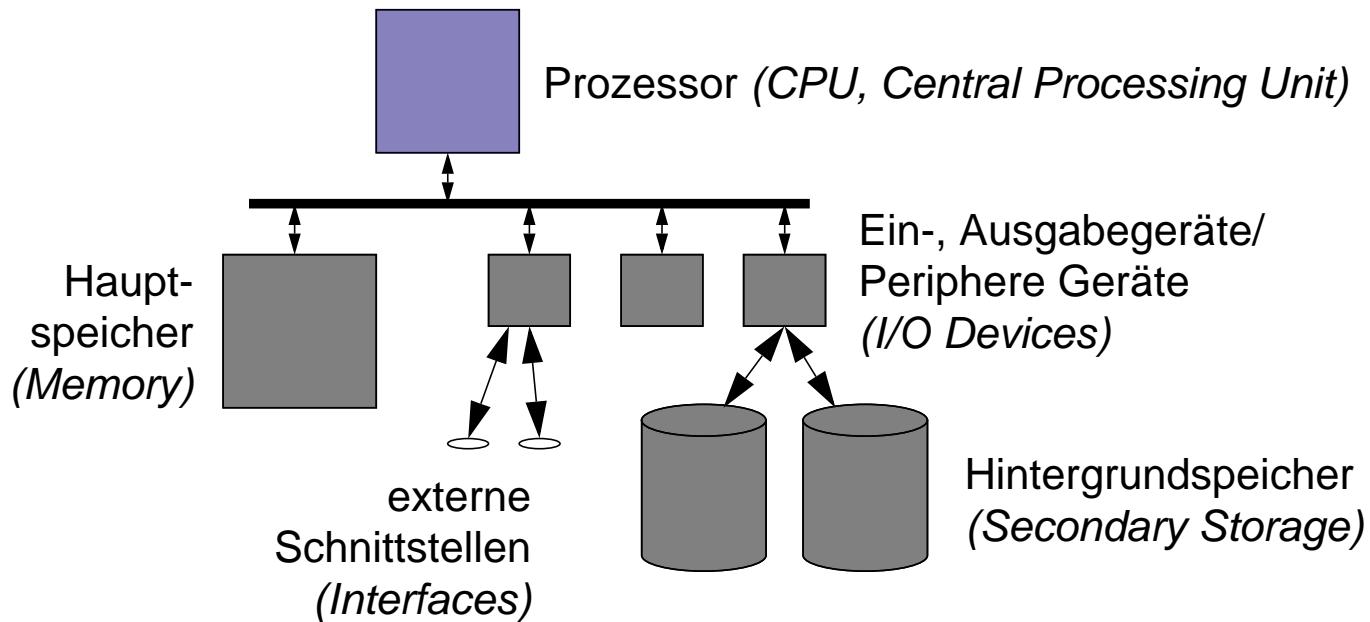


G Verklemmungen

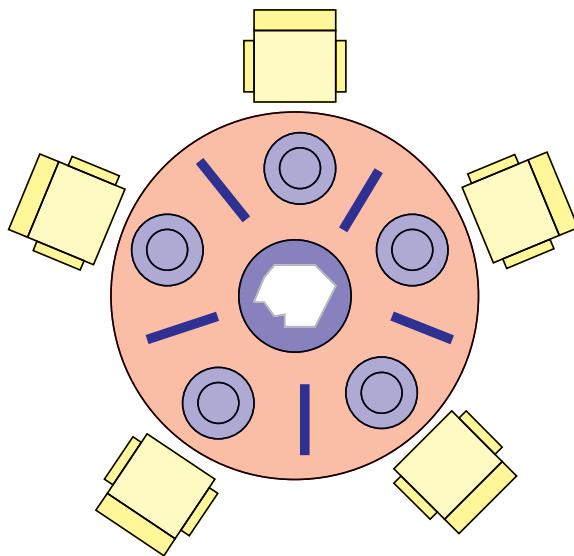
■ Einordnung:



◆ Verhalten von Aktivitätsträgern / Prozessen

G.1 Motivation

- Beispiel: die fünf Philosophen am runden Tisch

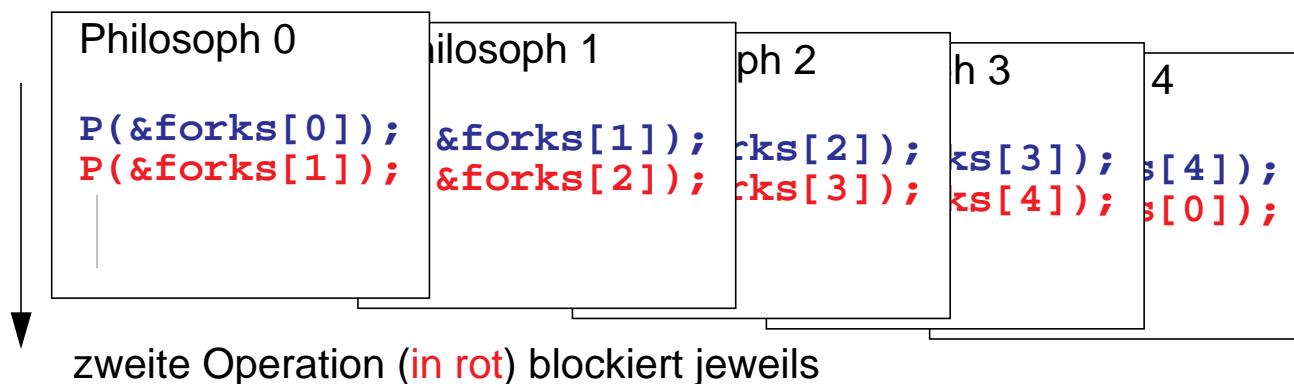


- ◆ Philosophen denken oder essen
"The life of a philosopher consists of an alternation of thinking and eating." (Dijkstra, 1971)
- ◆ zum Essen benötigen sie zwei Gabeln, die jeweils zwischen zwei benachbarten Philosophen abgelegt sind

- Philosophen können verhungern, wenn sie sich „dumm“ anstellen.

