

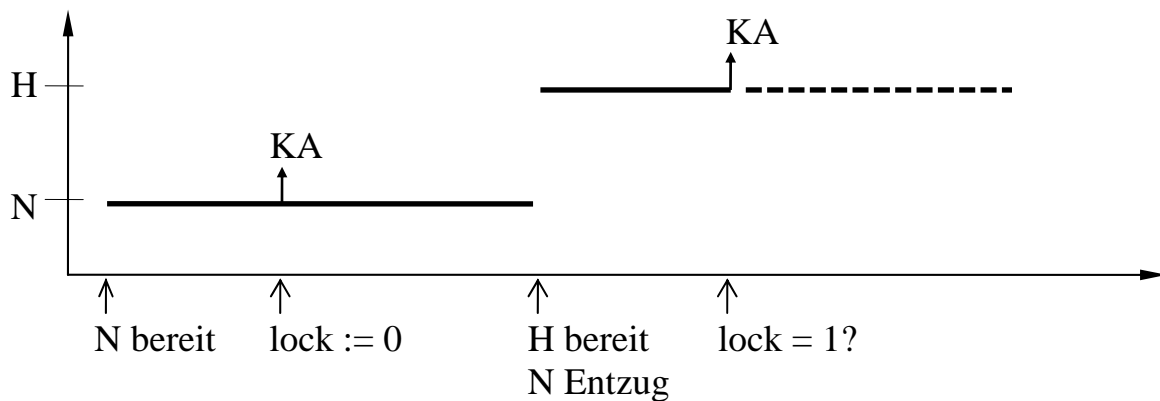
9. Konkurrierender Betriebsmittelzugriff

9.1. Probleme

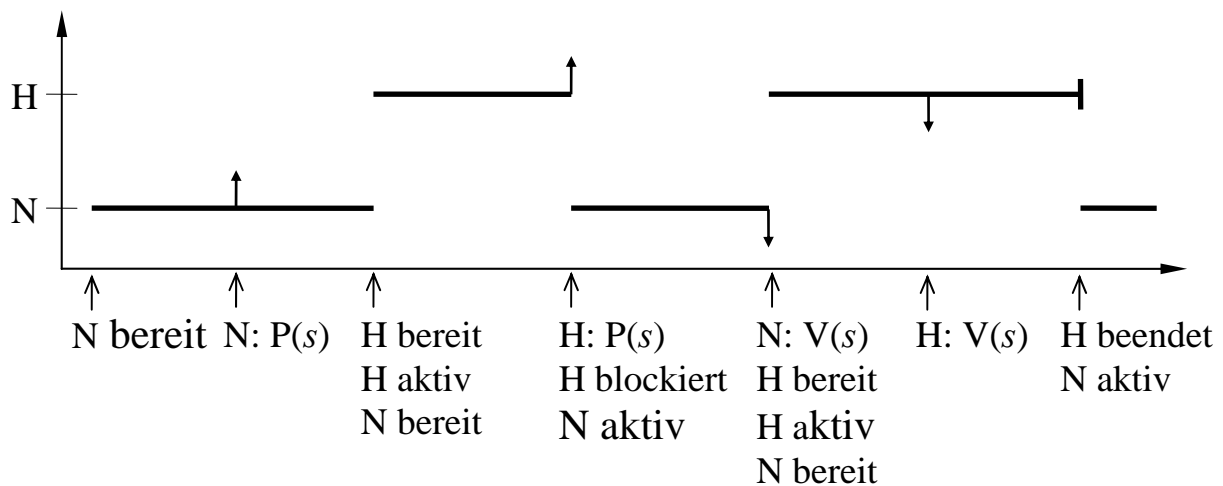
- **Prioritätsumkehr (priority inversion)**

Annahme: Tasks besitzen Deadlines (sind aber nicht notwendig periodisch), und es bestehen Abhängigkeiten (kritische Abschnitte, KA). Prozessor ist entziehbar durch Tasks höherer Priorität.

