

# Betriebssysteme Theorie

WS 2011/12

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

Foliensatz E (10.12.2011)  
Deadlocks



# Deadlocks – Gliederung

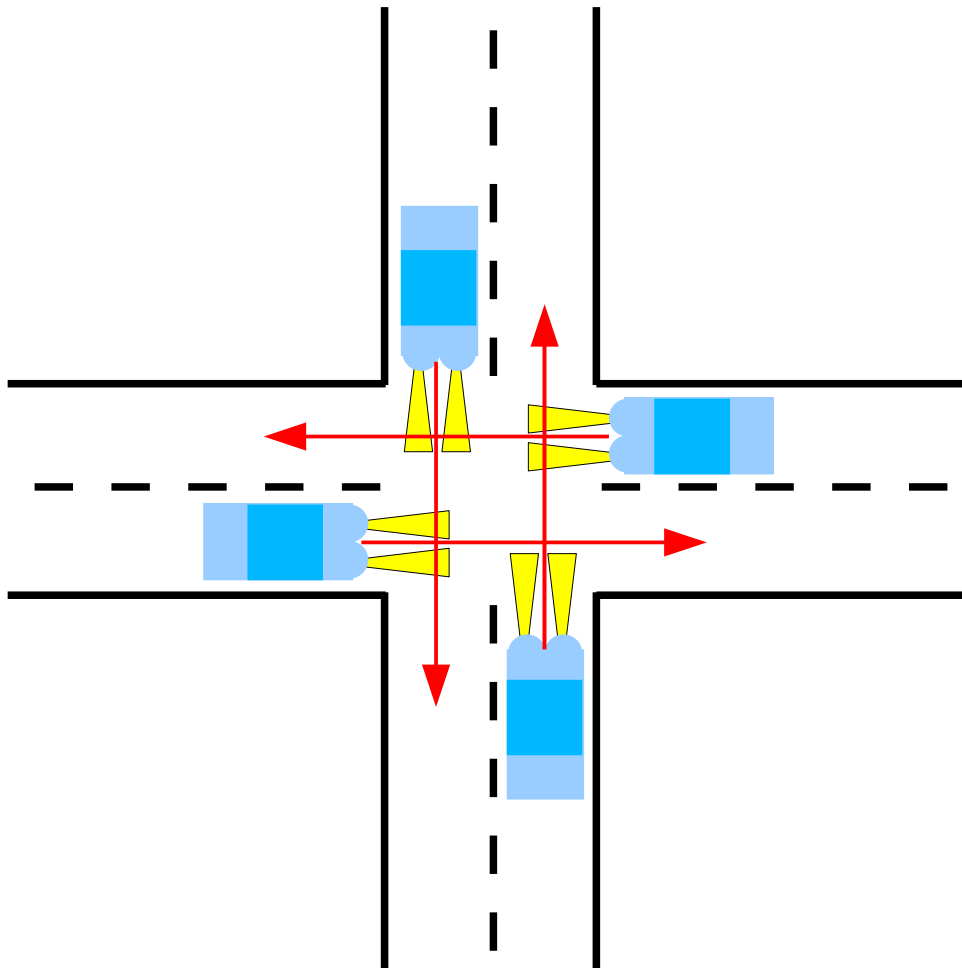
- Einführung
- Ressourcen-Typen
- Hinreichende und notwendige Deadlock-Bedingungen
- Deadlock-Erkennung und -Behebung
- Deadlock-Vermeidung (avoidance):  
Banker-Algorithmus
- Deadlock-Verhinderung (prevention)

# 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

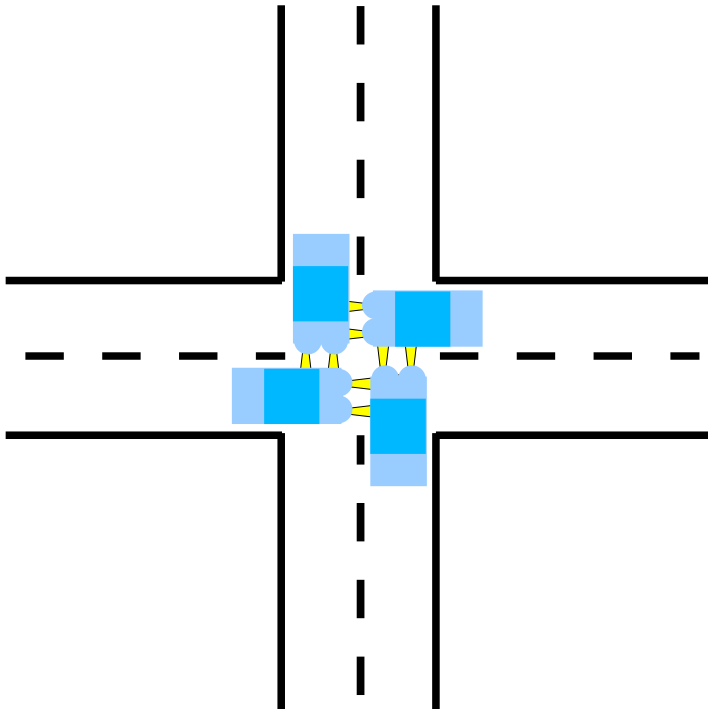
# Deadlock: Rechts vor Links (1)

