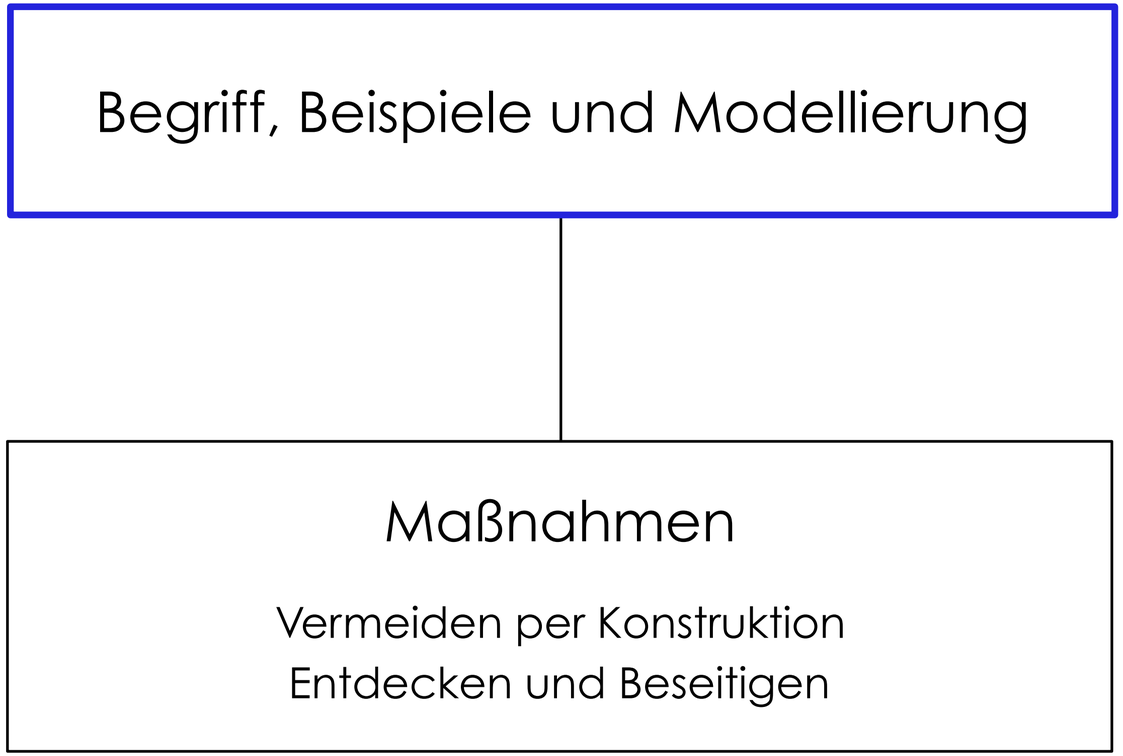
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

**Faculty of Computer Science** Institute of Systems Architecture, Operating Systems Group

# VERKLEMMUNGEN

MICHAEL ROITZSCH

# Wegweiser


Begriff, Beispiele und Modellierung
Maßnahmen
Vermeiden per Konstruktion
Entdecken und Beseitigen

# Beispiel Verklemmungen

## Banküberweisung

```
void transfer(Account from, Account to, unsigned amount){

  from.lock();
  to.lock();

  from.balance -= amount;
  to.balance   += amount;

  to.unlock();
  from.unlock();
}
```

```
transfer(A, B, 100) || transfer(B, A, 50)
```

# Definition Verklemmung

**Verklemmung / Deadlock**

Eine Menge von Threads heißt verklemmt (die Threads befinden sich in einem Deadlock), wenn jeder Thread dieser Menge auf ein Ereignis wartet, das nur von einem anderen Thread dieser Menge ausgelöst werden kann.

Ereignis:

- Botschaften, Semaphor wird frei
- Ursache in der Regel: Freigeben von Betriebsmitteln

# Betriebsmittel

- CPU, Speicher, Geräte, ...
- Datenbank-Einträge, Datenstrukturen im Speicher, ...
- 1 Benutzer pro BM zu einem Zeitpunkt
- verdrängbar (preemptible) vs. nicht verdrängbar
  - CPU, Hauptspeicher können entzogen werden
  - Freigabe für Datenbank-Eintrag/Datenstruktur kann erst nach Ende des Auftrages/Transaktion entzogen werden

**Sequenz**

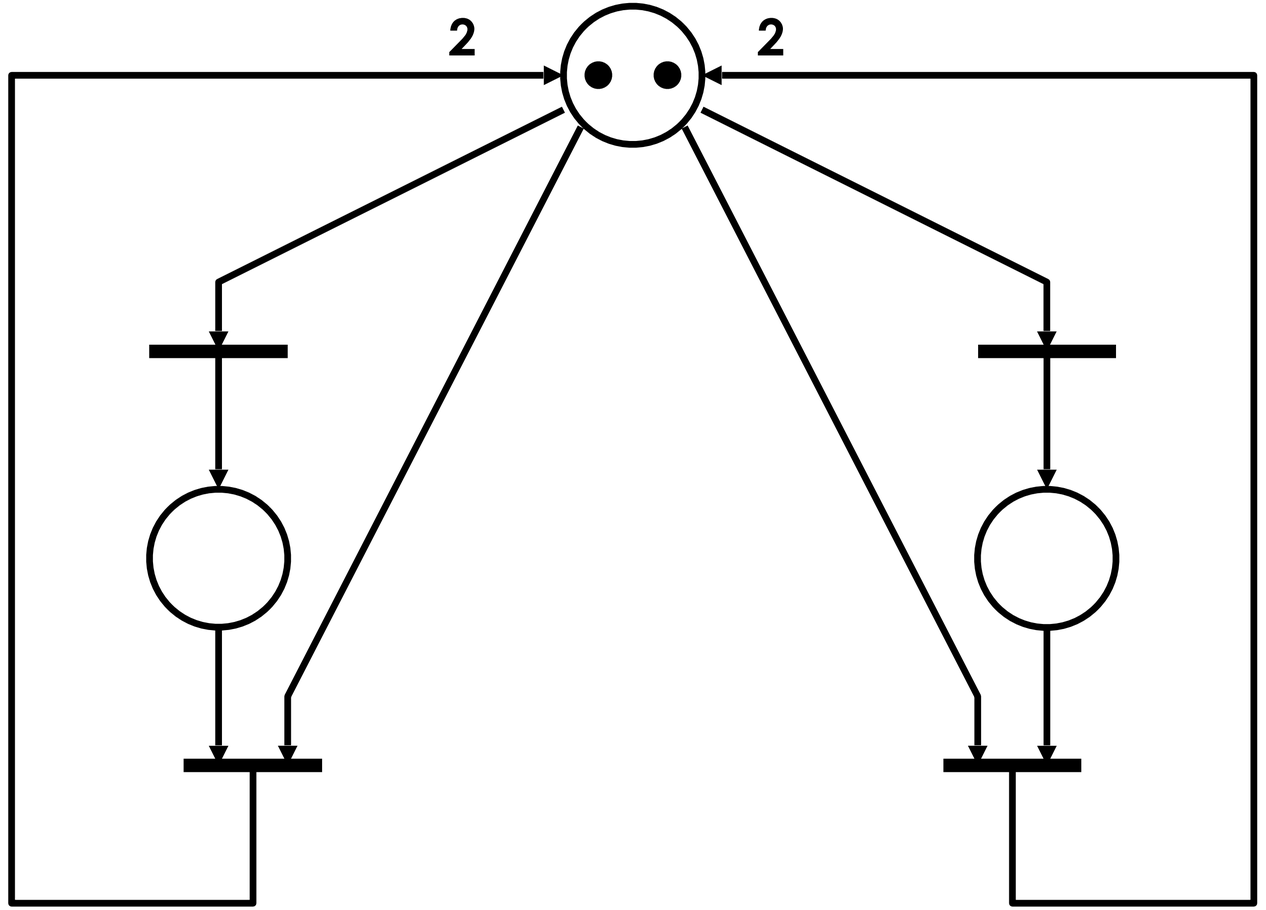
```
request ...
use ...
release ...
```

# Zweck von Modellierung

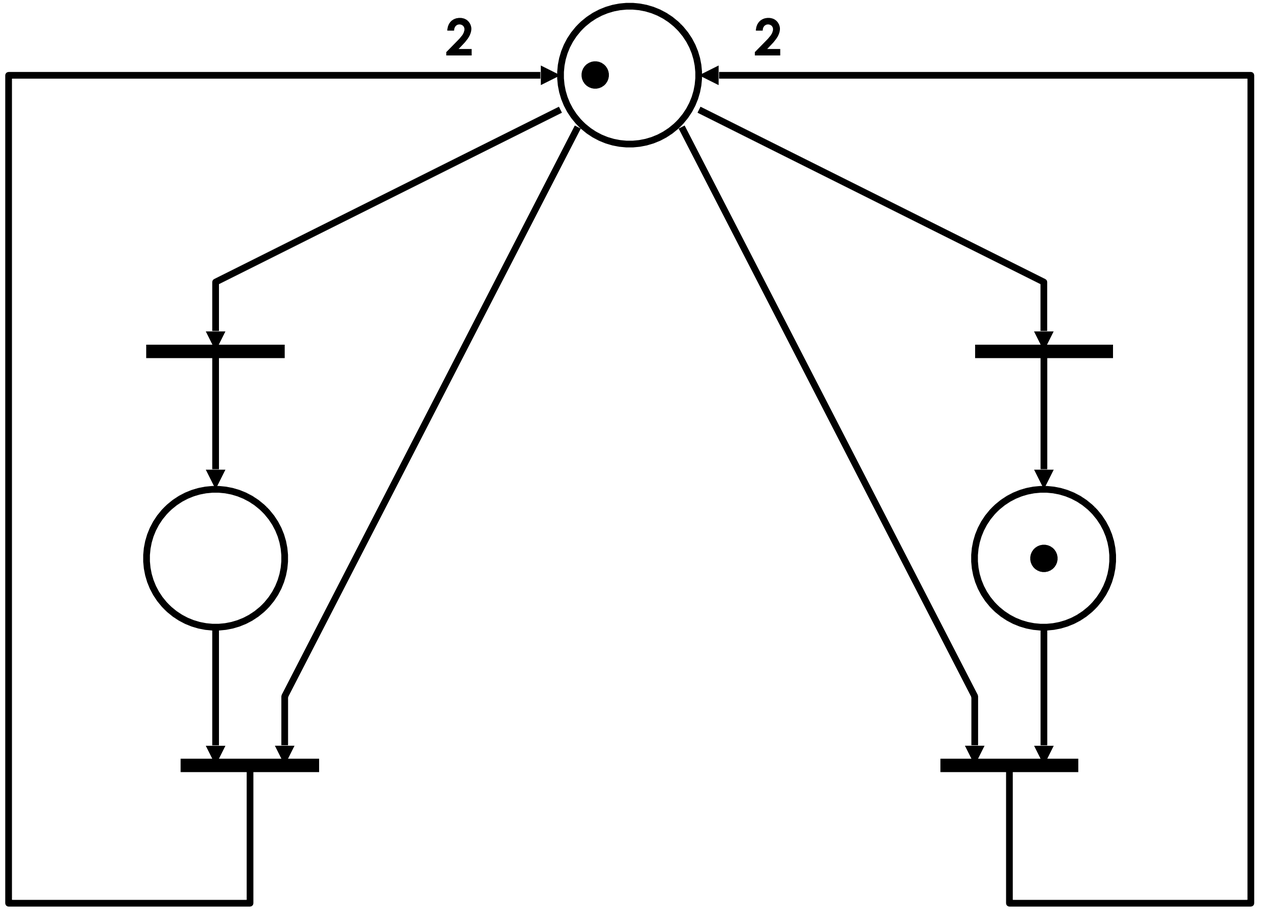
Abstrakteres Verstehen des Sachverhalts

- Feststellen, ob es sich bei einer „anomalen“ Situation um eine Verklemmung handelt
- Analyse, ob für ein gegebenes Verfahren oder eine gegebene Situation eine Anforderungsfolge zur Verklemmung führen kann