G.1 Motivation (2)

- Problem der Verklemmung (*Deadlock*)
 - ◆ alle Philosophen nehmen gleichzeitig die linke Gabel auf und versuchen dann die rechte Gabel aufzunehmen



- ◆ System ist **verklemmt**: Philosophen warten alle auf ihre Nachbarn
- Problemkreise:
 - ◆ Vermeidung und Verhinderung von Verklemmungen
 - ◆ Erkennung und Erholung von Verklemmungen

G.2 Betriebsmittelbelegung

- Betriebsmittel
 - ◆ CPU, Drucker, Geräte (Platten, CD-ROM, Floppy, Audio, usw.)
 - ◆ nur elektronisch vorhandene Betriebsmittel der Anwendung oder des Betriebssystems, z.B. Gabeln der Philosophen
- Unterscheidung von Typ und Instanz
 - ◆ Typ definiert ein Betriebsmittel eindeutig
 - ◆ Instanz ist eine Ausprägung des Typs
(die Anwendung benötigt eine Instanz eines best. Typs, egal welche)
 - **CPU:** Anwendung benötigt eine von mehreren gleichartigen CPUs
 - **Drucker:** Anwendung benötigt einen von mehreren gleichen Druckern
(falls Drucker nicht austauschbar und gleichwertig, so handelt es sich um verschiedene Typen)
 - **Gabeln:** jede Gabel ist ein eigener Betriebsmitteltyp

1 Belegung

- Belegung erfolgt in drei Schritten
 - ◆ Anfordern des Betriebsmittels
 - blockiert evtl. falls Betriebsmittel nur exklusiv benutzt werden kann
 - **Gabel:** nur exklusiv
 - **Bildschirmausgabe:** exklusiv oder nicht-exklusiv
 - ◆ Nutzen des Betriebsmittels
 - **Gabel:** Philosoph kann essen
 - **Drucker:** Anwendung kann drucken
 - ◆ Freigeben des Betriebsmittels
 - **Gabel:** Philosoph legt Gabel wieder zwischen die Teller

2 Voraussetzungen für Verklemmungen

■ Vier notwendige Bedingungen

- ◆ *Exklusive Belegung*

Mindestens ein Betriebsmitteltyp muss nur exklusiv belegbar sein.

- ◆ *Nachforderungen von Betriebsmittel möglich*

Es muss einen Prozess geben, der bereits Betriebsmittel hält, und ein neues Betriebsmittel anfordert.

- ◆ *Kein Entzug von Betriebsmitteln möglich*

Betriebsmittel können nicht zurückgefordert werden bis der Prozess sie wieder freigibt.

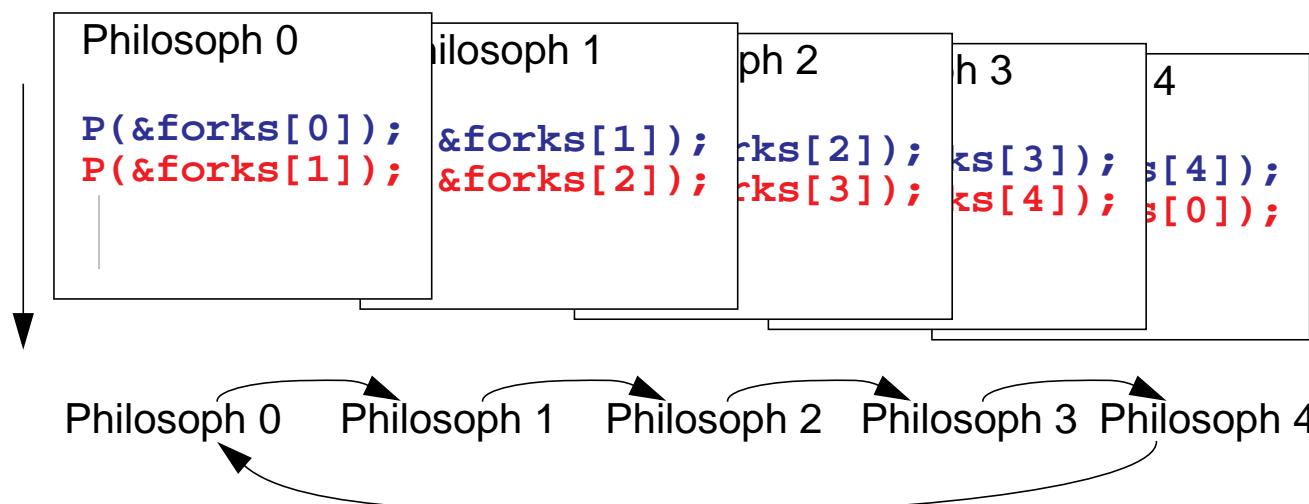
- ◆ *Zirkuläres Warten*

Es gibt einen Ring von Prozessen, in dem jeder auf ein Betriebsmittel wartet, das der Nachfolger im Ring besitzt.