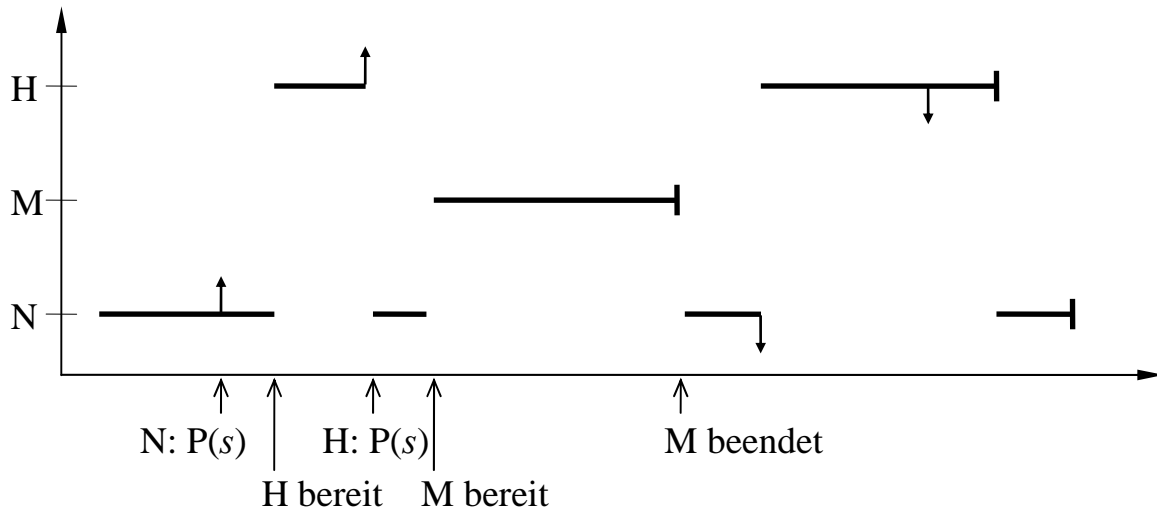
– *Prioritätsumkehr bei aktivem Warten*



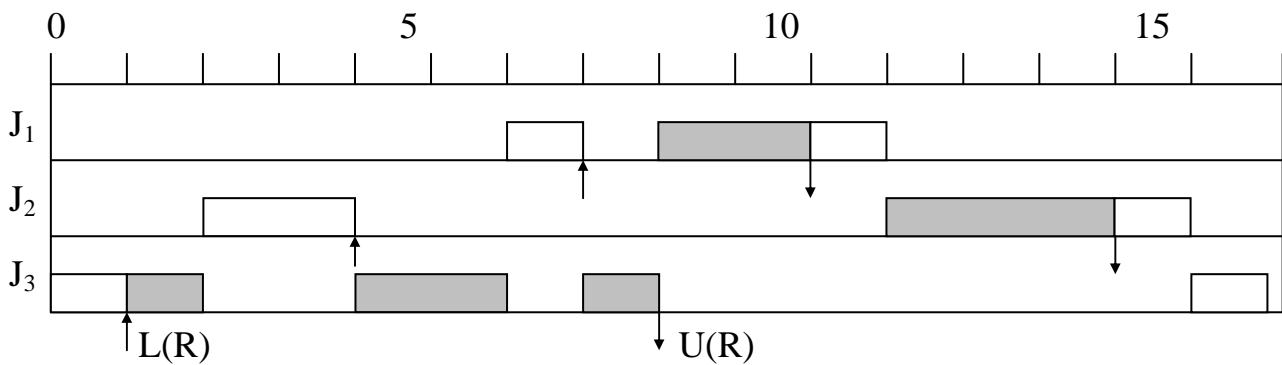
– *Prioritätsinversion bei Verwendung von Semaphoren*