- Der Klassiker: Rechts-vor-Links-Kreuzung

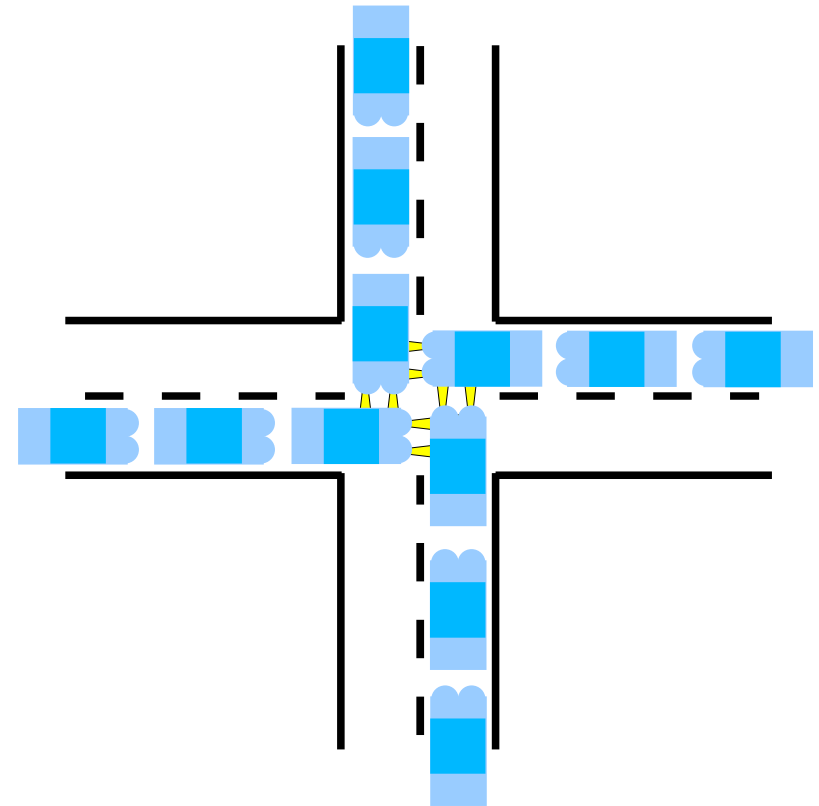


Wer darf fahren?  
Potenzieller Deadlock

# Deadlock: Rechts vor Links (2)

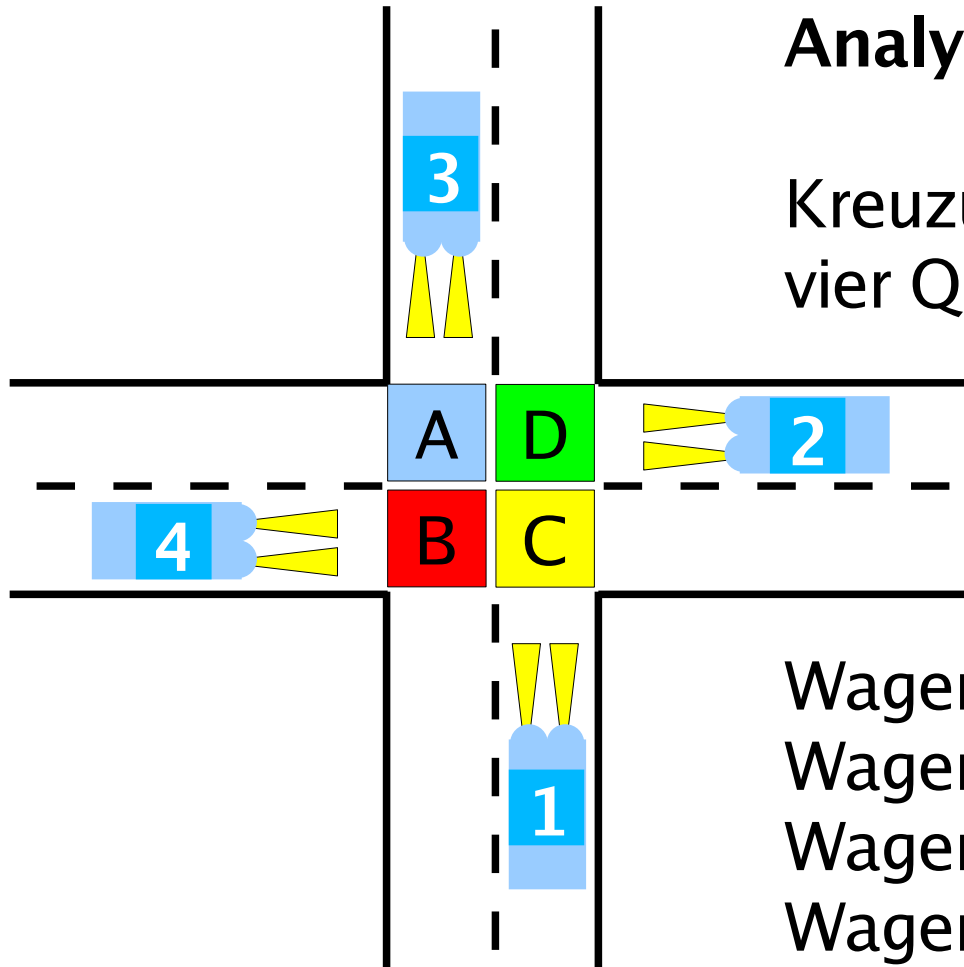


Deadlock, aber behebbbar:  
eines oder mehrere Autos  
können zurücksetzen



Deadlock, nicht behebbbar:  
beteiligte Autos können nicht  
zurücksetzen

# Deadlock: Rechts vor Links (3)



## Analyse:

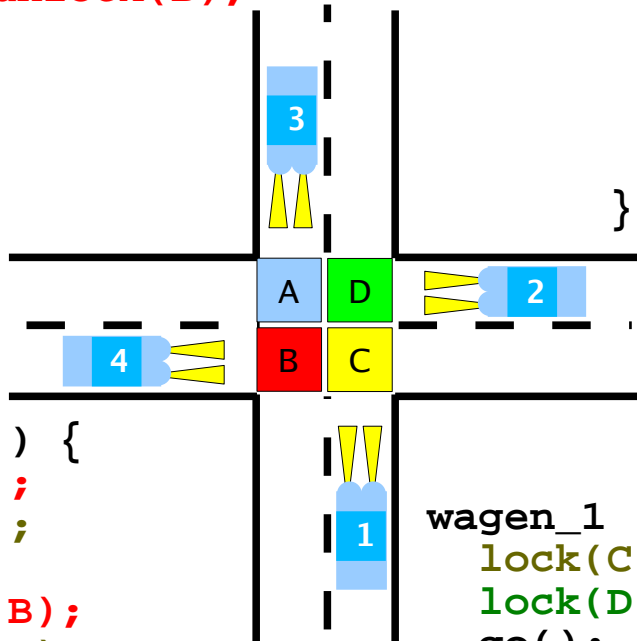
Kreuzungsbereich besteht aus vier Quadranten A, B, C, D

