# Betriebssysteme Theorie

SS 2011

**Hans-Georg Eßer**
**Dipl.-Math., Dipl.-Inform.**

Foliensatz E (12.05.2011)
Deadlocks

# Deadlocks – Gliederung

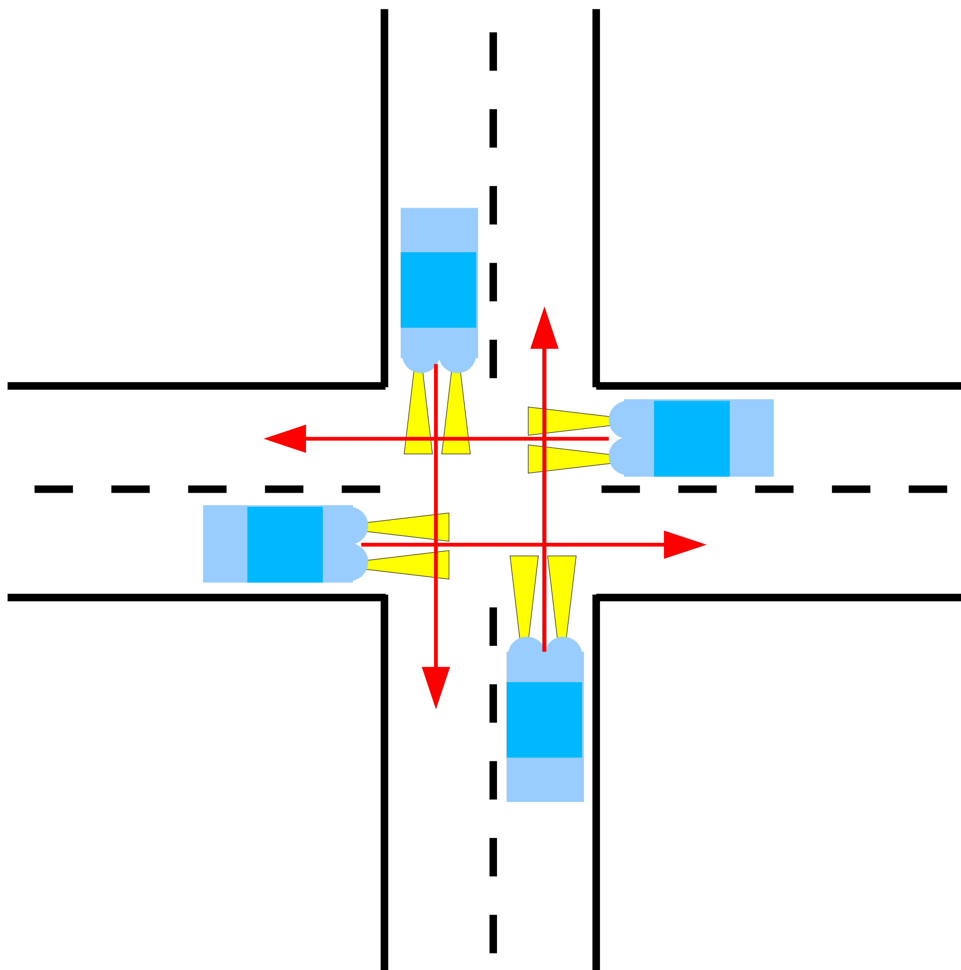
- Einführung
- Ressourcen-Typen
- Hinreichende und notwendige Deadlock-Bedingungen
- Deadlock-Erkennung und -Behebung
- Deadlock-Vermeidung (avoidance): Banker-Algorithmus
- Deadlock-Verhinderung (prevention)

# Was ist ein Deadlock?

- Eine Menge von Prozessen befindet sich in einer **Deadlock-Situation**, wenn:
  - jeder Prozess auf eine Ressource wartet, die von einem anderen Prozess blockiert wird
  - keine der Ressourcen freigegeben werden kann, weil der haltende Prozess (indem er selbst wartet) blockiert ist
- In einer Deadlock-Situation werden also die Prozesse dauerhaft verharren
- Deadlocks sind unbedingt zu vermeiden

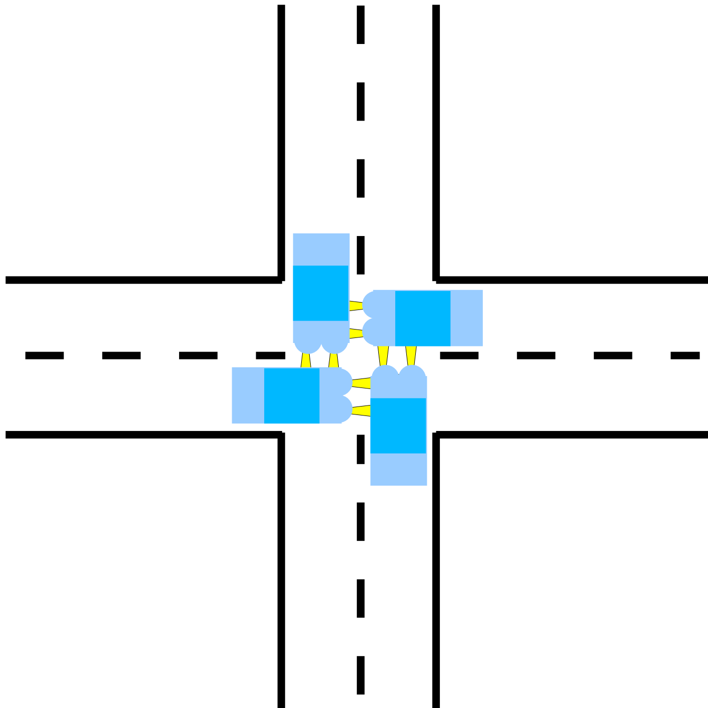
# Deadlock: Rechts vor Links (1)

