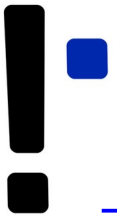


Betriebssysteme 1

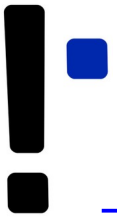
SS 2020

Prof. Dr.-Ing. Hans-Georg Eßer
Fachhochschule Südwestfalen

Foliensatz D:

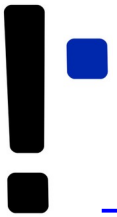
- Deadlocks

V2.0, 2020/05/22



Deadlocks – Gliederung

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

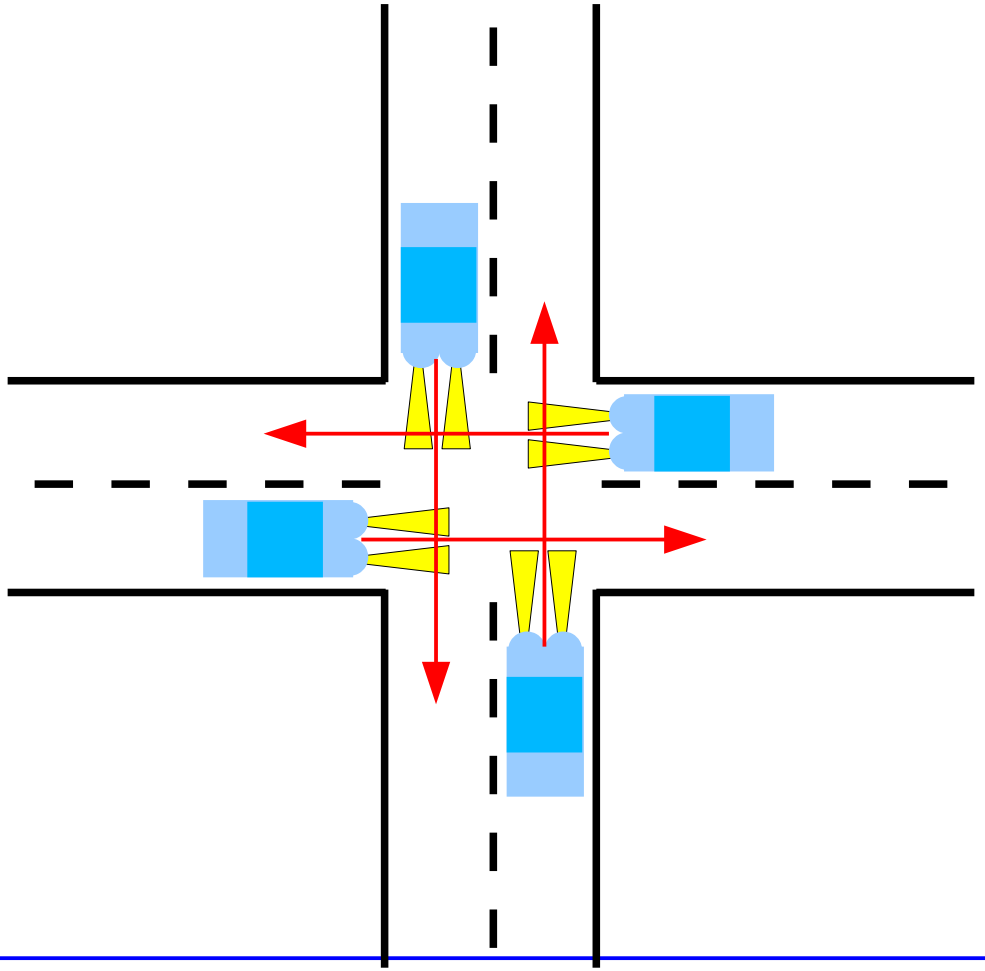


Was ist ein Deadlock?

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

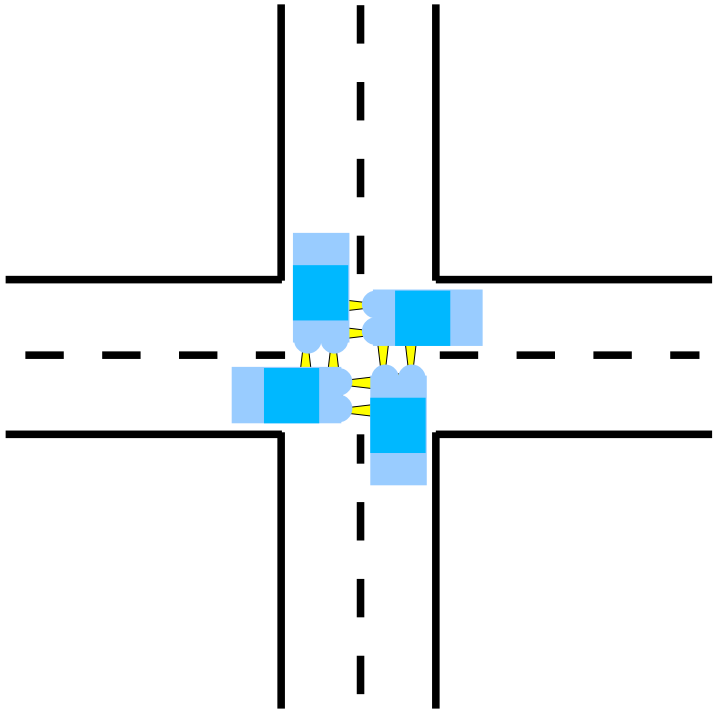
Deadlock: Rechts vor Links (1)