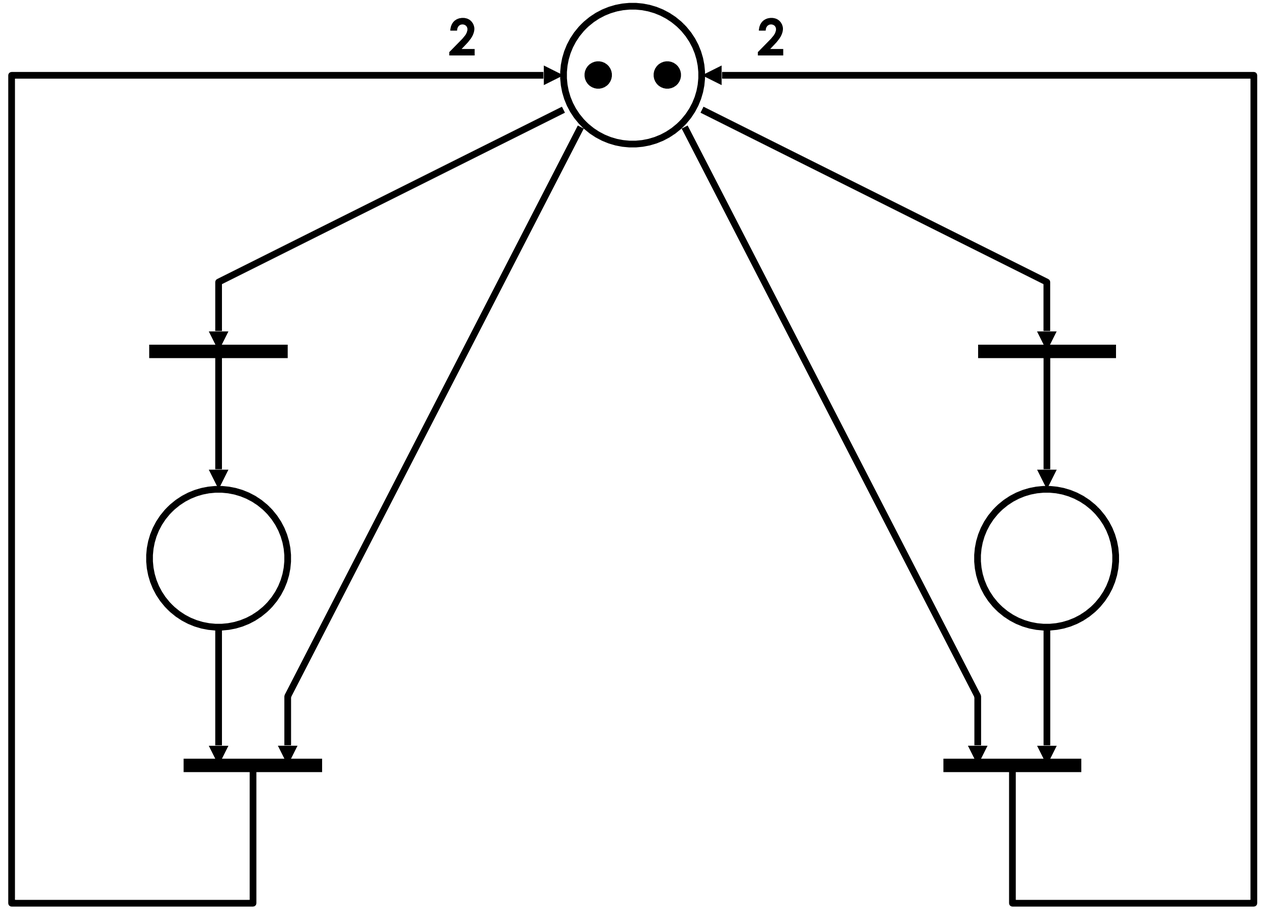
# Modellierung mittels PETRI-Netzen



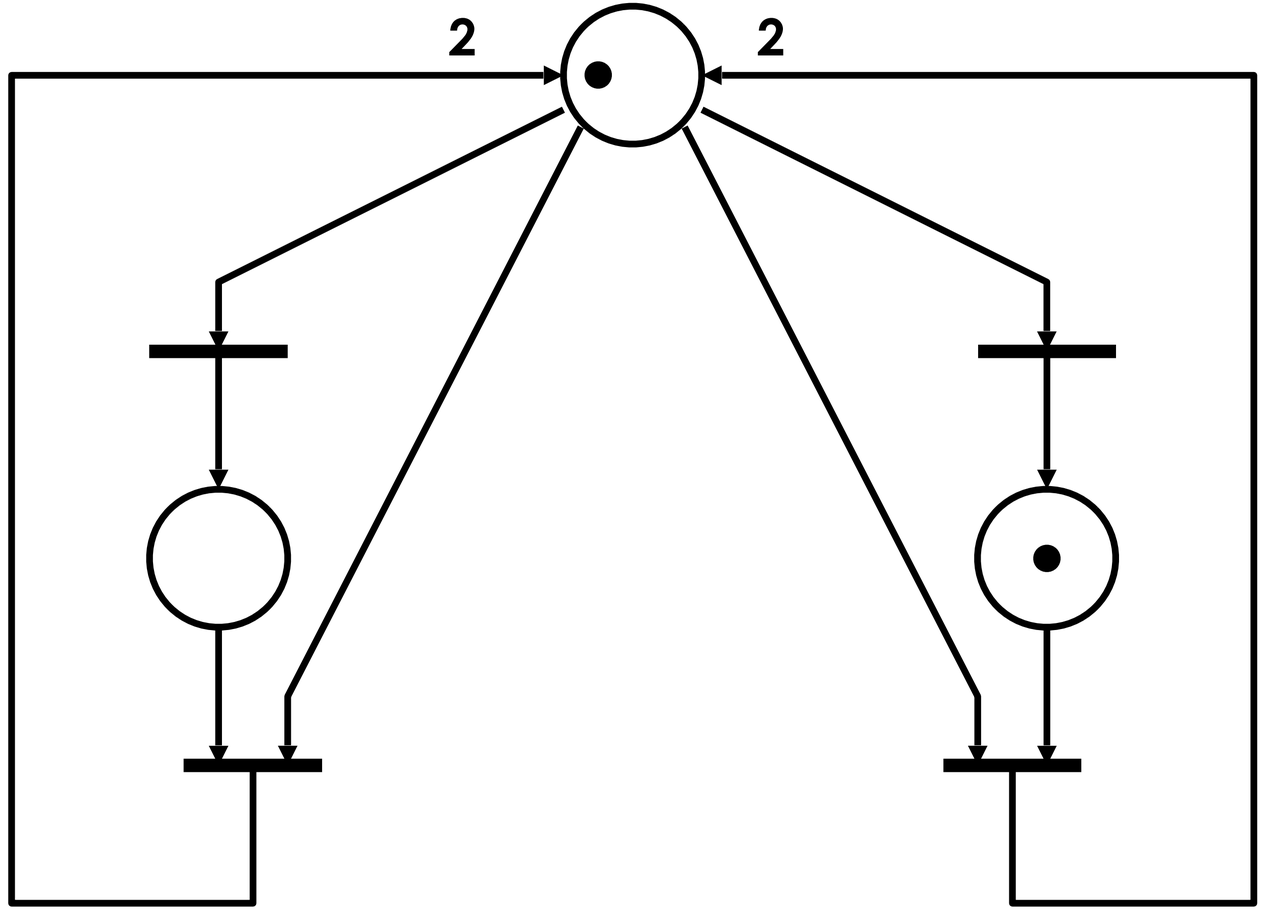
# Modellierung mittels PETRI-Netzen



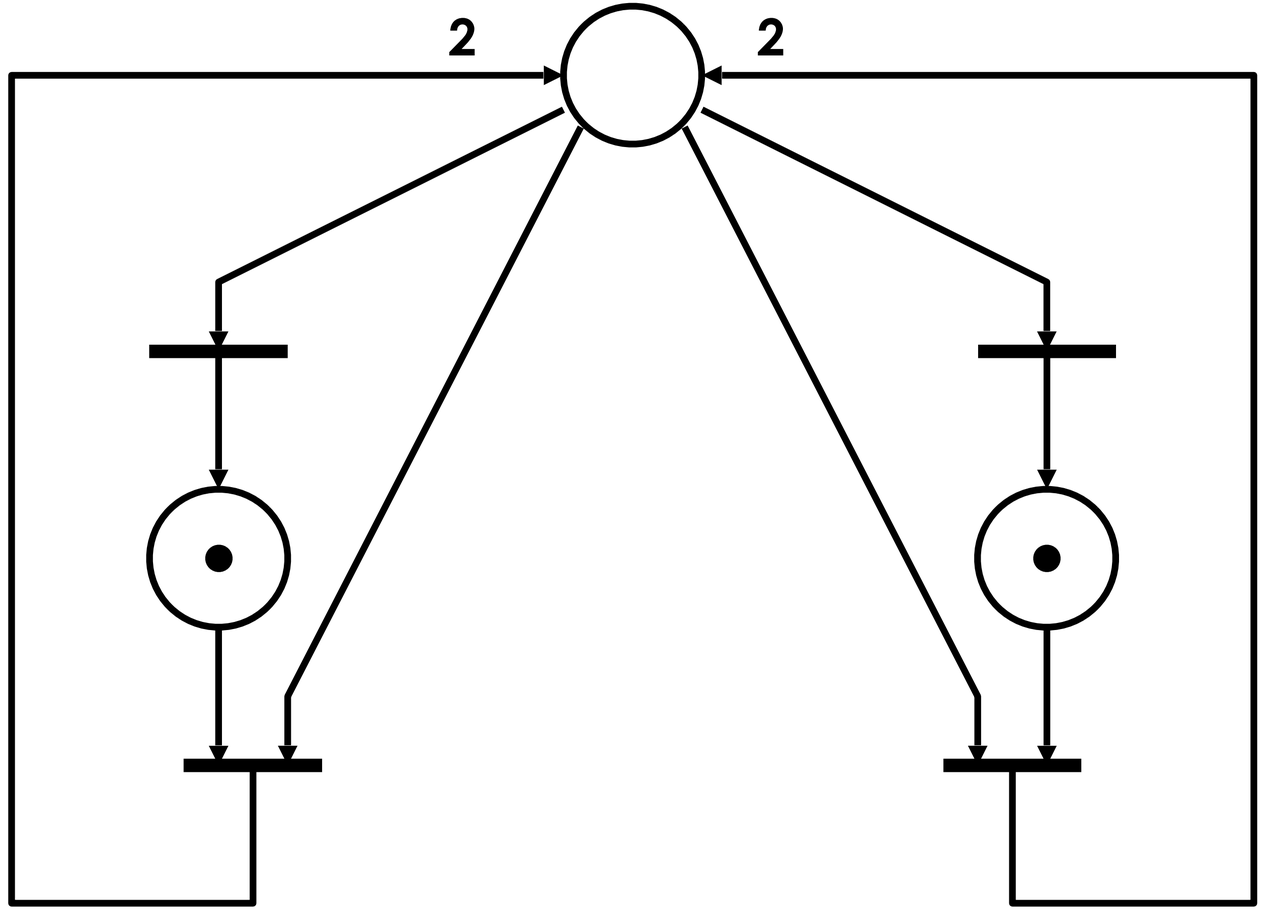
# Modellierung mittels PETRI-Netzen



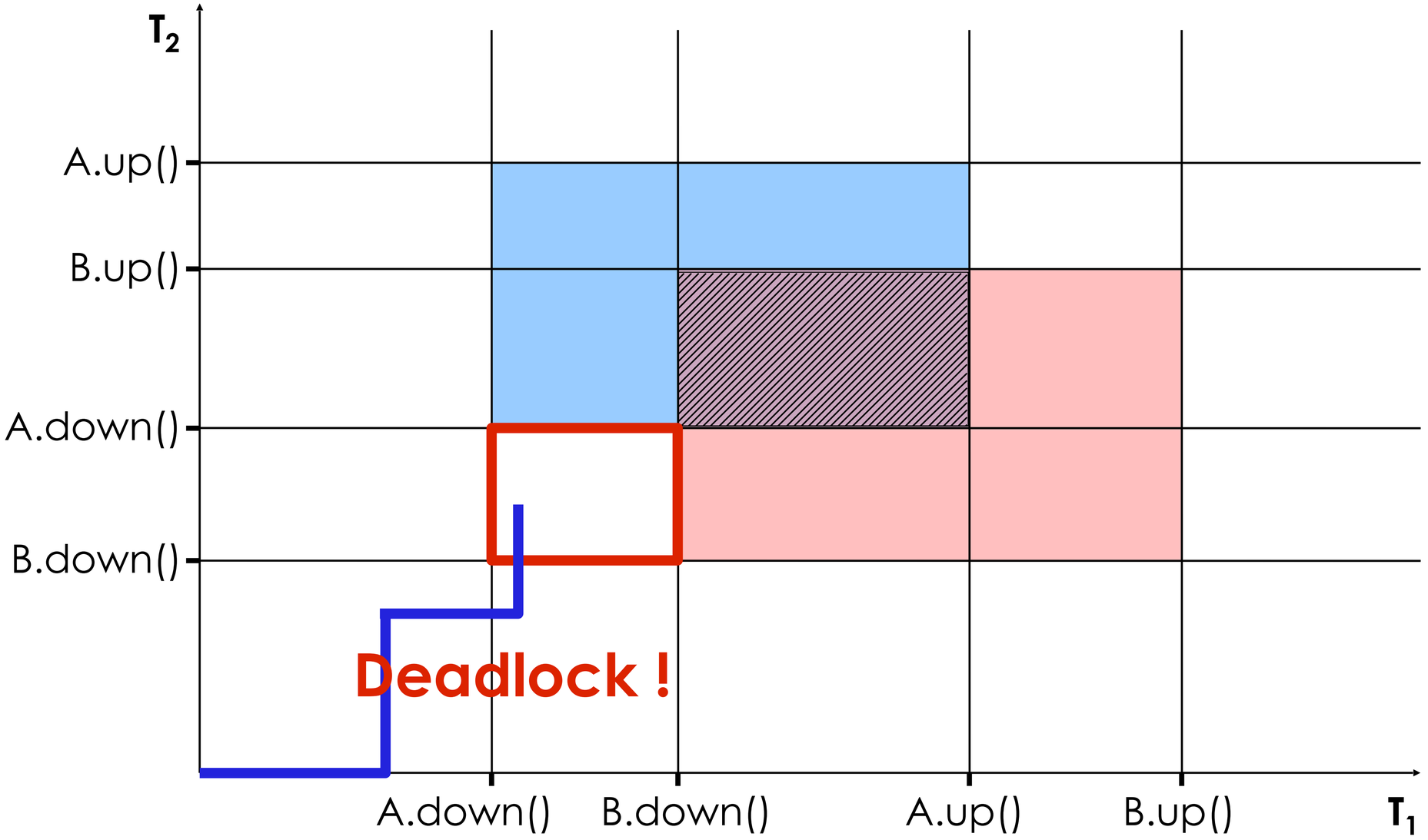
# Modellierung mittels PETRI-Netzen



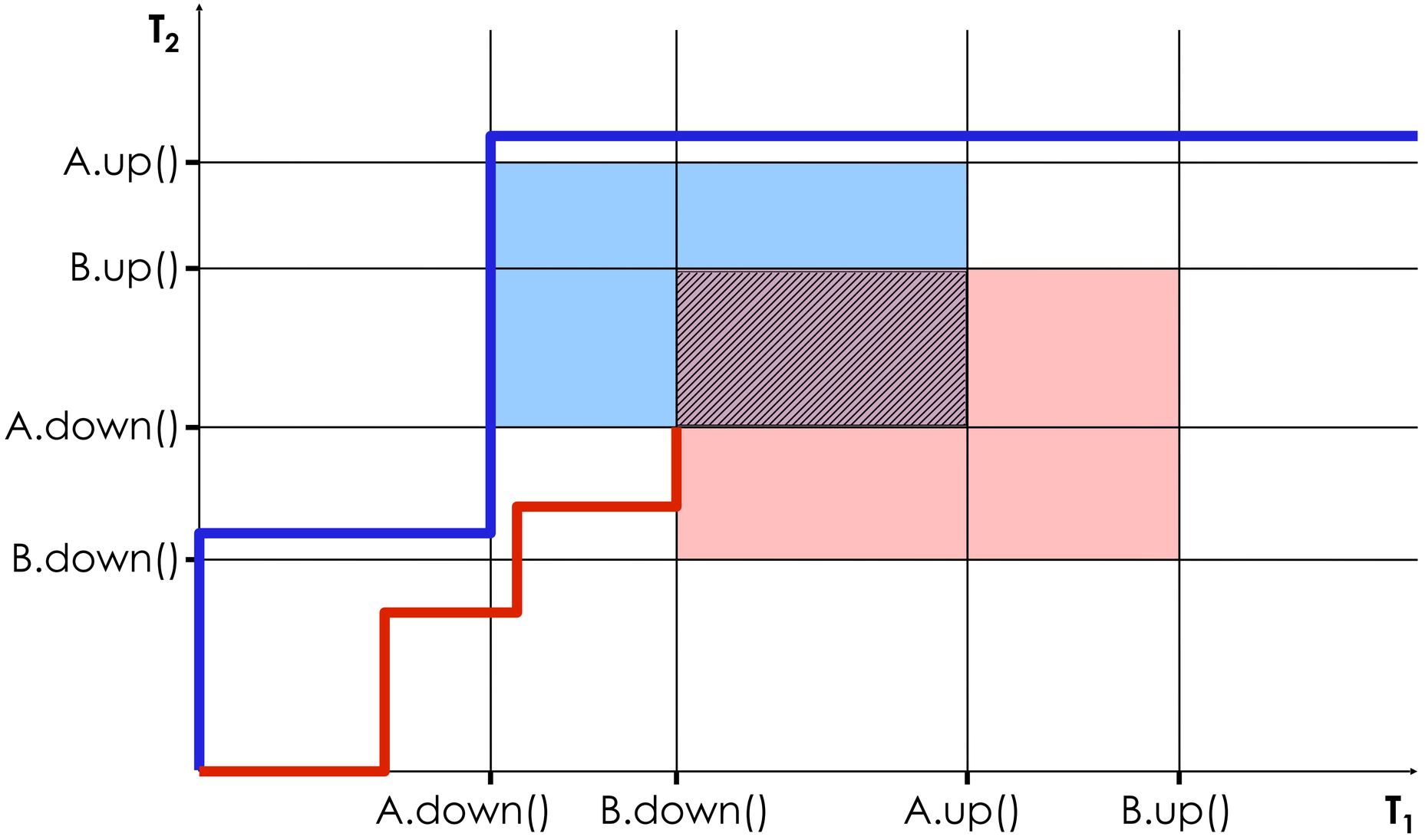
# Modellierung mittels PETRI-Netzen



# Prozessfortschrittsdiagramme



