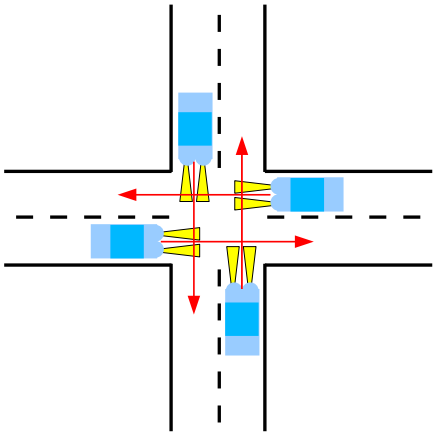
7. Deadlocks (1)

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 kann freigegeben werden, 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

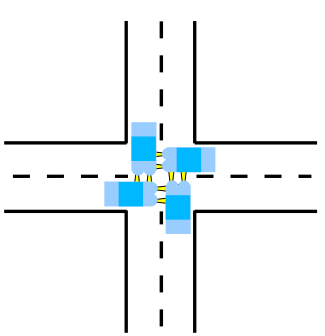
Deadlock: Rechts vor Links (1)

- Der Klassiker: Rechts-vor-Links-Kreuzung

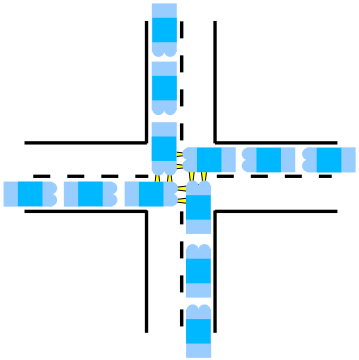


Wer darf fahren?
Potenzieller Deadlock

Deadlock: Rechts vor Links (2)



Deadlock, aber behebbar: eines oder mehrere Autos können zurücksetzen

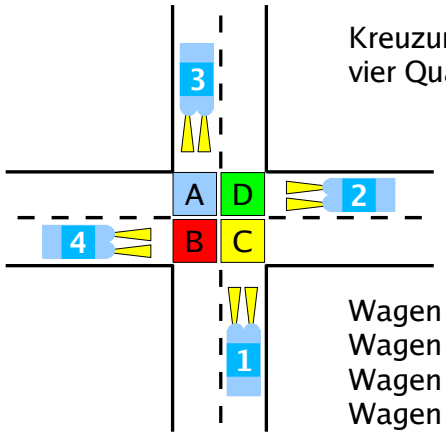


Deadlock, nicht behebbar: beteiligte Autos können nicht zurücksetzen

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

Prozess Q

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

/* krit. Bereich */

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

Problematische Reihenfolge:

P: lock(A)
Q: lock(B)
P: lock(B) <- blockiert
Q: lock(A) <- blockiert

Deadlock: kleinstes Beispiel (2)

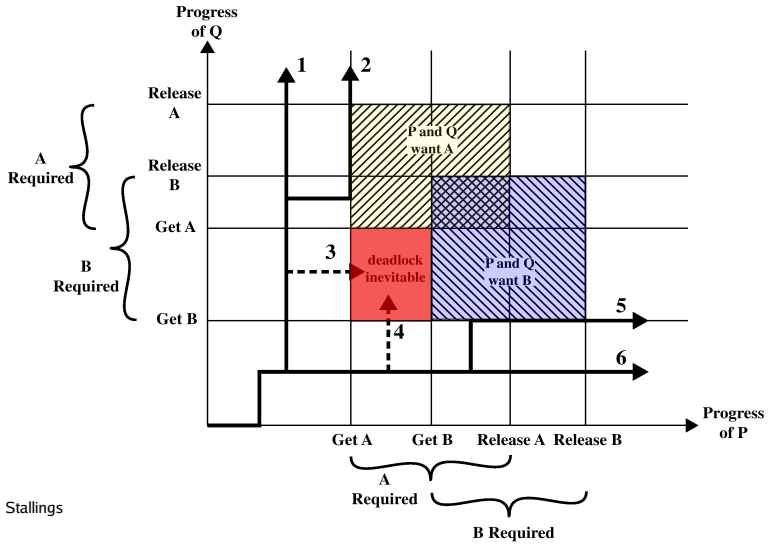


Bild: Stallings

Deadlock: kleinstes Beispiel (3)

- Problem beheben:
  P benötigt die Locks nicht gleichzeitig

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

- Jetzt kann kein Deadlock mehr auftreten

Deadlock: kleinstes Beispiel (4)