- Der Klassiker: Rechts-vor-Links-Kreuzung

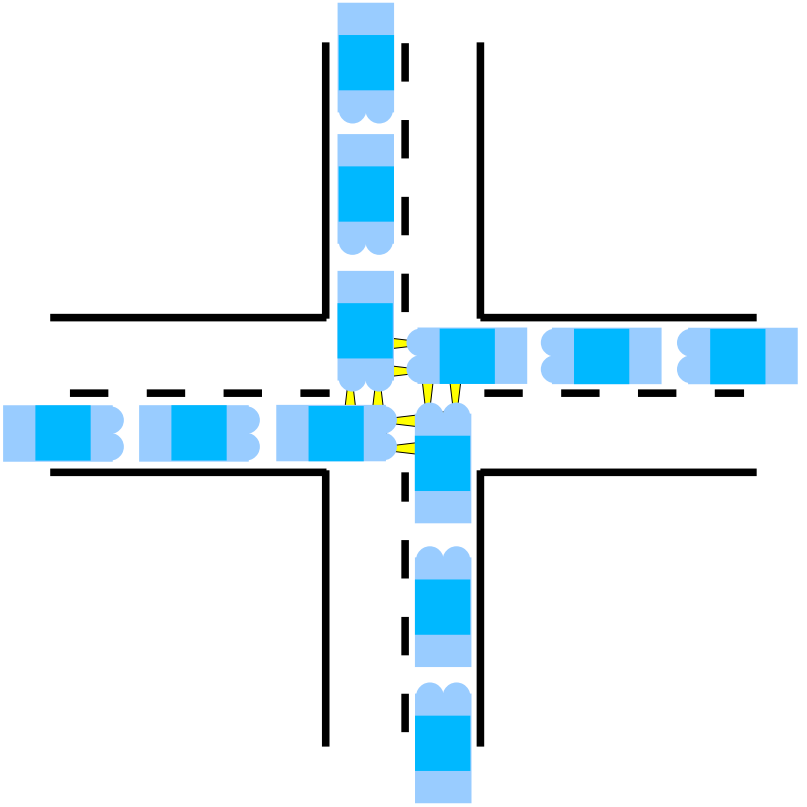


Wer darf fahren?
Potenzieller Deadlock

Deadlock: Rechts vor Links (2)

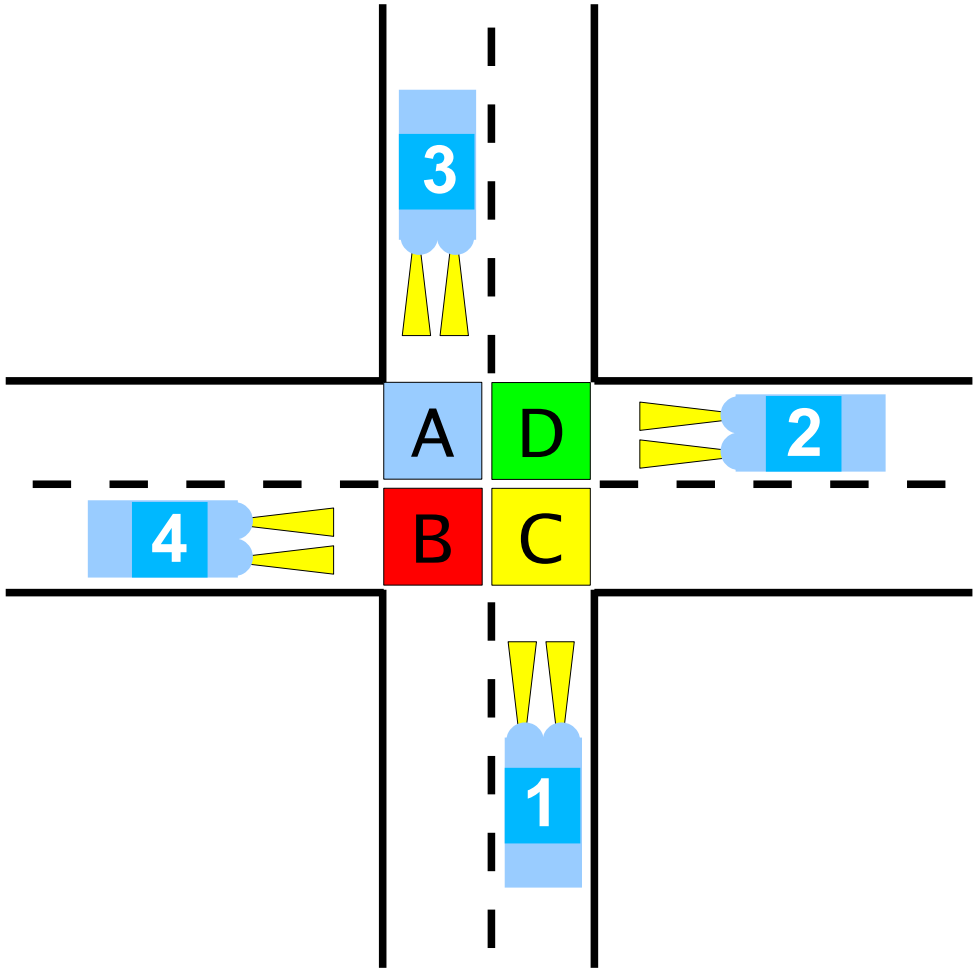


Deadlock, aber behebbar: eines oder mehrere Autos können zurücksetzen



Deadlock, nicht behebbar: beteiligte Autos können nicht zurücksetzen

Deadlock: Rechts vor Links (3)



Analyse:

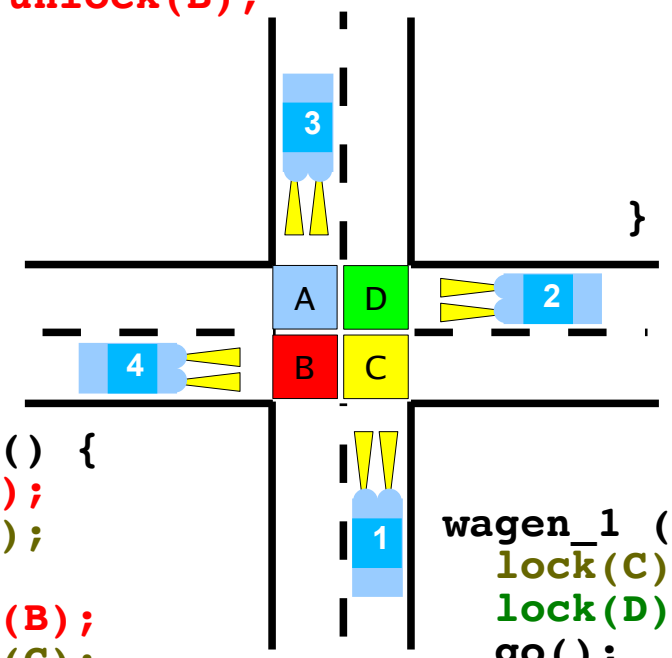
Kreuzungsbereich besteht aus vier Quadranten A, B, C, D

