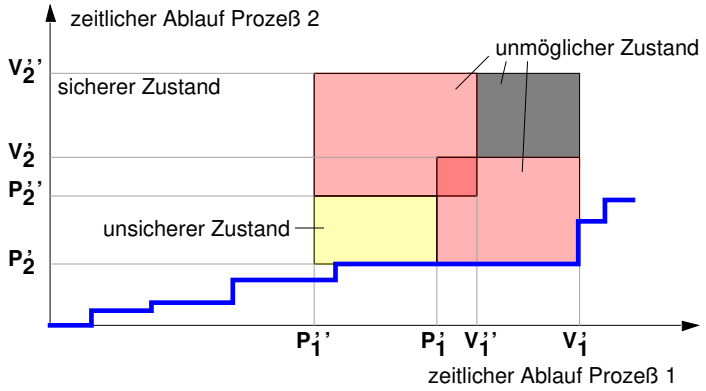
## 1 Sichere und unsichere Zustände (4)

- Beispiel von Folie H.13:

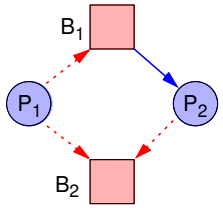



  - Prozeß 2 darf $P_2'$ nicht durchführen und muß warten


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

## 2 Betriebsmittelgraph

- Annahme: eine Instanz pro Betriebsmitteltyp
  - Einsatz von Betriebsmittelgraphen zur Erkennung unsicherer Zustände

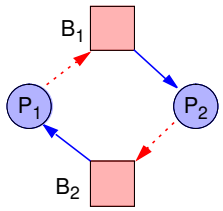



  - zusätzliche Kanten zur Darstellung möglicher Anforderungen (Ansprüche, *Claims*)
  - Anspruchskanten werden gestrichelt dargestellt und bei Anforderung in Anforderungskanten umgewandelt
  - Anforderung und Belegung von $B_2$ durch $P_1$ führt in einen unsicheren Zustand (siehe Beispiel von Folie H.13)


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

## 2 Betriebsmittelgraph (2)

- Erkennung des unsicheren Zustands an Zyklen im erweiterten Betriebsmittelgraph
  - Anforderung und Belegung von $B_2$ durch $P_1$ führt zu:




  - Zyklenerkennung hat einen Aufwand von $O(n^2)$
- Betriebsmittelgraph nicht anwendbar bei mehreren Instanzen eines Betriebsmitteltyps
  - Banker's Algorithmus (siehe Betriebsprogrammierung II)


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

## H.5 Erkennung von Verklemmungen

- Systeme ohne Mechanismen zur Vermeidung oder Verhinderung von Verklemmungen
  - Verklemmungen können auftreten
  - Verklemmung sollte als solche erkannt werden
  - Auflösung der Verklemmung sollte eingeleitet werden (Algorithmus nötig)

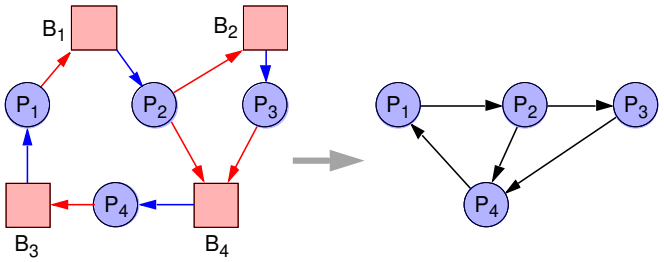
### 1 Wartegraphen

- Annahme: nur eine Instanz pro Betriebsmitteltyp
  - Einsatz von Wartegraphen, die aus dem Betriebsmittelgraphen gewonnen werden können


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

# 1 Wartegraphen (2)

- Wartegraphen
  - Betriebsmittel und Kanten werden aus Betriebsmittelgraph entfernt
  - zwischen zwei Prozessen wird eine „wartet auf“-Kante eingeführt, wenn es Kanten vom ersten Prozeß zu einem Betriebsmittel und von diesem zum zweiten Prozeß gabe




Betriebsmittelgraph Wartegraph


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

# 1 Wartegraphen (3)

- Erkennung von Verklemmungen
  - Wartegraph enthält Zyklen: System ist verklemmt
- ▲ Betriebsmittelgraph nicht für Systeme geeignet, die mehrere Instanzen pro Betriebsmitteltyp zulassen
  - kompliziertere Algorithmen ähnlich dem Banker’s Algorithmus nötig