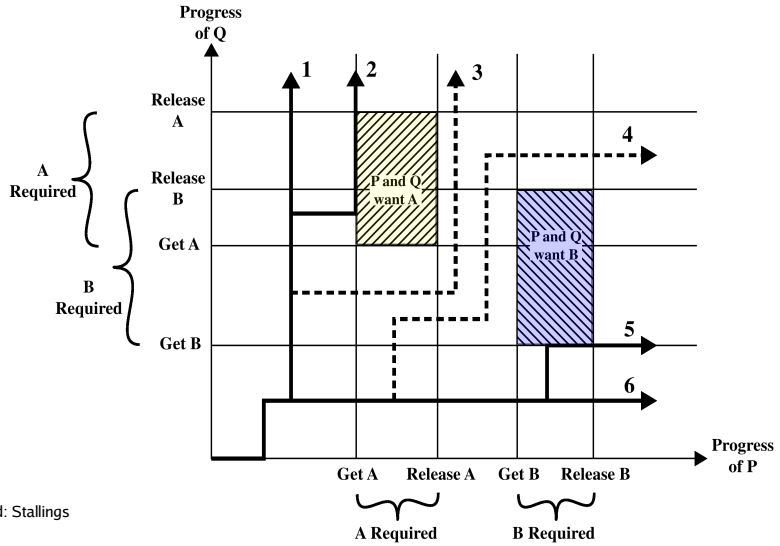
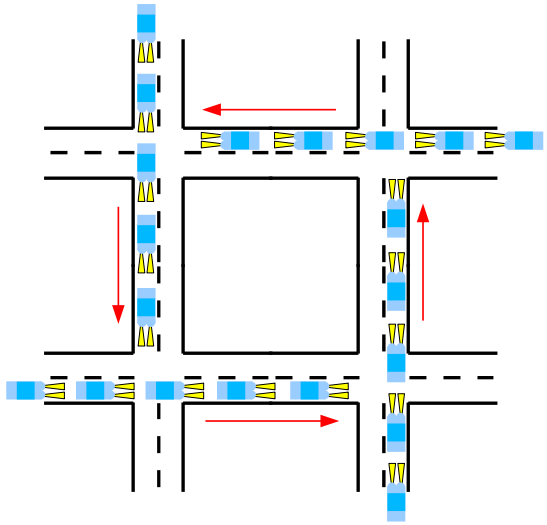


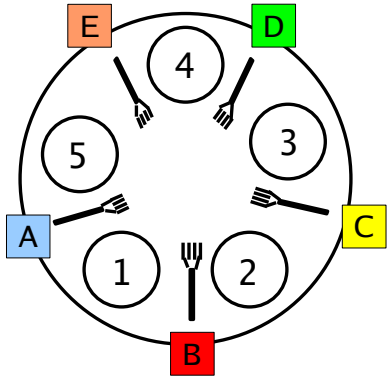
Bild: Stallings

Deadlock: Grid Lock



- Der Klassiker:
  Rechts-vor-Links-Kreuzung

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

Gliederung

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

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 wg. 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)

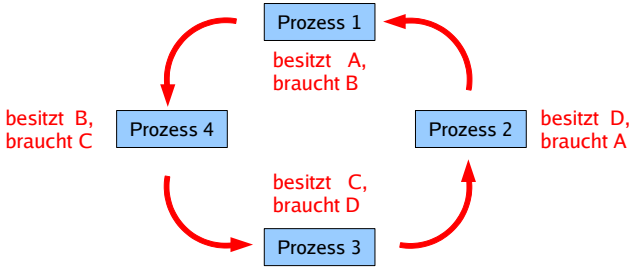
1. **Gegenseitiger Ausschluss (mutual exclusion)**
   - Ressource ist exklusiv: Es kann stets nur ein Prozess darauf zugreifen
2. **Hold and Wait (besitzen und warten)**
   - Ein Prozess ist bereits im Besitz einer oder mehrerer Ressourcen, und
   - er kann noch weitere anfordern
3. **Ununterbrechbarkeit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

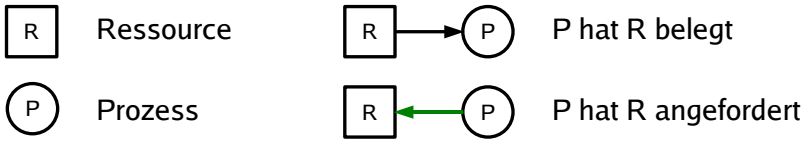


Deadlock-Bedingungen (4)