- Der Klassiker: Rechts-vor-Links-Kreuzung

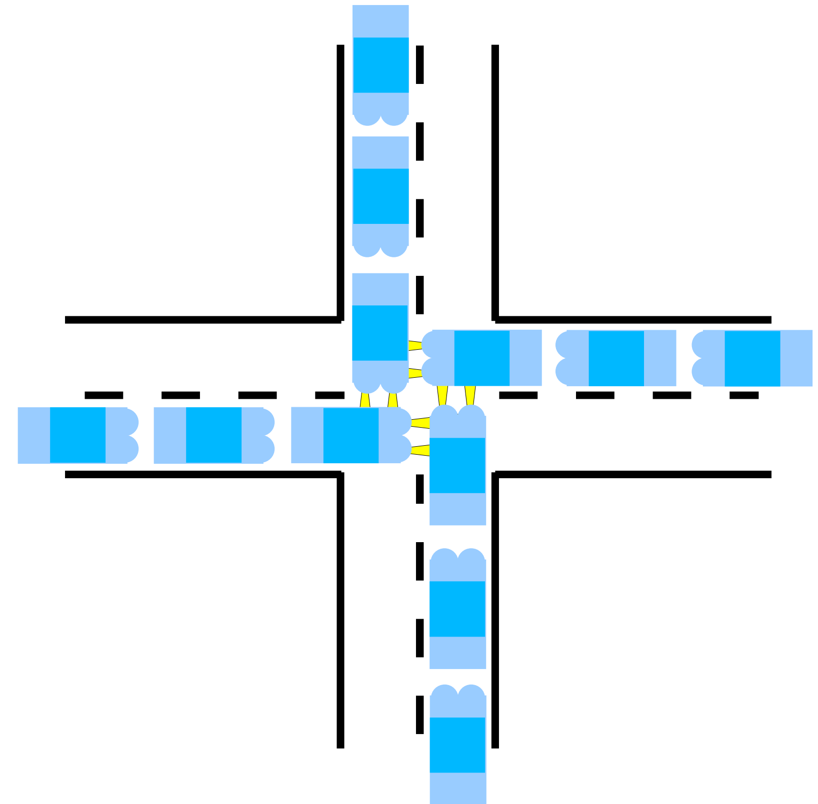


Wer darf fahren?
Potenzieller Deadlock

# Deadlock: Rechts vor Links (2)



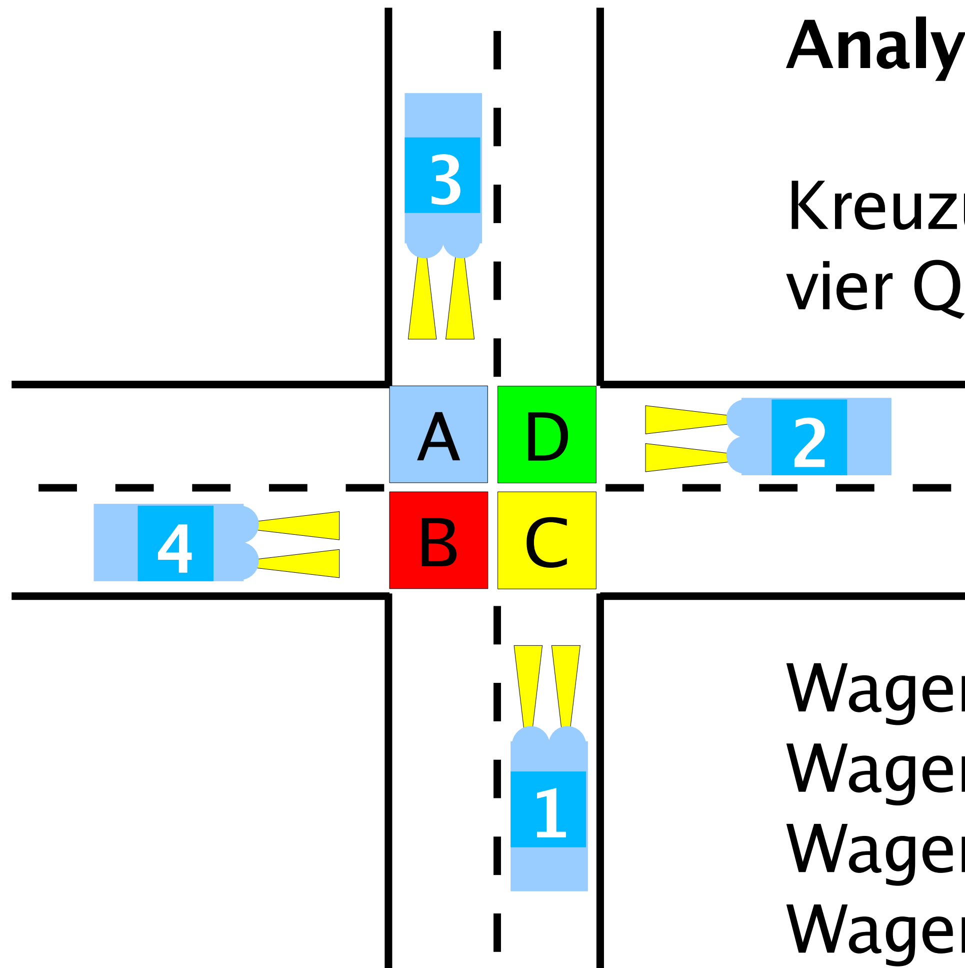
Deadlock, aber behebbar:
eines oder mehrere Autos
können zurücksetzen



Deadlock, nicht behebbar:
beteiligte Autos können nicht
zurücksetzen

Studium neben dem Beruf | FOM Hochschule für Oekonomie & Management University of Applied Sciences

# Deadlock: Rechts vor Links (3)




**Analyse:**

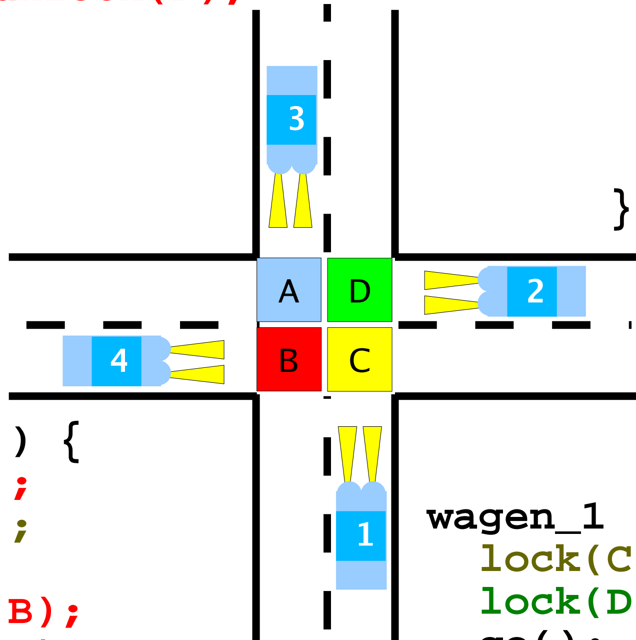
Kreuzungsbereich besteht aus vier Quadranten A, B, C, D

Wagen 1 benötigt C, D
Wagen 2 benötigt D, A
Wagen 3 benötigt A, B
Wagen 4 benötigt B, C

# Deadlock: Rechts vor Links (4)

```
wagen_3 () {
   lock(A);
   lock(B);
   go();
   unlock(A);
   unlock(B);
}
```

```
wagen_2 () {
   lock(D);
   lock(A);
   go();
   unlock(D);
   unlock(A);
}
```




```
wagen_4 () {
   lock(B);
   lock(C);
   go();
   unlock(B);
   unlock(C);
}
```

```
wagen_1 () {
   lock(C);
   lock(D);
   go();
   unlock(C);
   unlock(D);
}
```

**Problematische Reihenfolge:**

w1: lock(C)
w2: lock(D)
w3: lock(A)
w4: lock(B)
w1: lock(D) ← blockiert
w2: lock(A) ← blockiert
w3: lock(B) ← blockiert
w4: lock(C) ← blockiert

# Deadlock: kleinstes Beispiel (1)

- Zwei Locks A und B
  - z. B. A = Scanner, B = Drucker,
    Prozesse P, Q wollen beide eine Kopie erstellen
- Locking in verschiedenen Reihenfolgen

Prozess P

```
lock (A);
lock (B);

/* krit. Bereich */

unlock (A);
unlock (B);
```

Prozess Q

```
lock (B);
lock (A);

/* krit. Bereich */

unlock (B);
unlock (A);
```