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

# 2 Erkennung durch Reduktionsverfahren

- Annahmen:
  - $m$ Betriebsmitteltypen; Typ $i$ verfügt über $b_i$ Instanzen
  - $n$ Prozesse
- Definitionen
  - $B$ ist der Vektor $( b_1, b_2, \ldots b_m )$ der vorhandenen Instanzen
  - $R$ ist der Vektor $( r_1, r_2, \ldots r_m )$ der noch verfügbaren Restinstanzen
  - $C_j$ sind die Vektoren $( c_{j,1}, c_{j,2}, \ldots c_{j,m} )$ der aktuellen Belegung durch den Prozeß $j$
- Es gilt: $\sum_{i=1}^{n} c_{i,j} + r_j = b_j$ für alle $1 \le j \le m$


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

# 2 Erkennung durch Reduktionsverfahren (2)

- Weitere Definitionen
  - $A_j$ sind die Vektoren $( a_{j,1}, a_{j,2}, \ldots a_{j,m} )$ der aktuellen Anforderungen durch den Prozeß $j$
  - zwei Vektoren A und B stehen in der Relation $A \le B$, falls die Elemente der Vektoren jeweils paarweise in der gleichen Relation stehen
- Algorithmus

(1) alle Prozesse sind zunächst unmarkiert
(2) wähle einen Prozeß $i$, so daß $A_i \le R$
(Prozeß ist ohne Verklemmung ausführbar)
(3) falls ein solcher Prozeß $i$ existiert, addiere $C_i$ zu $R$, markiere Prozeß $i$ und beginne wieder bei Punkt (2)
(Bei Terminierung wird der Prozeß alle Betriebsmittel freigeben)
(4) falls ein solcher Prozeß nicht existiert, terminiere Algorithmus

- alle nicht markierten Prozesse sind an einer Verklemmung beteiligt


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

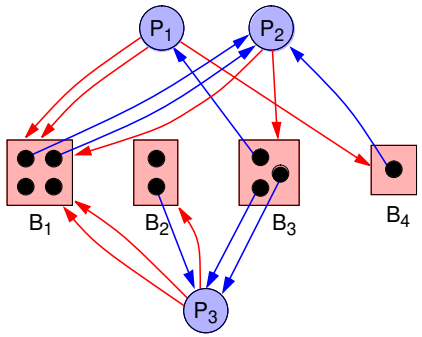
## 2 Erkennung durch Reduktionsverfahren

- Beispiel
  - $m = 4$; $B = ( 4, 2, 3, 1 )$
  - $n = 3$; $C_1 = ( 0, 0, 1, 0 )$; $C_2 = ( 2, 0, 0, 1 )$; $C_3 = ( 0, 1, 2, 0 )$
  - daraus ergibt sich $R = ( 2, 1, 0, 0 )$
  - Anforderungen der Prozesse lauten:
    $A_1 = ( 2, 0, 0, 1 )$; $A_2 = ( 1, 0, 1, 0 )$; $A_3 = ( 2, 1, 0, 0 )$
- Ablauf
  - Auswahl eines Prozesses: Prozeß 3, da $A_3 \leq R$; markiere Prozeß 3
  - Addiere $C_3$ zu $R$: neues $R = ( 2, 2, 2, 0 )$
  - Auswahl eines Prozesses: Prozeß 2, da $A_2 \leq R$; markiere Prozeß 2
  - Addiere $C_2$ zu $R$: neues $R = ( 4, 2, 2, 1)$
  - Auswahl eines Prozesses: Prozeß 1, da $A_1 \leq R$; markiere Prozeß 1
  - kein Prozeß mehr markiert: keine Verklemmung


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

## 3 Graphische Reduktion

- Betriebsmittelgraph des Beispiels

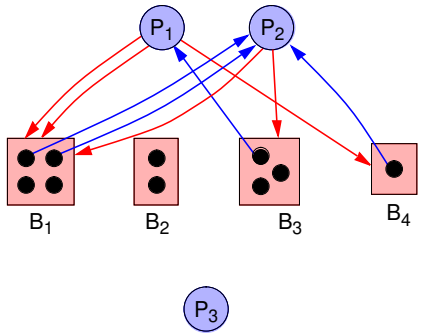



- Auswahl eines Prozesses für den Anforderungen erfüllbar: nur $P_3$ möglich
- Löschen aller Kanten des Prozesses