# Prozessfortschrittsdiagramme



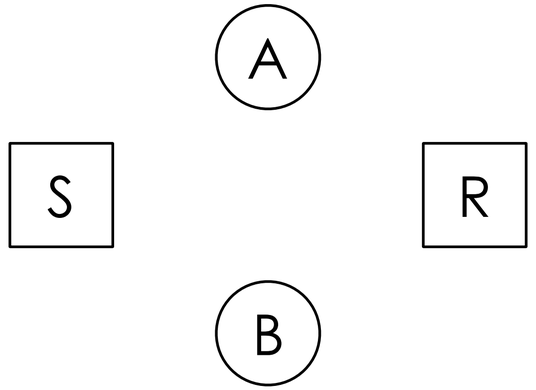
# Modellierung mittels BM-Zuteilungsgraph

**Betriebsmittel-Zuteilungsgraph (HOLT et al., 1972)**

Zyklus im Graphen → zyklische Wartesituation

**Beispiel**

- Thread A fordert S an
- Thread B fordert R an
- Thread A fordert R an
- Thread B fordert S an



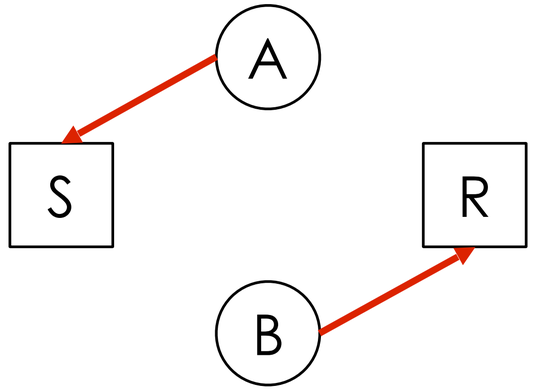
# Modellierung mittels BM-Zuteilungsgraph

