Systeme I: Betriebssysteme

Kapitel 6 Deadlocks

Wolfram Burgard

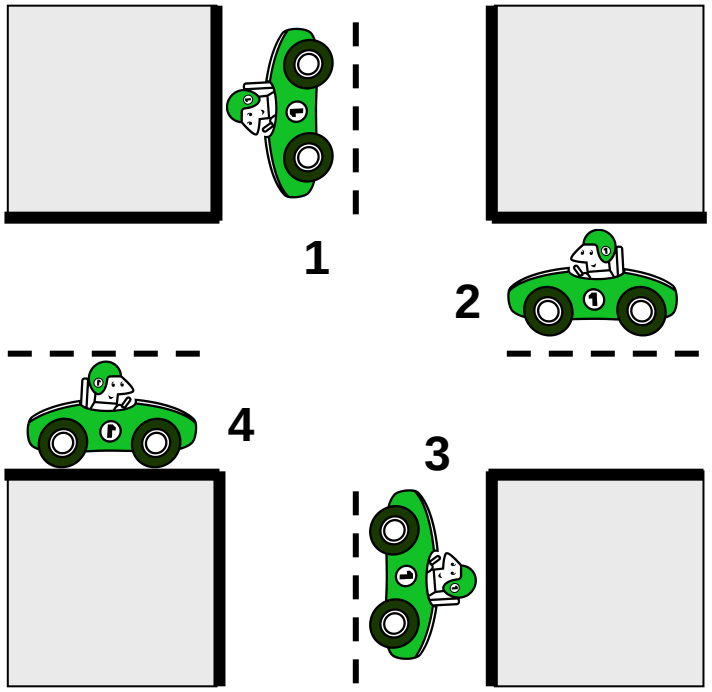
Version 13.12.2017

Inhalt Vorlesung

Verschiedene Komponenten / Konzepte von Betriebssystemen

- Dateisysteme
- Prozesse
- Nebenläufigkeit und wechselseitiger Ausschluss
- **Deadlocks**
- Scheduling
- Speicherverwaltung

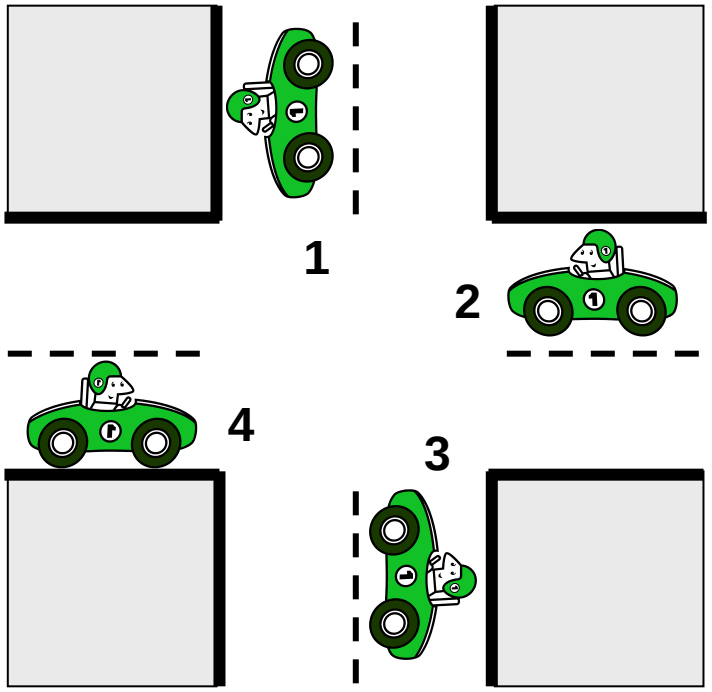
Deadlocks: Einführung (1)



Deadlocks: Einführung (1)

Eine Menge von Prozessen befindet sich in einem Deadlock, wenn jeder Prozess der Menge auf ein Ereignis wartet, das nur ein anderer Prozess der Menge auslösen kann

Beispiel:



Deadlocks: Einführung (2)

- Ressourcen, die zu einem Zeitpunkt jeweils nur ein Prozess benutzen kann
- Beispiele: Datensätze, Geräte, (Haupt-)Speichersegmente, E/A-Kanäle
- Typischerweise verlangen Prozesse auf mehrere Ressourcen alleinigen Zugriff

Deadlocks: Einführung (3)

- Die Benutzung einer Ressource besteht aus
  - Fordere Ressource an
  - Benutze die Ressource
  - Gib die Ressource frei
- Wenn Anforderung fehlschlägt, wartet der Prozess kurz und wiederholt sie dann

Deadlocks: Einführung (4)

- Idee: Ein binäres Semaphor (oder Mutex) für jede Ressource
- Bei mehreren Prozessen und Ressourcen kann es zum Deadlock kommen

Beispiel: Problemlose Ausführung

- Annahme: Exklusiver Zugriff auf Ressourcen

```
/* Prozess 1 */
…
Fordere Ressource 1 an
…
Fordere Ressource 2 an
…
Benutze beide Ressourcen
…
Gib beide Ressourcen frei
…
```

```
/* Prozess 2 */
…
Fordere Ressource 2 an
…
Fordere Ressource 1 an
…
Benutze beide Ressourcen
…
Gib beide Ressourcen frei
…
```

- Wenn Prozess 1 seine Arbeit rechtzeitig vor Anforderung von Ressource 2 von Prozess 2 beendet, tritt kein Deadlock auf.

Möglicher Deadlock

- Annahme: Exklusiver Zugriff auf Ressourcen

```
/* Prozess 1 */
...
Fordere Ressource 1 an      t1
...
Fordere Ressource 2 an      t4
...
Benutze beide Ressourcen
...
Gib beide Ressourcen frei
...
```

```
/* Prozess 2 */
...
Fordere Ressource 2 an      t2
...
Fordere Ressource 1 an      t3
...
Benutze beide Ressourcen
...
Gib beide Ressourcen frei
...
```

- Hier kommt es zu einer Deadlock-Situation!

Möglicher Deadlock

- Annahme: Exklusiver Zugriff auf Ressourcen

```
/* Prozess 1 */
...
Fordere Ressource 1 an
...
Fordere Ressource 2 an
...
Benutze beide Ressourcen
...
Gib beide Ressourcen frei
...
```

t_1

t_4

```
/* Prozess 2 */
...
Fordere Ressource 2 an
...
Fordere Ressource 1 an
...
Benutze beide Ressourcen
...
Gib beide Ressourcen frei
...
```

t_2

t_3

- Prozess 2 blockiert zum Zeitpunkt t_3, weil Ressource 1 an Prozess 1 vergeben ist
- Prozess 1 blockiert zum Zeitpunkt t_4, weil Ressource 2 an Prozess 2 vergeben ist

Hinweis

- Das Betriebssystem kann zu jedem Zeitpunkt jeden beliebigen nicht blockierten Prozess ausführen
- Streng sequentielle Ausführung ist nicht unbedingt optimal

Voraussetzungen für Ressourcen-Deadlocks (1)

- Wechselseitiger Ausschluss: Jede Ressource ist entweder verfügbar oder genau einem Prozess zugeordnet
- Besitzen und Warten: Prozesse, die schon Ressourcen reserviert haben, können noch weitere Ressourcen anfordern

Voraussetzungen für Ressourcen-Deadlocks (2)

- Kein Ressourcenentzug: Ressourcen, die einem Prozess bewilligt wurden, können nicht gewaltsam wieder entzogen werden
- Zyklisches Warten: Es gibt eine zyklische Kette von Prozessen, von denen jeder auf eine Ressource wartet, die dem nächsten Prozess in der Kette gehört

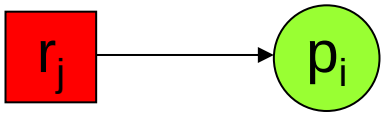
Modellierung von Ressourcenbelegungen und Ressourcenanforderungen (1)

- Belegungs-Anforderungs-Graph: Zur Erkennung von Deadlock-Situationen
- Zwei Arten von Knoten:
  - Kreise repräsentieren Prozesse p_i: 

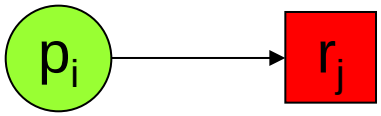
  - Quadrate repräsentieren Ressourcen r_j: 

Modellierung von Ressourcenbelegungen und Ressourcenanforderungen (2)

- Kante von einer Ressource r_j zu einem Prozess p_i: Ressource r_j wird von Prozess p_i belegt

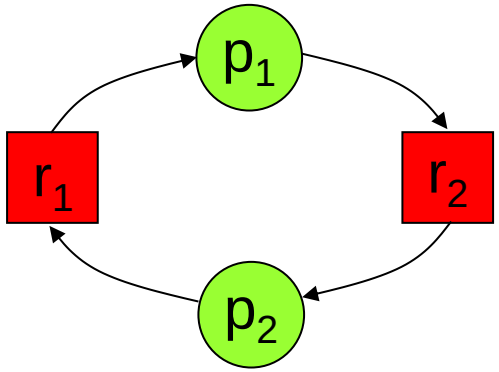


- Kante von einem Prozess p_i zu einer Ressource r_j: Prozess p_i hat Ressource r_j angefordert, aber noch nicht erhalten



Zyklen im Belegungs-Anforderungs-Graphen

- Zyklus: Wenn man von einem Knoten ausgehend über eine Folge von Kanten wieder zu dem Knoten zurückkommt



- Zyklen im Belegungs-Anforderungsgraphen repräsentieren Deadlocks!