2 Voraussetzungen für Verklemmung (2)

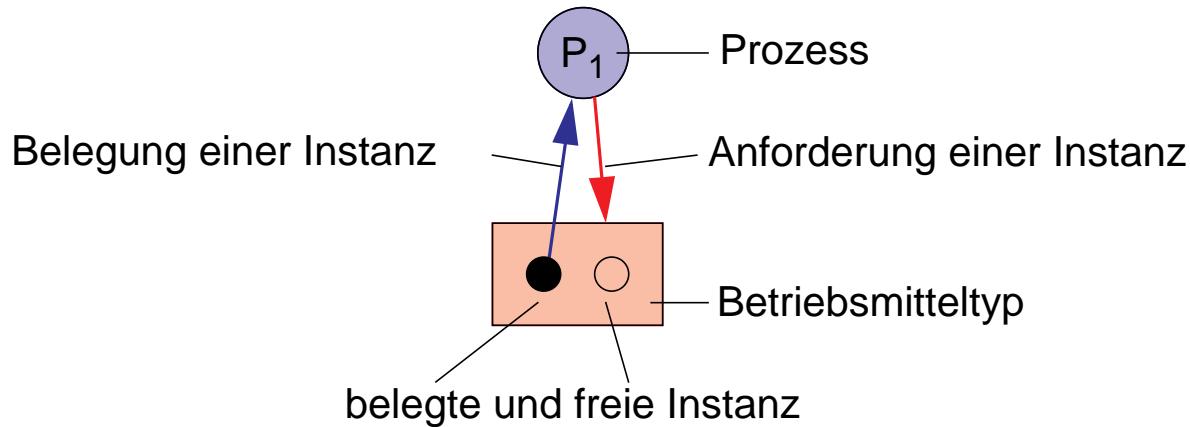
■ Beispiel: fünf Philosophen

- ◆ Exklusive Belegung: ja
- ◆ Nachforderungen von Betriebsmittel möglich: ja
- ◆ Entzug von Betriebsmitteln: nicht vorgesehen
- ◆ Zirkuläres Warten: ja



3 Betriebsmittelgraphen

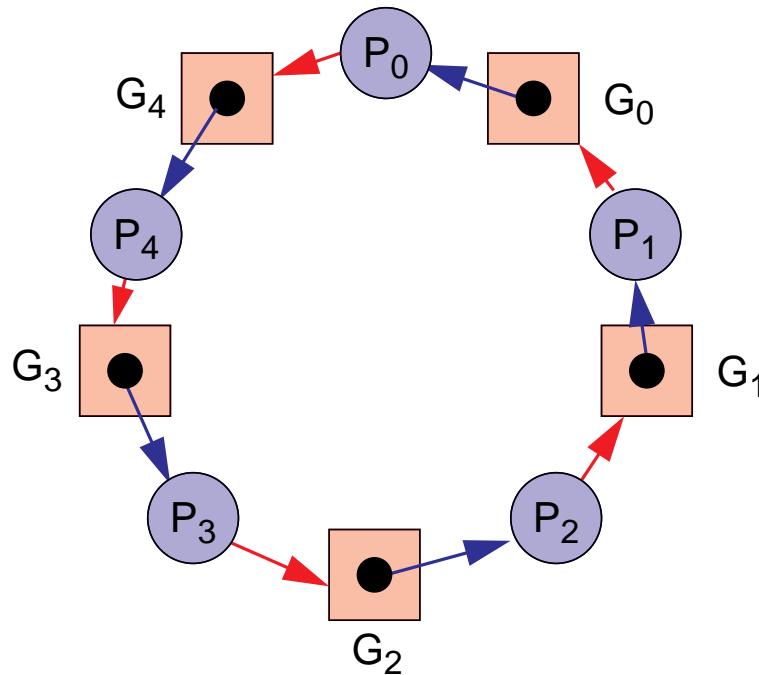
- Veranschaulichung der Belegung und Anforderung durch Graphen (nur exklusive Belegungen)



- Regeln:
 - ◆ kein Zyklus im Graph → keine Verklemmung
 - ◆ Zyklus im Graph → Verklemmung
 - ◆ nur jeweils eine Instanz pro Betriebsmitteltyp und Zyklus → **Verklemmung**

3 Betriebsmittelgraphen (2)

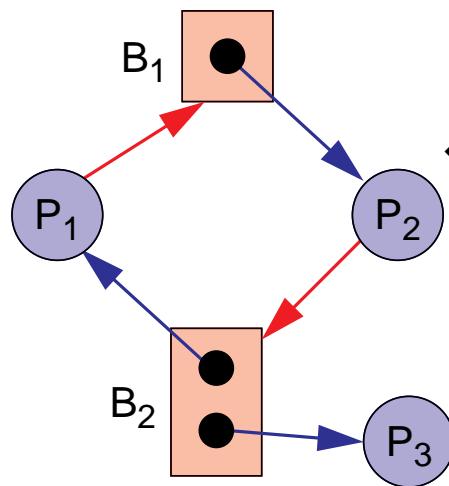
■ Beispiel: fünf Philosophen



◆ Zyklus und jeder Betriebsmitteltyp hat nur eine Instanz → Verklemmung

3 Betriebsmittelgraphen (3)

- Beispiel mit Zyklus und ohne Verklemmung



◆ Prozess 3 kann seine Instanz vom Betriebsmitteltyp B₂ wieder zurückgeben und den Zyklus damit auflösen

G.3 Vermeidung/Vorbeugung von Verklemmungen

- *Deadlock prevention*
- Ansatz: Vermeidung der notwendigen Bedingungen für Verklemmungen
 - ◆ *Exklusive Belegung:*
oft nicht vermeidbar
 - ◆ *Nachforderungen von Betriebsmittel möglich:*
alle Betriebsmittel müssen auf einmal angefordert werden
 - ungenutzte aber belegte Betriebsmittel vorhanden
 - Aushungerung möglich: ein anderer Prozess hält immer das nötige Betriebsmittel belegt