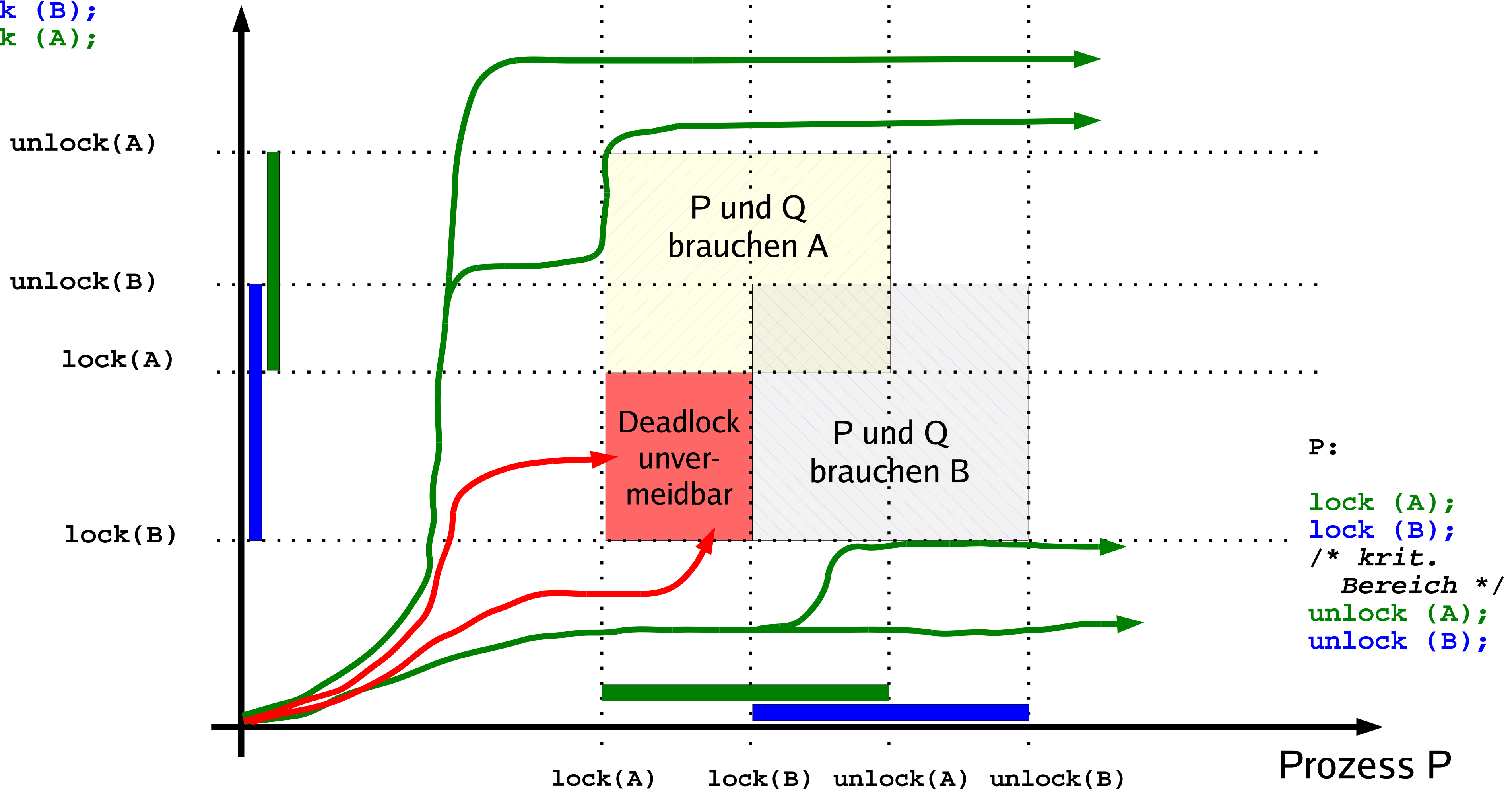
**Problematische Reihenfolge:**

P: `lock(A)`
Q: `lock(B)`
P: `lock(B)` ← blockiert
Q: `lock(A)` ← blockiert

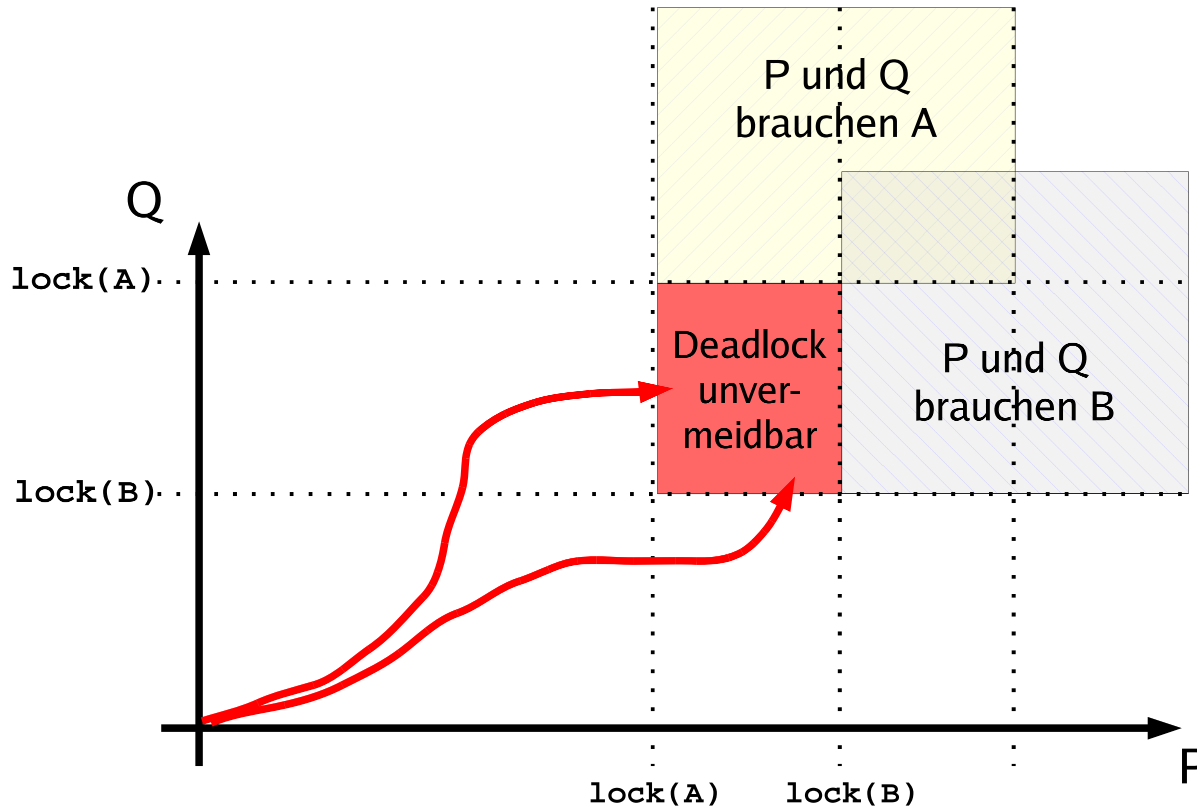
Studium neben dem Beruf

FOM Hochschule für Oekonomie & Management University of Applied Sciences

# Deadlock: kleinstes Beispiel (2)



# Deadlock: kleinstes Beispiel (3)




Programmverzahnungen, die zwangsläufig in den Deadlock führen:

oberer roter Weg:
Q: `lock(B)`
P: `lock(A)`

unterer roter Weg:
P: `lock(A)`
Q: `lock(B)`

# Deadlock: kleinstes Beispiel (4)

- Problem beheben:
  P benötigt die Locks nicht gleichzeitig

Prozess P

```
lock (A);
/* krit. Bereich */
unlock (A);

lock (B);
/* krit. Bereich */
unlock (B);
```

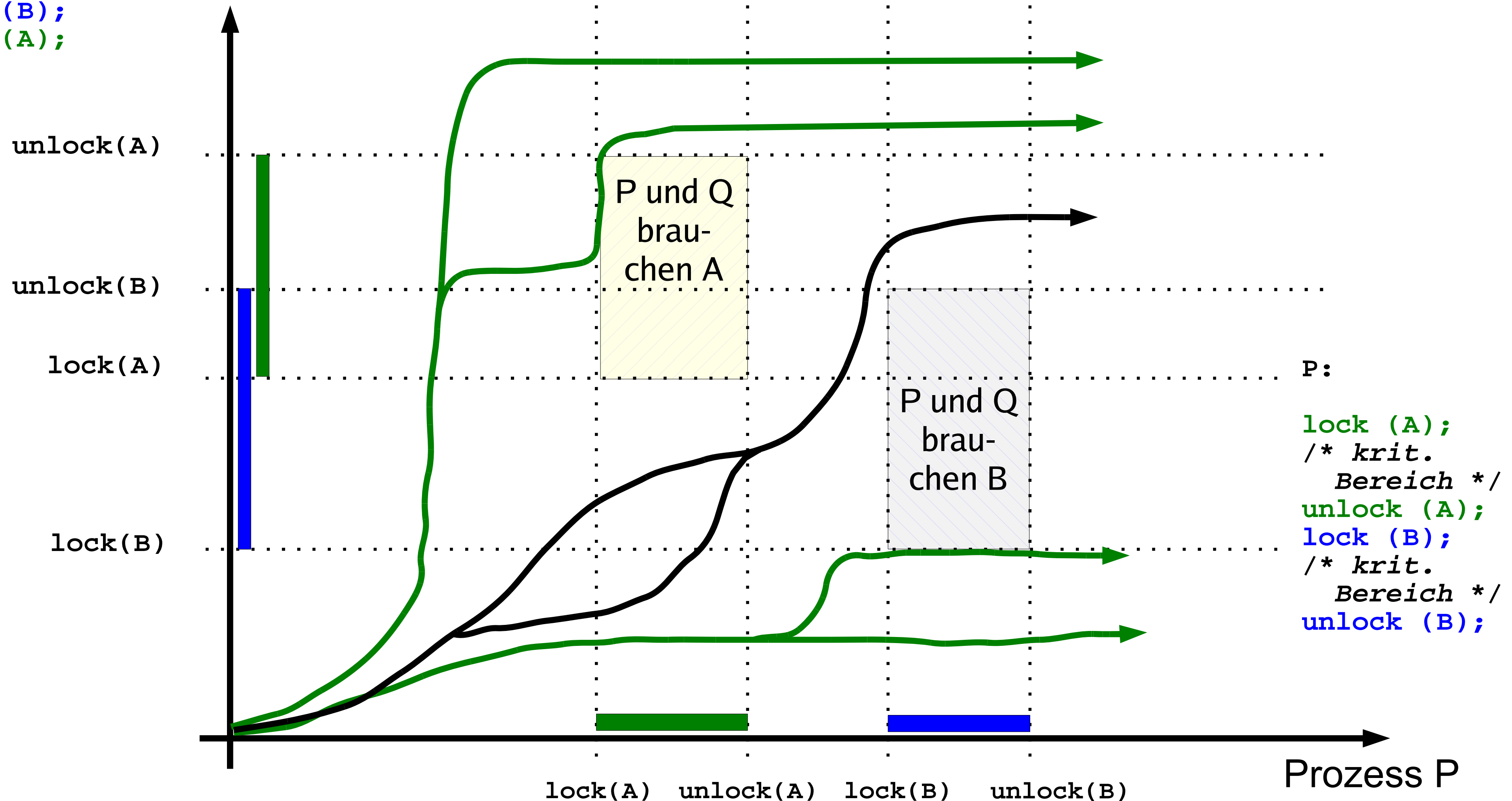
Prozess Q

```
lock (B);
lock (A);

/* krit. Bereich */

unlock (B);
unlock (A);
```