Beispiel – Abarbeitungsfolge 1

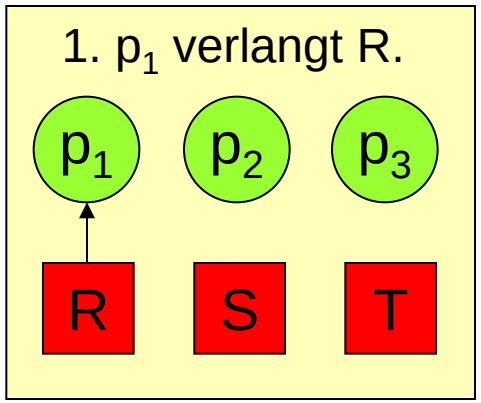
Prozess p_1: 1 Anforderung R, 4 Anforderung S, Freigabe R, Freigabe S

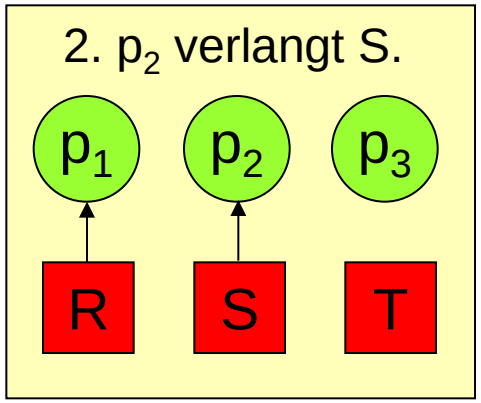
Prozess p_2: 2 Anforderung S, 5 Anforderung T, Freigabe S, Freigabe T

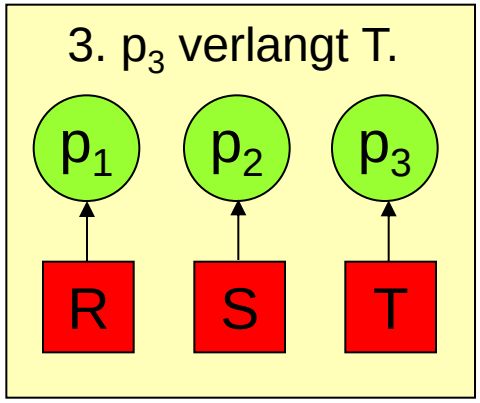
Prozess p_3: 3 Anforderung T, 6 Anforderung R, Freigabe T, Freigabe R

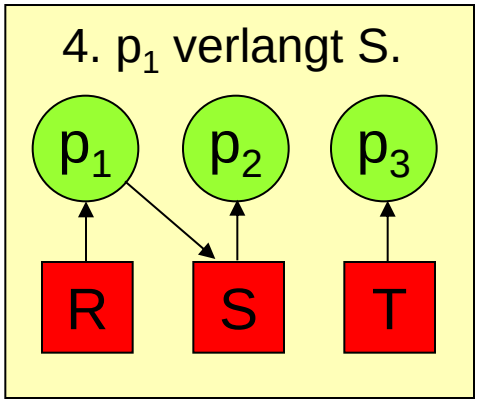
Beispiel – Abarbeitungsfolge 1

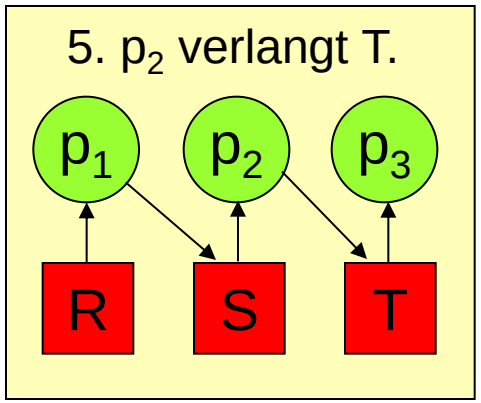
Prozess p_1: [1]Anforderung R, [4]Anforderung S, Freigabe R, Freigabe S
Prozess p_2: [2]Anforderung S, [5]Anforderung T, Freigabe S, Freigabe T
Prozess p_3: [3]Anforderung T, [6]Anforderung R, Freigabe T, Freigabe R

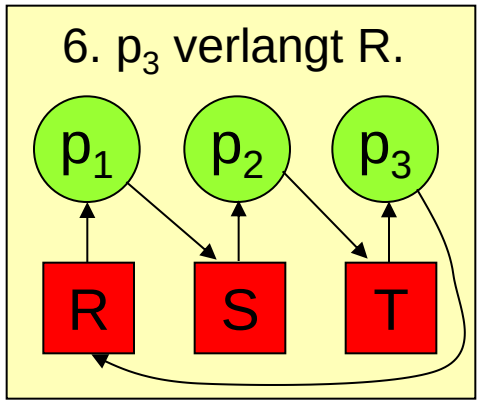












Deadlock!

Beispiel – Abarbeitungsfolge 2

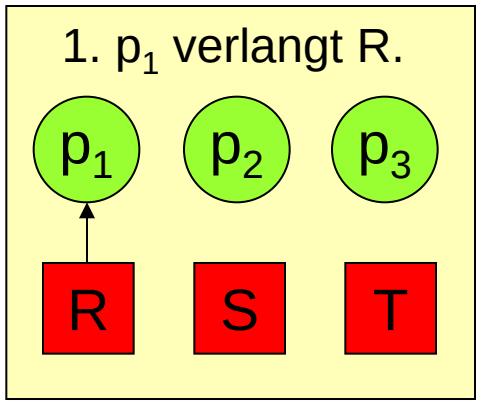
Prozess p_1: [1]Anforderung R, [3]Anforderung S, [5]Freigabe R, [6]Freigabe S

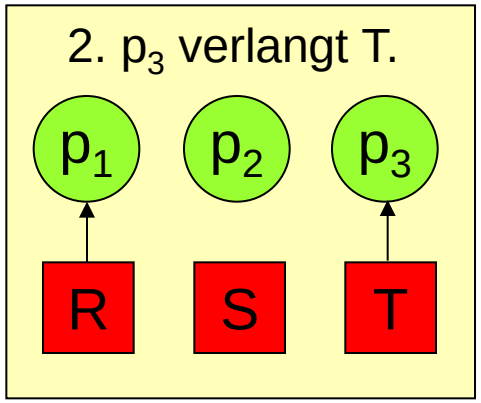
Prozess p_2: Anforderung S, Anforderung T, Freigabe S, Freigabe T

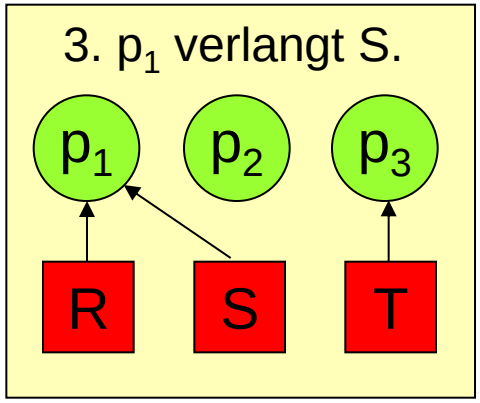
Prozess p_3: [2]Anforderung T, [4]Anforderung R, Freigabe T, Freigabe R

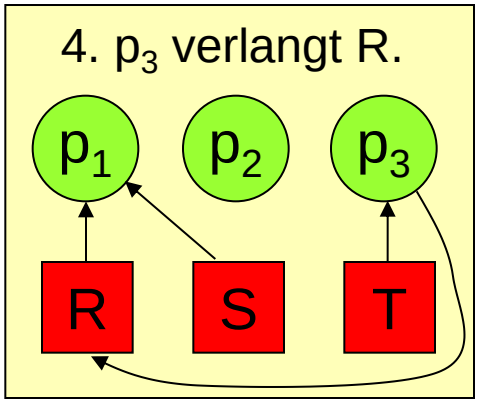
Beispiel – Abarbeitungsfolge 2

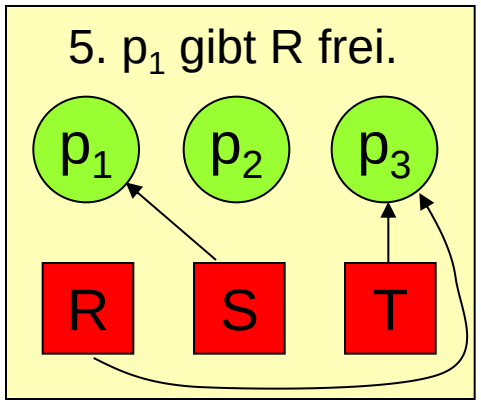
Prozess p_1: [1]Anforderung R, [3]Anforderung S, [5]Freigabe R, [6]Freigabe S
Prozess p_2: Anforderung S, Anforderung T, Freigabe S, Freigabe T
Prozess p_3: [2]Anforderung T, [4]Anforderung R, Freigabe T, Freigabe R

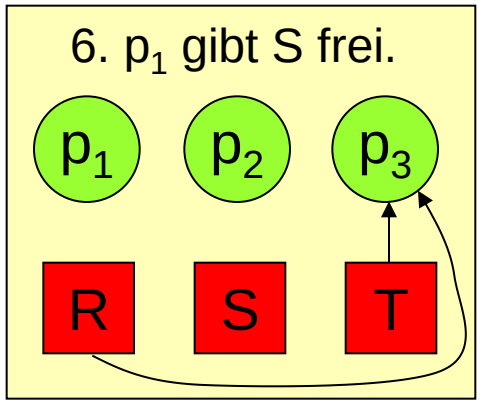












kein Deadlock!