G.3 Vermeidung von Verklemmungen (2)

◆ *Kein Entzug von Betriebsmitteln möglich:*

Entzug von Betriebsmitteln erlauben

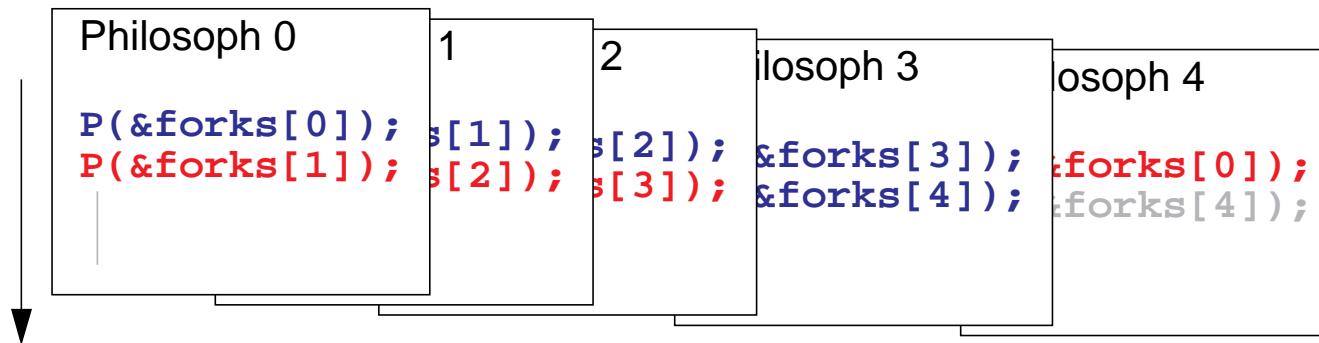
- bei neuer Belegung werden alle gehaltenen Betriebsmittel freigegeben und mit der neuen Anforderung zusammen wieder angefordert
- während ein Prozess wartet, werden seine bereits belegten Betriebsmittel anderen Prozessen zur Verfügung gestellt
- möglich für CPU oder Speicher jedoch nicht für Drucker, Bandlaufwerke oder ähnliche

◆ *Zirkuläres Warten:* Vermeidung von Zyklen

- Totale Ordnung auf Betriebmitteltypen

G.3 Vermeidung von Verklemmungen (3)

- Anforderungen nur in der Ordnungsreihenfolge erlaubt

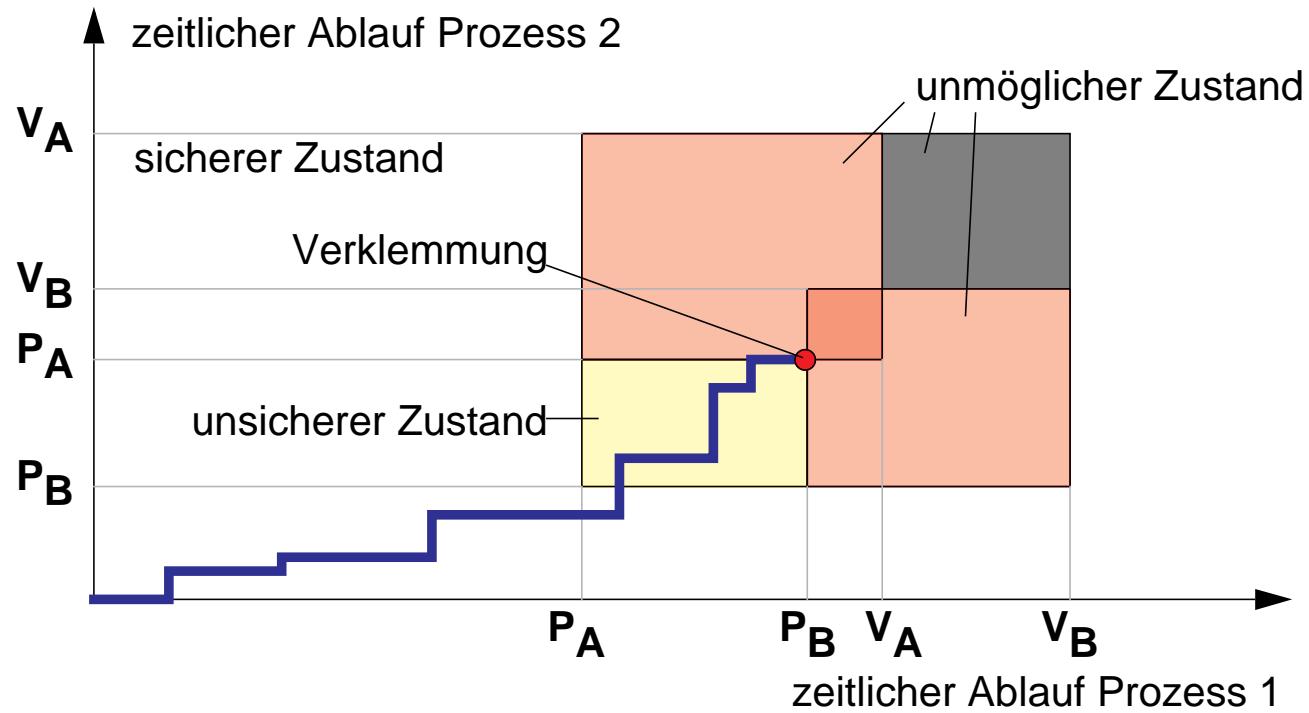


z.B. Gabeln: geordnet nach Gabelnummer

- Bei neuer Anforderung wird geprüft, ob letzte Anforderung kleiner bzgl. der totalen Ordnung war (Instanzen gleichen Typs müssen gleichzeitig angefordert werden); sonst: Abbruch mit Fehlermeldung
- Philosoph 4 bekäme eine Fehlermeldung, wenn er in der obigen Situation zuerst Gabel 4 und dann Gabel 0 anfordert: Rückgabe und neuer Versuch