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);
}
```

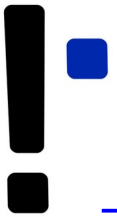



```
wagen_4 () {
  lock(B);
  lock(C);
  go();
  unlock(B);
  unlock(C);
}
```

```
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);
```

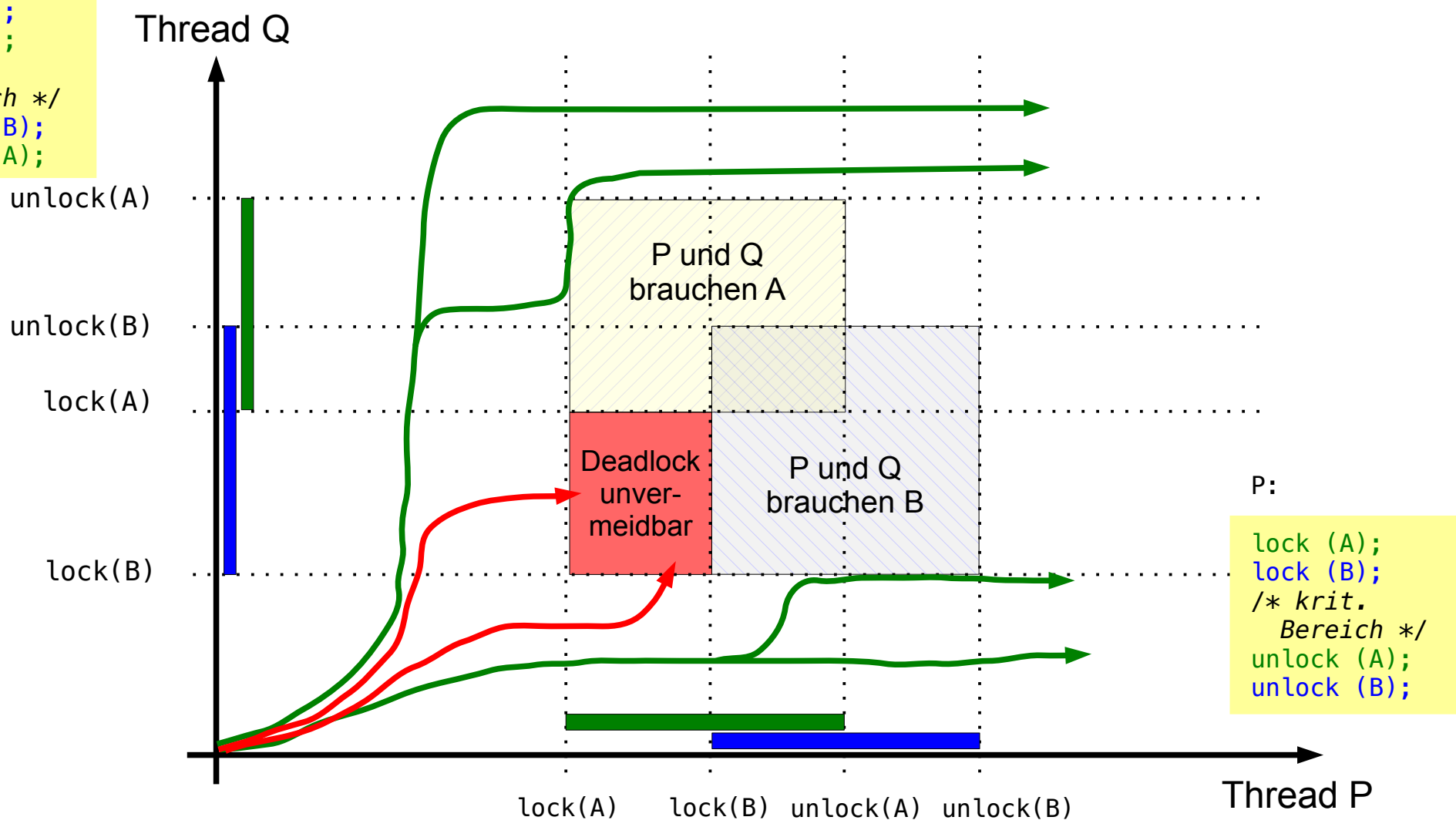
Problematische Reihenfolge:

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

Deadlock: kleinstes Beispiel (2)

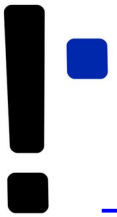
Q:

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



P:

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



Deadlock: kleinstes Beispiel (3)

- 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);
```