**Betriebsmittel-Zuteilungsgraph (HOLT et al., 1972)**

Zyklus im Graphen → zyklische Wartesituation

**Beispiel**

- Thread A besitzt S
- Thread B besitzt R
- Thread A fordert R an
- Thread B fordert S an



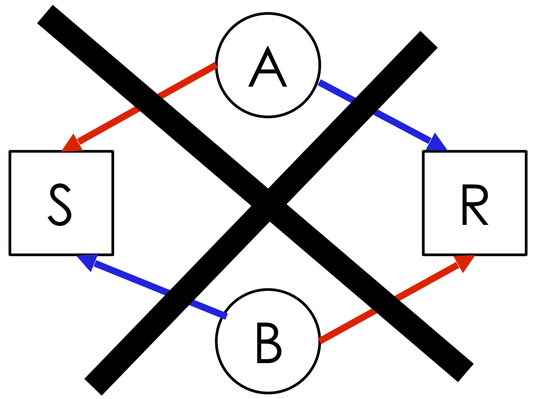
# Modellierung mittels BM-Zuteilungsgraph

**Betriebsmittel-Zuteilungsgraph (HOLT et al., 1972)**

Zyklus im Graphen → zyklische Wartesituation

**Beispiel**

- Thread A besitzt S
- Thread B besitzt R
- Thread A fordert R an
- Thread B fordert S an



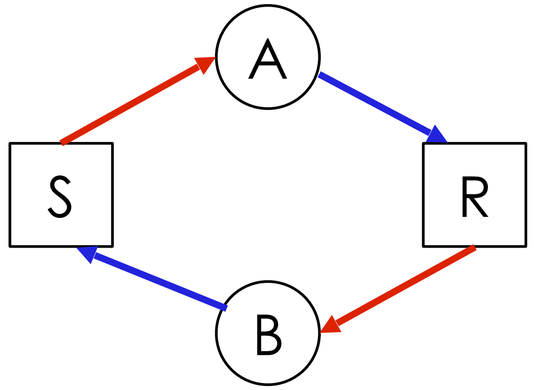
# Modellierung mittels BM-Zuteilungsgraph

**Betriebsmittel-Zuteilungsgraph (HOLT et al., 1972)**

Zyklus im Graphen → zyklische Wartesituation

**Beispiel**

- Thread A besitzt S → S wartet für Freigabe auf A
- Thread B besitzt R → R wartet für Freigabe auf B
- Thread A fordert R an → A wartet auf Freigabe von R
- Thread B fordert S an → B wartet auf Freigabe von S



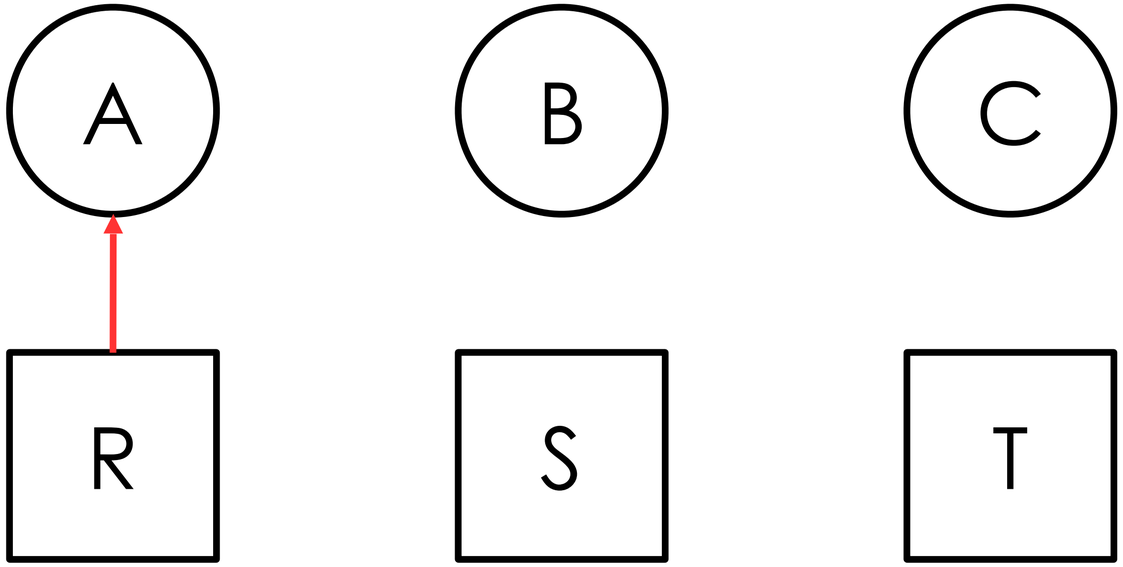
# Beispiel 1 (Tanenbaum)

```
A :

   request(R);
   request(S);
   release(R);
   release(S);
```

```
B :

   request(S);
   request(T);
   release(S);
   release(T);
```

```
C :

   request(T);
   request(R);
   release(T);
   release(R);
```

1. A fordert R



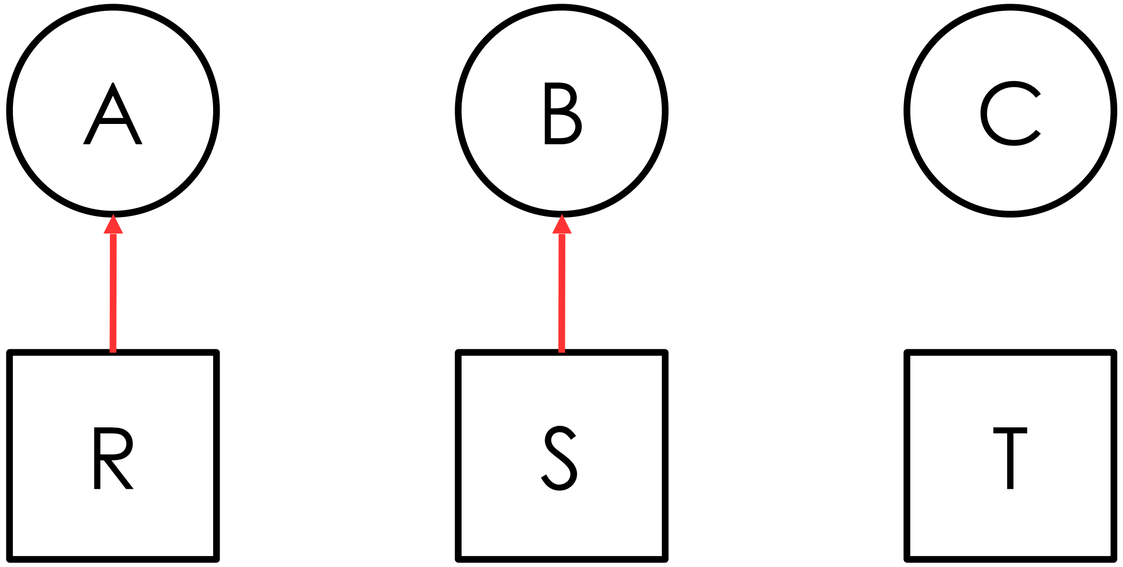
# Beispiel 1

```
A :

   request(R);
   request(S);
   release(R);
   release(S);
```

```
B :

   request(S);
   request(T);
   release(S);
   release(T);
```

```
C :

   request(T);
   request(R);
   release(T);
   release(R);
```

1. A fordert R
2. B fordert S



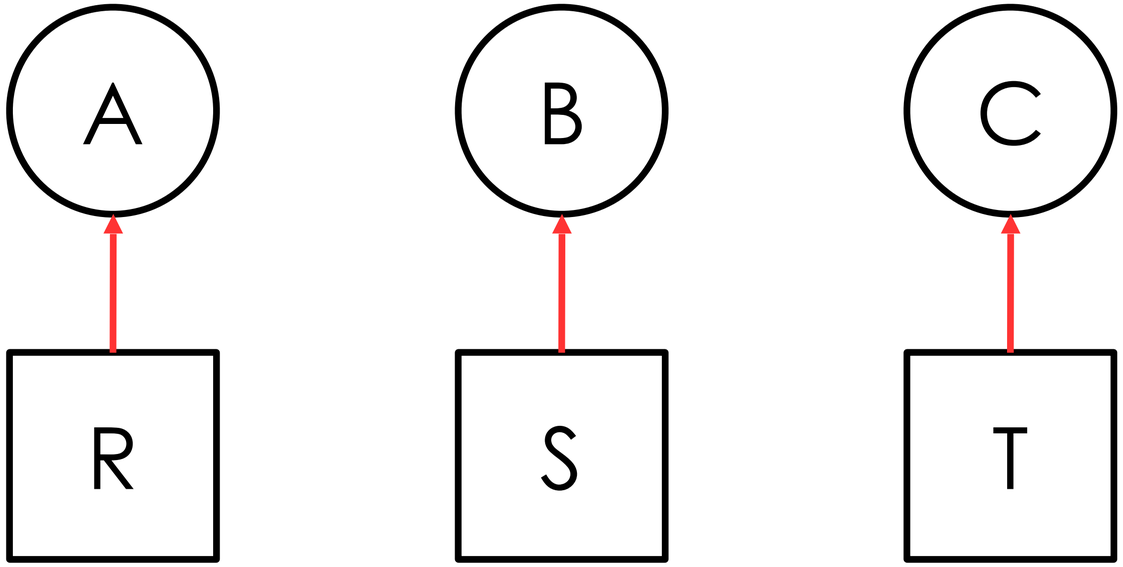
# Beispiel 1

```
A :

  request(R);
  request(S);
  release(R);
  release(S);
```

```
B :

  request(S);
  request(T);
  release(S);
  release(T);
```

```
C :

  request(T);
  request(R);
  release(T);
  release(R);
```