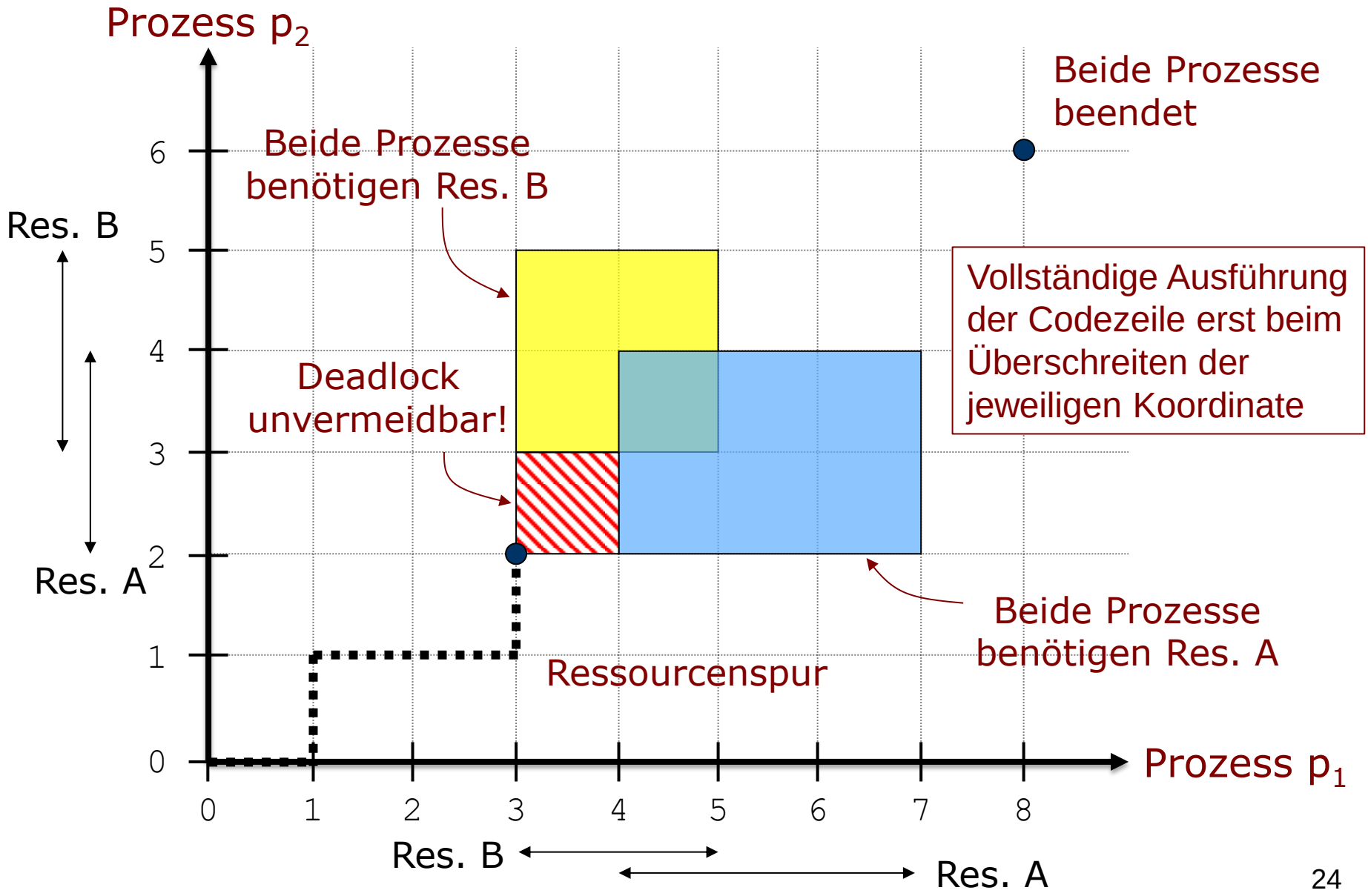
Ressourcendiagramm

- Diagramm zur Visualisierung der Ressourcenanforderungen über die Zeit
- Dient zur Erkennung von potentiellen Deadlocks
- Zeitachsen: Prozessfortschritt
- Ressourcenspur: Eine mögliche Ausführungsreihenfolge der Anweisungen (nur nach rechts oder nach oben)
- Enthält eine Rechteck für jedes Zeitintervall, in dem eine Ressource von zwei Prozessen beansprucht werden kann
- Wir suchen eine Ausführungsreihenfolge, die jedes Rechteck umgeht

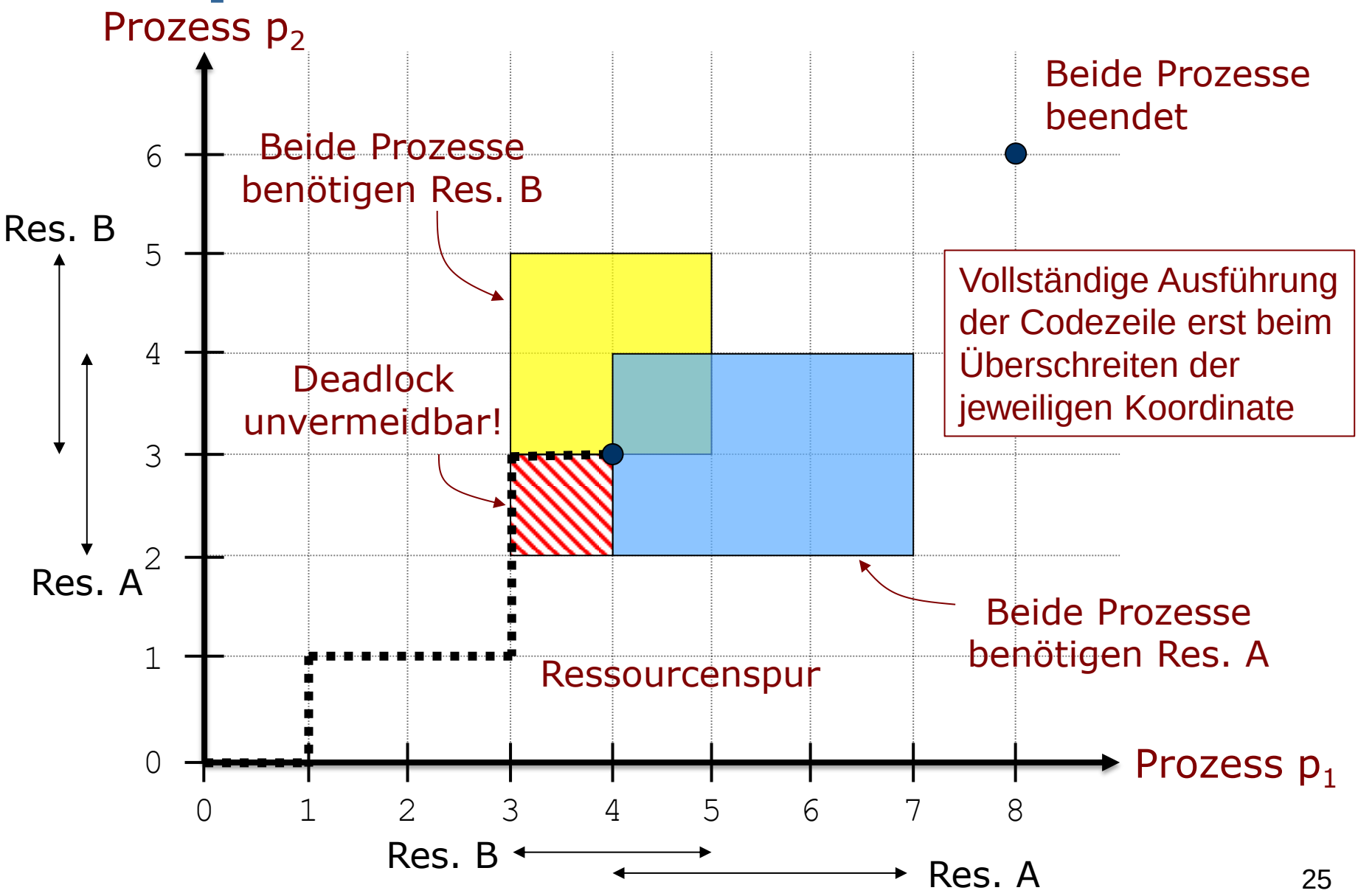
Ressourcendiagramm

Prozess 1	Prozess 2
1: …	1: …
2: …	2: Anforderung A
3: Anforderung B	3: Anforderung B
4: Anforderung A	4: Freigabe A
5: Freigabe B	5: Freigabe B
6: …	
7: Freigabe A	