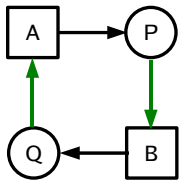
- (1) bis (4) sind **notwendige und hinreichende** Bedingungen für einen Deadlock
- Das zyklische Warten (4) (und dessen Unauflösbarkeit) sind Konsequenzen aus (1) bis (3)
- (4) ist der erfolgversprechendste Ansatzpunkt, um Deadlocks aus dem Weg zu gehen

Ressourcen-Zuordnungs-Graph (1)

- Belegung und (noch unerfüllte) Anforderung grafisch darstellen:

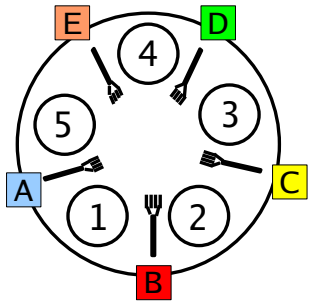


- P, Q aus Minimalbeispiel:
- Deadlock = Kreis im Graph

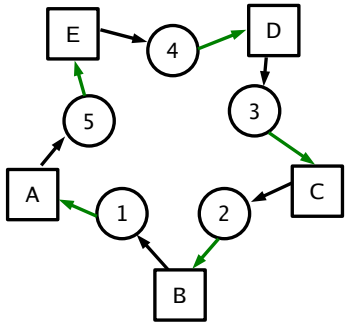


Ressourcen-Zuordnungs-Graph (2)

Philosophen-Beispiel

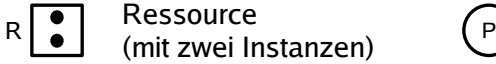


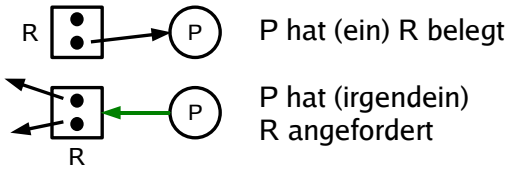
Situation, nachdem alle Philosophen ihre rechte Gabel aufgenommen haben



Ressourcen-Zuordnungs-Graph (3)

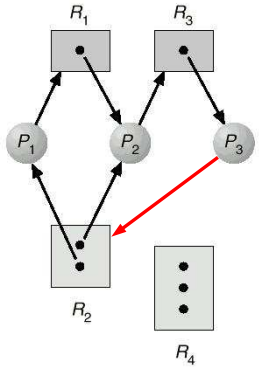
- Variante für Ressourcen, die mehrfach vorkommen können



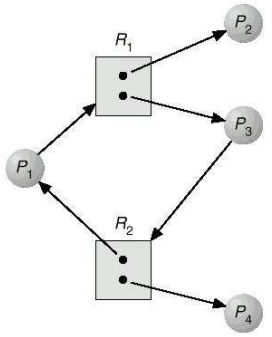


Ressourcen-Zuordnungs-Graph (4)

- Beispiele mit mehreren Instanzen



Mit roter Kante ($P_3 \rightarrow R_2$) gibt es einen Deadlock (ohne nicht)



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

Bilder: Silberschatz/Galvin

Deadlock-Erkennung (1)

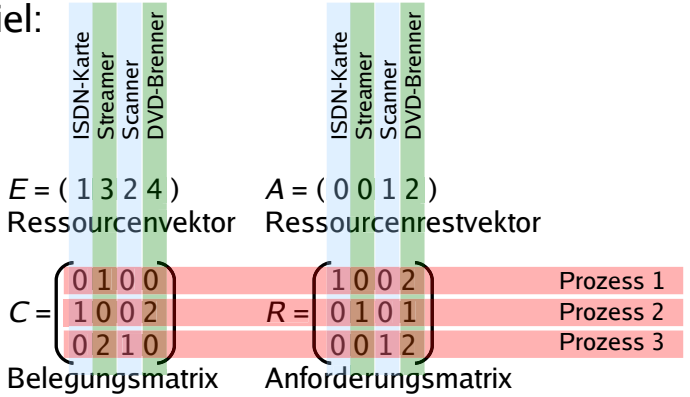
- Idee: Deadlocks zunächst zulassen
- System regelmäßig auf Vorhandensein von Deadlocks überprüfen und diese dann abstellen
- Nutzt drei Datenstrukturen:
  - Belegungsmatrix
  - Ressourcenrestvektor
  - Anforderungsmatrix

Deadlock-Erkennung (2)

- n Prozesse P_1, ... , P_n
- m Ressourcentypen R_1, ... , R_m
  Vom Typ R_i gibt es E_i Ressourcen-Instanzen (i=1,...,m)
  -> **Ressourcenvektor** $E = (E_1\ E_2\ ...\ E_m)$
- **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 (3)