1. A fordert R
2. B  fordert S
3. C fordert T



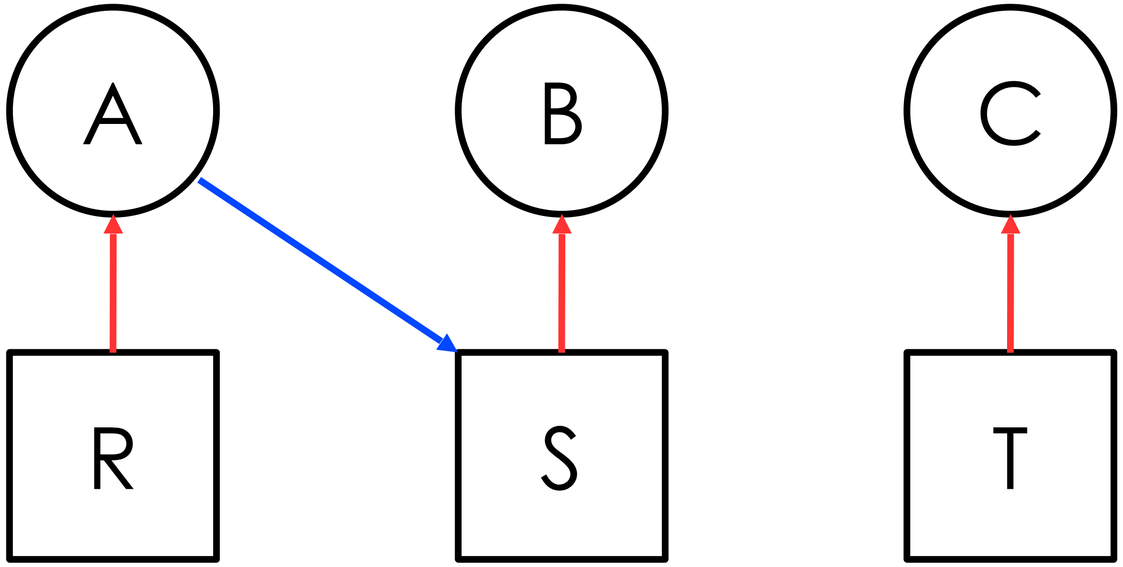
# Beispiel 1

```
A :

   request(R);
   request(S);
   release(R);
   release(S);
```

```
B :

   request(S);
   request(T);
   release(S);
   release(T);
```

```
C :

   request(T);
   request(R);
   release(T);
   release(R);
```

1. A fordert R
2. B fordert S
3. C fordert T
4. A fordert S



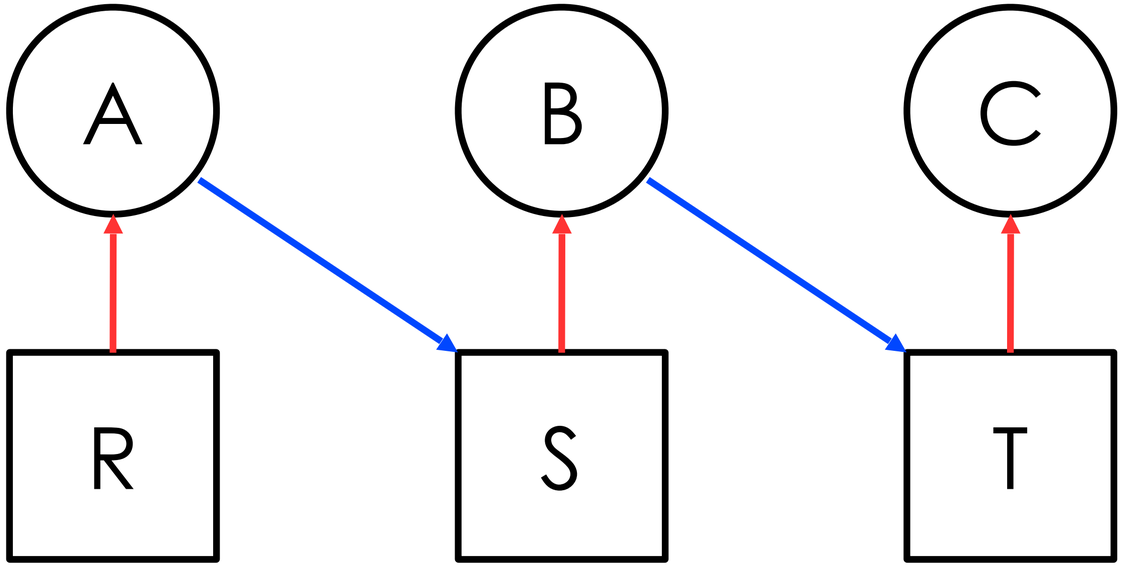
# Beispiel 1

```
A :

   request(R);
   request(S);
   release(R);
   release(S);
```

```
B :

   request(S);
   request(T);
   release(S);
   release(T);
```

```
C :

   request(T);
   request(R);
   release(T);
   release(R);
```

1. A fordert R
2. B fordert S
3. C fordert T
4. A fordert S
5. B fordert T



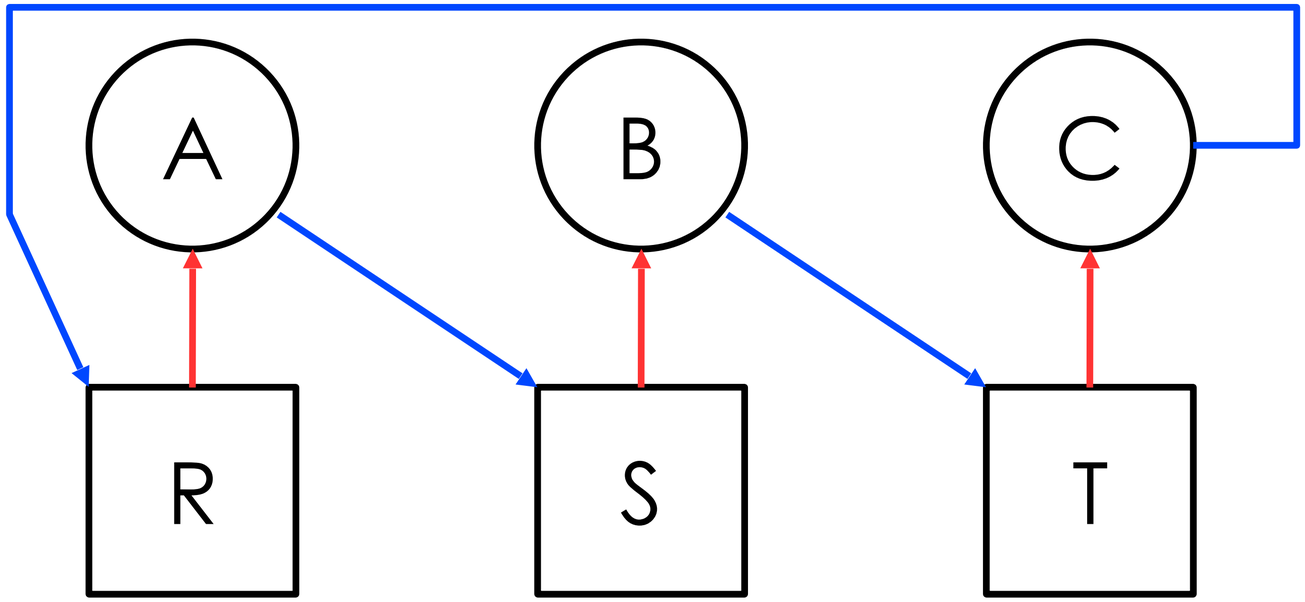
# Beispiel 1

```
A :

   request(R);
   request(S);
   release(R);
   release(S);
```

```
B :

   request(S);
   request(T);
   release(S);
   release(T);
```

```
C :

   request(T);
   request(R);
   release(T);
   release(R);
```

1. A fordert R
2. B fordert S
3. C fordert T
4. A fordert S
5. B fordert T
6. C fordert R



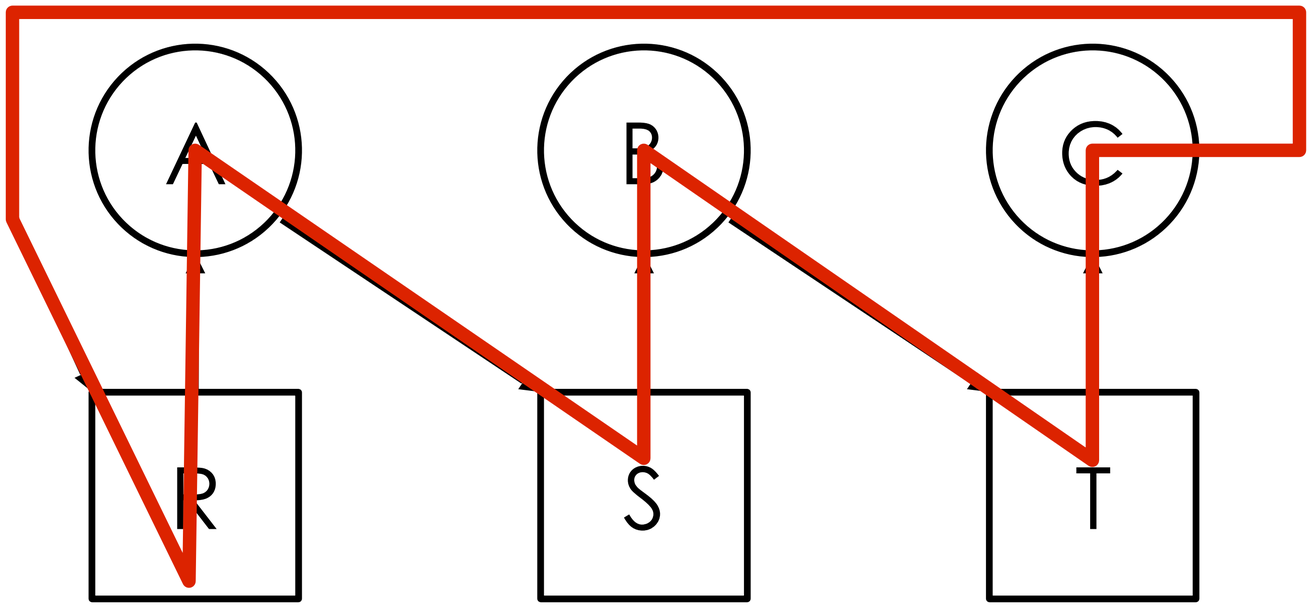
# Beispiel 1

```
A :

   request(R);
   request(S);
   release(R);
   release(S);
```

```
B :

   request(S);
   request(T);
   release(S);
   release(T);
```

```
C :

   request(T);
   request(R);
   release(T);
   release(R);
```

1. A fordert R
2. B fordert S
3. C fordert T
4. A fordert S
5. B fordert T
6. C fordert R



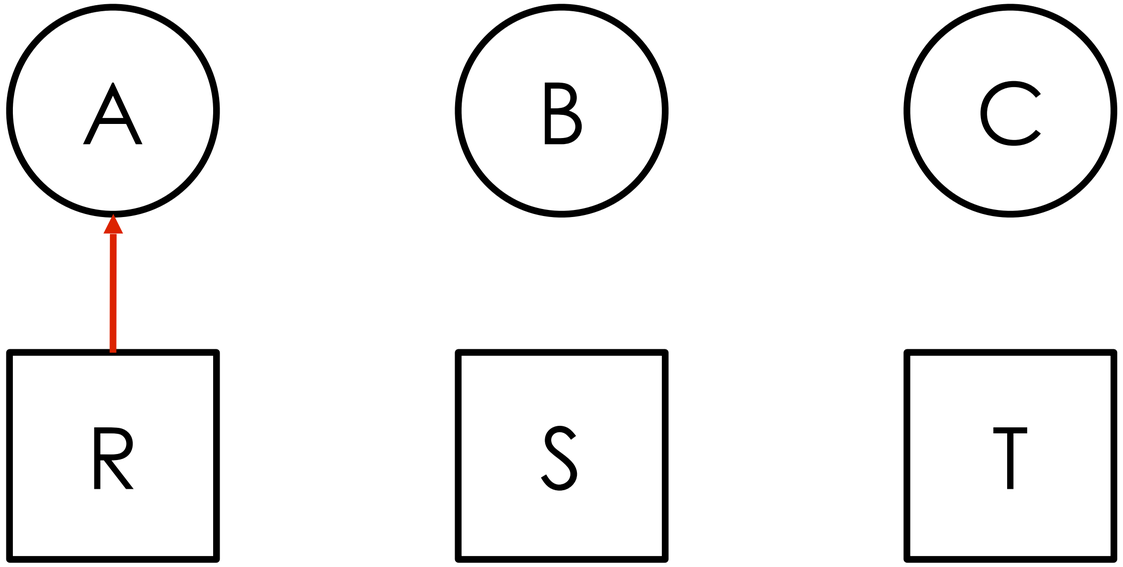
# Beispiel 2

```
A :

   request(R);
   request(S);
   release(R);
   release(S);
```

```
B :

   request(S);
   request(T);
   release(S);
   release(T);
```

```
C :

   request(T);
   request(R);
   release(T);
   release(R);
```