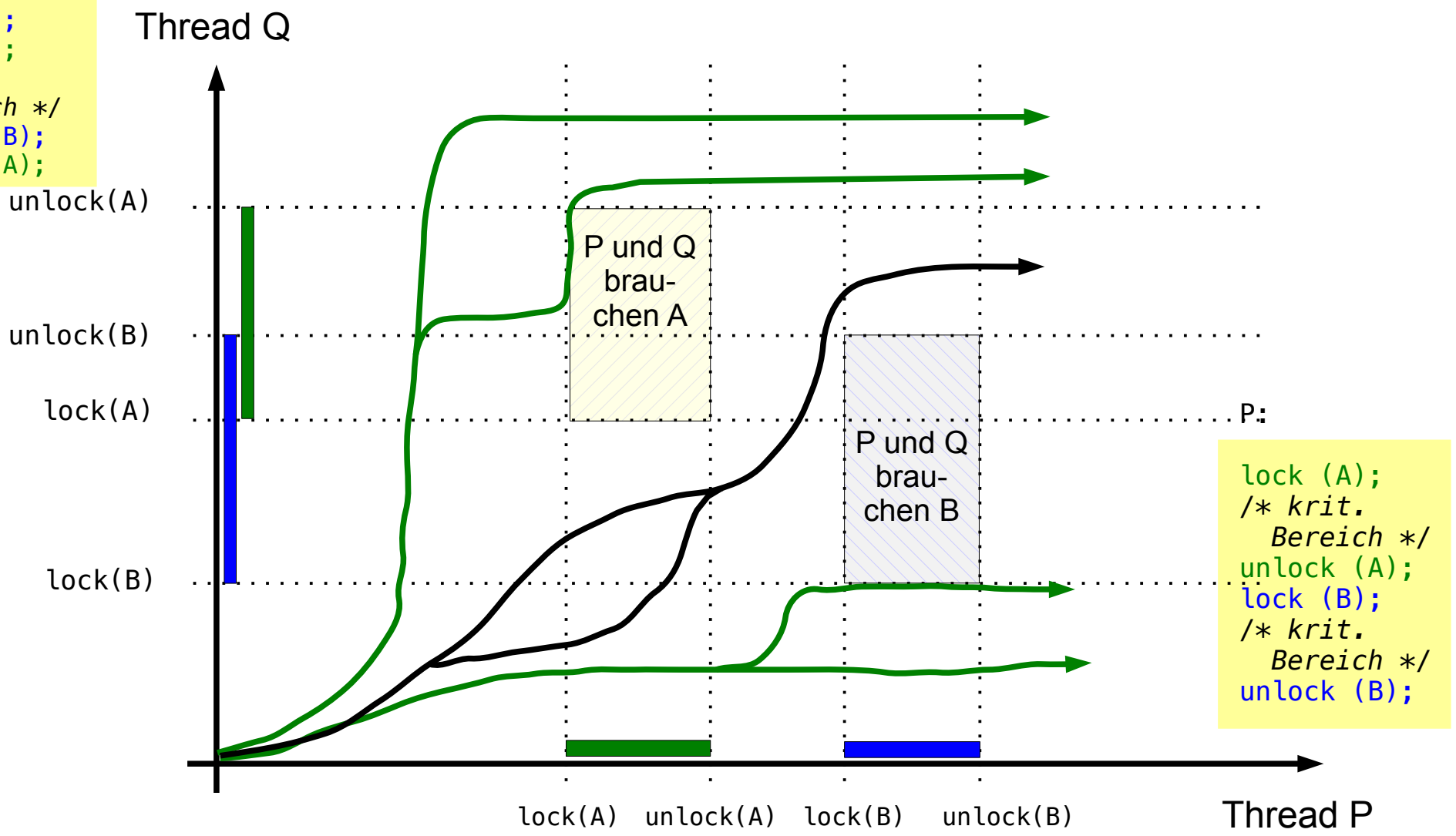
Jetzt kann kein Deadlock mehr auftreten

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

Deadlock: kleinstes Beispiel (4)

Q:

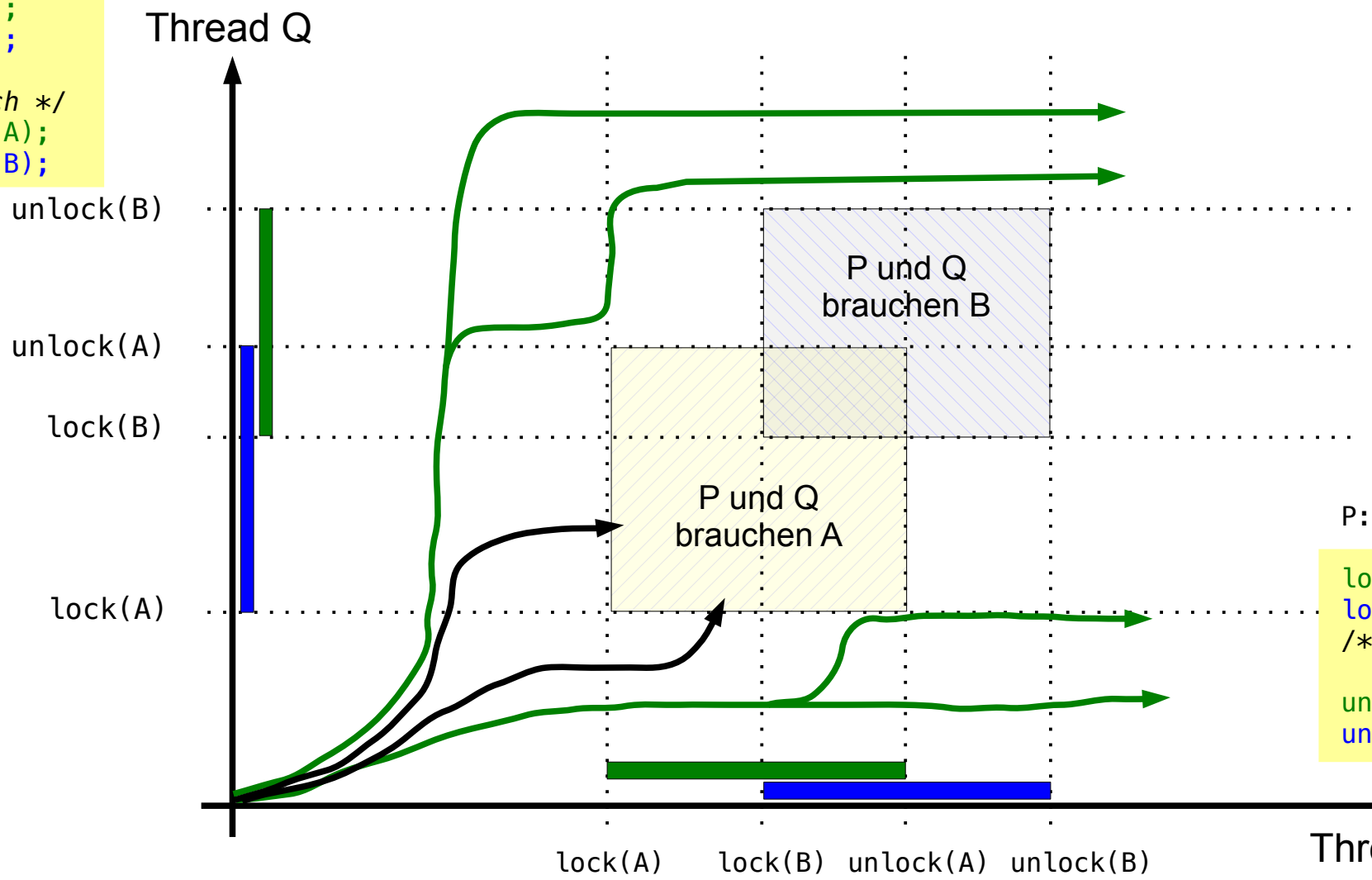
```
lock (B);
lock (A);
/* krit.
  Bereich */
unlock (B);
unlock (A);
```



