Beispiel: Zugriff auf Drucker nur über Drucker-Spooler
  - es gibt keine Konkurrenz mehr um den Drucker
  - aber: evtl. Deadlocks an anderer Stelle möglich (Konkurrenz um Platz im Spooler-Puffer)

Hold-and-Wait-Bedingung

- Forderung: jeder Prozeß muß alle seine Ressourcen bereits beim Start anfordern
  - Nachteil: i.d.R. sind Forderungen nicht bekannt
  - Weiterer Nachteil: mögliche Ressourcen-Verschwendung
  - Anwendung bei Transaktionen in Datenbank-Systemen: *Two Phase Locking* (Sperrphase, Zugriffsphase)
- Alternative: vor Anforderung einer Ressource alle belegten Ressourcen kurzzeitig freigeben
  - i.a. auch nicht praktikabel (wechselseitiger Ausschluß!)

Ununterbrechbarkeit (kein Ressourcenentzug)

- i.a. unpraktikabel, siehe Deadlock-Behebung

Zyklisches Warten

- Durchnumerieren aller Ressourcen
- Anforderungen von Ressourcen zu beliebigem Zeitpunkt, aber nur in aufsteigender Reihenfolge!
  - d.h. Prozeß darf nur Ressource mit größerer Nummer als bereits belegte Ressourcen anfordern
- Deadlocks werden damit unmöglich:
  - zu jedem Zeitpunkt: betrachte reservierte Ressource mit der höchsten Nummer
  - Prozeß, der diese Ressource belegt, kann zu Ende laufen
    - er wird nur Ressourcen mit höherer Nummer anfordern
  - Induktion: alle Prozesse können zu Ende laufen

Zyklisches Warten ...

- In der Praxis erfolgversprechendster Ansatz zur Verhinderung von Deadlocks
- Probleme:
  - Festlegen einer für alle Prozesse tauglichen Ordnung nicht immer praktikabel
  - kann zu Resourcenverschwendung führen
    - Ressourcen müssen evtl. bereits reserviert werden, bevor sicher ist, daß sie benötigt werden

5.4 Verhungerung

- Situation: ein Prozeß P bekommt eine Ressource nie zugeteilt, obwohl kein Deadlock vorliegt
  - wegen ständiger Ressourcenanforderungen anderer Prozesse, die vor der von P erfüllt werden
- Beispiel: Lösung des Leser/Schreiber-Problems aus **3.8**
- Vermeidung des Verhungerns: z.B. durch **FIFO-Strategie**
  - FIFO: *First In First Out*
  - teile Ressource an den Prozeß zu, der am längsten wartet
- Anmerkung: manchmal ist die Möglichkeit des Verhungerns „gewollt“
  - wenn bestimmten Prozessen Priorität gegeben werden soll

5.5 Zusammenfassung / Wiederholung

- Deadlock: eine Menge von Prozessen wartet auf Ereignisse, die nur ein anderer Prozeß der Menge auslösen kann
- Bedingungen für Ressourcen-Deadlocks:
  - Wechselseitiger Ausschluß
  - *Hold-and-Wait* (Besitzen und Warten)
  - Ununterbrechbarkeit (kein Ressourcenentzug)
  - Zyklisches Warten
- Behandlung von Deadlocks:
  - Erkennung und Behebung
    - Erkennung: Zyklus im Belegungs-Anforderungs-Graph, Matrix-basierter Algorithmus
    - Behandlung: meist Abbruch eines Prozesses
      - z.B. bei Datenbank-Transaktionen

5.5 Zusammenfassung / Wiederholung ...

- Behandlung von Deadlocks ...:
  - *Avoidance* (Vermeidung)
    - Ressource nur dann vergeben, wenn der entstehende Zustand **sicher** ist
    - sicherer Zustand: kein Deadlock, selbst wenn alle Prozesse sofort ihre Maximalforderungen stellen
  - *Prevention* (Verhinderung)
    - eine der vier Bedingungen unerfüllbar machen
    - z.B. *Spooling*: vermeidet wechselseitigen Ausschluß
    - oft auch: Festlegung einer Reihenfolge der Ressourcen
      - wenn alle Prozesse die Ressourcen nur in dieser Reihenfolge belegen, können keine Deadlocks entstehen