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

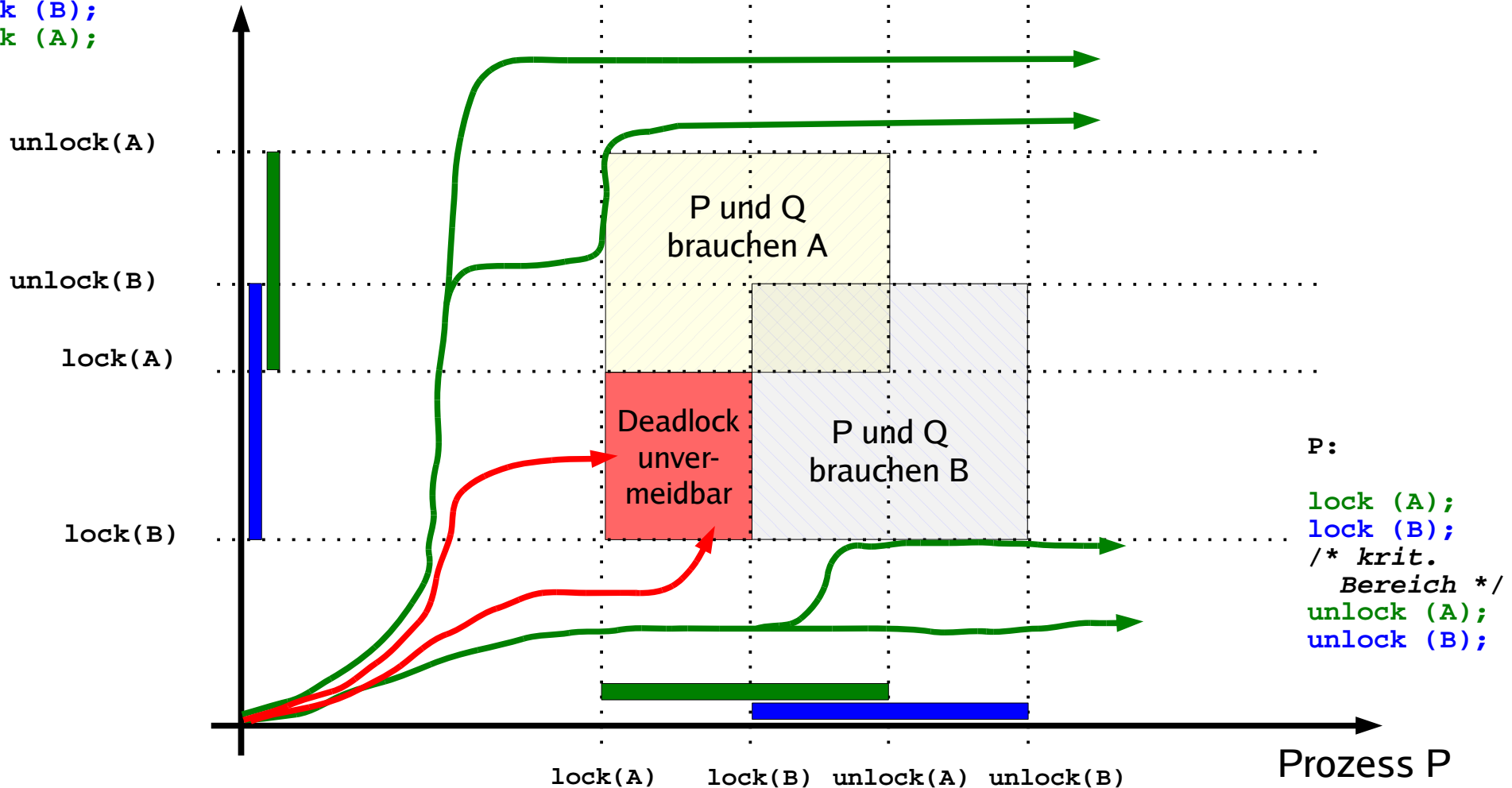


# Deadlock: kleinstes Beispiel (2)

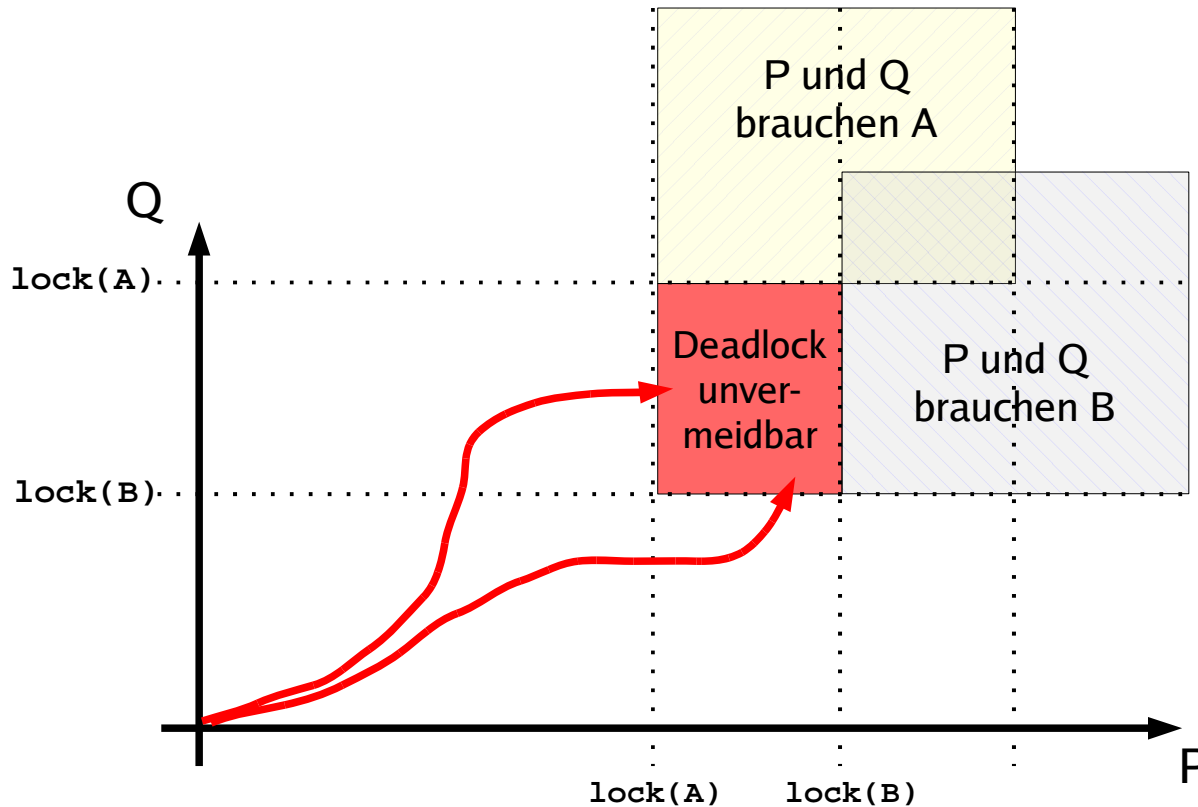
Q:

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

Prozess Q



# 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

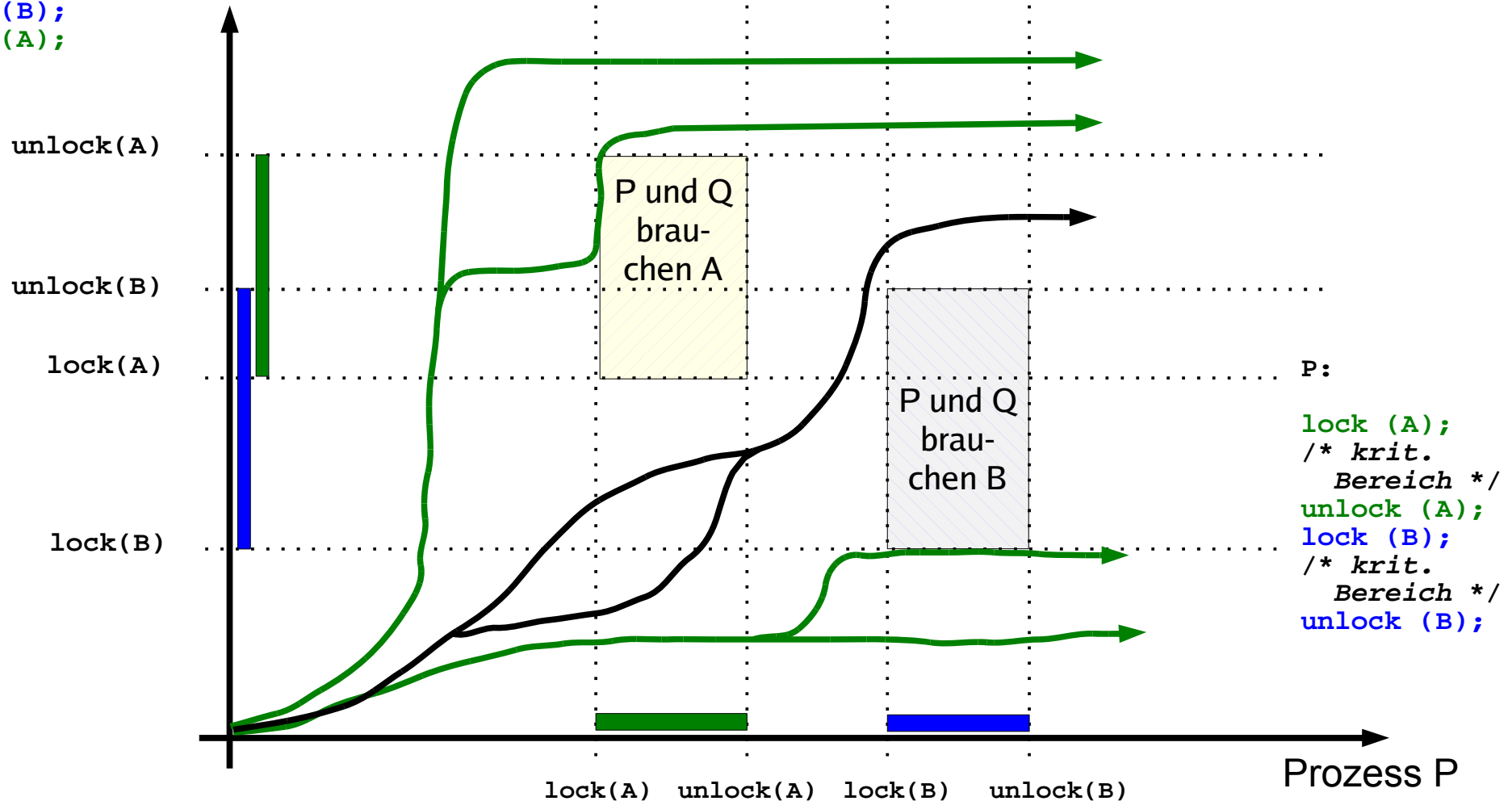
- Andere Lösung: P und Q fordern A, B in gleicher Reihenfolge an

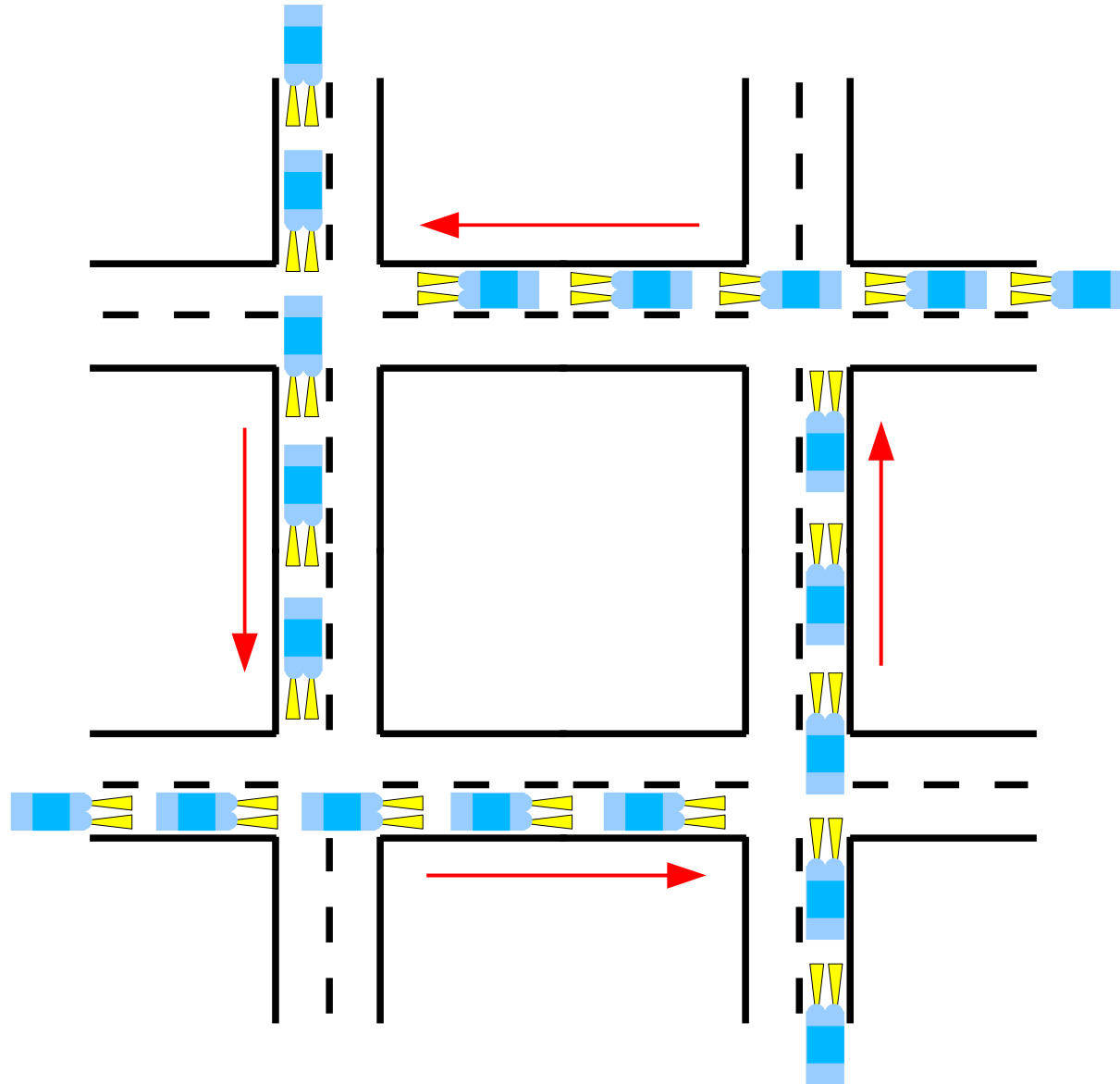
# Deadlock: kleinstes Beispiel (5)

Q:

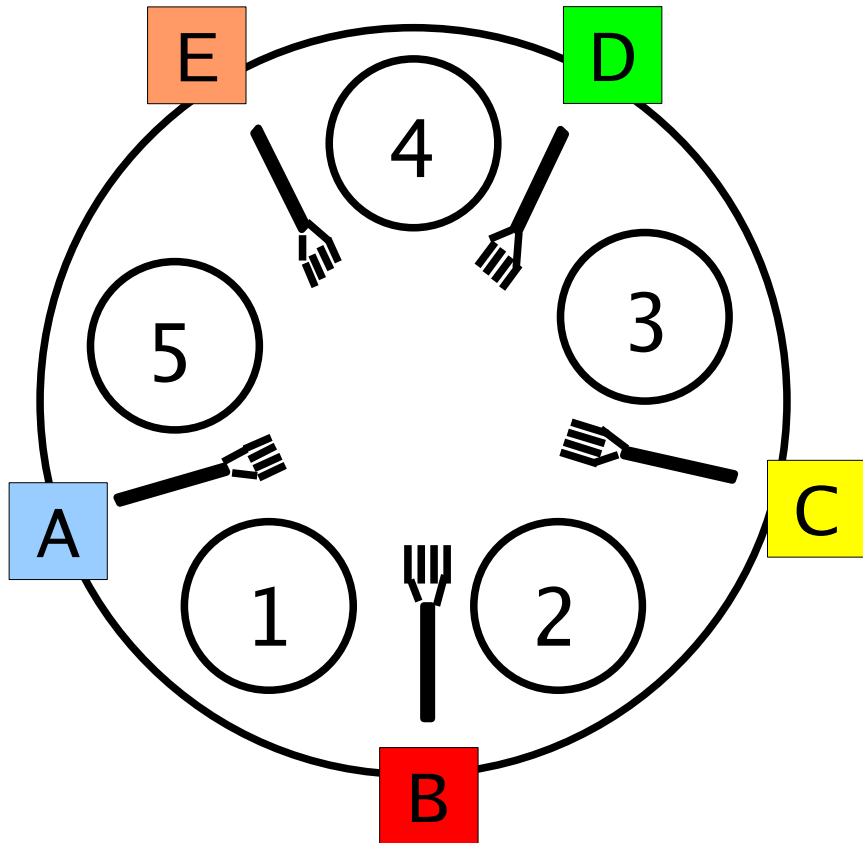
```
lock (B);
lock (A);
/* krit.
Bereich */
unlock (B);
unlock (A);
```

Prozess Q





# 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

## 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



- 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

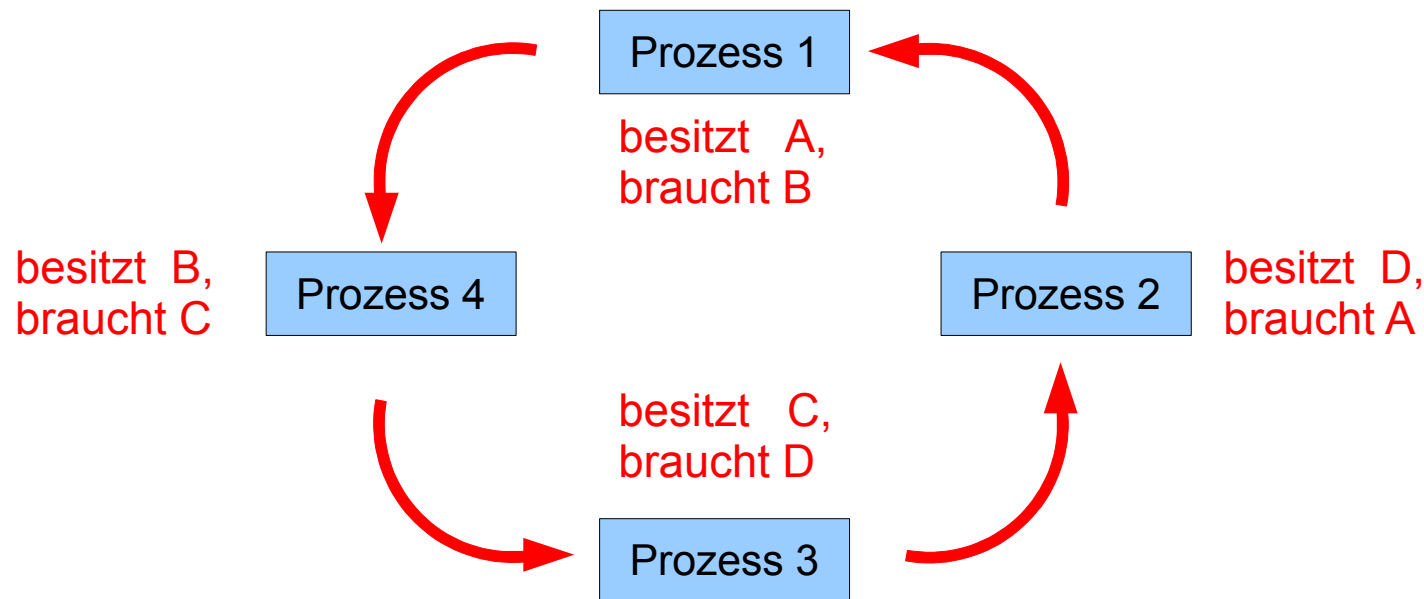
- Die Ressource kann nicht durch das Betriebssystem entzogen werden

# 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)

## 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)

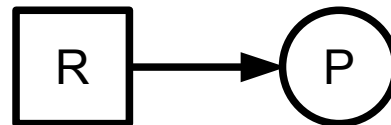
- 1. Gegenseitiger Ausschluss**
  - 2. Hold and Wait**
  - 3. Ununterbrechbarkeit der Ressourcen**
  - 4. Zyklisches Warten**
- (1) bis (4) sind **notwendige und hinreichende** Bedingungen für einen Deadlock
  - Das zyklische Warten (4) (und dessen Unauflösbarkeit) sind Konsequenzen aus (1) bis (3)
  - (4) ist der erfolgversprechendste Ansatzpunkt, um Deadlocks aus dem Weg zu gehen

# Ressourcen-Zuordnungs-Graph (1)

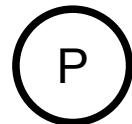
- Belegung und (noch unerfüllte) Anforderung grafisch darstellen:



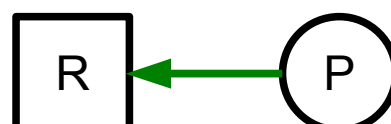
Ressource



P hat R belegt

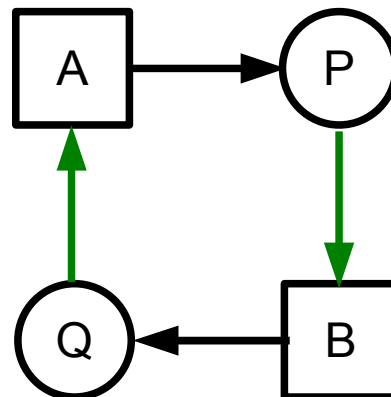


Prozess



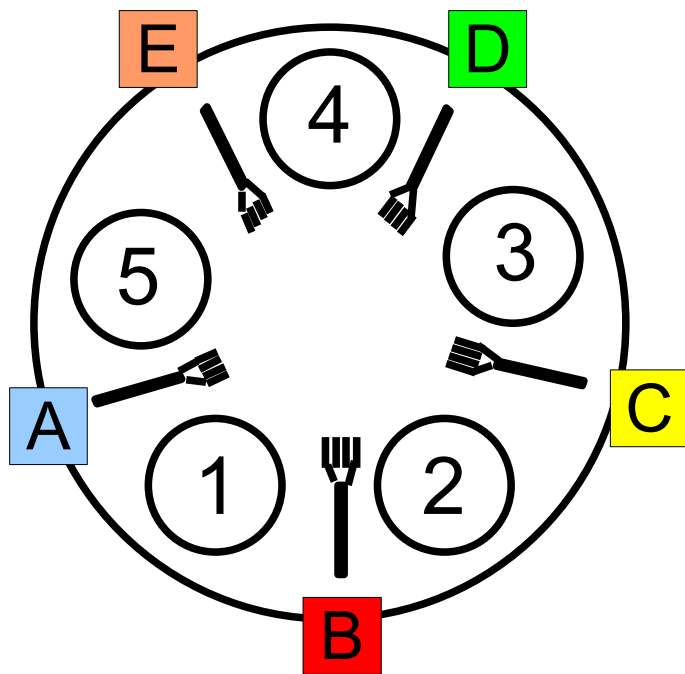
P hat R angefordert

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

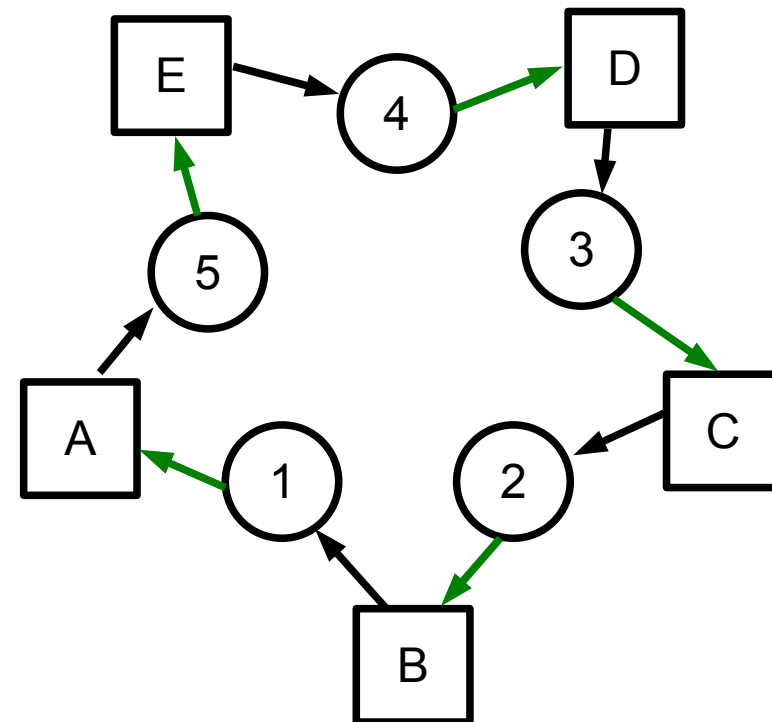


# Ressourcen-Zuordnungs-Graph (2)

Philosophen-Beispiel

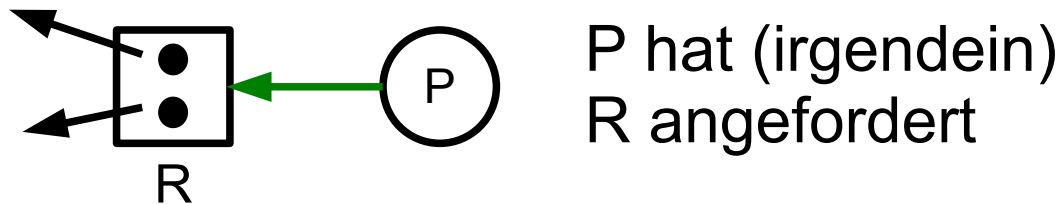


Situation, nachdem alle  
Philosophen ihre rechte Gabel  
aufgenommen haben



# Ressourcen-Zuordnungs- Graph (3)

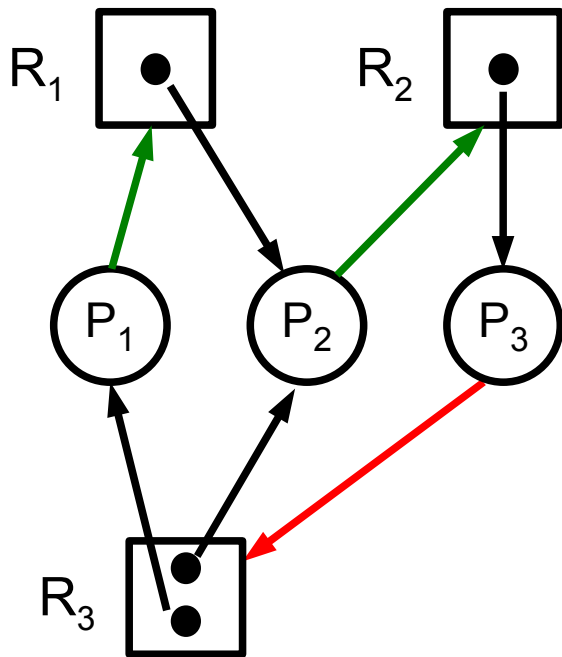
- Variante für Ressourcen, die mehrfach vorkommen können



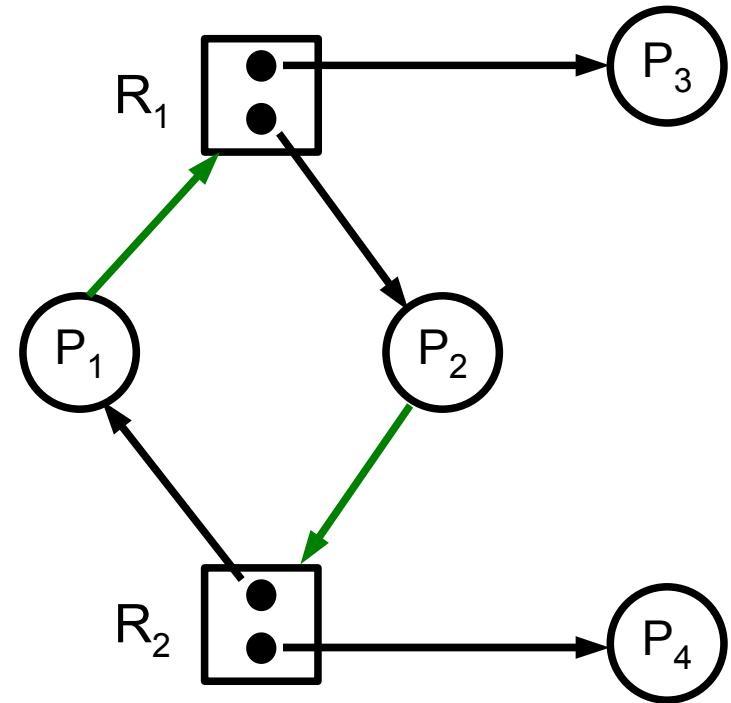


# Ressourcen-Zuordnungs-Graph (4)

- 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)