Deadlock: kleinstes Beispiel (5)

Q:

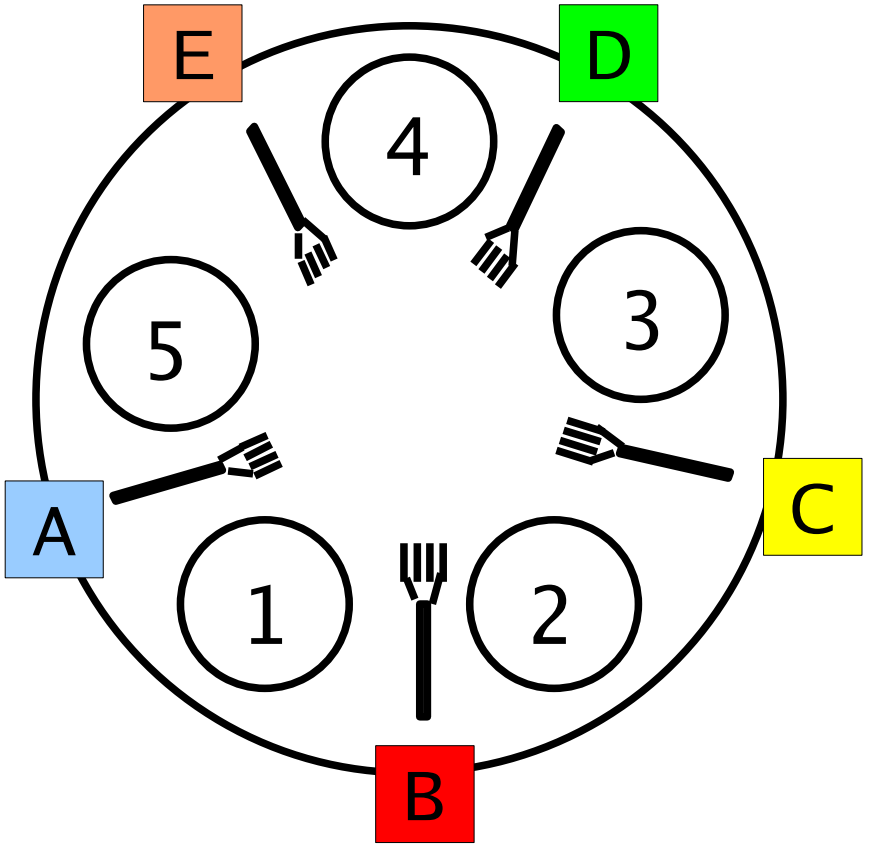
```
lock (A);
lock (B);
/* krit.
  Bereich */
unlock (A);
unlock (B);
```



P:

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

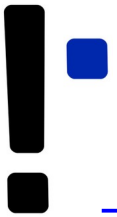
Fünf-Philosophen-Problem



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



Deadlock-Bedingungen (1)

1. **Gegenseitiger Ausschluss (mutual exclusion)**

   Ressource ist exklusiv: Es kann stets nur ein Prozess darauf zugreifen

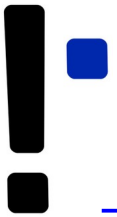
2. **Hold and Wait (besitzen und warten)**

   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



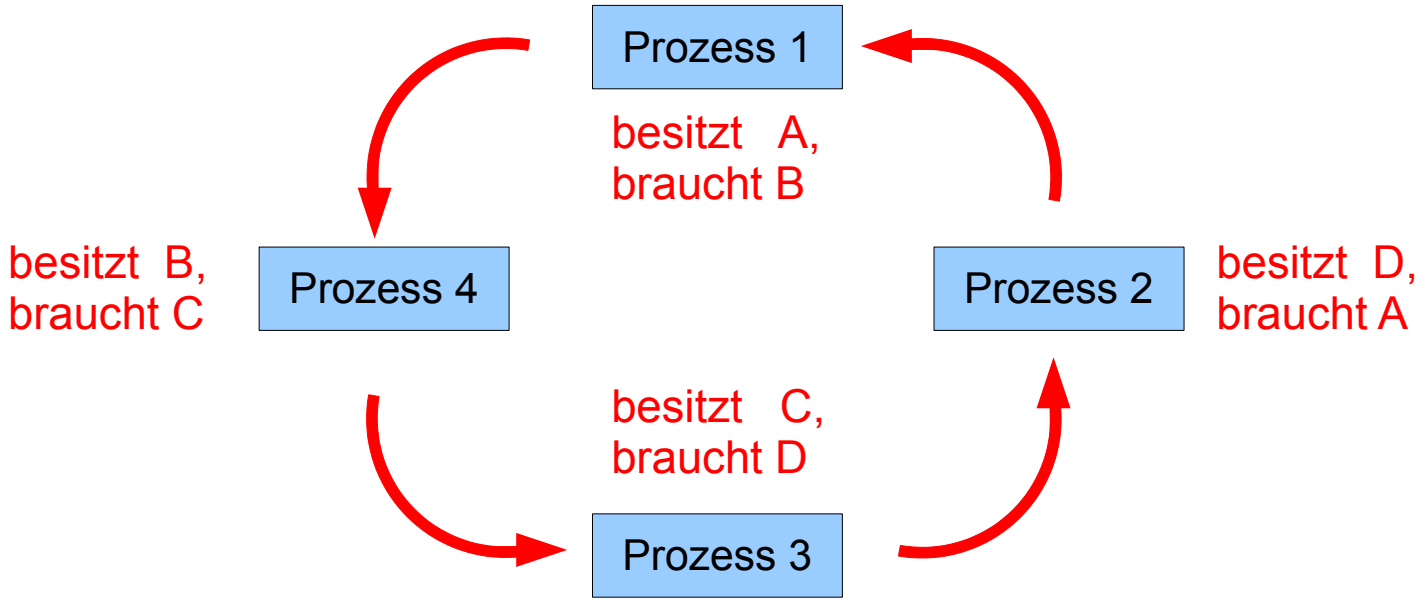
Deadlock-Bedingungen (2)