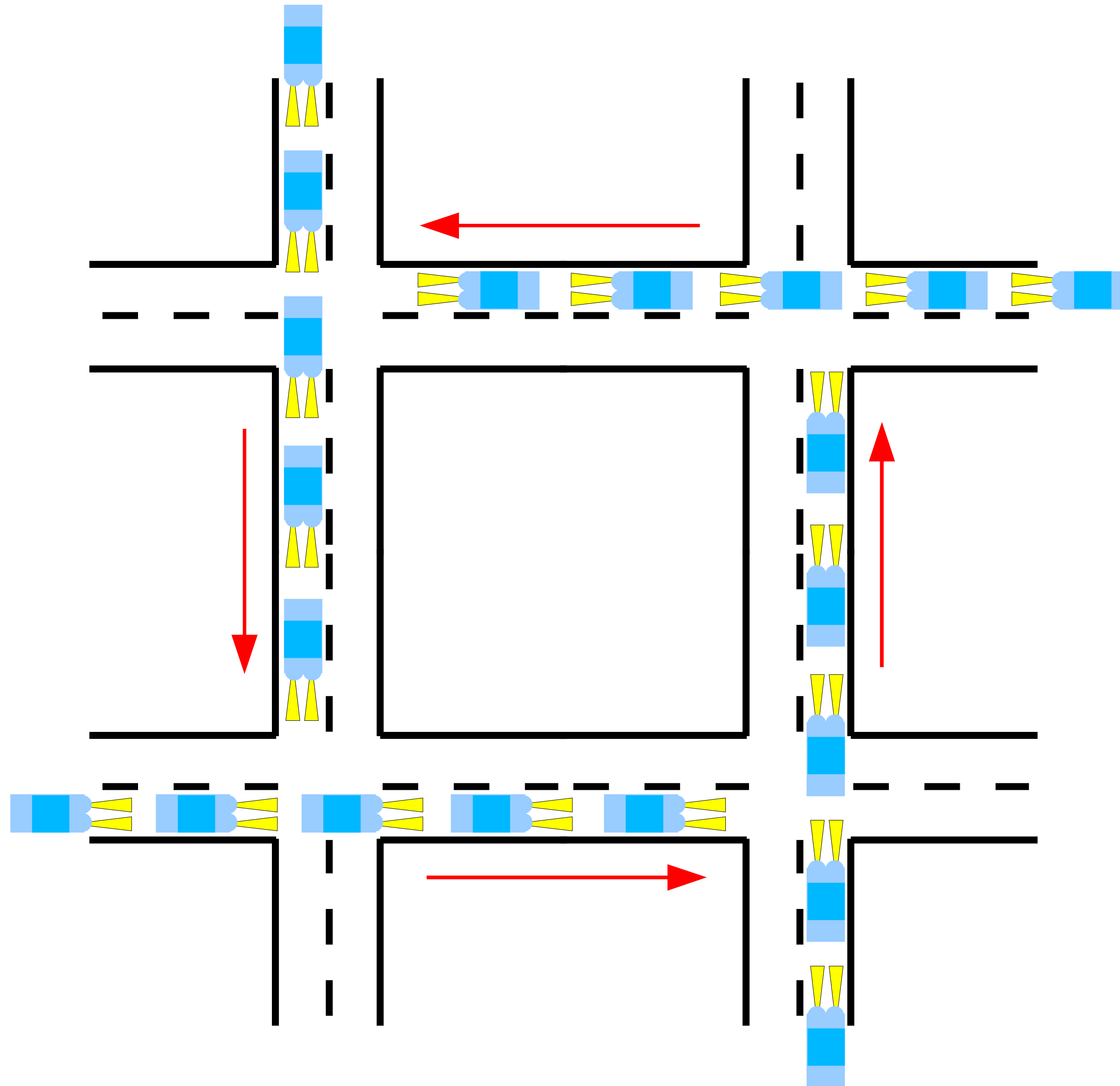
Jetzt kann kein Deadlock mehr auftreten

- Andere Lösung: P und Q fordern A, B in gleicher Reihenfolge an

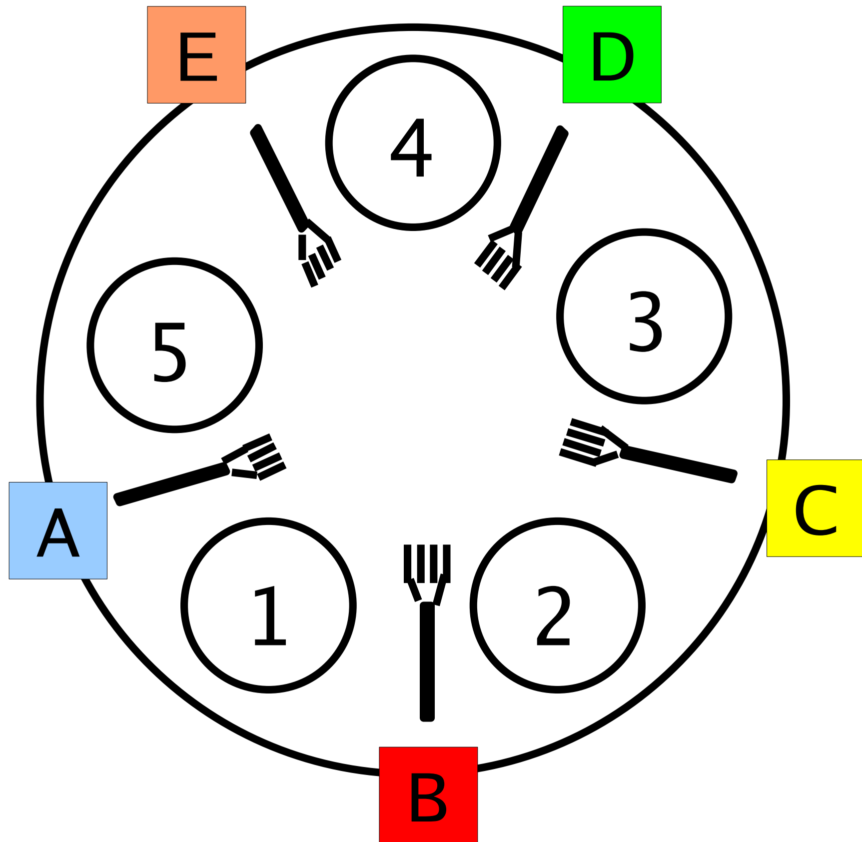
# Deadlock: kleinstes Beispiel (5)



# Grid Lock



# Fünf-Philosophen-Problem




Philosoph 1 braucht Gabeln A, B
Philosoph 2 braucht Gabeln B, C
Philosoph 3 braucht Gabeln C, D
Philosoph 4 braucht Gabeln D, E
Philosoph 5 braucht Gabeln E, A

**Problematische Reihenfolge:**

p1: lock (B)
p2: lock (C)
p3: lock (D)
p4: lock (E)
p5: lock (A)
p1: lock (A) ← blockiert
p2: lock (B) ← blockiert
p3: lock (C) ← blockiert
p4: lock (D) ← blockiert
p5: lock (E) ← blockiert

# Ressourcen-Typen (1)

**Zwei Kategorien von Ressourcen: unterbrechbar / nicht unterbrechbar**

- unterbrechbare Ressourcen
  - Betriebssystem kann einem Prozess solche Ressourcen wieder entziehen
  - Beispiele:
    - – CPU (Scheduler)
    - – Hauptspeicher (Speicherverwaltung)
  - das kann Deadlocks vermeiden

# Ressourcen-Typen (2)

- nicht unterbrechbare Ressourcen
  - Betriebssystem kann Ressource nicht (ohne fehlerhaften Abbruch) entziehen – Prozess muss diese freiwillig zurückgeben
  - Beispiele:
    – DVD-Brenner (Entzug → zerstörter Rohling)
    – Tape-Streamer (Entzug → sinnlose Daten auf Band oder Abbruch der Bandsicherung wegen Timeout)
- Nur die *nicht* unterbrechbaren sind interessant, weil sie Deadlocks verursachen können

# Ressourcen-Typen (3)

- wiederverwendbare vs. konsumierbare Ressourcen
  - **wiederverwendbar:** Zugriff auf Ressource zwar exklusiv, aber nach Freigabe wieder durch anderen Prozess nutzbar (Platte, RAM, CPU, ...)
  - **konsumierbar:** von einem Prozess erzeugt und von einem anderen Prozess konsumiert (Nachrichten, Interrupts, Signale, ...)