G.4 Verhinderung von Verklemmungen

- Deadlock avoidance
- Annahme: es ist bekannt, welche Betriebsmittel ein Prozess brauchen wird (hier je zwei binäre Semaphore A und B)
 - ◆ Betriebssystem überprüft System auf unsichere Zustände



1 Sichere und unsichere Zustände

■ Sicherer Zustand

- ◆ Es gibt eine Sequenz, in der die vorhandenen Prozesse abgearbeitet werden können, so dass ihre Anforderungen immer befriedigt werden können.
- ◆ Sicherer Zustand erlaubt immer eine verklemmungsfreie Abarbeitung

■ Unsicherer Zustand

- ◆ Es gibt keine solche Sequenz.
- ◆ Verklemmungszustand ist ein unsicherer Zustand
- ◆ Ein unsicherer Zustände führt zwangsläufig zur Verklemmung, wenn die Prozesse ihre angenommenen Betriebsmittel wirklich anfordern bevor sie von anderen Prozessen wieder freigegeben werden.

1 Sichere und unsichere Zustände (2)

■ Beispiel:

- ◆ 12 Magnetbandlaufwerke vorhanden
- ◆ P_0 braucht (bis zu) 10 Laufwerke
- ◆ P_1 braucht (bis zu) 4 Laufwerke
- ◆ P_2 braucht (bis zu) 9 Laufwerke

- ◆ Aktuelle Situation: P_0 hat 5, P_1 hat 2 und P_2 hat 2 Laufwerke
- ◆ Zustand sicher?

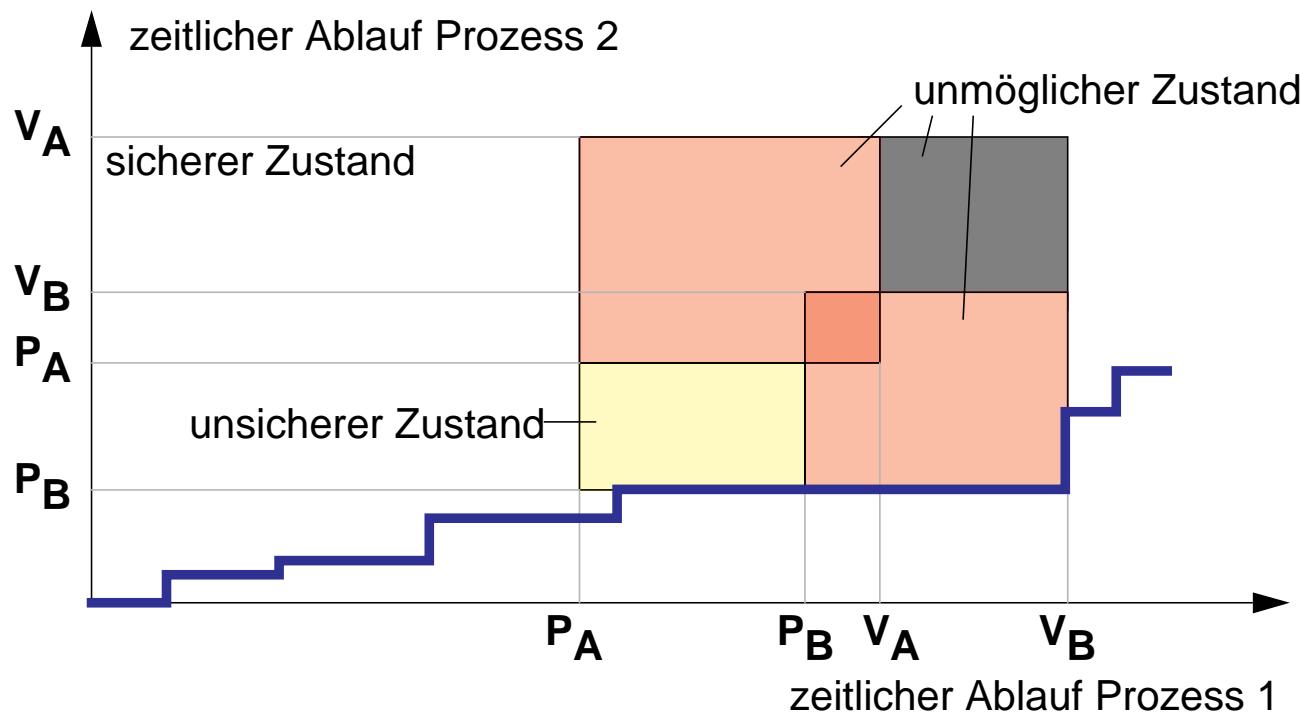
- ◆ Aktuelle Situation: P_0 hat 5, P_1 hat 2 und P_2 hat 3 Laufwerke
- ◆ Zustand sicher?