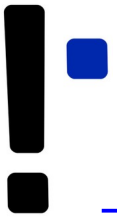
- (1) bis (3) sind **notwendige** Bedingungen für einen Deadlock
- (1) bis (3) sind aber auch „wünschenswerte“ Eigenschaften eines Betriebssystems, denn:
  - gegenseitiger Ausschluss ist nötig für korrekte Synchronisation
  - Hold & Wait ist nötig, wenn Prozesse exklusiven Zugriff auf mehrere Ressourcen 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





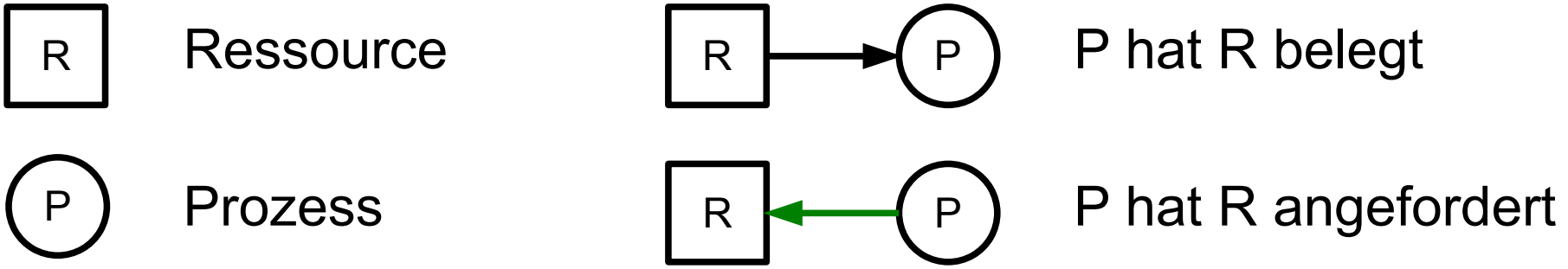
Deadlock-Bedingungen (4)

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

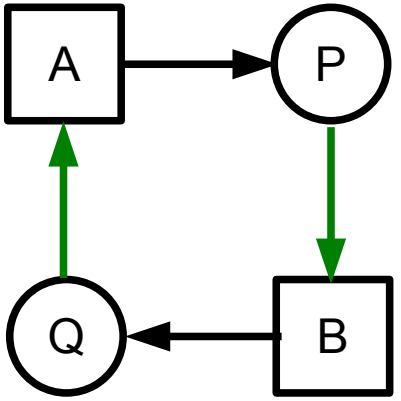
- (1) bis (4) sind **notwendige und hinreichende** Bedingungen für einen Deadlock
- Das zyklische Warten (4) (und dessen Unauflösbarkeit) sind Konsequenzen aus (1) bis (3)
- (4) ist der erfolgversprechendste Ansatzpunkt, um Deadlocks aus dem Weg zu gehen

Ressourcen-Zuordnungs-Graph (1)

- Belegung und (noch unerfüllte) Anforderung grafisch darstellen:

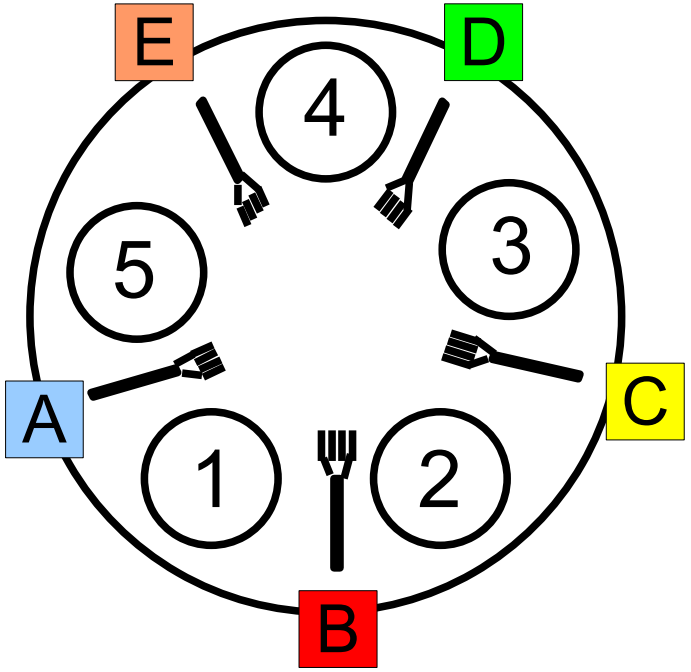


- P, Q aus Minimalbeispiel:
- Deadlock = Kreis im Graph

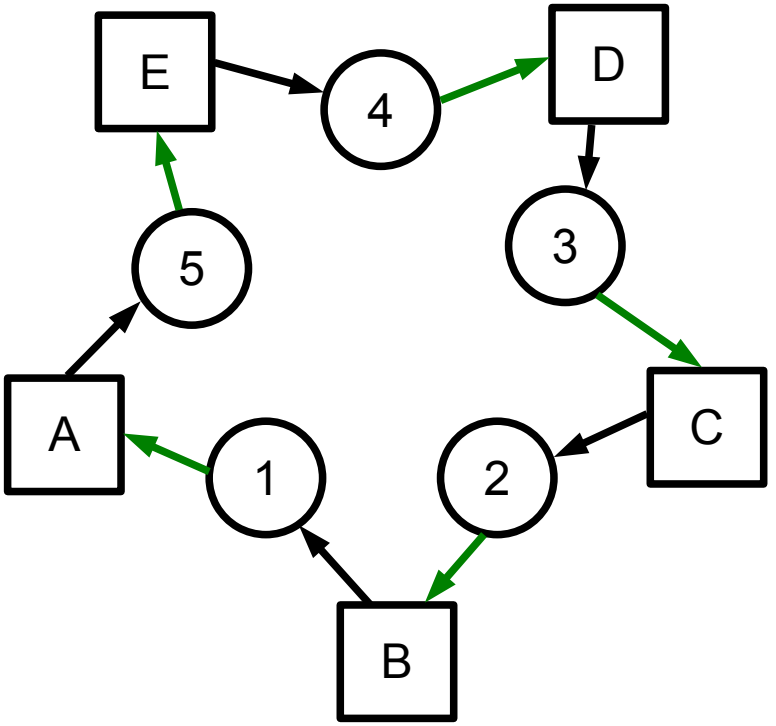


Ressourcen-Zuordnungs-Graph (2)

Philosophen-Beispiel

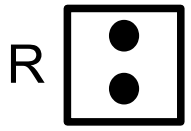


Situation, nachdem alle Philosophen ihre rechte Gabel aufgenommen haben



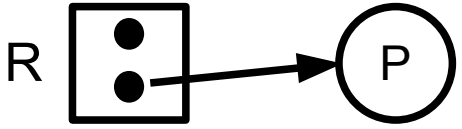
Ressourcen-Zuordnungs-Graph (3)

- Variante für Ressourcen, die mehrfach vorkommen können

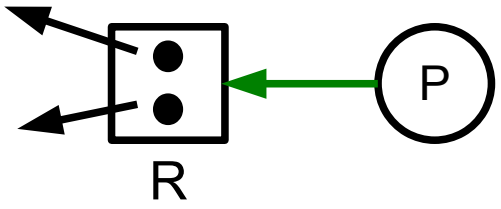


Ressource
(mit zwei Instanzen)

Prozess



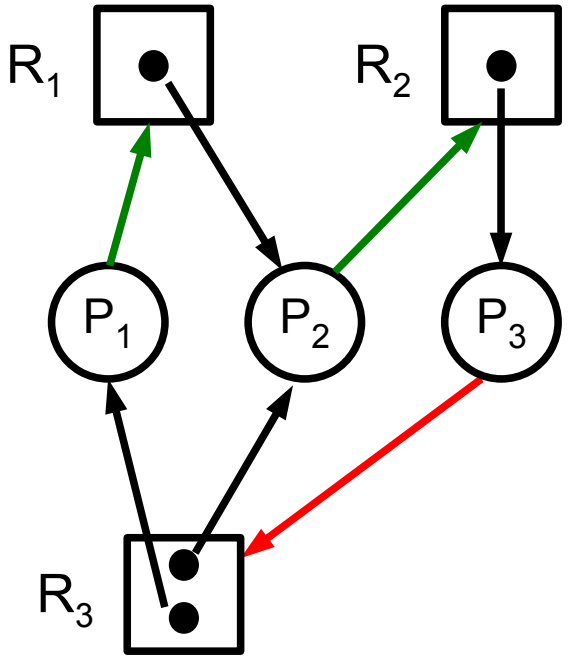
P hat (ein bestimmtes)
R belegt



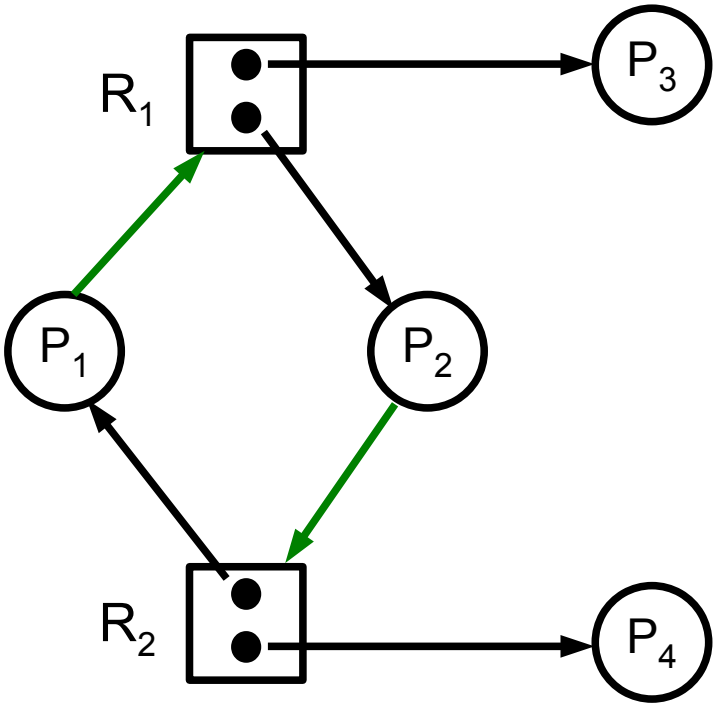
P hat (irgendein)
R angefordert

Ressourcen-Zuordnungs-Graph (4)