# Deadlock-Bedingungen (1)

1. **Gegenseitiger Ausschluss (mutual exclusion)**
   - Ressource ist exklusiv: Es kann stets nur ein Prozess darauf zugreifen
2. **Hold and Wait (besitzen und warten)**
   - Ein Prozess ist bereits im Besitz einer oder mehrerer Ressourcen, und
   - er kann noch weitere anfordern
3. **Ununterbrechbarkeit der Ressourcen**
   - Die Ressource kann nicht durch das Betriebssystem entzogen werden

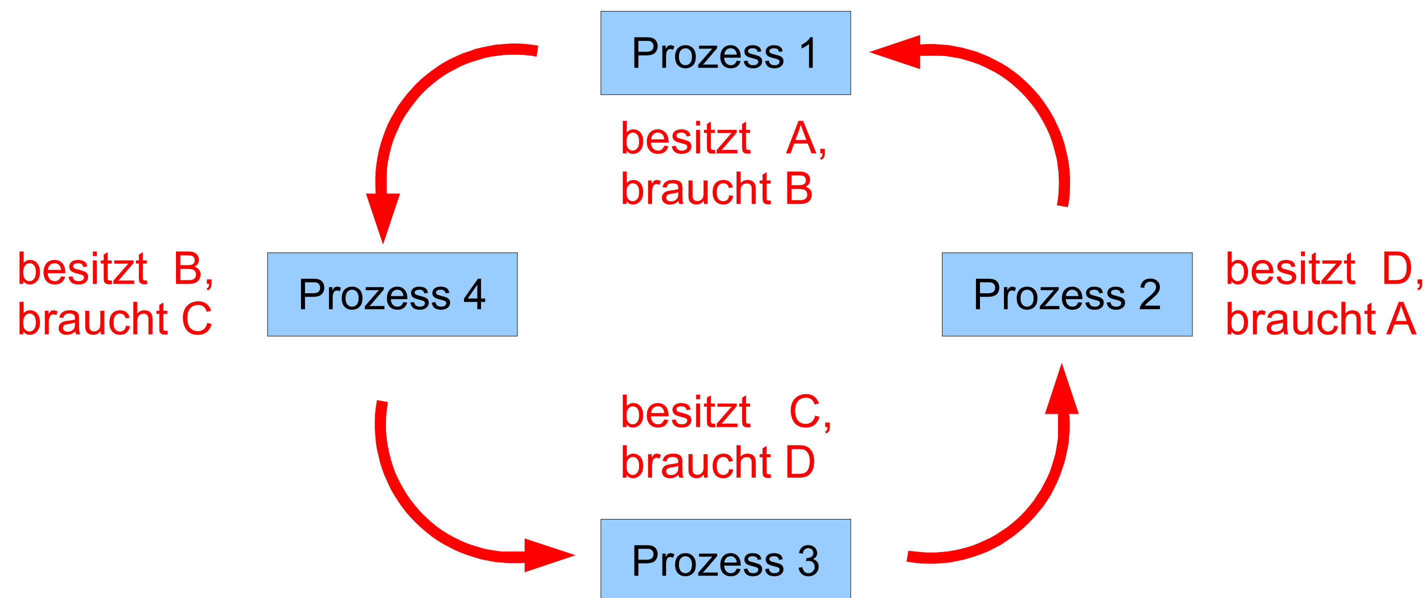
# Deadlock-Bedingungen (2)

- (1) bis (3) sind **notwendige** Bedingungen für einen Deadlock
- (1) bis (3) sind aber auch „wünschenswerte“ Eigenschaften eines Betriebssystems, denn:
  - gegenseitiger Ausschluss ist nötig für korrekte Synchronisation
  - Hold & Wait ist nötig, wenn Prozesse exklusiven Zugriff auf mehrere Ressourcen benötigen
  - Bei manchen Betriebsmitteln ist eine Präemption prinzipiell nicht sinnvoll (z. B. DVD-Brenner, Streamer)

# Deadlock-Bedingungen (3)

## 4. Zyklisches Warten

- Man kann die Prozesse in einem Kreis anordnen, in dem jeder Prozess eine Ressource benötigt, die der folgende Prozess im Kreis belegt hat



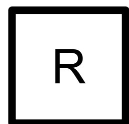
# Deadlock-Bedingungen (4)

1. **Gegenseitiger Ausschluss**
2. **Hold and Wait**
3. **Ununterbrechbarkeit der Ressourcen**
4. **Zyklisches Warten**

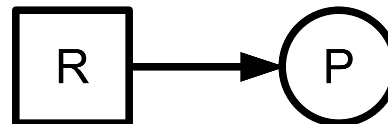
- (1) bis (4) sind **notwendige und hinreichende** Bedingungen für einen Deadlock
- Das zyklische Warten (4) (und dessen Unauf-lösbarkeit) sind Konsequenzen aus (1) bis (3)
- (4) ist der erfolgversprechendste Ansatzpunkt, um Deadlocks aus dem Weg zu gehen

# Ressourcen-Zuordnungs-Graph (1)

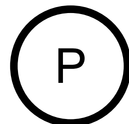
- Belegung und (noch unerfüllte) Anforderung grafisch darstellen:



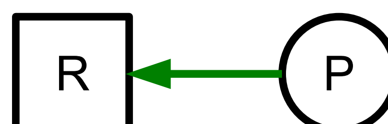

Ressource




P hat R belegt

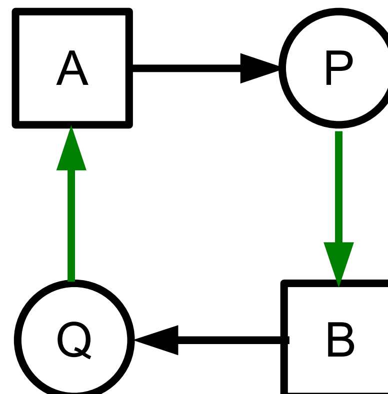



Prozess



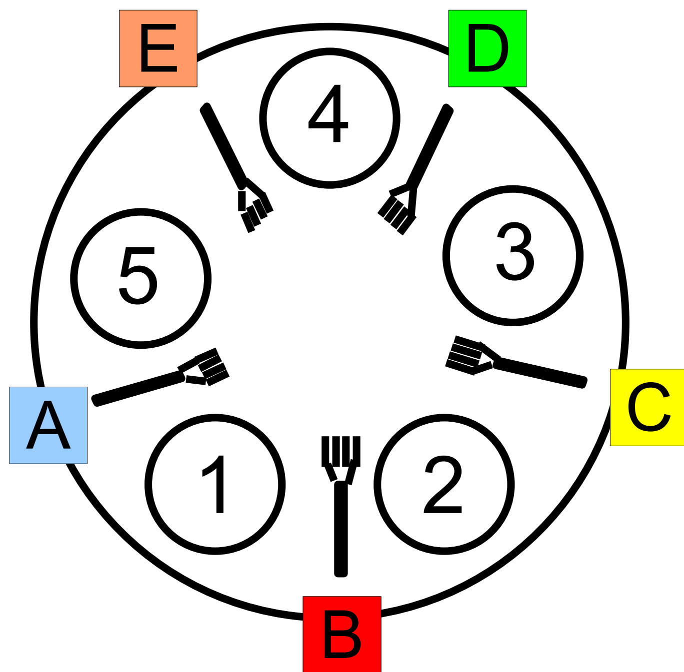

P hat R angefordert

- P, Q aus Minimalbeispiel:
- Deadlock = Kreis im Graph

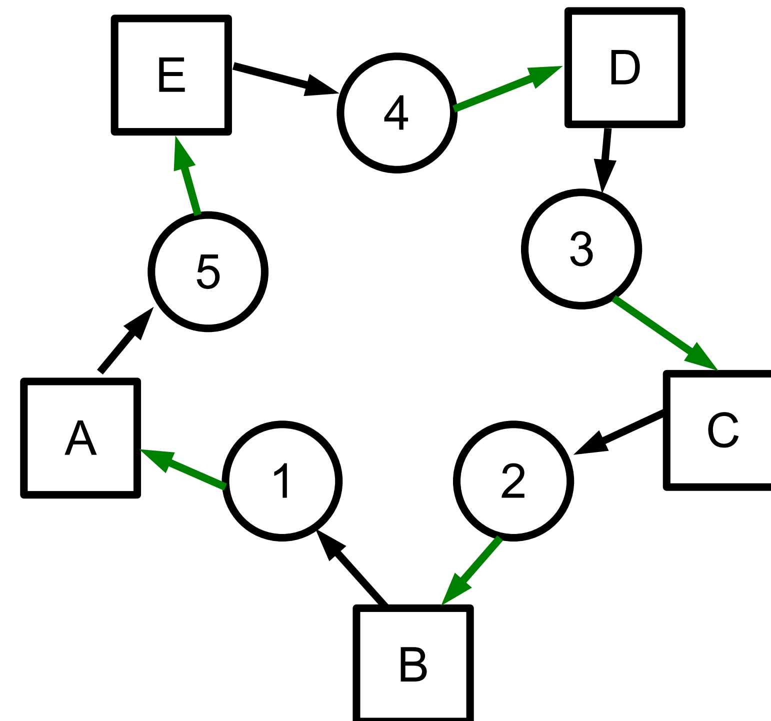


# Ressourcen-Zuordnungs-Graph (2)

Philosophen-Beispiel



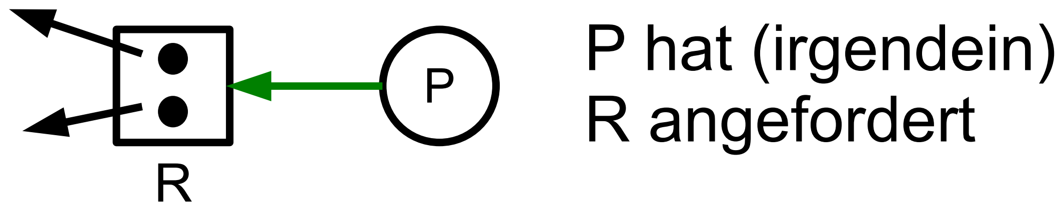

Situation, nachdem alle Philosophen ihre rechte Gabel aufgenommen haben



# Ressourcen-Zuordnungs-Graph (3)

- Variante für Ressourcen, die mehrfach vorkommen können

P hat (ein) R belegt

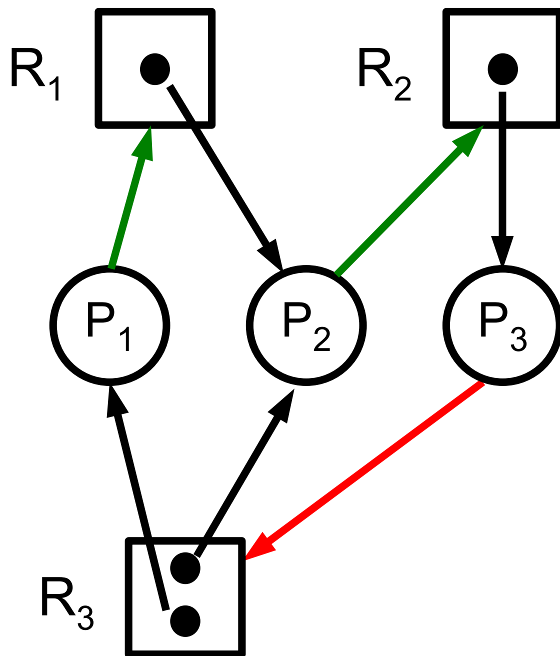


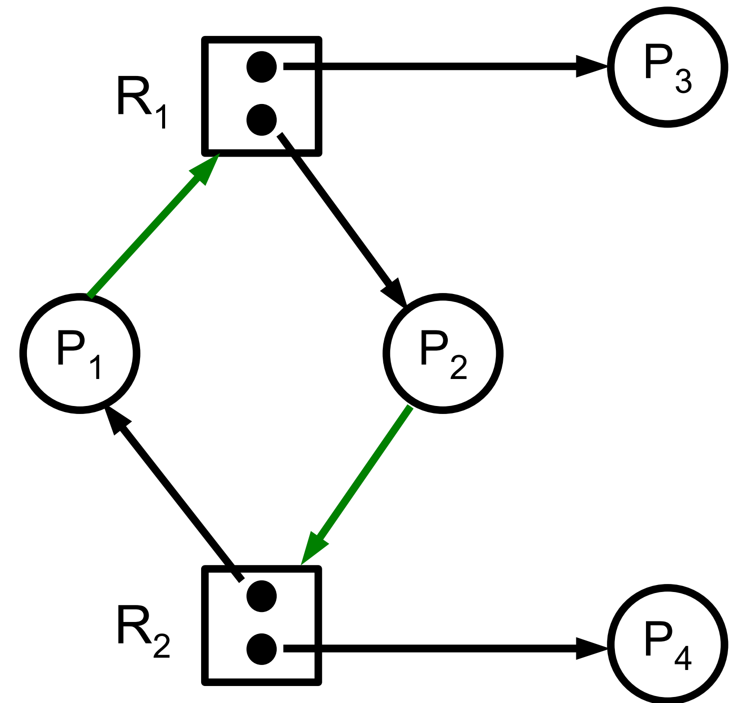

P hat (irgendein) R angefordert

Studium neben dem Beruf
FOM Hochschule für Oekonomie & Management
University of Applied Sciences

# Ressourcen-Zuordnungs-Graph (4)

- Beispiele mit mehreren Instanzen




Mit roter Kante ($P_3 \rightarrow R_3$) gibt es einen Deadlock (ohne nicht)

Kreis, aber kein Deadlock – Bedingung ist nur **notwendig**, nicht hinreichend!

# Deadlock-Erkennung (detection) (1)

-Vermeidung (avoidance)
-Verhinderung (prevention)

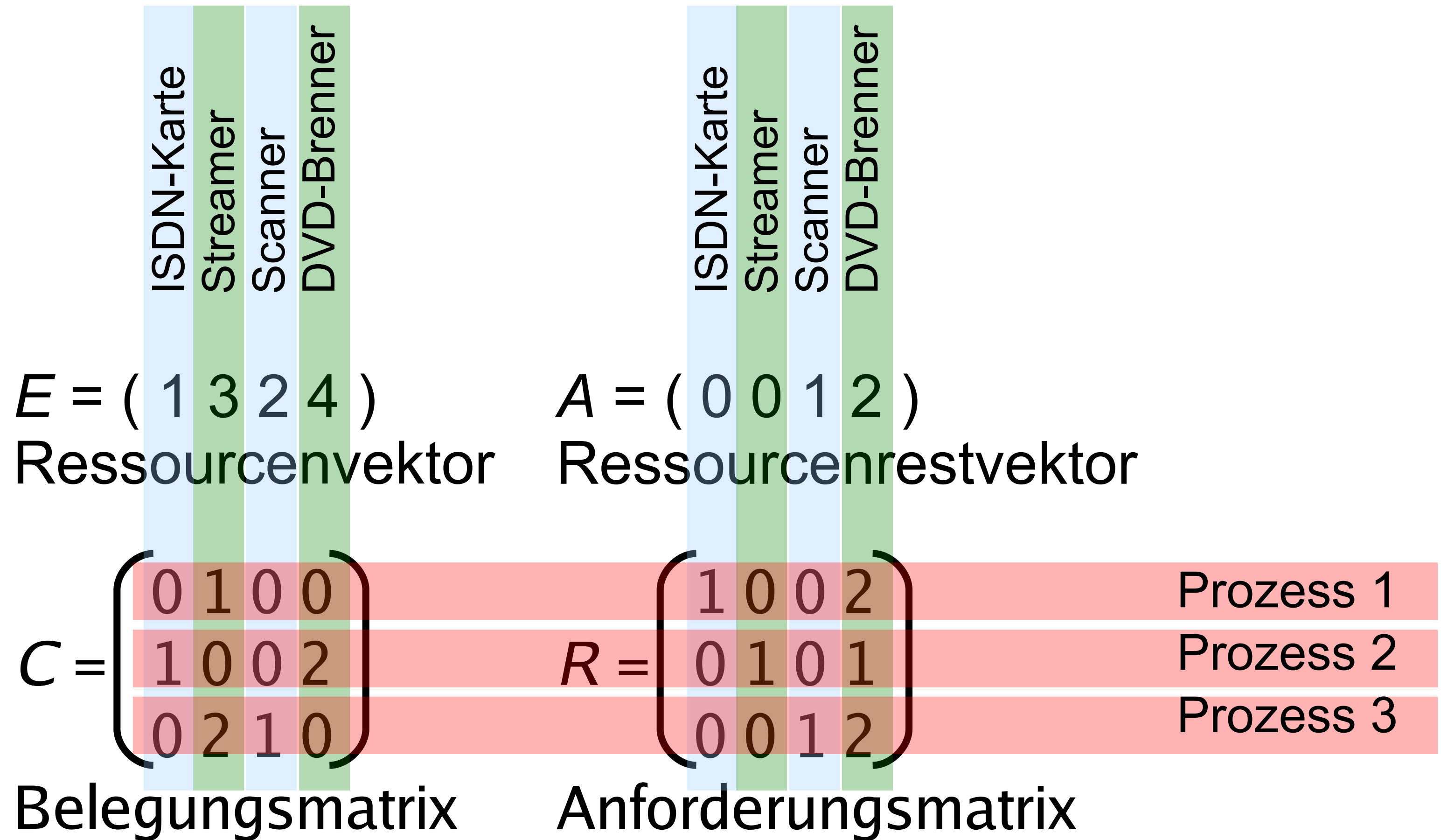
- Idee: Deadlocks zunächst zulassen
- System regelmäßig auf Vorhandensein von Deadlocks überprüfen und diese dann abstellen
- Nutzt drei Datenstrukturen:
  - Belegungsmatrix
  - Ressourcenrestvektor
  - Anforderungsmatrix

# Deadlock-Erkennung (detection) (2)
-Vermeidung (avoidance)
-Verhinderung (prevention)

- $n$ Prozesse $P_1, \ldots, P_n$
- $m$ Ressourcentypen $R_1, \ldots, R_m$
  Vom Typ $R_i$ gibt es $E_i$ Ressourcen-Instanzen ($i$=1,...,$m$)
  → **Ressourcenvektor** $E = (E_1\ E_2\ \ldots\ E_m)$
- **Ressourcenrestvektor** $A$ (wie viele sind noch frei?)
- **Belegungsmatrix *C***
  $C_{ij}$ = Anzahl Ressourcen vom Typ $j$, die von
  Prozess $i$ belegt sind
- **Anforderungsmatrix *R***
  $R_{ij}$ = Anzahl Ressourcen vom Typ $j$, die
  Prozess $i$ noch benötigt