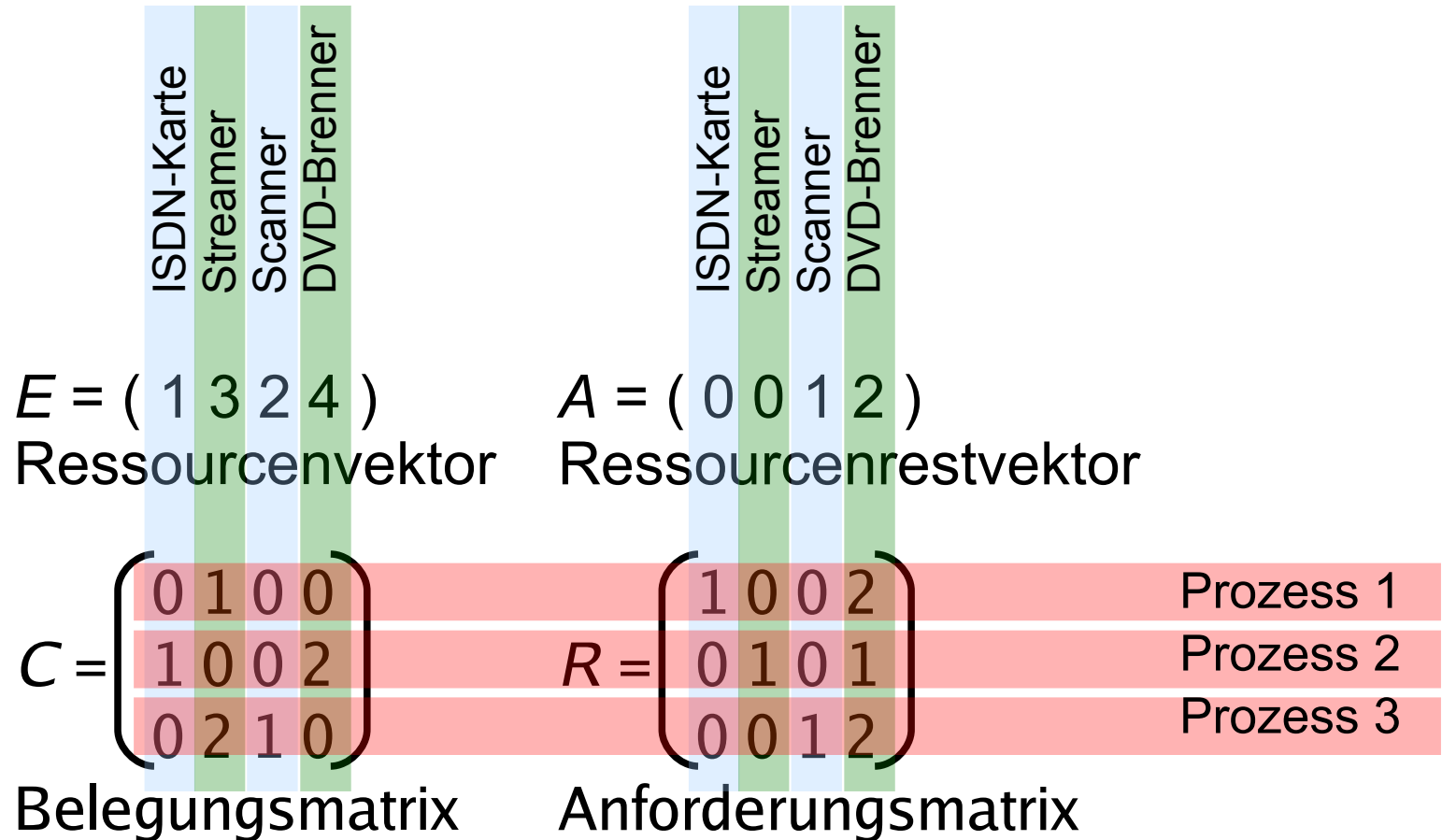
- Idee: Deadlocks zunächst zulassen
- System regelmäßig auf Vorhandensein von Deadlocks überprüfen und diese dann abstellen
- Nutzt drei Datenstrukturen:
  - Belegungsmatrix
  - Ressourcenrestvektor
  - Anforderungsmatrix

# Deadlock-Erkennung (detection) (2)

-Vermeidung (avoidance)  
-Verhinderung (prevention)

- $n$  Prozesse  $P_1, \dots, P_n$
- $m$  Ressourcentypen  $R_1, \dots, R_m$   
Vom Typ  $R_i$  gibt es  $E_i$  Ressourcen-Instanzen ( $i=1, \dots, m$ )  
→ **Ressourcenvektor**  $E = (E_1 \ E_2 \ \dots \ E_m)$
- **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

- Beispiel:



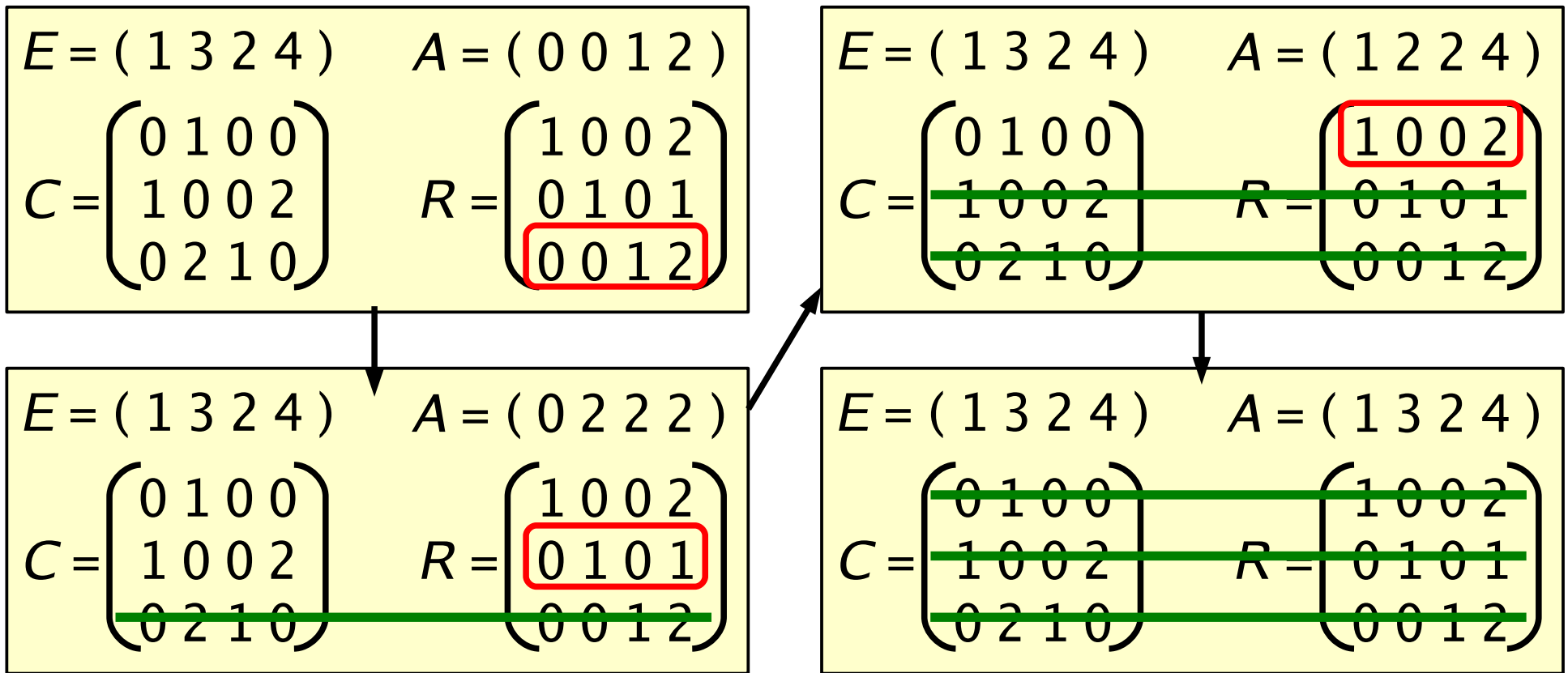
## Algorithmus

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:  
$$A := A + C_i \text{ (} i\text{-te Zeile von } C \text{)}$$
Markiere den Prozess – er ist nicht Teil eines Deadlocks
4. Weiter mit Schritt 1

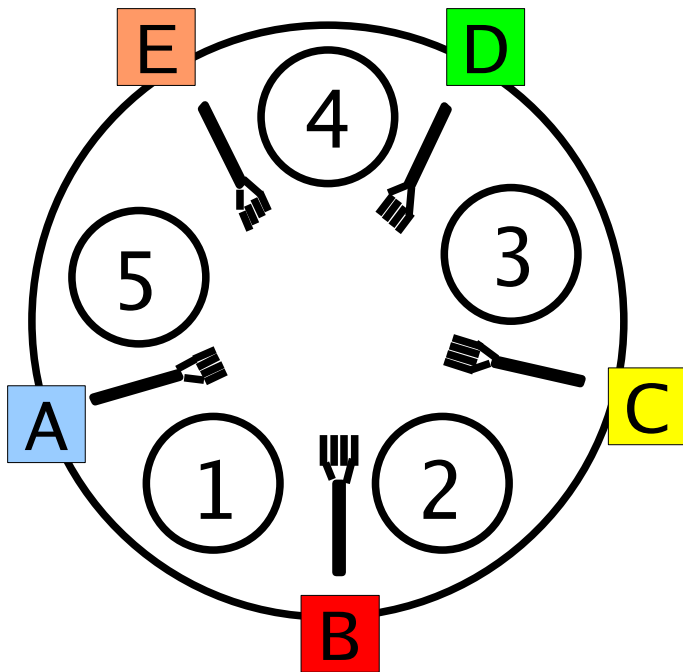
# Deadlock-Erkennung (detection) (5)

-Vermeidung (avoidance)  
-Verhinderung (prevention)

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



## Beispiel (5 Philosophen)



	A	B	C	D	E
$E =$	1	1	1	1	1
$A =$	0	0	0	0	0
$C =$	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
$R =$	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

- 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 Ressourcenforderungen 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 €)
<del>K1: leiht</del>	<del>500 € (-100 €)</del>
<del>K3: leiht</del>	<del>600 € (-200 €)</del>

(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  $P_1 \dots P_n$ ,  $m$  Ressourcentypen  $R_1 \dots R_m$   
mit je  $E_i$  Ressourcen-Instanzen ( $i=1, \dots, m$ )  
→ **Ressourcenvektor  $E = (E_1 \ E_2 \ \dots \ E_m)$**
  - **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  
(siehe Algorithmus auf Folie E-29)

## Banker-Algorithmus (6) – Beispiel

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

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

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

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



# Deadlock-Vermeidung (avoidance) (9)

1

$$E = (1057) \quad A' = (230)$$

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

4

$$E = (1057) \quad A' = (753)$$

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

2

$$E = (1057) \quad A' = (532)$$

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

5

$$E = (1057) \quad A' = (1055)$$

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

3

$$E = (1057) \quad A' = (743)$$

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

6

$$E = (1057) \quad A' = (1057)$$

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

OK!

-Erkennung

(detection)

-Vermeidung

(avoidance)

**Deadlock-Verhinderung**

**(prevention)**

**(1)**

## 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)

-Erkennung

(detection)

-Vermeidung

(avoidance)

**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?)

-Erkennung

(detection)

-Vermeidung

(avoidance)

**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)

-Erkennung

(detection)

-Vermeidung

(avoidance)

**Deadlock-Verhinderung**

**(prevention)**

**(4)**

### **3. Ununterbrechbarkeit der Ressourcen**

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

-Erkennung

(detection)

-Vermeidung

(avoidance)

Deadlock-Verhinderung

(prevention)

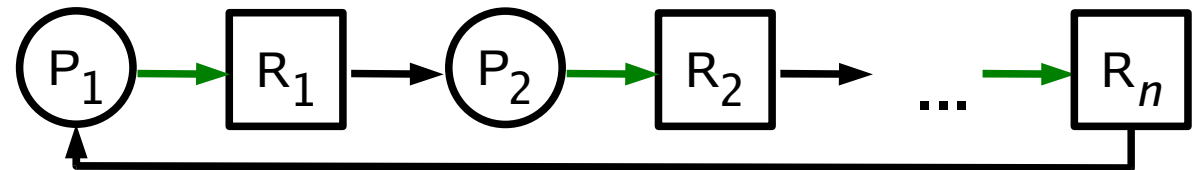
(5)

## 4. Zyklisches Warten (1)

- Ressourcen durchnummerieren
  - $ord: \mathbf{R} = \{R_1, \dots, R_n\} \rightarrow \mathbb{N}$ ,  $ord(R_i) \neq ord(R_j)$  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 Zyklus auch  $ord(R_n) < ord(R_1)$ ,  
daraus folgt  $ord(R_1) < ord(R_1)$ : Widerspruch

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