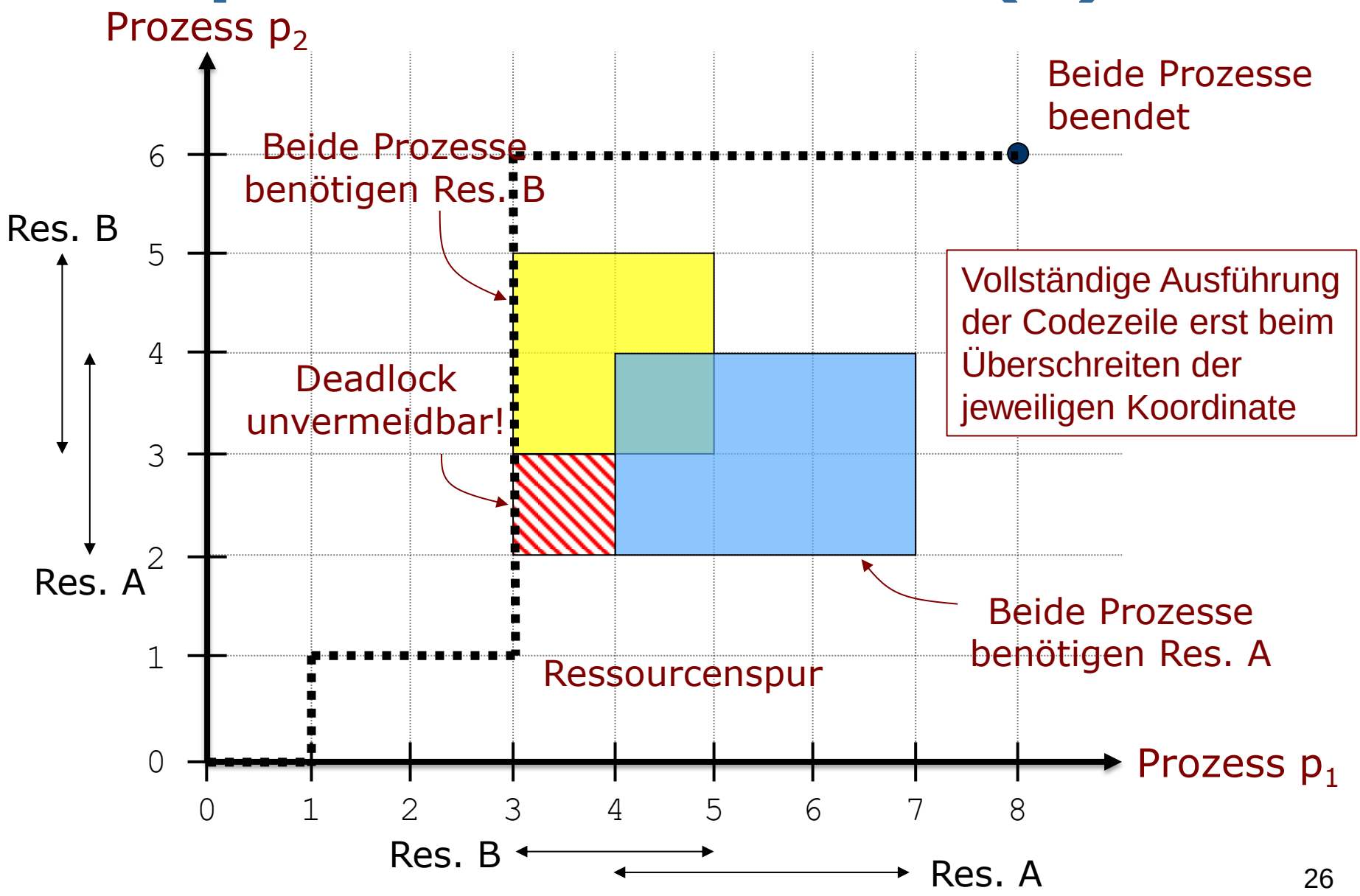
Ressourcendiagramm



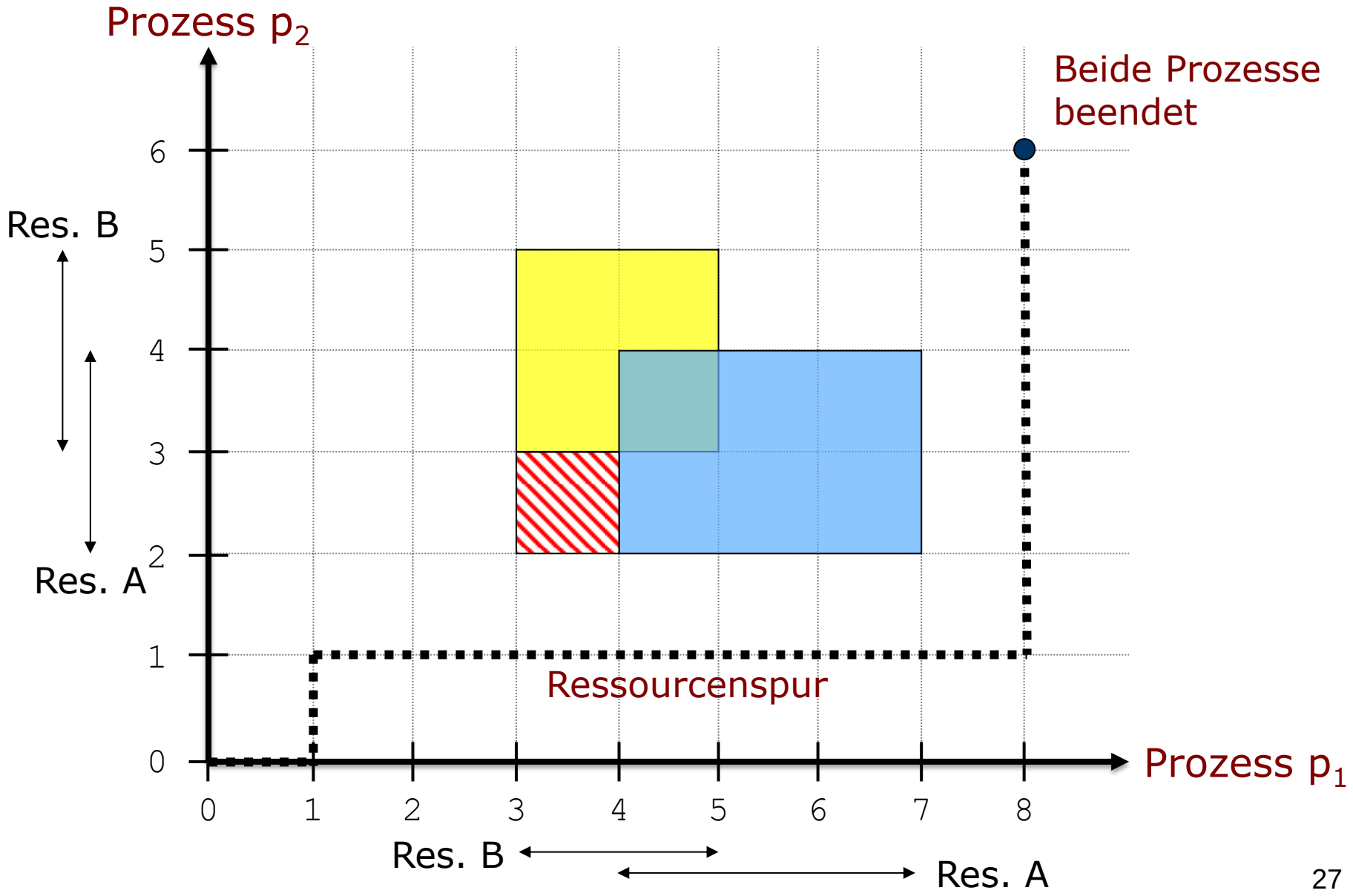
Beispiel Deadlock



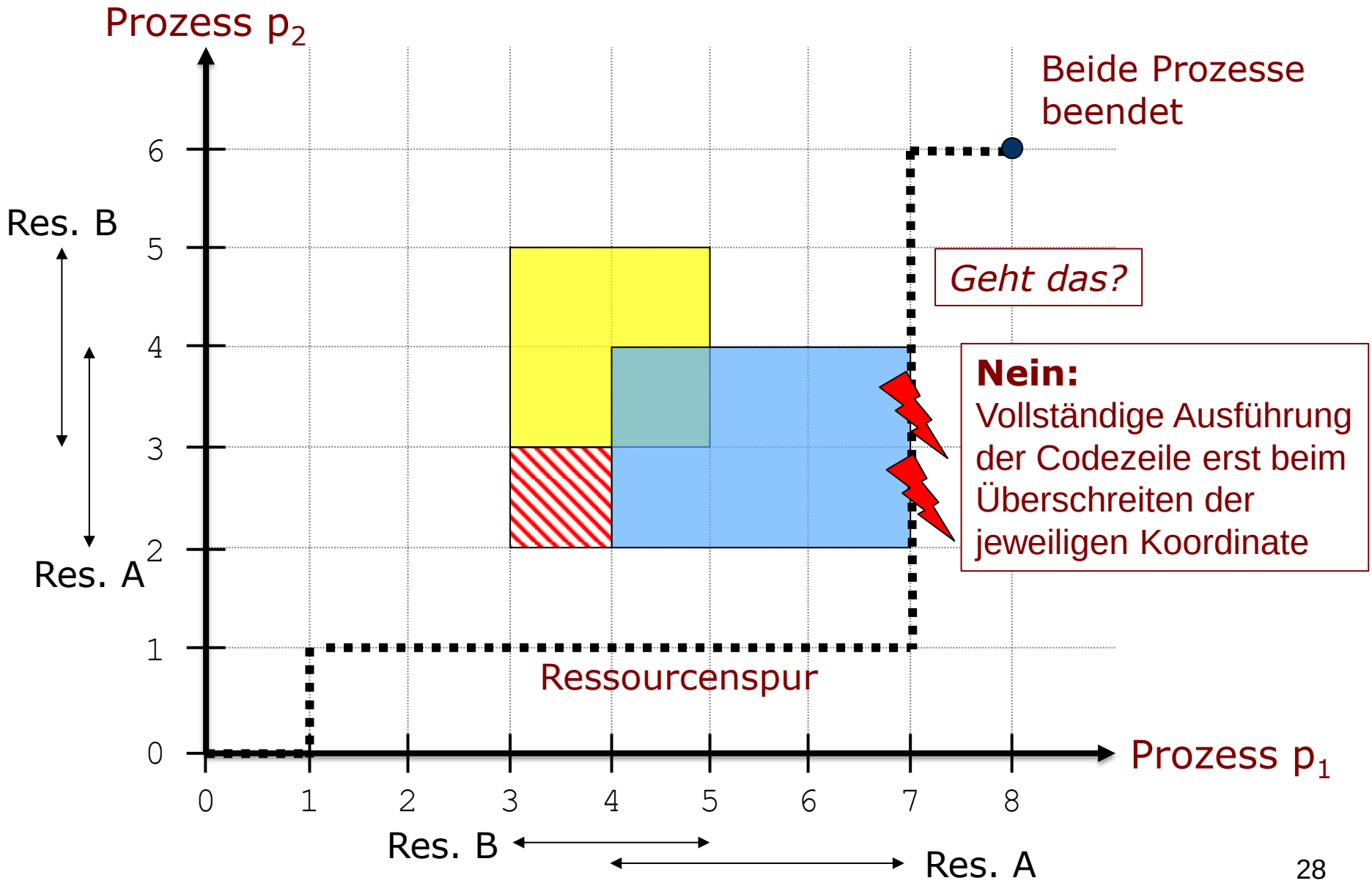
Beispiel ohne Deadlock (1)



Beispiel ohne Deadlock (2)



Beispiel (ungültige Reihenfolge)