# Deadlock-Erkennung (detection) (3)
## -Vermeidung (avoidance)
## -Verhinderung (prevention)

- Beispiel:



## Algorithmus

1. Suche einen unmarkierten Prozess $P_i$, dessen verbleibende Anforderungen vollständig erfüllbar sind, also $R_{ij} \leq A_j$ für alle $j$
2. Gibt es keinen solchen Prozess, beende Algorithmus
3. Ein solcher Prozess könnte erfolgreich abgearbeitet werden. Simuliere die Rückgabe aller belegten Ressourcen:

   $A := A + C_i$ ($i$-te Zeile von $\boldsymbol{C}$)

   Markiere den Prozess – er ist nicht Teil eines Deadlocks
4. Weiter mit Schritt 1

# Deadlock-Erkennung (detection) (5)
## -Vermeidung (avoidance)
## -Verhinderung (prevention)

- Alle Prozesse, die nach diesem Algorithmus nicht markiert sind, sind an einem Deadlock beteiligt
- Beispiel

$$E = (1\ 3\ 2\ 4) \quad A = (0\ 0\ 1\ 2)$$

$$C = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad R = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \end{pmatrix}$$

$$E = (1\ 3\ 2\ 4) \quad A = (0\ 2\ 2\ 2)$$

$$C = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad R = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \end{pmatrix}$$

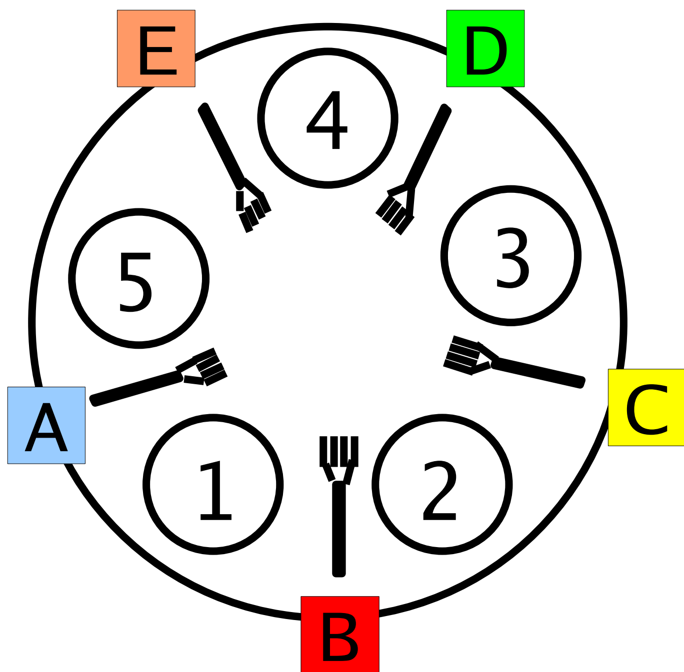
$$E = (1\ 3\ 2\ 4) \quad A = (1\ 2\ 2\ 4)$$

$$C = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad R = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \end{pmatrix}$$

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

$$C = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad R = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 2 \end{pmatrix}$$

## Beispiel (5 Philosophen)




$$E = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

(Spalten jeweils: A B C D E)

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad R = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

- Algorithmus bricht direkt ab
- alle Prozesse sind Teil eines Deadlocks

## Deadlock-Behebung:
## Was tun, wenn ein Deadlock erkannt wurde?

- **Entziehen** einer Ressource?
  In den Fällen, die wir betrachten, unmöglich (ununterbrechbare Ressourcen)
- **Abbruch** eines Prozesses, der am Deadlock beteiligt ist
- **Rücksetzen** eines Prozesses in einen früheren Prozesszustand, zu dem die Ressource noch nicht gehalten wurde
  - erfordert regelmäßiges Sichern der Prozesszustände

## Deadlock Avoidance (Vermeidung)

- **Idee:** BS erfüllt Ressourcenanforderung nur dann, wenn dadurch auf keinen Fall ein Deadlock entstehen kann
- Das funktioniert nur, wenn man die **Maximalforderungen aller Prozesse** kennt
  - Prozesse registrieren **beim Start** für alle denkbaren Ressourcen ihren Maximalbedarf
  - für die Praxis i. d. R. irrelevant
  - nur in wenigen Spezialfällen nützlich

## Sichere vs. unsichere Zustände

- Ein Zustand heißt **sicher**, wenn es eine Ausführreihenfolge der Prozesse gibt, die auch dann keinen Deadlock verursacht, wenn alle Prozesse sofort ihre maximalen Ressourcen-forderungen stellen.
- Ein Zustand heißt **unsicher**, wenn er nicht sicher ist.
- Unsicher bedeutet nicht zwangsläufig Deadlock!

## Banker-Algorithmus (1)

- Idee: Liquidität im Kreditgeschäft
  - Kunden haben eine Kreditlinie (maximaler Kreditbetrag)
  - Kunden können ihren Kredit in Teilbeträgen in Anspruch nehmen, bis die Kreditlinie ausgeschöpft ist – dann zahlen sie den kompletten Kreditbetrag zurück
  - Prüfe bei Kreditanforderung, ob diese die Bank in einem **sicheren** Zustand lässt, was die Liquidität angeht – wird der Zustand unsicher, lehnt die Bank die Auszahlung ab

# Banker-Algorithmus (2) – Beispiel

Bank: 1200 €,
900 € verliehen, 300 € Cash

| | Max. | Aktueller Kredit |
|---|---|---|
| Kunde 1 | 1000 € | 500 € |
| Kunde 2 | 400 € | 200 € |
| Kunde 3 | 900 € | 200 € |

**sicher**, denn es gibt folgende Auszahlungs-/Rückzahlungsreihenfolge:

| | | (Bank) |
|---|---|---|
| K2: leiht | 200 € | ( 100 €) |
| K2: rückz. | 400 € | ( 500 €) |
| K1: leiht | 500 € | ( 0 €) |
| K1: rückz. | 1000 € | (1000 €) |
| K3: leiht | 700 € | ( 300 €) |
| K3: rückz. | 900 € | (1200 €) |

Bank: 1200 €,
1000 € verliehen, 200 € Cash

| | Max. | Aktueller Kredit |
|---|---|---|
| Kunde 1 | 1000 € | 500 € |
| Kunde 2 | 400 € | 200 € |
| Kunde 3 | 900 € | 300 € |

**unsicher**, weil es keine mögliche Auszahlungsreihenfolge gibt, die die Bank bedienen kann:

| | | (Bank) |
|---|---|---|
| K2: leiht | 200 € | ( 0 €) |
| K2: rückz. | 400 € | ( 400 €) |
| ~~K1: leiht~~ | ~~500 €~~ | ~~( -100 €)~~ |
| ~~K3: leiht~~ | ~~600 €~~ | ~~( -200 €)~~ |

(letzte zwei unmöglich)

# Banker-Algorithmus (3) – Beispiel

Bank: 1200 €,
900 € verliehen, 300 € Cash

| | Max. | Aktueller Kredit |
|---|---|---|
| Kunde 1 | 1000 € | 500 € |
| Kunde 2 | 400 € | 200 € |
| Kunde 3 | 900 € | 200 € |

*Kunde 3 fordert 100 € an*

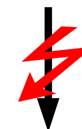
Bank: 1200 €,
1000 € verliehen, 200 € Cash

| | Max. | Aktueller Kredit |
|---|---|---|
| Kunde 1 | 1000 € | 500 € |
| Kunde 2 | 400 € | 200 € |
| Kunde 3 | 900 € | 300 € |

*Kunde 2 fordert 200 € an und zahlt alles zurück*

Bank: 400 € Cash

| | | |
|---|---|---|
| Kunde 1 | 1000 € | 500 € |
| Kunde 2 | 400 € | 0 € |
| Kunde 3 | 900 € | 300 € |



Übergang sicher → unsicher nicht zulassen!