1. A fordert R



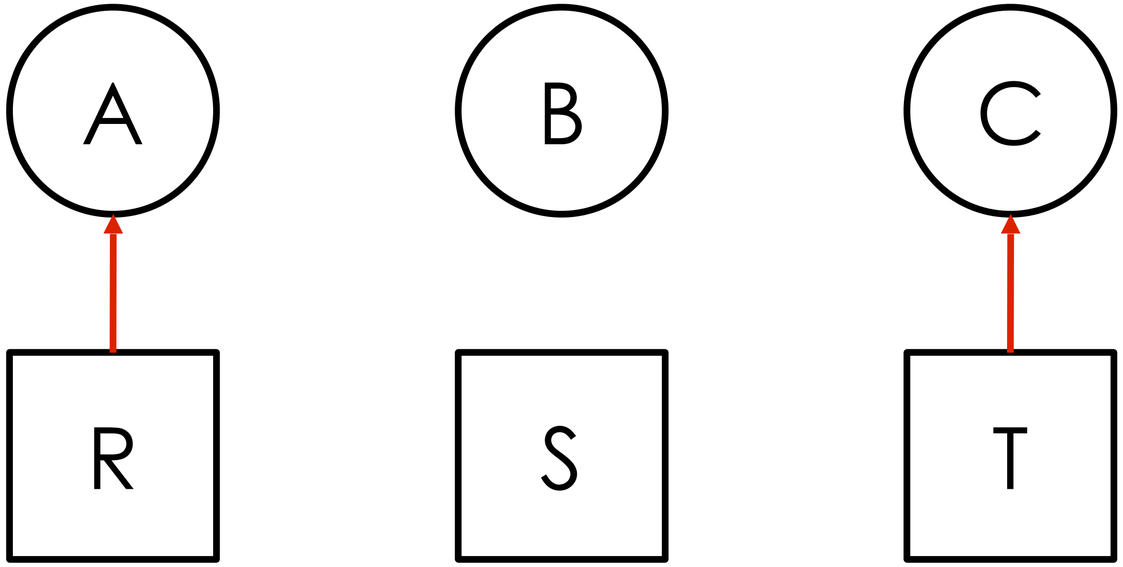
# Beispiel 2

```
A :

  request(R);
  request(S);
  release(R);
  release(S);
```

```
B :

  request(S);
  request(T);
  release(S);
  release(T);
```

```
C :

  request(T);
  request(R);
  release(T);
  release(R);
```

1. A fordert R
2. C fordert T



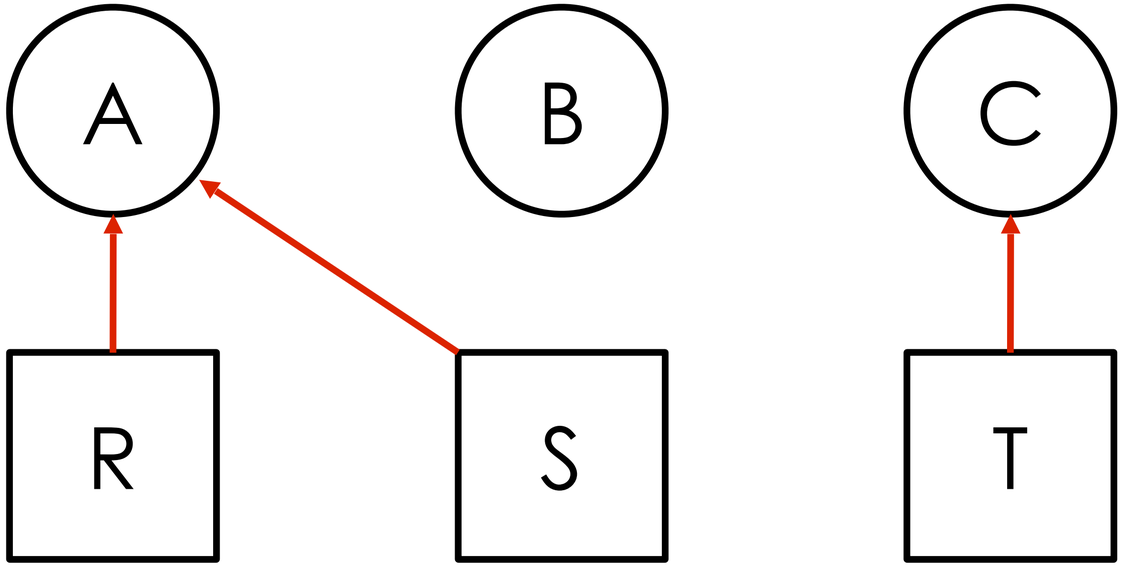
# Beispiel 2

```
A :

   request(R);
   request(S);
   release(R);
   release(S);
```

```
B :

   request(S);
   request(T);
   release(S);
   release(T);
```

```
C :

   request(T);
   request(R);
   release(T);
   release(R);
```

1. A fordert R
2. C fordert T
3. A fordert S



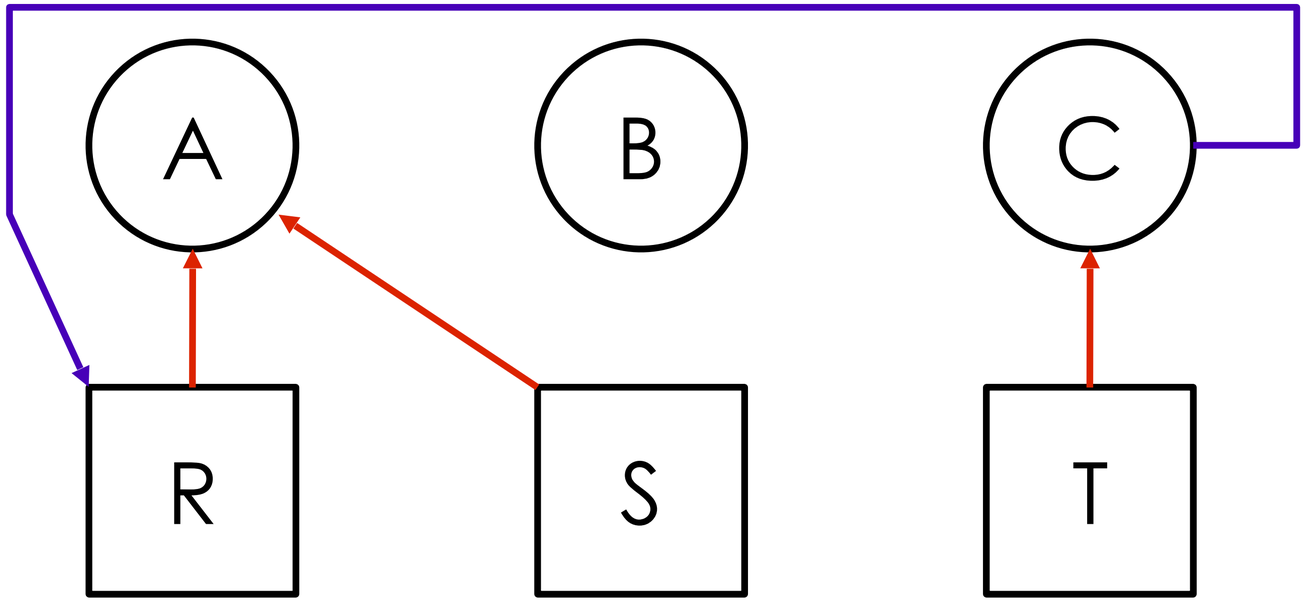
# Beispiel 2

```
A :

   request(R);
   request(S);
   release(R);
   release(S);
```

```
B :

   request(S);
   request(T);
   release(S);
   release(T);
```

```
C :

   request(T);
   request(R);
   release(T);
   release(R);
```

1. A fordert R
2. C fordert T
3. A fordert S
4. C fordert R



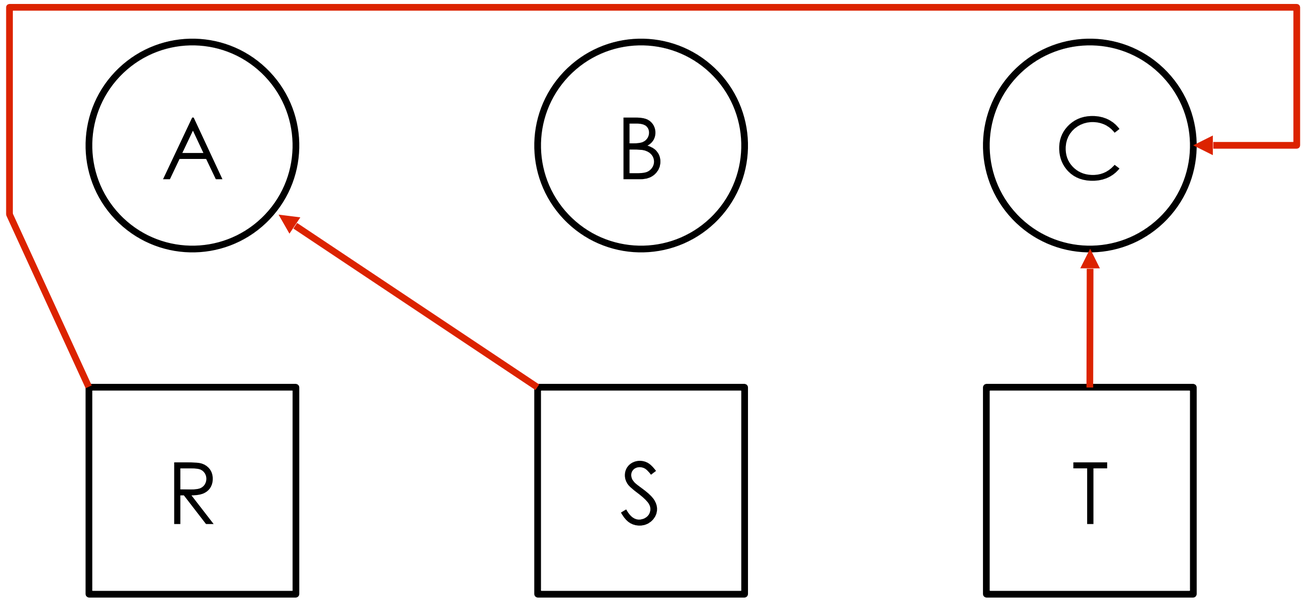
# Beispiel 2

```
A :

   request(R);
   request(S);
   release(R);
   release(S);
```

```
B :

   request(S);
   request(T);
   release(S);
   release(T);
```

```
C :

   request(T);
   request(R);
   release(T);
   release(R);
```