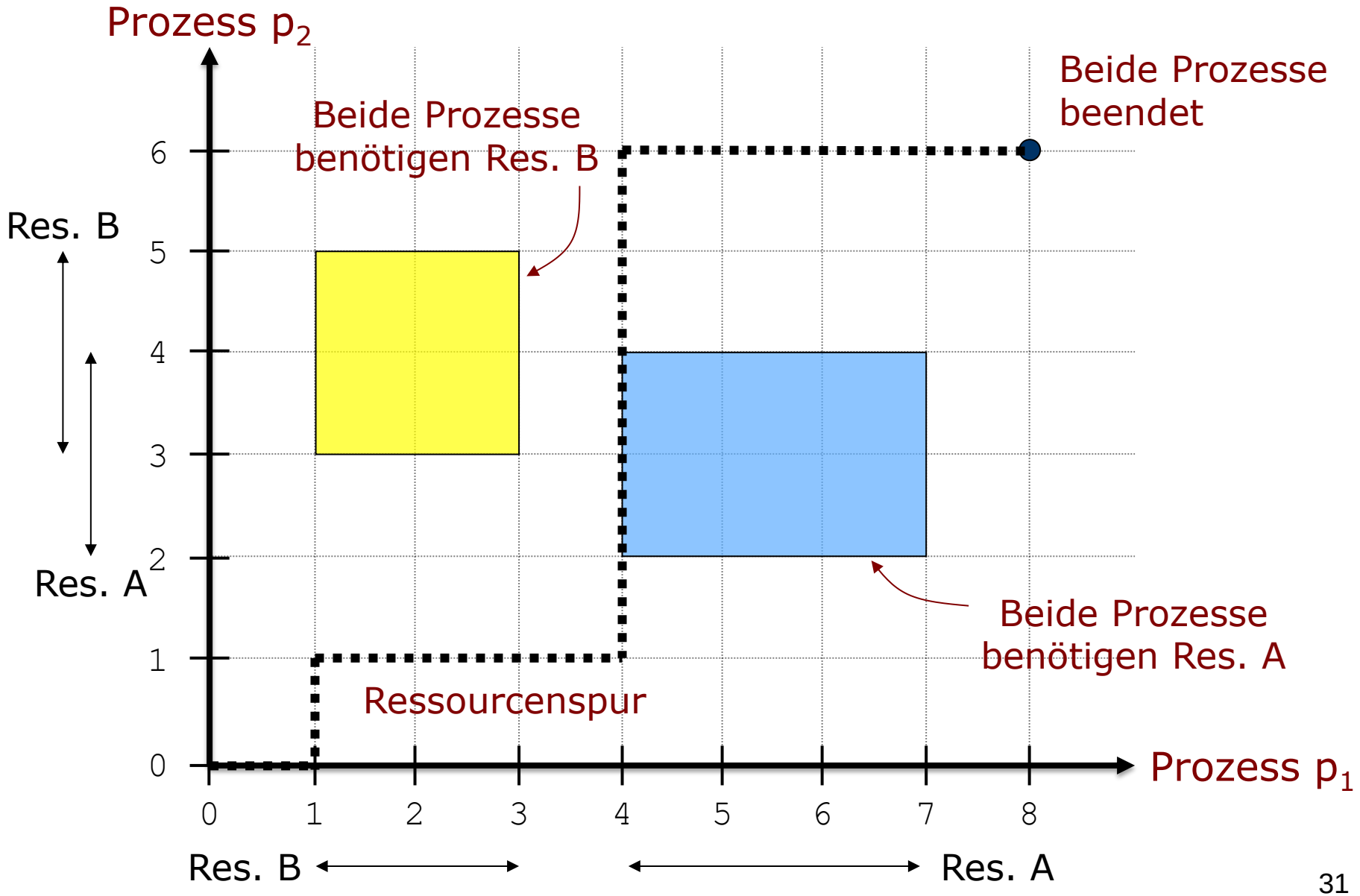
Erläuterungen Ressourcendiagramm

- Eine Koordinate $(m, n) \in \mathbb{N}^2$ im Ressourcendiagramm bedeutet, dass die Programmausführung bis zu den Codezeilen m und n erfolgt ist, diese Zeilen jedoch noch nicht oder nur unvollständig ausgeführt sind.
- Eine Codezeile ist unvollständig ausgeführt, wenn eine nicht verfügbare Ressource angefordert wurde (und der Prozess deswegen blockiert).
- An jeder Koordinate $(\tilde{m}, n)$ mit $\tilde{m} > m$ ist Zeile m vollständig ausgeführt.

Beispiel 2: Nie Deadlock (1)

- Ob ein Deadlock eintreten kann oder nicht, hängt von der Situation ab
- Beispiel: Prozess 1 benötigt nicht gleichzeitig beide Ressourcen
- Dann kann unabhängig von der relativen Ausführung der beiden Prozesse kein Deadlock eintreten

Beispiel 2: Nie Deadlock (2)



Verhindern von Deadlocks (1)

- Ressourcen werden nach und nach von den Prozessen angefordert
- Ziel: Konstruiere einen Mechanismus, so dass Deadlocks garantiert verhindert werden können
- Teile einem Prozess eine Ressource nur zu, wenn dies „ungefährlich“ ist

Verhindern von Deadlocks (2)

- Bankier-Algorithmus (Dijkstra, 1965): Ressourcenzuteilung an Prozesse, so dass Deadlocks verhindert werden
- Voraussetzungen:
  - Im Voraus bekannt: Welche und wie viele Ressourcen die einzelnen Prozesse maximal anfordern werden
  - Anforderung übersteigt für keinen Prozess die zur Verfügung stehenden Ressourcen

Verhindern von Deadlocks (3)

- Immer möglich: Ausführen aller Prozesse nacheinander (ineffizient!)
- Nach Ablauf eines Prozesses: Freigabe aller Ressourcen und der nächste Prozess kann ausgeführt werden

Verhindern von Deadlocks (4)

Grundidee des Bankier-Algorithmus:

- Versuche möglichst viel (Pseudo-) Parallelismus zu erreichen
- Riskiere dabei aber zu keinem Zeitpunkt eine potentielle Deadlock-Situation
- Ressourcenanforderung wird nur gewährt, wenn sie garantiert nicht zu einem Deadlock führen kann

Bankier-Algorithmus (1)

Ein Zustand ist sicher, wenn

- es auf jeden Fall eine deadlock-freie „Restausführung“ aller Prozesse gibt,
- unabhängig davon, wann die Prozesse in Zukunft ihre Ressourcenanforderungen und -freigaben durchführen, und
- auch dann, wenn gilt:
  - Prozesse stellen ihre restlichen Anforderungen jeweils auf einen Schlag und
  - Freigaben finden erst bei Prozessbeendigung statt (Worst Case).

Bankier-Algorithmus (2)

- Wenn Deadlock-freie Restausführung nicht garantiert werden kann: Zustand ist unsicher
- Beachte: Ein unsicherer Zustand muss nicht notwendigerweise zu einem Deadlock führen

Bankier-Algorithmus (3)

- Strategie: Überführe das System immer nur in sichere Zustände
- Nach Voraussetzung ist der Startzustand sicher
- Bei jeder Ressourcenanforderung eines Prozesses: Prüfe, ob das System bei Erfüllung der Anforderung in einen sicheren Zustand kommt
- Falls nein: Erfülle Anforderung nicht, stelle Prozess p_i zurück und mache mit einem anderen Prozess weiter; sonst erfülle sie

Bankier-Algorithmus – Überprüfung auf sicheren Zustand

- Gibt es einen Prozess, dessen verbliebene Anforderungen alle mit den verfügbaren Ressourcen erfüllt werden können?
- Nimm an, dass dieser Prozess ausgeführt wird und alle seine Ressourcen danach freigibt
- Gibt es einen weiteren Prozess, dessen Ressourcenanforderung alle erfüllt werden können? Wenn ja, verfahre mit diesem Prozess gleichermaßen
- Zustand sicher: Alle Prozesse können so zu Ende gebracht werden

Bankier-Algorithmus
Eine einzige Ressourcenklasse (1)

- Beispiel: Es gibt 10 Instanzen einer einzigen Ressourcenklasse
- Wenn alle 10 durch Prozesse belegt sind, dann wird kein weiterer vergeben
- Ein Prozess kann mehrere Ressourcen anfordern, aber nur bis zu einer bestimmten Maximalanzahl ≤ 10

Bankier-Algorithmus
Eine einzige Ressourcenklasse (2)

- Gegeben: Prozesse $p_1, \ldots, p_n$, die Ressourcen aus einer einzigen Klasse anfordern
- Gegeben: Anzahl zur Verfügung stehender Ressourcen: $V \in \mathbb{N}$

Bankier-Algorithmus
Eine einzige Ressourcenklasse (3)

- Für jeden Prozess p_i gibt es
  - eine maximale Anzahl M_i von Ressourcen, die der Prozess noch anfordern wird
  - eine Anzahl von Ressourcen E_i, die der Prozess zu einem bestimmten Zeitpunkt schon erhalten hat
  - eine Anzahl A_i von Ressourcen, die der Prozess nach diesem Zeitpunkt noch maximal anfordern wird: $A_i = M_i - E_i$
  - Anzahl F der freien Ressourcen zu diesem Zeitpunkt $F = V - \sum_{i=1}^{n} E_i$
- Es gilt $\forall 1 \leq i \leq n : M_i \leq V$ und $E_i \leq M_i$

Bankier-Algorithmus Beispiel (1)

- Es gibt $V = 10$ Instanzen einer Ressource
- Drei Prozesse p_1, p_2, p_3
- Maximale Anforderungen:

	M_i
p_1	9
p_2	4
p_3	7

- Zustand zum Zeitpunkt t:

	E_i	A_i
p_1	3	6
p_2	2	2
p_3	2	5

Bankier-Algorithmus Beispiel (1)

- Es gibt $V = 10$ Instanzen einer Ressource
- Drei Prozesse p_1, p_2, p_3
- Maximale Anforderungen:

	M_i
p_1	9
p_2	4
p_3	7

- Zustand zum Zeitpunkt t:

	E_i	A_i
p_1	3	6
p_2	2	2
p_3	2	5

- Freie Ressourcen
  $F = 10 - 7 = 3$
- Ist dies ein sicherer Zustand?