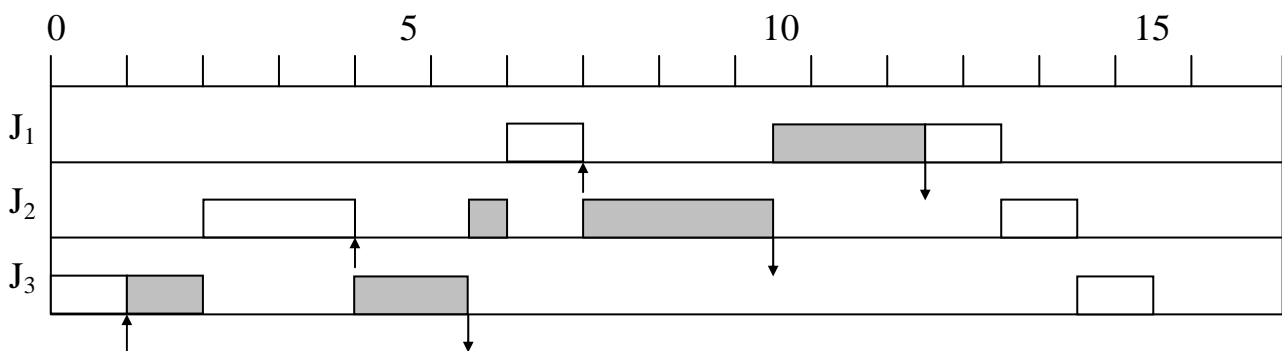
M: Task mittlerer Priorität (ohne Verwendung von s)



• **Zeitanomalie**



Verkürzung der BM-Nutzungszeit von J_3 auf 2,5:



• **Verklemmungen**

9.2. Annahmen und Bezeichnungen

- 1 Prozessor, entziehbar, keine Selbstunterbrechung
Scheduling prioritätsbasiert
Tasks nicht notwendig periodisch.
- R_1, \dots, R_r Betriebsmittel (BM); nicht entziehbar, exklusiv
- $L(R_k), U(R_k)$ Anfordern/Freigeben von R_k ; Freigabe nach LIFO
 $\uparrow R_k$ $\downarrow R_k$
- J_1, \dots, J_n Jobs;
 J_h, J_l Job hoher/niedriger Priorität
 p_1, \dots, p_n Prioritäten (höchste Priorität: 1), „fest“ zugeordnet
o.B.d.A. J_i geordnet gemäß Prioritäten
 $p_i(t)$ aktuelle Priorität von J_i
- **Jobs in Konflikt**
benötigen dasselbe BM
Jobs konkurrieren um ein BM
einer der Jobs hat das BM, das ein anderer Job momentan braucht
Job blockiert
kann angefordertes BM nicht erhalten
- **Prioritätsumkehr**
 J_l wird ausgeführt, während J_h blockiert ist

9.3. Prioritätsvererbung

für präemptives prioritätsbasiertes Scheduling SHA et al., 1990

- **Basic priority-inheritance protocol**

(1) *Scheduling-Regel*

J_i erhält Prozessor gemäß aktueller Priorität $p_i(t)$;

Freigabezeit: $p_i(t) := p_i$.

(2) *Zuteilungsregel*

J_i fordere R_k zur Zeit t .

(a) R_k belegt: Anforderung verweigert, J_i blockiert.

(b) R_k frei: R_k wird J_i zugeteilt.

(3) *Prioritätsvererbungs-Regel*

Wird J_i blockiert durch J_l , so erbt J_l die aktuelle Priorität von J_i , d.h.

$$p_l(t) := p_i(t).$$

J_l wird mit dieser Priorität bearbeitet.

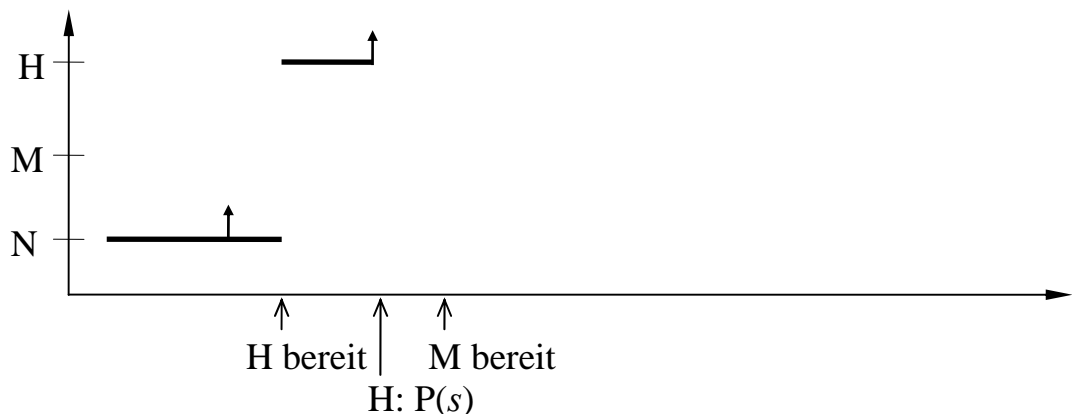
Zur Freigabezeit \tilde{t} von R_k wird Priorität zurückgesetzt:

$$p_l(\tilde{t}) := p_l(t') \quad t': \text{Zuteilungszeitpunkt von } R_k \text{ an } J_l.$$

- **Beispiel 9.1.**

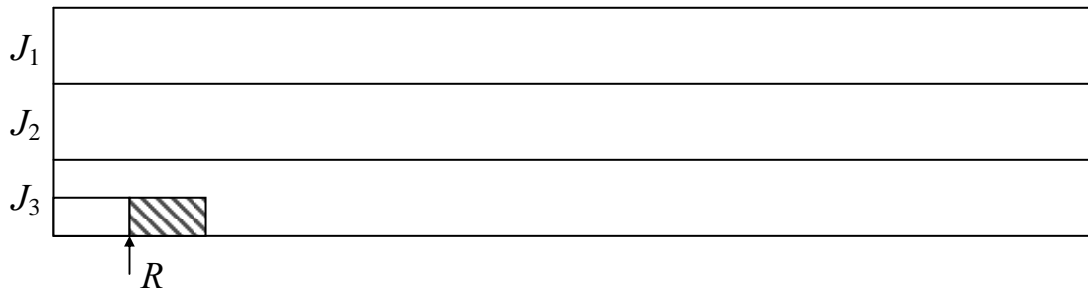
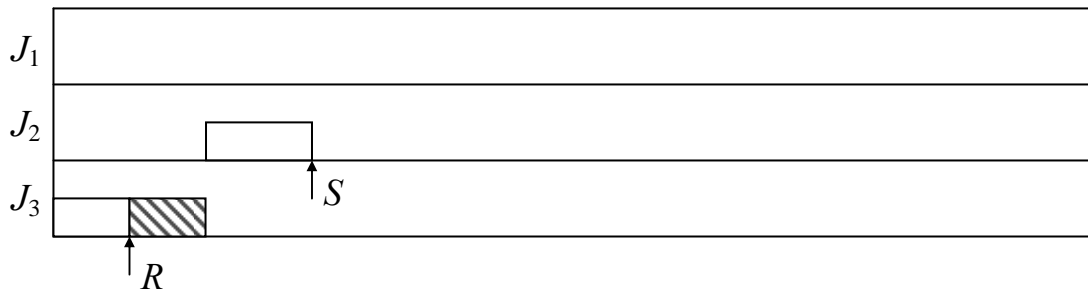
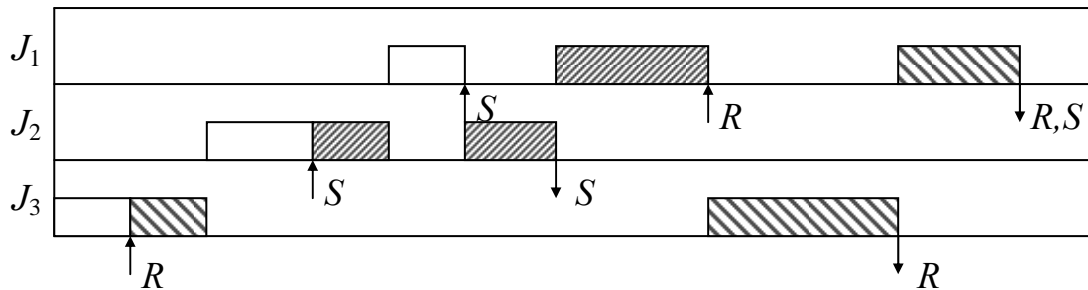
2 Tasks: keine Auswirkung!