1 Sichere und unsichere Zustände (3)

- Verhinderung von Verklemmungen
 - ◆ Verhinderung von unsicheren Zuständen
 - ◆ Anforderungen blockieren, falls sie in einen unsicheren Zustand führen würden
- Beispiel von Folie H.16:
 - ◆ Zustand: P_0 hat 5, P_1 hat 2 und P_2 hat 2 Laufwerke
 - ◆ P_2 fordert ein zusätzliches Laufwerk an
 - ◆ Belegung würde in unsicheren Zustand führen: P_2 muss warten
- ▲ Verhinderung von unsicheren Zuständen schränkt Nutzung von Betriebsmitteln ein
 - ◆ verhindert aber Verklemmungen

1 Sichere und unsichere Zustände (4)

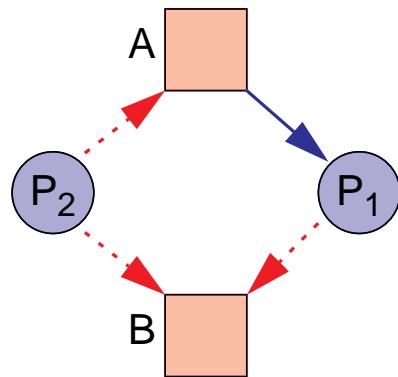
- Beispiel von Folie H.14:



- ◆ Prozess 2 darf P_B nicht durchführen und muss warten

2 Betriebsmittelgraph

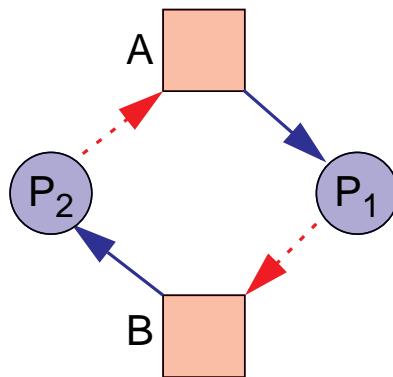
- Annahme: eine Instanz pro Betriebsmitteltyp
 - ◆ Einsatz von Betriebsmittelgraphen zur Erkennung unsicherer Zustände



- ◆ zusätzliche Kanten zur Darstellung möglicher Anforderungen (Ansprüche, *Claims*)
- ◆ Anspruchskanten werden gestrichelt dargestellt und bei Anforderung in Anforderungskanten umgewandelt
- ◆ Anforderung und Belegung von B durch P₂ führt in einen unsicheren Zustand (siehe Beispiel von Folie H.14)

2 Betriebsmittelgraph (2)

- Erkennung des unsicheren Zustands an Zyklen im erweiterten Betriebsmittelgraph
- ◆ Anforderung und Belegung von B durch P_2 führt zu:



- ◆ Zyklenerkennung hat einen Aufwand von $O(n^2)$
- ▲ Betriebsmittelgraph nicht anwendbar bei mehreren Instanzen eines Betriebsmitteltyps

3 Banker's Algorithm

- Erkennung unsicherer Zustände bei mehreren Instanzen pro Betriebsmitteltyp
- Annahmen:
 - ◆ m Betriebsmitteltypen; Typ i verfügt über b_i Instanzen
 - ◆ n Prozesse
- Definitionen
 - ◆ B ist der Vektor (b_1, b_2, \dots, b_m) der vorhandenen Instanzen
 - ◆ R ist der Vektor (r_1, r_2, \dots, r_m) der noch verfügbaren Restinstanzen
 - ◆ C_j sind die Vektoren $(c_{j,1}, c_{j,2}, \dots, c_{j,m})$ der aktuellen Belegung durch den Prozess j
- Es gilt: $\sum_{j=1}^n c_{j,i} + r_i = b_i$ für alle $1 \leq i \leq m$

3 Banker's Algorithm (2)

■ Weitere Definitionen

- ◆ M_j sind die Vektoren ($m_{j,1}, m_{j,2}, \dots, m_{j,m}$) der bekannten maximalen Belegung der Betriebsmittel 1 bis m durch den Prozess j
- ◆ zwei Vektoren A und B stehen in der Relation $A \leq B$, falls die Elemente der Vektoren jeweils paarweise in der gleichen Relation stehen
z.B. $(1, 2, 3) \leq (2, 2, 4)$

3 Banker's Algorithm (3)

■ Algorithmus

1. alle Prozesse sind zunächst unmarkiert
2. wähle einen nicht markierten Prozess j , so dass $M_j - C_j \leq R$
(Prozess ist ohne Verklemmung ausführbar, selbst wenn er alles anfordert, was er je brauchen wird)
3. falls ein solcher Prozess j existiert, addiere C_j zu R , markiere Prozess j und beginne wieder bei Punkt (2)
(Bei Terminierung wird der Prozess alle Betriebsmittel freigeben)
4. falls ein solcher Prozess nicht existiert, terminiere Algorithmus

◆ Sind alle Prozesse markiert, ist das System in einem sicheren Zustand.

4 Beispiel

■ Beispiel:

- ◆ 12 Magnetbandlaufwerke vorhanden
- ◆ P_0 braucht (bis zu) 10 Laufwerke
- ◆ P_1 braucht (bis zu) 4 Laufwerke
- ◆ P_2 braucht (bis zu) 9 Laufwerke
- ◆ Aktuelle Situation: P_0 hat 5, P_1 hat 2 und P_2 hat 3 Laufwerke

■ Belegung der Datenstrukturen

- ◆ $m = 1$
- ◆ $n = 3$
- ◆ $B = (12)$
- ◆ $R = (2)$
- ◆ $C_0 = (5), C_1 = (2), C_2 = (3)$
- ◆ $M_0 = (10), M_1 = (4), M_2 = (9)$

4 Beispiel (2)

■ Anwendung des Banker's Algorithm

- ◆ wähle einen nicht markierten Prozess j , so dass $M_j - C_j \leq R$
→ P_1
- ◆ $R := R + C_1 \rightarrow R = (4)$