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

## 3 Graphische Reduktion (2)

- Betriebsmittelgraph des Beispiels (1. Reduktion)

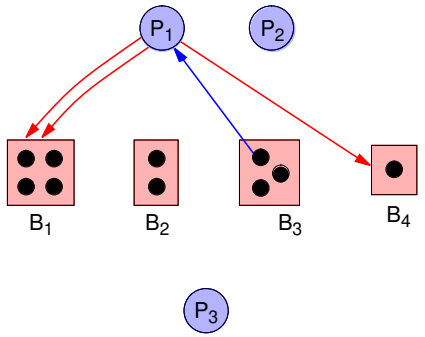



- Auswahl eines Prozesses für den Anforderungen erfüllbar: nur $P_2$ möglich
- Löschen aller Kanten des Prozesses


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

## 3 Graphische Reduktion (3)

- Betriebsmittelgraph des Beispiels (2. Reduktion)

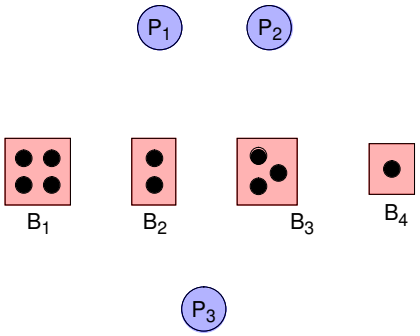



- Auswahl eines Prozesses für den Anforderungen erfüllbar: $P_1$
- Löschen aller Kanten des Prozesses


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

## 3 Graphische Reduktion (4)

- Betriebsmittelgraph des Beispiels (3. Reduktion)




  - es bleiben keine Prozesse mit Anforderungen übrig ➔ keine Verklemmung
  - übrig bleibende Prozesse sind verklemmt und in einem Zyklus


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

## 4 Einsatz der Verklemmungserkennung

- Wann sollte Erkennung ablaufen?
  - Erkennung ist aufwendig (Aufwand $O(n^2)$ bei Zyklenerkennung)
  - Häufigkeit von Verklemmungen eher gering
  - zu häufig: Verschwendung von Ressourcen zur Erkennung
  - zu selten: Betriebsmittel werden nicht optimal genutzt, Anzahl der verklemmten Prozesse steigt
- Möglichkeiten:
  - Erkennung, falls eine Anforderung nicht sofort erfüllt werden kann
  - periodische Erkennung (z.B. einmal die Stunde)
  - CPU Auslastung beobachten; falls Auslastung sinkt Erkennung starten


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

## 5 Erholung von Verklemmungen

- Verklemmung erkannt: Was tun?
  - Operateur benachrichtigen; manuelle Beseitigung
  - System erholt sich selbst
- Abbrechen von Prozessen (terminierte Prozesse geben ihre Betriebsmittel wieder frei)
  - alle verklemmten Prozesse abbrechen (großer Schaden)
  - einen Prozeß nach dem anderen abbrechen bis Verklemmung behoben (kleiner Schaden aber rechenzeitintensiv)
  - mögliche Schäden:
    - Verlust von berechneter Information
    - Dateninkonsistenzen


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.

## 5 Erholung von Verklemmungen (2)

- Entzug von Betriebsmitteln
  - Aussuchen eines „Opfer“-Prozesses (Aussuchen nach geringstem entstehendem Schaden)
  - Entzug der Betriebsmittel und Zurückfahren des „Opfer“-Prozesses (Prozeß wird in einen Zustand zurückgefahren, der unkritisch ist; benötigt Checkpoint oder Transaktionsverarbeitung)
  - Verhinderung von Aushungerung (es muß verhindert werden, daß immer derselbe Prozeß Opfer wird und damit keinen Fortschritt mehr macht)


Reproduktion jeder Art oder Verwendung dieser Unterlage, außer zu Lehrzwecken an der Universität Erlangen-Nürnberg, bedarf der Zustimmung des Autors.