3 Tasks:

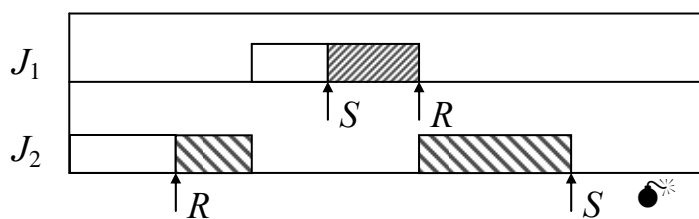


• **Eigenschaften**

- Prioritätsvererbung ist transitiv.
- Keine unbegrenzte unkontrollierte Prioritätsumkehr.
- Prioritätsvererbung führt nicht notwendig zu minimaler Blockierungszeit.



- Prioritätsvererbung verhindert keine Deadlocks.



9.4. Prioritätsschranken

Basic Priority-Ceiling Protocol

SHA/RAJKUMAR/LEHOCZKY, 1990

- **Voraussetzungen und Begriffe**

- 1 Prozessor, präemptives prioritätsbasiertes Scheduling, keine Selbstunterbrechung.
- Zugeordnete Prioritäten p_i sind fest.
Prioritäten: natürliche Zahlen, 1 höchste Prior.; Ω niedrigste Priorität.
- BM-Anforderungen aller Jobs a priori bekannt.
- $P(R_k)$ *Prioritätsschranke (priority ceiling) von R_k*
höchste Priorität aller Jobs, die R_k anfordern.
- $\hat{P}(t)$ *Prioritätsschranke des Systems zur Zeit t*
höchste Prioritätsschranke aller derjenigen BM, die zur Zeit t belegt sind.

- **Prioritätsschranken-Protokoll**

- (1) **Scheduling-Regel**

- Zur Freigabezeit t^{rel} von J_i ist $p_i(t^{rel}) = p_i$.

- (2) **Zuteilungsregel**

- J_i fordere R_k zur Zeit t .

- (a) R_k belegt: Anforderung verweigert, J_i blockiert („an R_k “).

- (b) R_k frei:

- (α) $p_i(t) \succ \hat{P}(t)$: R_k wird J_i zugeteilt.

- (β) sonst: R_k wird J_i genau dann zugeteilt, wenn J_i derjenige Job ist, der die BM R besitzt mit $P(R) = \hat{P}(t)$.

- Andernfalls Verweigerung und Blockierung.

- (3) **Prioritätsvererbungsregel**

- Wird J_i durch J_l blockiert, so erbt J_l die aktuelle Priorität $p_i(t)$ von J_i . J_l wird mit dieser Priorität (preemptiv) bearbeitet bis zur Freigabe aller BM, deren Prioritätsschranke mindestens $p_i(t)$ ist. Danach fällt J_l auf die Priorität $p_i(t')$ zurück (t' : Zuteilungszeitpunkt von R_k an J_l).

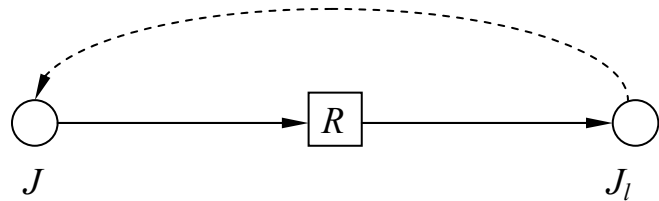
- **Beispiel 9.2.**



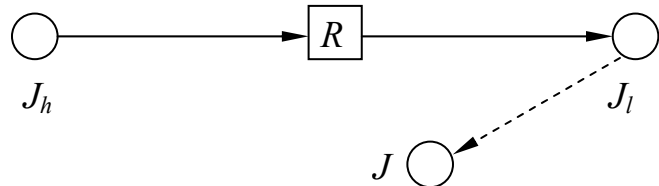
- **Eigenschaften**

- Unterschied zu Prioritätsvererbung: *drei* Blockierungsformen

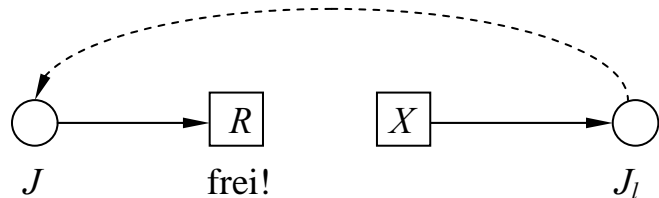
direkt:



durch Vererbung:



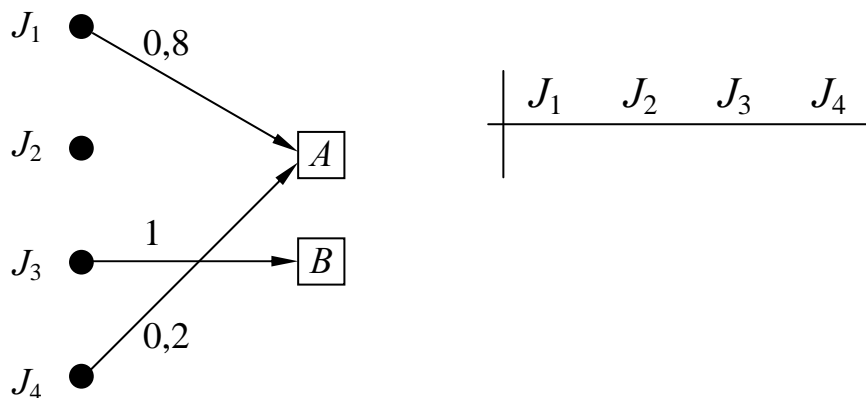
durch Prioritätsschranken:



- Deadlocks sind ausgeschlossen.

- Ein Job kann höchstens für die Dauer *eines* BM-Zugriffs blockiert sein.

Berechnung der Blockierungsdauer – Beispiel:



- Blockieren ist „anti-transitiv“ (keine mehrfache Prioritätsinversion).

9.5. Kellerbasiertes Prioritätsschranken-Protokoll

Stack-Based Priority-Ceiling Protocol

- **Weitere Voraussetzungen**

- Gemeinsamer Laufzeit-Stack für alle Jobs
- Stack eines aktiven Jobs stets „ganz oben“ (Verdrängung!)
- Stack wird bei Ende eines Jobs freigegeben

- **Protokoll**

(1) $\hat{P}(t) = \Omega$, falls alle BM R_k frei.

Aktualisierung von $\hat{P}(t)$ bei jeder Belegung oder Freigabe von R_k .

2) **Scheduling-Regel**

Nach seiner Freigabe ist ein Job J_i blockiert, bis $p_i(t) \succ \hat{P}(t)$ gilt.

Bereite Jobs werden gemäß ihrer zugeordneten Priorität ausgeführt.

(3) **Zuteilungsregel**

Wenn ein Job ein BM anfordert, wird es ihm zugeteilt.

- **Beispiel.**

- **Eigenschaften**

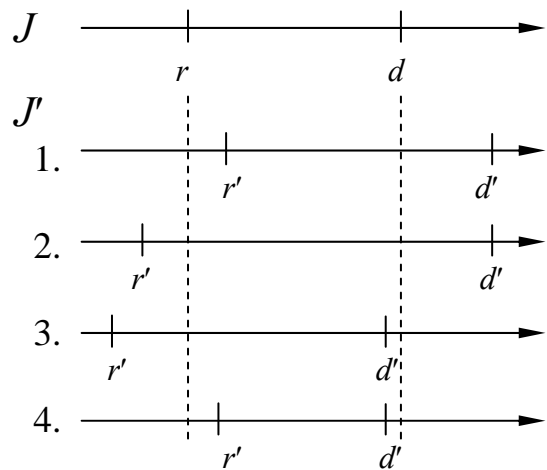
- Bei Beginn der Ausführung eines Jobs sind alle BM, die der Job anfordert, frei.
- Beide Protokolle führen zu derselben maximalen Blockierungszeit eines Jobs.
- Deadlocks und mehrfache Prioritätsinversion sind ausgeschlossen.