- ◆ wähle einen nicht markierten Prozess j , so dass $M_j - C_j \leq R$
→ kein geeigneter Prozess vorhanden

- ◆ Zustand ist unsicher

G.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)

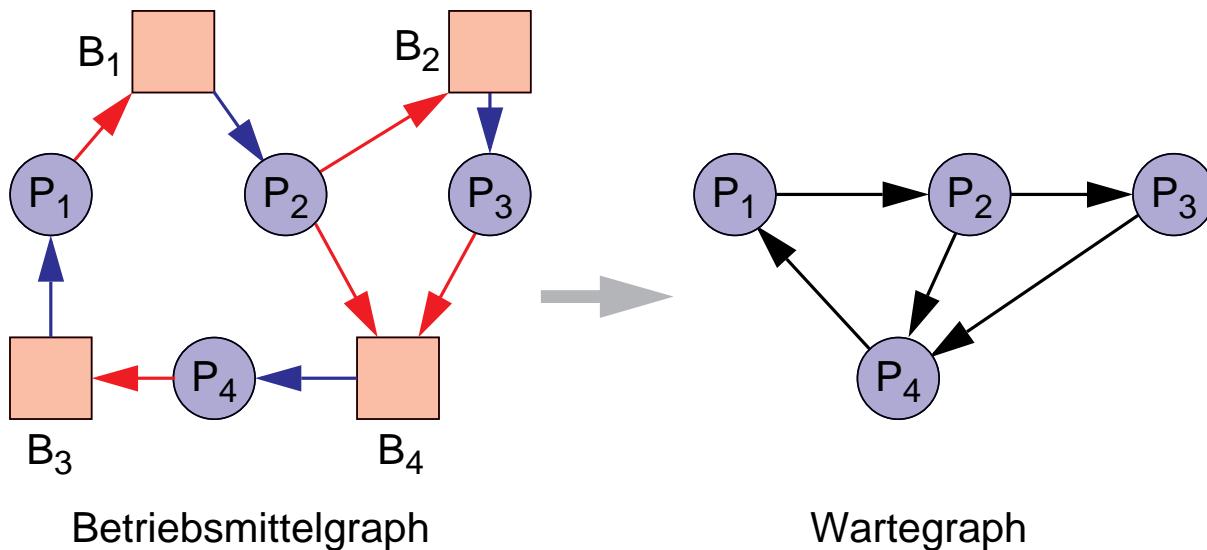
1 Wartegraphen

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

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 gibt

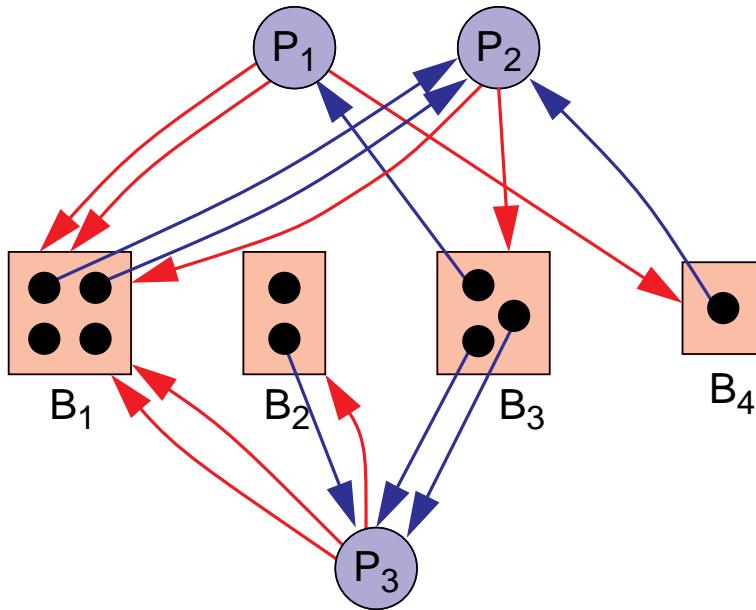


1 Wartegraphen (3)

- Erkennung von Verklemmungen
 - ◆ Wartegraph enthält Zyklen: System ist verklemmt
- ▲ Betriebsmittelgraph nicht für Systeme geeignet, die mehrere Instanzen pro Betriebsmitteltyp zulassen

2 Erkennung durch graphische Reduktion

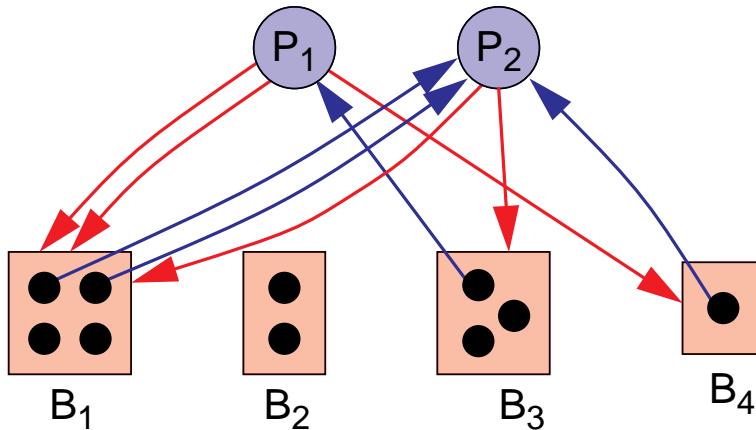
■ Betriebsmittelgraph des Beispiels



- ◆ Auswahl eines Prozesses für den Anforderungen erfüllbar: nur P₃ möglich
- ◆ Löschen aller Kanten des Prozesses