- Beispiel:



Deadlock-Erkennung (4)

Algorithmus

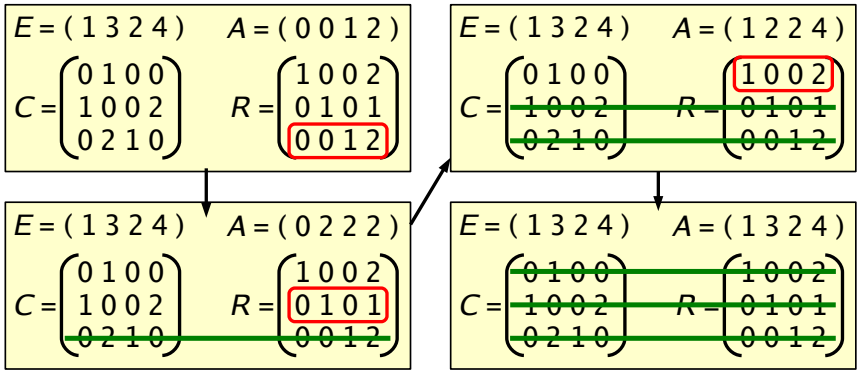
1. Suche einen unmarkierten Prozess P_i, dessen verbleibende Anforderungen vollständig erfüllbar sind, also $R_{ij} \leq A_j$ für alle j
2. Gibt es keinen solchen Prozess, beende den Algorithmus
3. Ein solcher Prozess könnte erfolgreich abgearbeitet werden. Simuliere die Rückgabe aller belegten Ressourcen:

   $A := A+C_i$ (i-te Zeile von C)

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

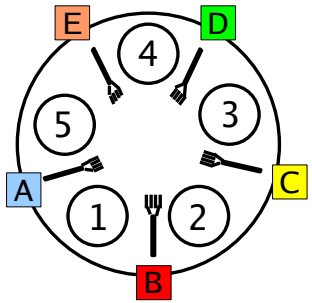
Deadlock-Erkennung (5)

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



Deadlock-Erkennung (6)

- Beispiel (5 Philosophen)



A B C D E A B C D E

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

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

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

Deadlock-Erkennung (7): 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-Vermeidung (1)

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

Deadlock-Vermeidung (2)

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!

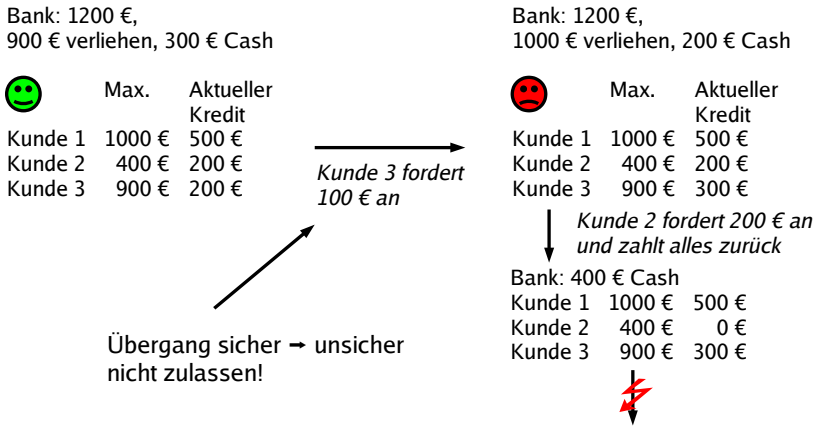
Deadlock-Vermeidung (3)

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

Deadlock-Vermeidung (4)

Banker-Algorithmus (2) – Beispiel



Deadlock-Vermeidung (5)

Banker-Algorithmus (3)

- Datenstrukturen wie bei Deadlock-Erkennung:
  - n Prozesse P_1 ... P_n, m Ressourcentypen R_1 ... R_m mit je E_i Ressourcen-Instanzen (i=1,...,m) -> **Ressourcenvektor** $E = (E_1\ E_2\ ...\ E_m)$
  - **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

Deadlock-Vermeidung (6)

Banker-Algorithmus (4)

Feststellen, ob ein Zustand sicher ist

=

Annehmen, dass alle Prozesse sofort ihre Maximalforderungen stellen, und dies auf Deadlocks überprüfen

Vorschau

Nächste Vorlesung: 17.01.2007

Deadlock-Verhinderung (Deadlock Prevention)

Probeklausur