1. A fordert R
2. C fordert T
3. A fordert S
4. C fordert R
5. A gibt frei R



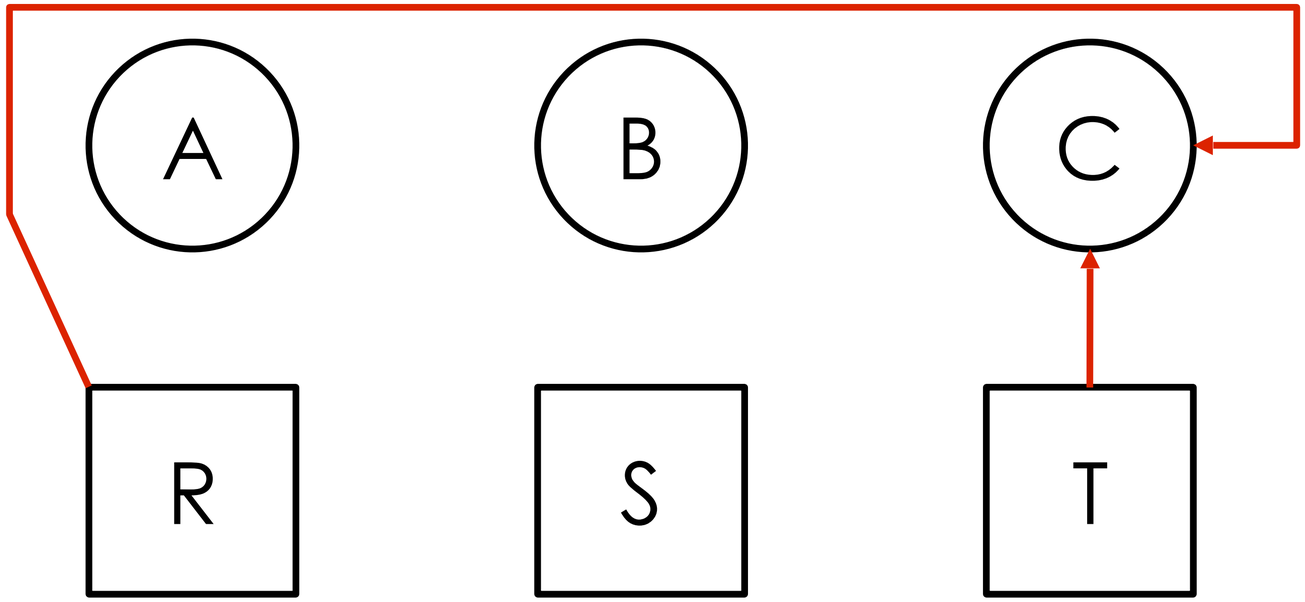
# Beispiel 2

```
A :

   request(R);
   request(S);
   release(R);
   release(S);
```

```
B :

   request(S);
   request(T);
   release(S);
   release(T);
```

```
C :

   request(T);
   request(R);
   release(T);
   release(R);
```

1. A fordert R
2. C fordert T
3. A fordert S
4. C fordert R
5. A gibt frei R
6. A gibt frei S



# Charakterisierende Bedingungen

Notwendige und hinreichende Bedingungen für das Auftreten von Verklemmungen bei Ein-Exemplar-BM
— *COFFMAN (1971)*

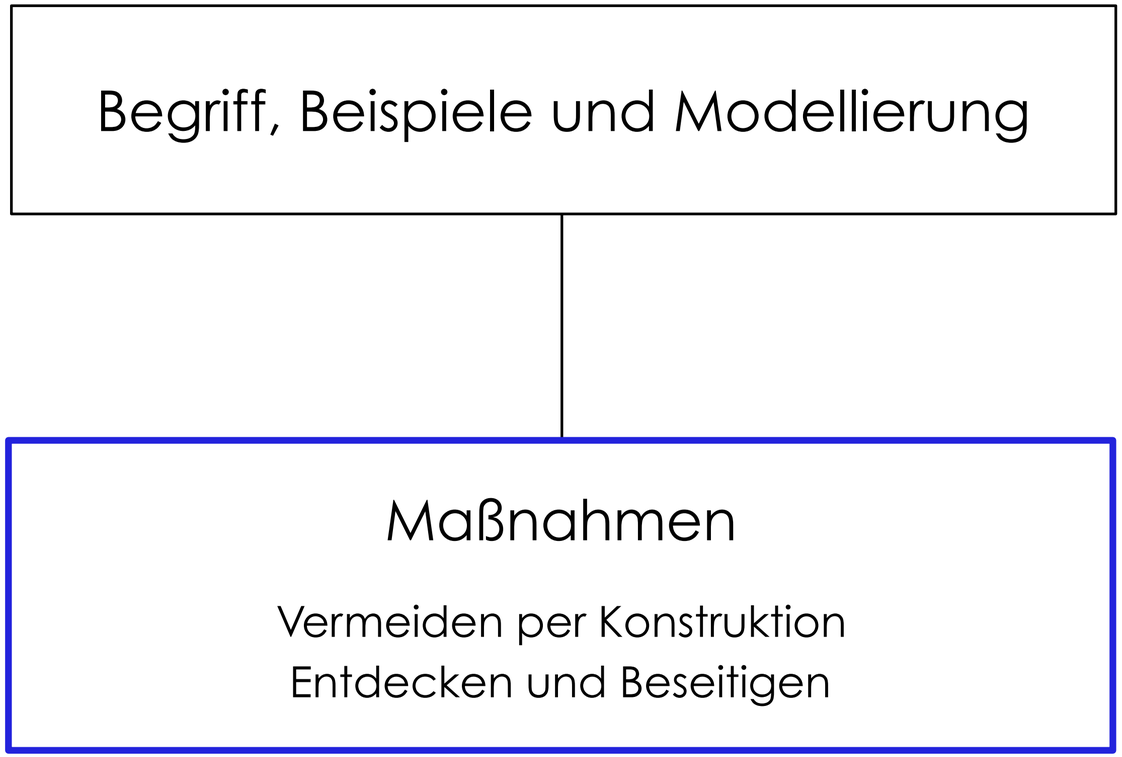
**Notwendig** ist jede einzelne der Bedingungen:

1. gegenseitiger Ausschluss bei Benutzung von BM
2. Nachfordern von BM
3. keine Verdrängung (Entzug der BM) möglich
4. zyklische Wartesituation

**Hinreichend** ist:

Die Konjunktion der obigen vier Bedingungen.

# Wegweiser


Begriff, Beispiele und Modellierung
Maßnahmen
Vermeiden per Konstruktion
Entdecken und Beseitigen

# Ausschließen der notwendigen Bedingungen

1. Gegenseitiger Ausschluss (Mutual Exclusion)

   z. B. durch asynchrone Bearbeitung von Aufträgen

2. Nachfordern

   alle BM müssen bei Start angefordert werden, Freigabe aller BM bei Neuforderung

   Probleme: Dynamik, BM-Auslastung

3. Nicht-Entziehbarkeit

   bei logischen Betriebsmitteln (Transaktionen)

4. Zyklische Wartebedingung

   sorgfältige Betriebsmittelzuteilung (nächste Folien)

# Sorgfältige Zuteilung: globale Reihenfolge

- Anforderung der BM in festgelegter Reihenfolge
- damit ist ein Zyklus ausgeschlossen
- zahlreiche Einzelsituationen bei Konstruktion komplexer paralleler Systeme
- Implementierungen in Sprachumgebungen
  (C++ **`std::lock`**)
- aber: nicht verträglich mit Funktionsaufrufen

# Sorgfältige Zuteilung: Banker's Algorithm

**Bank-Algorithmus für 1 Betriebsmittel-Typ (HABERMANN 1969)**

Gegeben:

- Thread-System T
- maximale Anzahl G von BM-Exemplaren
- maximale Anzahl KP von BM-Exemplaren, die Thread Ti $\in$ T im Laufe seiner Existenz benötigt mit KP $\leq$ G

Zustand:

- Vektor der momentan den Threads zugeteilten BM-Exemplare

# Sicherer Zustand

Ein Zustand heißt **sicher,** wenn

- keine Verklemmung vorliegt
- es eine Reihenfolge der Erfüllung aller Anforderungen gibt, ohne daß eine Verklemmung auftritt.