## Banker-Algorithmus (4)

- Datenstrukturen wie bei Deadlock-Erkennung:
  - *n* Prozesse $P_1 \ldots P_n$, *m* Ressourcentypen $R_1 \ldots R_m$ mit je $E_i$ Ressourcen-Instanzen ($i$=1,...,$m$)
    → **Ressourcenvektor** $\boldsymbol{E} = (E_1\ E_2\ \ldots\ E_m)$
  - **Ressourcenrestvektor** *A* (wie viele sind noch frei?)
  - **Belegungsmatrix *C***
    $C_{ij}$ = Anzahl Ressourcen vom Typ *j*, die Prozess *i* belegt
  - **Maximalbelegung *Max***:
    $Max_{ij}$ = max. Bedarf, den Prozess *i* an Ressource *j* hat
  - **Maximale zukünftige Anforderungen: *R* = *Max* – *C*,**
    $R_{ij}$ = Anzahl Ressourcen vom Typ *j*, die Prozess *i* noch maximal anfordern kann

# Banker-Algorithmus (5)

Anforderung zulassen, falls

- Anforderung bleibt im Limit des Prozesses
- Zustand nach Gewähren der Anforderung ist sicher

| Feststellen, ob ein Zustand sicher ist | = | Annehmen, dass alle Prozesse sofort ihre Maximalforderungen stellen, und dies auf Deadlocks überprüfen<br>(siehe Algorithmus auf Folie E-29) |
| --- | --- | --- |

## Banker-Algorithmus (6) – Beispiel

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} E = (\ 10\ 5\ 7\ ) \\ \rightarrow A = (\ \ 3\ 3\ 2\ ) \end{matrix} \quad \mathbf{Max} = \begin{pmatrix} 7 & 5 & 3 \\ 3 & 2 & 2 \\ 9 & 0 & 2 \\ 2 & 2 & 2 \\ 4 & 3 & 3 \end{pmatrix} \quad \mathbf{R{=}Max{-}C} = \begin{pmatrix} 7 & 4 & 3 \\ \mathbf{1} & \mathbf{2} & \mathbf{2} \\ 6 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 4 & 3 & 1 \end{pmatrix}$$

Anforderung ( 1 0 2 ) durch Prozess P2 – ok?

1. ( 1 0 2 ) < ( 1 2 2 ), also erste Bedingung erfüllt
2. Auszahlung simulieren

$$\mathbf{C'} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ \mathbf{3} & \mathbf{0} & \mathbf{2} \\ 3 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} E\ = (\ 10\ 5\ 7\ ) \\ \rightarrow A' = (\ \ \mathbf{2}\ \mathbf{3}\ \mathbf{0}\ ) \end{matrix} \quad \mathbf{R'} = \begin{pmatrix} 7 & 4 & 3 \\ \mathbf{0} & \mathbf{2} & \mathbf{0} \\ 6 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 4 & 3 & 1 \end{pmatrix}$$

Jetzt Deadlock-Erkennung durchführen

# Deadlock-Vermeidung (avoidance) (9)

**1**

$E = (10\ 5\ 7)$ $A' = (2\ 3\ 0)$

$$C' = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 3 & 0 & 2 \\ 3 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix} \quad R' = \begin{pmatrix} 7 & 4 & 3 \\ \boxed{0\ 2\ 0} \\ 6 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 4 & 3 & 1 \end{pmatrix}$$

**2**

$E = (10\ 5\ 7)$ $A' = (5\ 3\ 2)$

$$C' = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ \cancel{3\ 0\ 2} \\ 3 & 0 & 2 \\ 2 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix} \quad R' = \begin{pmatrix} 7 & 4 & 3 \\ \cancel{0\ 2\ 0} \\ 6 & 0 & 0 \\ \boxed{0\ 1\ 1} \\ 4 & 3 & 1 \end{pmatrix}$$

**3**

$E = (10\ 5\ 7)$ $A' = (7\ 4\ 3)$

$$C' = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ \cancel{3\ 0\ 2} \\ 3 & 0 & 2 \\ \cancel{2\ 1\ 1} \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix} \quad R' = \begin{pmatrix} \boxed{7\ 4\ 3} \\ \cancel{0\ 2\ 0} \\ 6 & 0 & 0 \\ \cancel{0\ 1\ 1} \\ 4 & 3 & 1 \end{pmatrix}$$

**4**

$E = (10\ 5\ 7)$ $A' = (7\ 5\ 3)$

$$C' = \begin{pmatrix} \cancel{0\ 1\ 0} \\ \cancel{3\ 0\ 2} \\ 3 & 0 & 2 \\ \cancel{2\ 1\ 1} \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix} \quad R' = \begin{pmatrix} \cancel{7\ 4\ 3} \\ \cancel{0\ 2\ 0} \\ \boxed{6\ 0\ 0} \\ \cancel{0\ 1\ 1} \\ 4 & 3 & 1 \end{pmatrix}$$

**5**

$E = (10\ 5\ 7)$ $A' = (10\ 5\ 5)$

$$C' = \begin{pmatrix} \cancel{0\ 1\ 0} \\ \cancel{3\ 0\ 2} \\ \cancel{3\ 0\ 2} \\ \cancel{2\ 1\ 1} \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix} \quad R' = \begin{pmatrix} \cancel{7\ 4\ 3} \\ \cancel{0\ 2\ 0} \\ \cancel{6\ 0\ 0} \\ \cancel{0\ 1\ 1} \\ \boxed{4\ 3\ 1} \end{pmatrix}$$

**6**

$E = (10\ 5\ 7)$ $A' = (10\ 5\ 7)$

$$C' = \begin{pmatrix} \cancel{0\ 1\ 0} \\ \cancel{3\ 0\ 2} \\ \cancel{3\ 0\ 2} \\ \cancel{2\ 1\ 1} \\ \cancel{0\ 0\ 2} \end{pmatrix} \quad R' = \begin{pmatrix} \cancel{7\ 4\ 3} \\ \cancel{0\ 2\ 0} \\ \cancel{6\ 0\ 0} \\ \cancel{0\ 1\ 1} \\ \cancel{4\ 3\ 1} \end{pmatrix}$$

OK!

# Deadlock-Verhinderung (prevention): Vorbeugendes Verhindern

- mache mindestens eine der vier Deadlock-Bedingungen unerfüllbar
  1. gegenseitiger Ausschluss
  2. Hold and Wait
  3. Ununterbrechbarkeit der Ressourcen
  4. Zyklisches Warten
- dann sind keine Deadlocks mehr möglich (denn die vier Bedingungen sind notwendig)

# Deadlock-Verhinderung (prevention) (2)

## 1. Gegenseitiger Ausschluss

- Ressourcen nur dann exklusiv Prozessen zuteilen, wenn es keine Alternative dazu gibt
- Beispiel: Statt mehrerer konkurrierender Prozesse, die einen gemeinsamen Drucker verwenden wollen, einen Drucker-Spooler einführen
  - keine Konflikte mehr bei Zugriff auf Drucker (Spooler-Prozess ist der einzige, der direkten Zugriff erhalten kann)
  - aber: Problem evtl. nur verschoben (Größe des Spool-Bereichs bei vielen Druckjobs begrenzt?)

# Deadlock-Verhinderung (prevention) (3)

## 2. Hold and Wait

- Alle Prozesse müssen die benötigten Ressourcen gleich beim Prozessstart anfordern (und blockieren)
- hat verschiedene Nachteile:
  - Ressourcen-Bedarf entsteht oft dynamisch (ist also beim Start des Prozesses nicht bekannt)
  - verschlechtert Parallelität (Prozess hält Ressourcen über einen längeren Zeitraum)
- Datenbanksysteme: **Two Phase Locking**
  - Sperrphase: Alle Ressourcen erwerben (wenn das nicht klappt → alle sofort wieder freigeben)
  - Zugriffsphase (anschließend Freigabe)

# Deadlock-Verhinderung (prevention) (4)

## 3. Ununterbrechbarkeit der Ressourcen

- Ressourcen entziehen?
- siehe Deadlock-Behebung (Abbruch / Rücksetzen)

# 4. Zyklisches Warten (1)

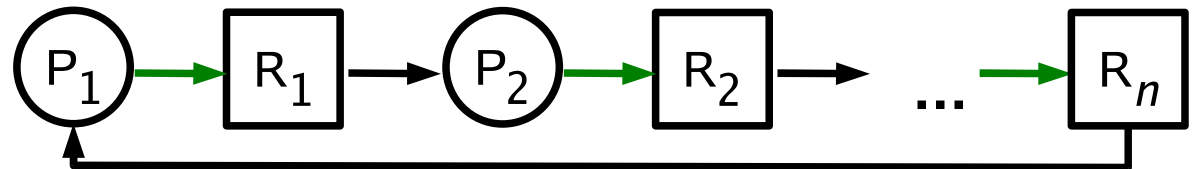
- Ressourcen durchnumerieren
  - *ord*: **R** = $\{R_1, \ldots, R_n\} \rightarrow \mathbb{N}$, $ord(R_i) \neq ord(R_j)$ für $i \neq j$
- Prozess darf Ressourcen nur in der durch ord vorgegebenen Reihenfolge anfordern
  - Wenn *ord* (R) < *ord* (S), dann ist die Sequenz

    ```
    lock (S);
    lock (R);
    ```

    ungültig
- Das macht Deadlocks unmöglich

# 4. Zyklisches Warten (2)

- Annahme: Es gibt einen Zykel




  Für jedes *i* gilt: *ord* $(R_i) <$ *ord* $(R_{i+1})$ und wegen des Zykels auch *ord* $(R_n) <$ *ord* $(R_1)$, daraus folgt *ord* $(R_1) <$ *ord* $(R_1)$: Widerspruch

- Problem: Gibt es eine feste Reihenfolge der Res-sourcenbelegung, die für alle Prozesse geeignet ist?
- reduziert Parallelität (Ressourcen zu früh belegt)