2 Erkennung durch graphische Reduktion (2)

- Betriebsmittelgraph des Beispiels (1. Reduktion)

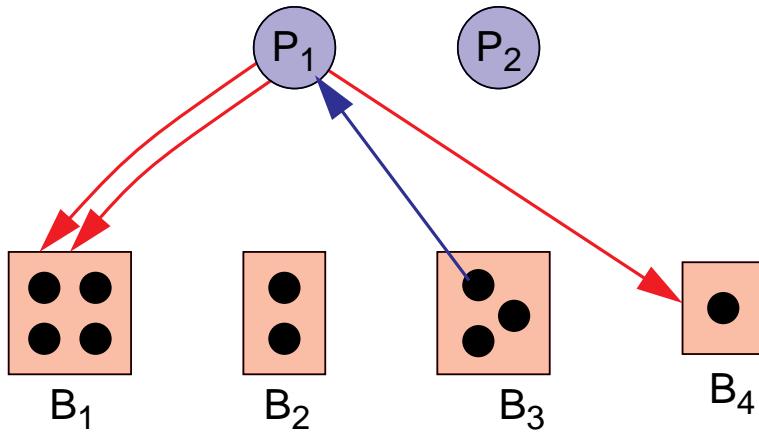


P₃

- ◆ Auswahl eines Prozesses für den Anforderungen erfüllbar: nur P₂ möglich
- ◆ Löschen aller Kanten des Prozesses

2 Erkennung durch graphische Reduktion (3)

- Betriebsmittelgraph des Beispiels (2. Reduktion)

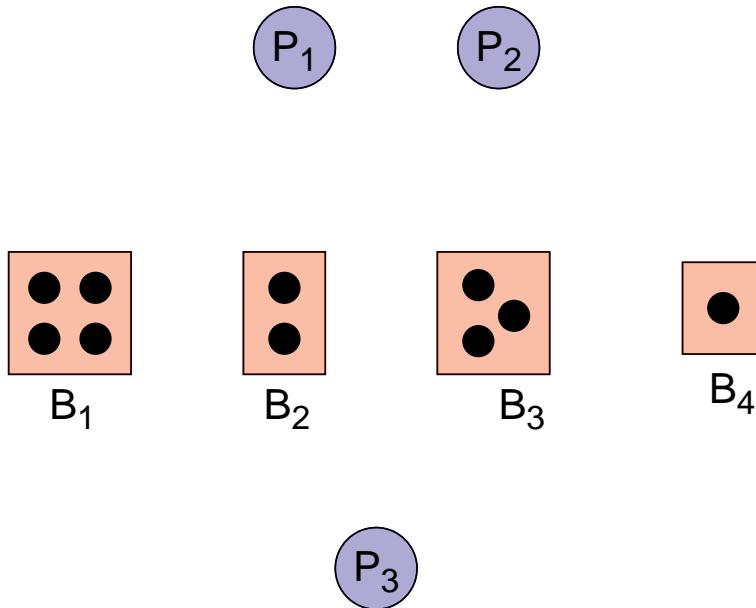


P₃

- ◆ Auswahl eines Prozesses für den Anforderungen erfüllbar: P₁
- ◆ Löschen aller Kanten des Prozesses

2 Erkennung durch 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

3 Erkennung durch Reduktionsverfahren

■ Annahmen:

- ◆ m Betriebsmitteltypen; Typ i verfügt über b_i Instanzen
- ◆ n Prozesse

■ Definitionen

- ◆ B ist der Vektor (b_1, b_2, \dots, b_m) der vorhandenen Instanzen
- ◆ R ist der Vektor (r_1, r_2, \dots, r_m) der noch verfügbaren Restinstanzen
- ◆ C_j sind die Vektoren $(c_{j,1}, c_{j,2}, \dots, c_{j,m})$ der aktuellen Belegung durch den Prozess j

■ Es gilt: $\sum_{j=1}^n c_{j,i} + r_i = b_i$ für alle $1 \leq i \leq m$

3 Erkennung durch Reduktionsverfahren (2)

■ Weitere Definitionen

- ◆ A_j sind die Vektoren ($a_{j,1}, a_{j,2}, \dots a_{j,m}$) der aktuellen Anforderungen durch den Prozess j
- ◆ zwei Vektoren A und B stehen in der Relation $A \leq B$, falls die Elemente der Vektoren jeweils paarweise in der gleichen Relation stehen

■ Algorithmus

1. alle Prozesse sind zunächst unmarkiert
 2. wähle einen Prozess j , so dass $A_j \leq R$
(Prozess ist ohne Verklemmung ausführbar)
 3. falls ein solcher Prozess j existiert, addiere C_j zu R , markiere Prozess j 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

3 Erkennung durch Reduktionsverfahren (3)

■ 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 unmarkiert: keine Verklemmung

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

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

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)

G.6 Kombination der Verfahren

- Einsatz verschiedener Verfahren für verschiedene Betriebsmittel
 - ◆ Interne Betriebsmittel:
Vermeiden von Verklemmungen durch totale Ordnung der Betriebsmittel (z.B. IBM Mainframe-Systeme)
 - ◆ Hauptspeicher:
Vermeiden von Verklemmungen durch Entzug des Speichers (z.B. durch Swap-Out)
 - ◆ Betriebsmittel eines Jobs:
Angabe der benötigten Betriebsmittel beim Starten; Einsatz der Verhinderungsstrategie durch Feststellen unsicherer Zustände
 - ◆ Hintergrundspeicher (Swap-Space):
Vorausbelegung des Hintergrundspeichers