- Beispiele mit mehreren Instanzen

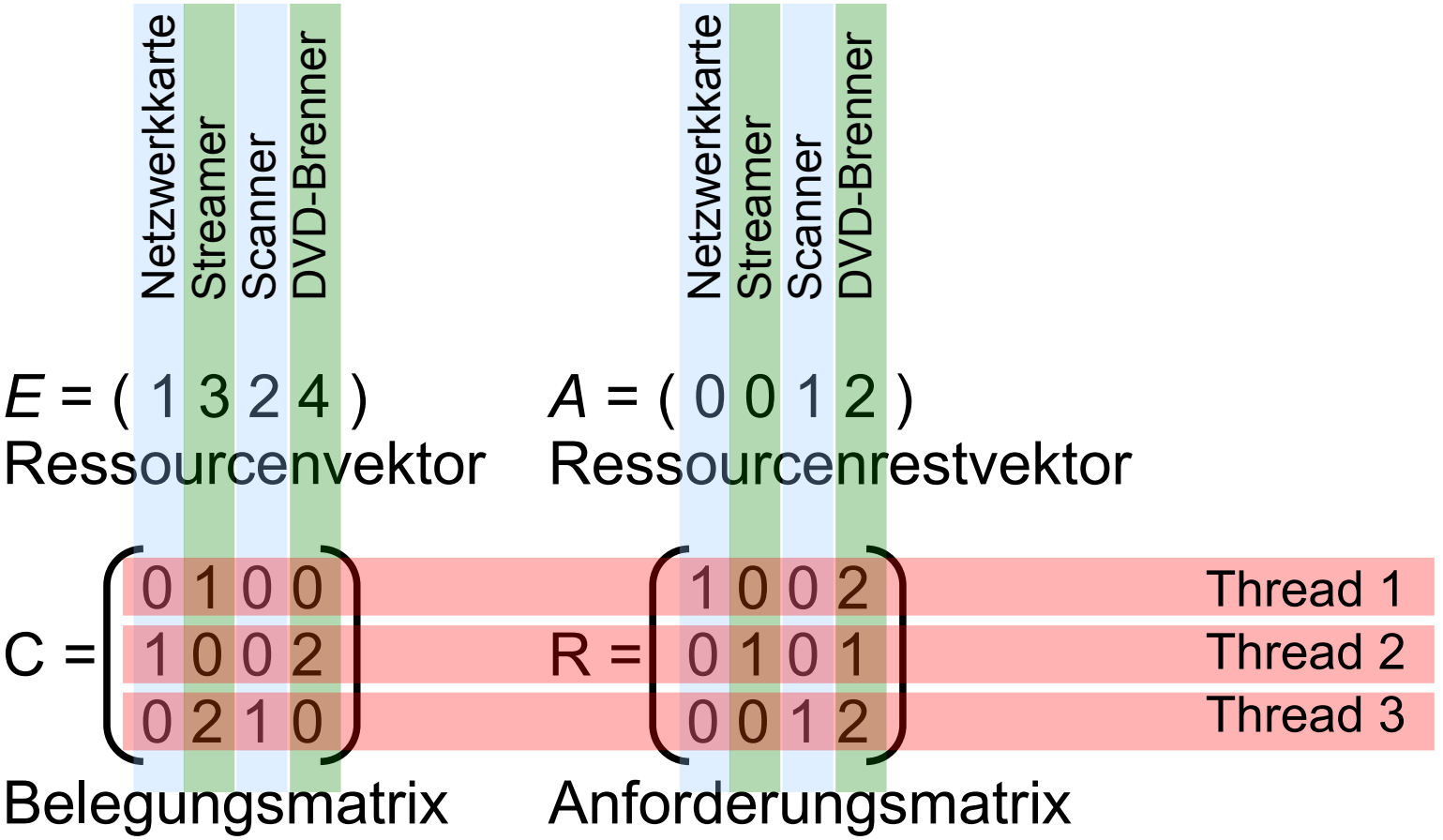


Mit roter Kante ($P_3 \rightarrow R_3$) gibt es einen Deadlock (ohne nicht)



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

Mehrfach-Ressourcen: Matrixverfahren (1)



Mehrfach-Ressourcen: Matrixverfahren (2)

1.

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

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

2.

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

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

3.

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

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

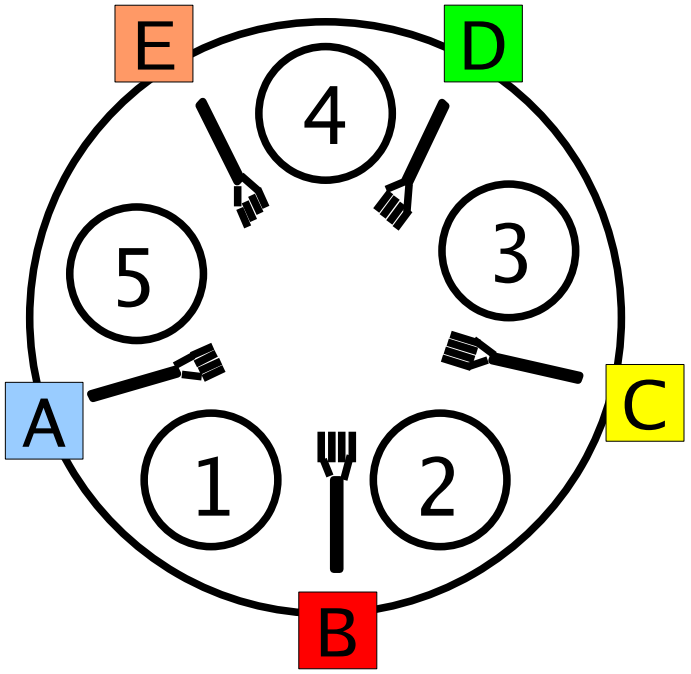
4.

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

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

Sonderfall mit Einfach-Ressourcen

Fünf-Philosophen-Problem



$$E = (\,1\;1\;1\;1\;1\,) \qquad A = (\,0\;0\;0\;0\;0\,)$$

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