Bankier-Algorithmus Beispiel (2)

Nachweis:

Es handelt sich um einen sicheren Zustand

	E_i	A_i	M_i
p_1	3	6	9
p_2	2	2	4
p_3	2	5	7

$F = 10 – 7 = 3$

Es muss gelten: Es gibt auf jeden Fall eine deadlockfreie „Restausführung“ aller Prozesse, auch wenn die Prozesse jeweils ihre restlichen Anforderungen auf einen Schlag stellen und Freigaben erst bei Prozessbeendigung durchführen

Bankier-Algorithmus Beispiel (2)

Nachweis:

Es handelt sich um einen sicheren Zustand

	E_i	A_i	M_i
p_1	3	6	9
p_2	2	2	4
p_3	2	5	7

$F = 10 - 7 = 3$

Führe zunächst ausschließlich Prozess p_2 aus

	E_i	A_i	M_i
p_1	3	6	9
p_2	4	0	4
p_3	2	5	7

$F = 10 - 9 = 1$

Bankier-Algorithmus Beispiel (2)

Nachweis:

Es handelt sich um einen sicheren Zustand

	E_i	A_i	M_i
p_1	3	6	9
p_2	2	2	4
p_3	2	5	7

$F = 10 - 7 = 3$

Führe zunächst ausschließlich Prozess p_2 aus →

	E_i	A_i	M_i
p_1	3	6	9
p_2	4	0	4
p_3	2	5	7

$F = 10 - 9 = 1$

Freigabe durch Prozess p_2 →

	E_i	A_i	M_i
p_1	3	6	9
p_2	0	-	-
p_3	2	5	7

$F = 10 - 5 = 5$

Bankier-Algorithmus Beispiel (2)

Nachweis:

Es handelt sich um einen sicheren Zustand

	E_i	A_i	M_i
p_1	3	6	9
p_2	2	2	4
p_3	2	5	7

$F = 10 - 7 = 3$

Führe zunächst ausschließlich Prozess p_2 aus →

	E_i	A_i	M_i
p_1	3	6	9
p_2	4	0	4
p_3	2	5	7

$F = 10 - 9 = 1$

Freigabe durch Prozess p_2 →

	E_i	A_i	M_i
p_1	3	6	9
p_2	0	-	-
p_3	2	5	7

$F = 10 - 5 = 5$

Führe ausschließlich Prozess p_3 aus →

	E_i	A_i	M_i
p_1	3	6	9
p_2	0	-	-
p_3	7	0	7

$F = 10 - 10 = 0$

Bankier-Algorithmus Beispiel (2)

Nachweis:

Es handelt sich um einen sicheren Zustand

	E_i	A_i	M_i
p_1	3	6	9
p_2	2	2	4
p_3	2	5	7

$F = 10 - 7 = 3$

Führe zunächst ausschließlich Prozess p_2 aus →

	E_i	A_i	M_i
p_1	3	6	9
p_2	4	0	4
p_3	2	5	7

$F = 10 - 9 = 1$

Freigabe durch Prozess p_2 →

	E_i	A_i	M_i
p_1	3	6	9
p_2	0	-	-
p_3	2	5	7

$F = 10 - 5 = 5$

Führe ausschließlich Prozess p_3 aus ↓

	E_i	A_i	M_i
p_1	3	6	9
p_2	0	-	-
p_3	7	0	7

$F = 10 - 10 = 0$

Freigabe durch Prozess p_3 →

	E_i	A_i	M_i
p_1	3	6	9
p_2	0	-	-
p_3	0	-	-

$F = 10 - 3 = 7$

Jetzt kann Prozess 1 zu Ende gebracht werden!

Bankier-Algorithmus Beispiel (3)

Kann Prozess p_1 eine weitere Ressource zugewiesen werden?

	E_i	A_i	M_i
p_1	3	6	9
p_2	2	2	4
p_3	2	5	7

$F = 10 – 7 = 3$

Organisatorisches

- Klausur: 9.3.2018 (Raum TBA)
- Vorlesung am 20.12. findet statt

Bankier-Algorithmus Beispiel (3)

Kann Prozess p_1 eine weitere Ressource zugewiesen werden?

	E_i	A_i	M_i
p_1	3	6	9
p_2	2	2	4
p_3	2	5	7

F = 10 – 7 = 3

	E_i	A_i	M_i
p_1	4	5	9
p_2	2	2	4
p_3	2	5	7

F = 10 – 8 = 2

Bankier-Algorithmus Beispiel (3)

Kann Prozess p_1 eine weitere Ressource zugewiesen werden?

	E_i	A_i	M_i
p_1	3	6	9
p_2	2	2	4
p_3	2	5	7

F = 10 – 7 = 3

	E_i	A_i	M_i
p_1	4	5	9
p_2	2	2	4
p_3	2	5	7

F = 10 – 8 = 2

Frage: Ist dieser Zustand immer noch sicher?

Bankier-Algorithmus Beispiel (4)

Antwort: Der Zustand ist nicht sicher

	E_i	A_i	M_i
p_1	4	5	9
p_2	2	2	4
p_3	2	5	7

$F = 10 - 8 = 2$

- Annahme: Prozesse fordern künftig ihre Ressourcen jeweils auf einen Schlag an
- Prozesse p_1 und p_3 können unter dieser Annahme nicht ausgeführt werden
- Also: Versuche, ob Ausführen von Prozess p_2 zum Ziel führt

Bankier-Algorithmus Beispiel (5)

Nachweis: Der Zustand ist unsicher

	E_i	A_i	M_i
p_1	4	5	9
p_2	2	2	4
p_3	2	5	7

Führe Prozess p_2 bis zum Ende aus

	E_i	A_i	M_i
p_1	4	5	9
p_2	4	0	4
p_3	2	5	7

$F = 10 - 8 = 2$

$F = 10 - 10 = 0$

Bankier-Algorithmus Beispiel (5)

Nachweis: Der Zustand ist unsicher

	E_i	A_i	M_i
p_1	4	5	9
p_2	2	2	4
p_3	2	5	7

$F = 10 - 8 = 2$

Führe Prozess p_2 bis zum Ende aus

	E_i	A_i	M_i
p_1	4	5	9
p_2	4	0	4
p_3	2	5	7

$F = 10 - 10 = 0$

Freigabe durch Prozess p_2

	E_i	A_i	M_i
p_1	4	5	9
p_2	0	-	-
p_3	2	5	7

$F = 10 - 6 = 4$

Bankier-Algorithmus Beispiel (5)

Nachweis: Der Zustand ist unsicher

	E_i	A_i	M_i
p_1	4	5	9
p_2	2	2	4
p_3	2	5	7

F = 10 – 8 = 2

Führe Prozess p_2 bis zum Ende aus →

	E_i	A_i	M_i
p_1	4	5	9
p_2	4	0	4
p_3	2	5	7

F = 10 – 10 = 0

Freigabe durch Prozess p_2 →

	E_i	A_i	M_i
p_1	4	5	9
p_2	0	-	-
p_3	2	5	7

F = 10 – 6 = 4

- Es stehen nun 4 freie Ressourcen zur Verfügung
- Damit lassen sich weder Prozess p_1 noch Prozess p_3 ausführen, wenn sie laut Annahme ihre Ressourcenanforderungen sofort stellen und vor Prozessbeendigung nichts freigeben
- Also: Der Zustand ist unsicher!

Bemerkungen (1)

- Im Allgemeinen kann es mehrere Prozesse geben, die virtuell ausgeführt werden können
- Das Endergebnis (sicherer oder unsicherer Zustand) ist aber immer das Gleiche
- Nach virtueller Prozessausführung und Freigabe aller Ressourcen eines Prozesses: Es können stets nur gleich viele oder mehr Ressourcen zur Verfügung stehen

Bemerkungen (2)

- Bankier-Algorithmus führt im Allgemeinen zu quasi-paralleler Ausführung
- Die Tests auf Sicherheit von Zuständen beschränken die Ausführung allerdings
- Vorteil: Mögliche Deadlocks werden erkannt und können garantiert verhindert werden
- Allerdings sind die Annahmen konservativ und können ggf. sichere, nicht überlappende Anforderung von Betriebsmitteln verhindern

Bankier-Algorithmus Mehrere Ressourcenklassen (1)

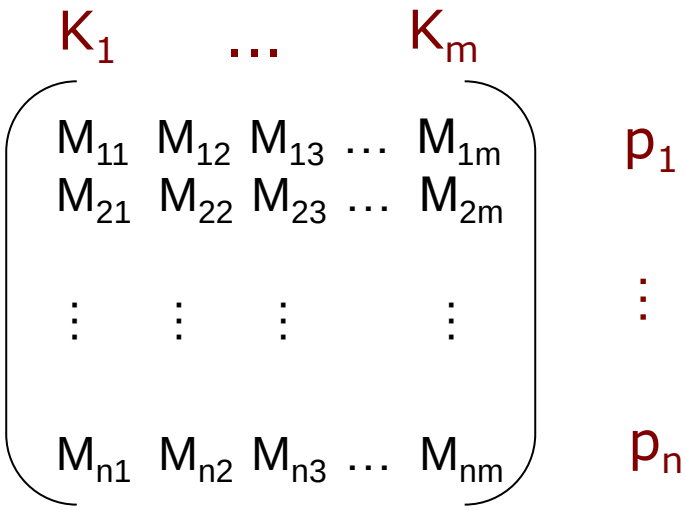
- Mehrere Ressourcenklassen (z.B. verschiedene Geräte, E/A-Kanäle)
- Prozesse $p_1, \ldots, p_n$, die Ressourcen aus Klassen $K_1, \ldots, K_m$ anfordern
- Anzahl der zur Verfügung stehenden Ressourcen aus Klasse K_k:

$$V_k \in \mathbb{N}, 1 \leq k \leq m$$

- Vektor verfügbarer Ressourcen $(V_1, \ldots, V_m)$

Bankier-Algorithmus Mehrere Ressourcenklassen (2)