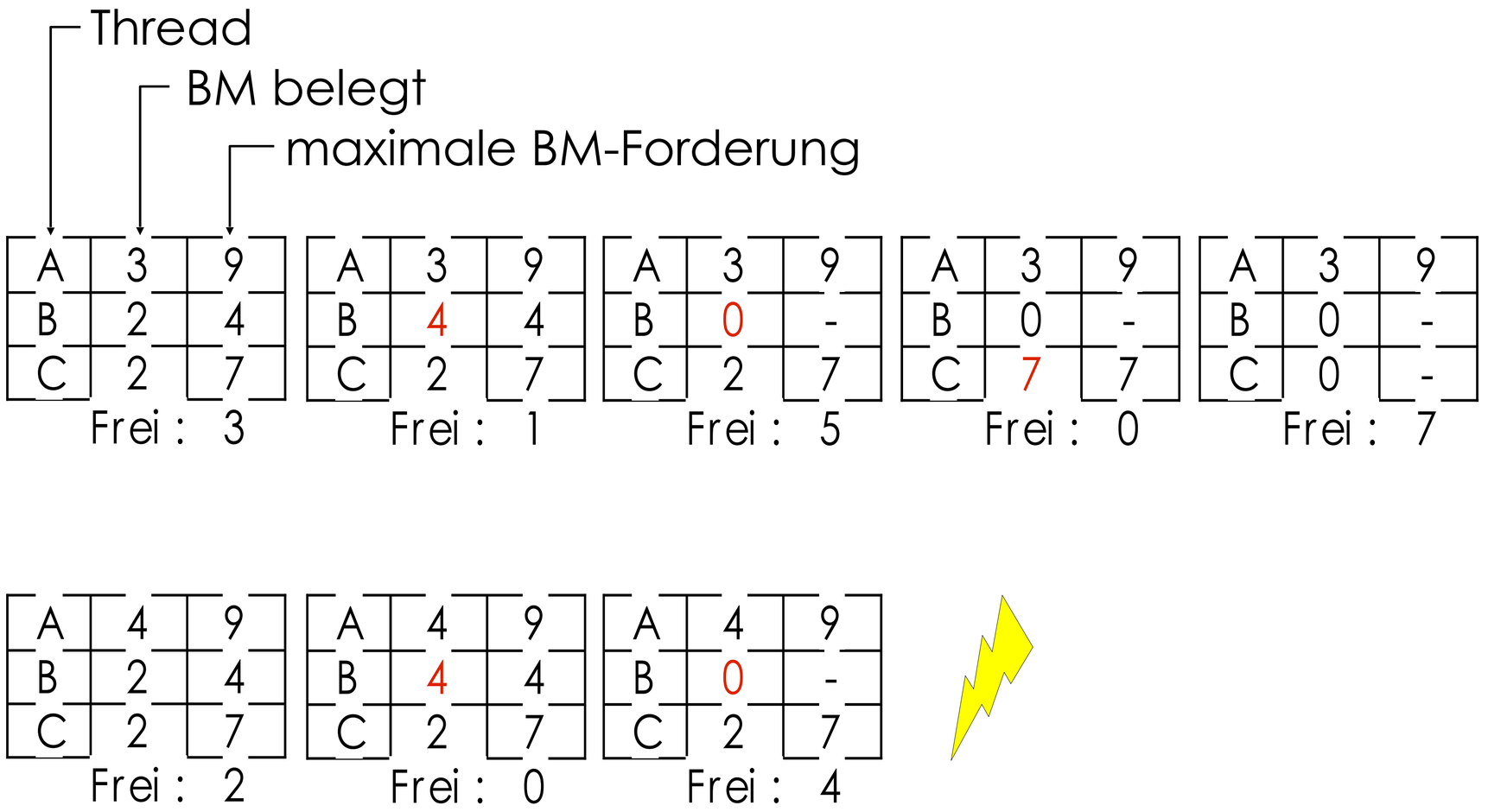
Andernfalls heißt der Zustand **unsicher.**

**Idee des Bank-Algorithmus:**

Zuteilung nur vornehmen, wenn Nachfolgezustand immer noch sicher ist, andernfalls muss Thread warten.

# Beispiel (nach Tanenbaum)

- 10 Betriebsmittel-Exemplare eines Typs verfügbar



# Bank-Algorithmus – Probleme

- Komplexität: $O(n^2)$, n: Anzahl der Threads
- Test bei jeder Anforderung nötig
- Mehrere BM-Typen: mehrere „Währungen“
- Basis: maximale Anzahl genutzter BM-Exemplare
  - Kenntnis
  - Eintreten dieser Situation („pessimistischer Algorithmus“)
- Blockierdauer nicht kalkulierbar

# Entdecken und Beseitigen

**Symptom:** Operation dauert wesentlicher länger als erwartet

- z.B. timeout als zusätzlicher Parameter blockierender Operationen

**Diagnose:** Feststellen ob zyklische Wartebedingung vorliegt

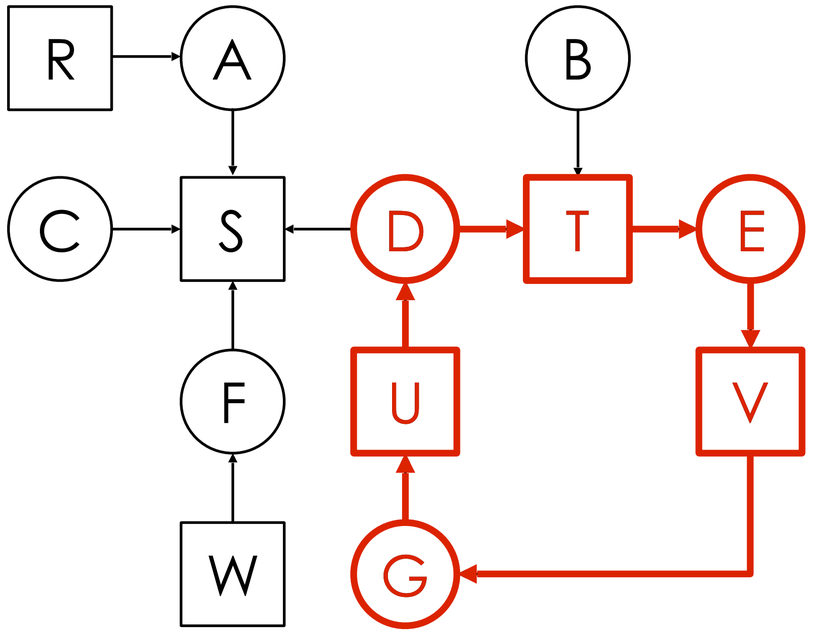
- `int sem_wait(sem_t *s)`
- `EDEADLK` als Rückgabewert bei Gefahr eines Deadlocks

**Therapie:** Verdrängung von Betriebsmitteln

- je nach Betriebsmittel sehr aufwendig

# Entdecken und Beseitigen: Diagnose

| Thread | belegt | fordert |
|---|---|---|
| A | R | S |
| B | nichts | T |
| C | nichts | S |
| D | U | S und T |
| E | T | V |
| F | W | S |
| G | V | U |



# Entdecken und Beseitigen: Therapie

**Verdrängen**

- „von Hand“
- Entfernen von Prozessen

**Zurücksetzen**

- regelmäßiges Erstellen von Rücksetzpunkten
- Zurücksetzen vor die verursachende BM-Anforderung
- Außenwelt-Problem
  (Terminal, Dateisystem, Netzwerk, ...)
- Transaktionen

# Transaktionen

**Zwei-Phasen-Technik / Two-Phase Locking**

- in Datenbanken, Transaktionssystemen
- Aufsammeln der Locks, BM nutzen und freigeben am Ende der Transaktion
- falls ein Lock nicht erworben werden kann, alle erworbenen BM freigeben und auf alten Zustand zurücksetzen

# Verwandte Begriffe

**Verhungern / Starvation**

BM werden nach Gesichtspunkten vergeben, die im Normalfall gut funktionieren, aber im Einzelfall zum „Verhungern“ eines Threads führen können

Beispiel Scheduling: shortest job next

**Livelock**

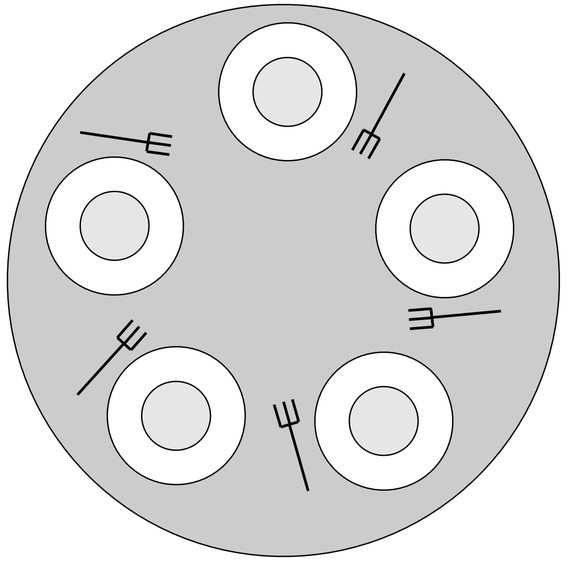
Threads sind aus Betriebssystemsicht nicht blockiert, machen kollektiv aber dennoch keinen Fortschritt.

**Distributed Deadlock**

Verklemmung über mehrere Rechner in einem verteilten System.

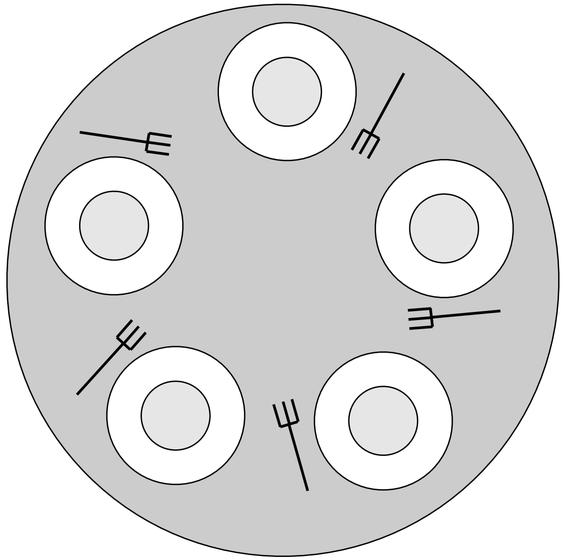
# Dining Philosophers

- 5 Philosophen sitzen um einen Tisch, denken und essen Spaghetti
- zum Essen braucht jeder zwei Gabeln, es gibt aber insgesamt nur 5
- Problem: kein Philosoph soll verhungern



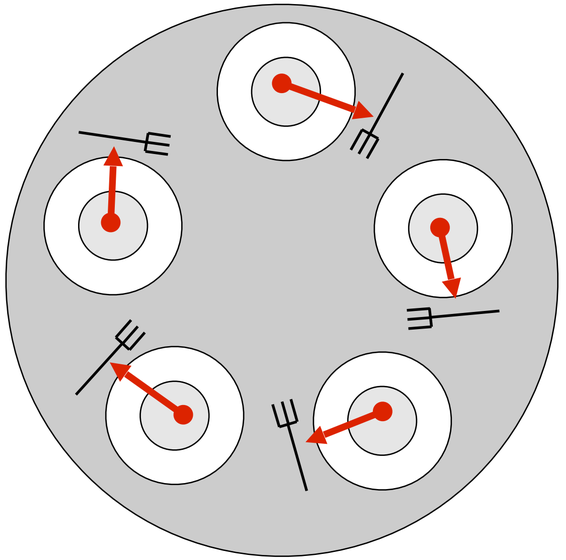
# Die offensichtliche Lösung

```
void Philosoph(int i) {

  Denken();

  NimmGabel(i);

  NimmGabel((i+1)%5);

  Essen();

  LegeZurückGabel(i);
  LegeZurückGabel((i+1)%5);
}
```



# Die offensichtliche (aber falsche) Lösung

```
void Philosoph(int i) {

  Denken();

  NimmGabel(i);

  NimmGabel((i+1)%5);

  Essen();

  LegeZurückGabel(i);
  LegeZurückGabel((i+1)%5);
}
```



- kann zu Verklemmungen/Deadlocks führen
  (alle Philosophen nehmen gleichzeitig die linken Gabeln)
- zwei verbündete Philosophen können einen dritten aushungern

# Zusammenfassung Verklemmungen

- Modellierung mit
  - PETRI-Netzen
  - Prozessfortschritts-Diagrammen
  - Betriebsmittel-Zuteilungsgraph
- 4 notwendige Bedingungen, Konjunktion ist hinreichend
- Vermeiden per Konstruktion: Reihenfolge für Locks
- Wenn das zu aufwendig ist: Erkennen und Beseitigen