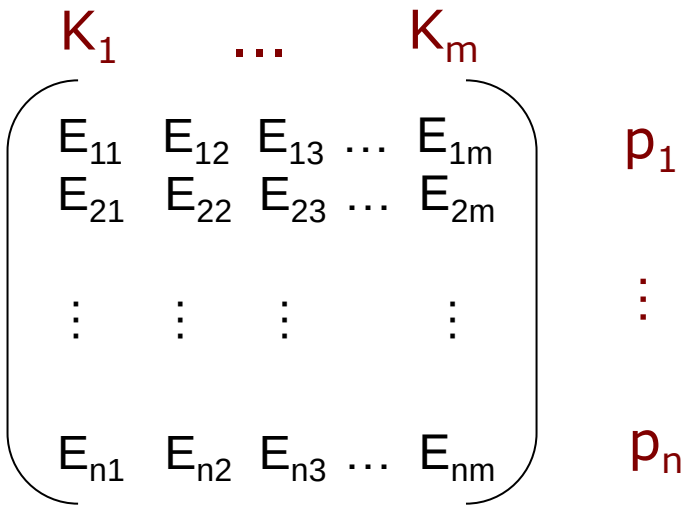
- M_{ik}: Maximalanzahl von Ressourcen der Klasse K_k, die der Prozess p_i anfordern wird
- Maximalanforderungsmatrix



Zeile i gibt Maximal-anforderungen von Prozess i an

Bankier-Algorithmus Mehrere Ressourcenklassen (3)

- E_{ik}: Anzahl von Ressourcen der Klasse K_k, die der Prozess p_i zu einem bestimmten Zeitpunkt schon erhalten hat
- Belegungsmatrix



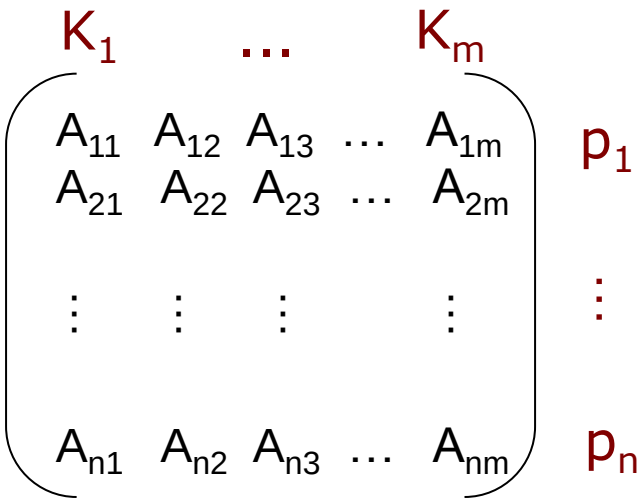
Zeile i gibt an, welche Ressourcen Prozess i schon erhalten hat

Bankier-Algorithmus Mehrere Ressourcenklassen (4)

- A_{ik}: Anzahl von Ressourcen der Klasse K_k, die der Prozess p_i nach diesem Zeitpunkt maximal noch anfordern wird:

$$A_{ik} = M_{ik} - E_{ik}$$

- Restanforderungsmatrix



Zeile i gibt an, welche Ressourcen Prozess i maximal noch anfordern wird

Bankier-Algorithmus Mehrere Ressourcenklassen (5)

- Die Anzahl der freien Ressourcen der Klasse K_k zu diesem Zeitpunkt ist

$$F_k = V_k - \sum_{i=1}^{n} E_{ik}$$

- Ressourcenrestvektor $(F_1, \ldots, F_m)$
- Es gilt weiterhin:

$$\forall 1 \leq i \leq n, \forall 1 \leq k \leq m : E_{ik} \leq M_{ik} \leq V_k$$

Bankier-Algorithmus Mehrere Ressourcenklassen (6)

- Bankier-Algorithmus für mehrere Ressourcenklassen analog zum Algorithmus für eine Ressourcenklasse
- Einziger Unterschied: Vergleich natürlicher Zahlen ersetzt durch Vergleich von Vektoren natürlicher Zahlen
- Verwendete Vergleichsoperation für zwei Vektoren $(v_1, \ldots, v_m)$ und $(w_1, \ldots, w_m) \in \mathbb{N}^m$:

$$(v_1, \ldots, v_m) \leq (w_1, \ldots, w_m) \Leftrightarrow v_i \leq w_i \, \forall 1 \leq i \leq m$$

Bankier-Algorithmus Mehrere Ressourcenklassen (7)

Überprüfung auf sicheren Zustand:

- Prüfe, ob es einen Prozess p_i gibt, dessen Anforderungen alle mit den verfügbaren Ressourcen erfüllt werden können
- Gibt es eine Zeile i in Anforderungsmatrix, die kleiner ist als der Ressourcenrestvektor:

$$(A_{i1}, \ldots, A_{im}) \leq (F_1, \ldots, F_m)$$

- Wenn ja
  - Addiere $(A_{i1}, \ldots, A_{im})$ zu $(E_{i1}, \ldots, E_{im})$
  - Aktualisiere den Restvektor $(F_1, \ldots, F_m)$

$$F_k = F_k - A_{ik}$$

Bankier-Algorithmus Mehrere Ressourcenklassen (8)

Überprüfung auf sicheren Zustand:

- Nimm an, dass p_i ausgeführt wird und danach alle seine Ressourcen freigibt
- Aktualisiere den Restvektor $(F_1, \ldots, F_m)$ d.h.

$$F_k = F_k + E_{ik}$$

- Teste, ob es nun einen anderen Prozess p_j gibt, dessen Ressourcenanforderung erfüllt wird, also

$$(A_{j1}, \ldots, A_{jm}) \leq (F_1, \ldots, F_m)$$

und verfahre mit diesem Prozess gleichermaßen

Bankier-Algorithmus Mehrere Ressourcenklassen (9)

- Der Zustand ist sicher, wenn auf diese Weise alle Prozesse „virtuell“ zu Ende gebracht werden können
- Ansonsten ist der Zustand unsicher
- Prozesse, die so nicht zu Ende geführt werden können, sind an dem potentiellen Deadlock beteiligt

Bankier-Algorithmus
Mehrere Ressourcenklassen (10)

Beispiel:

- Vektor verfügbarer Ressourcen

	Ress. 1	Ress. 2	Ress. 3	Ress. 4
V =	4	2	3	1

- Maximalanforderungsmatrix M

2	0	1	1	Prozess 1
3	0	1	1	Prozess 2
2	2	2	0	Prozess 3

- Aktuelle Belegungsmatrix E

0	0	1	0	Prozess 1
2	0	0	1	Prozess 2
0	1	2	0	Prozess 3
2	1	3	1	

- Aktuelle Restanforderungsmatrix A

$$A_{ik} = M_{ik} - E_{ik}$$

2	0	0	1	Prozess 1
1	0	1	0	Prozess 2
2	1	0	0	Prozess 3

- Ressourcenrestvektor

$$F_k = V_k - \sum_{i=1}^{n} E_{ik}$$

F = (2 1 0 0)

Bankier-Algorithmus
Mehrere Ressourcenklassen (11)

Frage:

Befinden wir uns in einem sicheren Zustand?

Bankier-Algorithmus
Mehrere Ressourcenklassen (12)

Beispiel:

- Vektor verfügbarer Ressourcen

	Ress. 1	Ress. 2	Ress. 3	Ress. 4
V = (	4	2	3	1)

- Maximalanforderungsmatrix M

(	2	0	1	1) Prozess 1
	3	0	1	1 Prozess 2
	2	2	2	0 Prozess 3

- Aktuelle Belegungsmatrix E

(	0	0	1	0) Prozess 1
	2	0	0	1 Prozess 2
	0	1	2	0 Prozess 3

- Aktuelle Restanforderungsmatrix A

(	2	0	0	1) Prozess 1
	1	0	1	0 Prozess 2
	2	1	0	0 Prozess 3

Nur 3. Zeile A_3 = (2 1 0 0) der Restanforderungsmatrix ist kleiner gleich Ressourcenrestvektor F = (2 1 0 0)

- Ressourcenrestvektor F = (2 1 0 0)

Bankier-Algorithmus
Mehrere Ressourcenklassen (13)

Beispiel:

- Vektor verfügbarer Ressourcen

	Ress. 1	Ress. 2	Ress. 3	Ress. 4
V = (	4	2	3	1)

- Maximalanforderungsmatrix M

(	2	0	1	1) Prozess 1
	3	0	1	1 Prozess 2
	2	2	2	0 Prozess 3

- Aktuelle Belegungsmatrix E

(	0	0	1	0) Prozess 1
	2	0	0	1 Prozess 2
	2	2	2	0 Prozess 3

- Aktuelle Restanforderungsmatrix A

(	2	0	0	1) Prozess 1
	1	0	1	0 Prozess 2
	0	0	0	0 Prozess 3

virtuelle Ausführung von Prozess 3

- Ressourcenrestvektor

F = (0 0 0 0)

Bankier-Algorithmus
Mehrere Ressourcenklassen (14)

Beispiel:

- Vektor verfügbarer Ressourcen

	Ress. 1	Ress. 2	Ress. 3	Ress. 4
V =	4	2	3	1

- Maximalanforderungsmatrix M

2	0	1	1	Prozess 1
3	0	1	1	Prozess 2
2	2	2	0	Prozess 3

- Aktuelle Belegungsmatrix E

0	0	1	0	Prozess 1
2	0	0	1	Prozess 2
0	0	0	0	Prozess 3

- Aktuelle Restanforderungsmatrix A

2	0	0	1	Prozess 1
1	0	1	0	Prozess 2
-	-	-	-	Prozess 3

Ressourcenfreigabe nach Beendigung

- Ressourcenrestvektor

F =	2	2	2	0

Bankier-Algorithmus
Mehrere Ressourcenklassen (15)

Beispiel:

- Vektor verfügbarer Ressourcen $V = (4 \quad 2 \quad 3 \quad 1)$ (Ress. 1, Ress. 2, Ress. 3, Ress. 4)
- Maximalanforderungsmatrix M

$$\begin{pmatrix} 2 & 0 & 1 & 1 \\ 3 & 0 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 2 & 0 \end{pmatrix}$$ Prozess 1, Prozess 2, Prozess 3

- Aktuelle Belegungsmatrix E

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$ Prozess 1, Prozess 2, Prozess 3

- Aktuelle Restanforderungsmatrix A

$$\begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ - & - & - & - \end{pmatrix}$$ Prozess 1, Prozess 2, Prozess 3

Nur 2. Zeile $A_2 = (1 \quad 0 \quad 1 \quad 0)$ der Restanforderungsmatrix kleiner gleich Ressourcenrestvektor $F = (2 \quad 2 \quad 2 \quad 0)$

- Ressourcenrestvektor $F = (2 \quad 2 \quad 2 \quad 0)$

Bankier-Algorithmus
Mehrere Ressourcenklassen (16)

Beispiel:

- Vektor verfügbarer Ressourcen

	Ress. 1	Ress. 2	Ress. 3	Ress. 4
V = (	4	2	3	1)

- Maximalanforderungsmatrix M

(	2	0	1	1) Prozess 1
	3	0	1	1 Prozess 2
	2	2	2	0 Prozess 3

- Aktuelle Belegungsmatrix E

(	0	0	1	0) Prozess 1
	3	0	1	1 Prozess 2
	0	0	0	0 Prozess 3

- Aktuelle Restanforderungsmatrix A

(	2	0	0	1) Prozess 1
	0	0	0	0 Prozess 2
	-	-	-	- Prozess 3

virtuelle Ausführung von Prozess 2

- Ressourcenrestvektor

F = (	1	2	1	0)

Bankier-Algorithmus
Mehrere Ressourcenklassen (17)

Beispiel:

- Vektor verfügbarer Ressourcen $V = (4 \quad 2 \quad 3 \quad 1)$ (Ress. 1, Ress. 2, Ress. 3, Ress. 4)
- Maximalanforderungsmatrix M

$$\begin{pmatrix} 2 & 0 & 1 & 1 \\ 3 & 0 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 2 & 0 \end{pmatrix}$$ Prozess 1, Prozess 2, Prozess 3

- Aktuelle Belegungsmatrix E

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$ Prozess 1, Prozess 2, Prozess 3

- Aktuelle Restanforderungsmatrix A

$$\begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 & 1 \\ - & - & - & - \\ - & - & - & - \end{pmatrix}$$ Prozess 1, Prozess 2, Prozess 3

Ressourcenfreigabe nach Beendigung

- Ressourcenrestvektor $F = (4 \quad 2 \quad 2 \quad 1)$

Bankier-Algorithmus
Mehrere Ressourcenklassen (18)

Beispiel:

- Vektor verfügbarer Ressourcen

Ress. 1 Ress. 2 Ress. 3 Ress. 4

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

- Maximalanforderungsmatrix M

2	0	1	1	Prozess 1
3	0	1	1	Prozess 2
2	2	2	0	Prozess 3

- Aktuelle Belegungsmatrix E

2	0	1	1	Prozess 1
0	0	0	0	Prozess 2
0	0	0	0	Prozess 3

- Aktuelle Restanforderungsmatrix A

0	0	0	0	Prozess 1
-	-	-	-	Prozess 2
-	-	-	-	Prozess 3

virtuelle Ausführung von Prozess 1

- Ressourcenrestvektor

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

Bankier-Algorithmus
Mehrere Ressourcenklassen (19)

Beispiel:

- Vektor verfügbarer Ressourcen $V = (4\ \ 2\ \ 3\ \ 1)$

- Maximalanforderungsmatrix M

Ress. 1	Ress. 2	Ress. 3	Ress. 4	
2	0	1	1	Prozess 1
3	0	1	1	Prozess 2
2	2	2	0	Prozess 3

- Aktuelle Belegungsmatrix E

0	0	0	0	Prozess 1
0	0	0	0	Prozess 2
0	0	0	0	Prozess 3

- Aktuelle Restanforderungsmatrix A

-	-	-	-	Prozess 1
-	-	-	-	Prozess 2
-	-	-	-	Prozess 3

Ressourcenfreigabe nach Beendigung, alle Prozesse abgearbeitet

- Ressourcenrestvektor $F = (4\ \ 2\ \ 3\ \ 1)$

Bankier-Algorithmus
Mehrere Ressourcenklassen (20)

Beispiel:

- Vektor verfügbarer Ressourcen

	Ress. 1	Ress. 2	Ress. 3	Ress. 4
V = (	4	2	3	1)

- Maximalanforderungsmatrix M

(	2	0	1	1) Prozess 1
	3	0	1	1 Prozess 2
	2	2	2	0 Prozess 3

- Aktuelle Belegungsmatrix E

(	0	0	1	0) Prozess 1
	2	0	0	1 Prozess 2
	0	1	2	0 Prozess 3

Darf man jetzt dem Prozess 2 eine weitere Forderung nach Ressource 1 erfüllen?

- Aktuelle Restanforderungsmatrix A

(	2	0	0	1) Prozess 1
	1	0	1	0 Prozess 2
	2	1	0	0 Prozess 3

- Ressourcenrestvektor

F = (	2	1	0	0)

Bankier-Algorithmus
Mehrere Ressourcenklassen (21)

Beispiel:

- Vektor verfügbarer Ressourcen

	Ress. 1	Ress. 2	Ress. 3	Ress. 4
V = (	4	2	3	1)

- Maximalanforderungsmatrix M

(	2	0	1	1) Prozess 1
	3	0	1	1 Prozess 2
	2	2	2	0 Prozess 3

- Aktuelle Belegungsmatrix E

(	0	0	1	0) Prozess 1
	3	0	0	1 Prozess 2
	0	1	2	0 Prozess 3

Darf man jetzt dem Prozess 2 eine weitere Forderung nach Ressource 1 erfüllen?

- Aktuelle Restanforderungsmatrix A

(	2	0	0	1) Prozess 1
	0	0	1	0 Prozess 2
	2	1	0	0 Prozess 3

Nein! Das führt zu einem unsicheren Zustand

- Ressourcenrestvektor

F = (	1	1	0	0)

Bankier-Algorithmus – Analyse (1)

- Hauptvorteil: Mögliche Deadlocks werden erkannt und können garantiert verhindert werden

- Ist mit dem Bankier-Algorithmus das Deadlock-Problem restlos gelöst?

Bankier-Algorithmus – Analyse (2)

Leider nein

- Prozesse können meist nicht im Voraus eine verlässliche Obergrenze für ihre Ressourcen-anforderungen geben
- Garantierte Obergrenzen würden häufig die Anzahl der verfügbaren Ressourcen übersteigen
- Anzahl der Prozesse ist nicht fest, sondern ändert sich ständig

Lösung durch Aufhebung der Deadlock-Voraussetzungen

- Versuche, die Bedingungen ganz oder teilweise außer Kraft zu setzen, um Deadlocks zu vermeiden
  1. Wechselseitiger Ausschluss: Jede Ressource ist entweder verfügbar oder genau einem Prozess zugeordnet
  2. Besitzen und Warten: Prozesse, die schon Ressourcen reserviert haben, können noch weitere Ressourcen anfordern
  3. Kein Ressourcenentzug: Ressourcen, die einem Prozess bewilligt wurden, können nicht gewaltsam wieder entzogen werden
  4. Zyklisches Warten: Es gibt eine zyklische Kette von Prozessen, von denen jeder auf eine Ressource wartet, die dem nächsten Prozess in der Kette gehört
- Reale Systeme tun genau das

Wechselseitiger Ausschluss

- Braucht man meistens, z.B. Schreiben in Datei
- In gewissen Situationen lässt sich wechselseitiger Ausschluss aber einschränken
- Beispiel: Drucken mit Spooling-Verzeichnis und Drucker-Dämon, der als einziger den Drucker reserviert und Dateien aus dem Spooling-Verzeichnis der Reihe nach druckt

Besitzen und Warten

- Prozesse müssen benötigte Ressourcen immer auf einmal und im Voraus anfordern
- Funktioniert nicht, Prozesse kennen Ressourcenbedarf nicht im Voraus
- Und außerdem ineffizient, da Prozesse u.U. lange aufgehalten werden und Ressourcen unnötig lange belegt sind

Kein Ressourcenentzug

- Ressourcenentzug und Unterbrechung schwer zu realisieren
- Status muss gespeichert und wiederhergestellt werden
- Oft nicht möglich

Zyklisches Warten (1)

Lösungsansatz

- Ressourcen werden durchnummeriert
- Ressourcenanforderungen dürfen nur in aufsteigender Reihenfolge erfolgen
- Damit wird ein Deadlock verhindert

Zyklisches Warten (2)

- Ressource R_i vor Ressource R_j, wenn i<j
- Annahme: Prozesse A und B verklemmt: A besitzt R_i und hat R_j angefordert, B besitzt R_j und hat R_i angefordert
- Dies ist nicht möglich, weil dann i<j und j<i
- Also: Belegungs-Anforderungsgraph kann nicht zyklisch werden
- Aber schwierig, eine Ordnung zu finden
- Kann zu ineffizientem Verhalten führen

Schlussfolgerungen (1)

- Deadlock-Verhinderung ist schwierig
- Deadlock-Freiheit kann zwar prinzipiell erreicht werden, führt jedoch häufig zu starken Effizienzverlusten
- In der Praxis verzichtet man daher auf absolute Garantien für Deadlock-Freiheit

Schlussfolgerungen (2)

- Die meisten Betriebssysteme ignorieren das Deadlock-Problem
- Systeme werden nicht an ihrem Ressourcenlimit betrieben
- Häufig angewendet werden das Spooling und die Anforderung gemäß einer vorgegebenen Ordnung

Beheben von Deadlocks

- Am weitesten verbreitet: Abbruch aller verklemmten Prozesse
- Rückführung aller verklemmten Prozesse auf einen festgelegten Kontrollpunkt und Neustart
- Schrittweiser Abbruch aller verklemmten Prozesse, bis die Verklemmung nicht mehr existiert
- Schrittweiser Ressourcenentzug, bis die Verklemmung nicht mehr existiert
  (Zurückführung eines/mehrerer Prozesse auf Zeitpunkt vor Ressourcenerhalt)

Zusammenfassung

- Ressourcen werden nach und nach von den Prozessen angefordert
- Es kann passieren, dass eine Menge von Prozessen sich in einem Deadlock befindet
- Belegungs-Anforderungsgraph und Ressourcendiagramm zum Erkennen von Deadlock-Situationen
- Bankier-Algorithmus: Ressourcenaufteilung, so dass Deadlocks verhindert werden