9.6. Verdrängungsstufen (preemption levels)

- **Eigenschaften von EDF**

- Werden periodische Tasks mittels EDF ausgewählt, so sind die Prioritäten auf *Jobebene* statisch.
- Ein Job J mit kürzerer relativer Deadline kann nie durch einen Job J' mit längerer relativer Deadline verdrängt werden.

→ J_l kann J_h nur dann blockieren, wenn J_h Job J_l verdrängen kann.



- **Verdrängungsstufe π_J eines Jobs J**

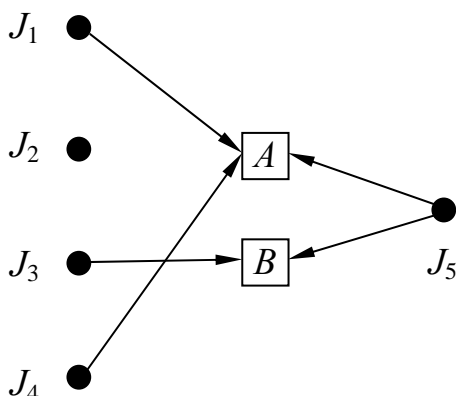
- **Eigenschaft**

Ein Job höherer Verdrängungsstufe kann nicht durch einen Job niedrigerer Verdrängungsstufe unterbrochen werden.

- **Bedingung für Zuordnung (validation condition)**

Hat J eine höhere Priorität als J' , aber eine spätere Freigabezeit, so muß J eine höhere Verdrängungsstufe als J' erhalten.

- **Beispiel 9.3.**



Jobs	p_i	r_i	π_i	π_i'
J_1	1	5		
J_2	2	7		
J_3	3	4		
J_4	4	0		
J_5	5	3		

- **EDF-basiertes Scheduling für periodische Tasks**

„Deadline-monoton“ ist gültige Zuordnung von Verdrängungsstufen zu Jobs: je kürzer die relative Deadline, desto höher die Verdrängungsstufe.

→ Alle Jobs einer periodischen Task haben dieselbe Verdrängungsstufe („fixed preemption-level system“).

- **Verdrängungsschranken (Preemption Ceilings)**

$\Pi(R)$ Verdrängungsschranke von BM R

$\hat{\Pi}(t)$ Verdrängungsschranke des Systems zum Zeitpunkt t

analog Prioritätsschranken

- **Kellerbasiertes Verdrängungsstufen-Protokoll (Stack-Based, Preemption-Ceiling Protocol)**

(0) $\hat{\Pi}(t) = \Omega$, wenn alle BM R frei.

$\hat{\Pi}(t)$ wird aktualisiert bei jeder BM-Zuteilung oder -Freigabe.

(1) **Scheduling-Regel**

Nach seiner Freigabe ist ein Job J blockiert, bis gilt:

$\pi_J \succ \hat{\Pi}(t)$ und $\pi_J \succ \pi_{J'}$ (J' : aktueller Job).

Bereite Jobs werden gemäß ihrer zugeordneten Priorität ausgeführt.

(2) **Zuteilungsregel**

Wenn ein Job ein BM anfordert, wird es ihm zugeteilt.

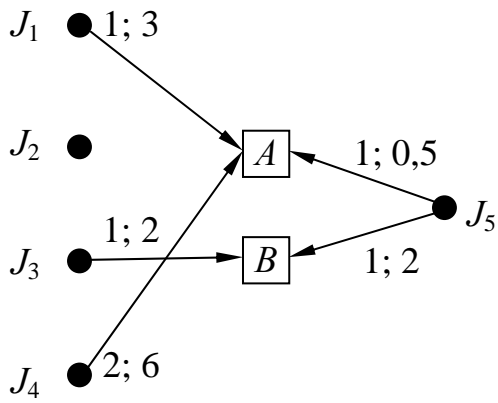
(3) **Prioritätsvererbungsregel**

Blockiert Job J einen anderen Job bei dessen Freigabe, so erbt J die höchste Priorität aller blockierten Jobs.

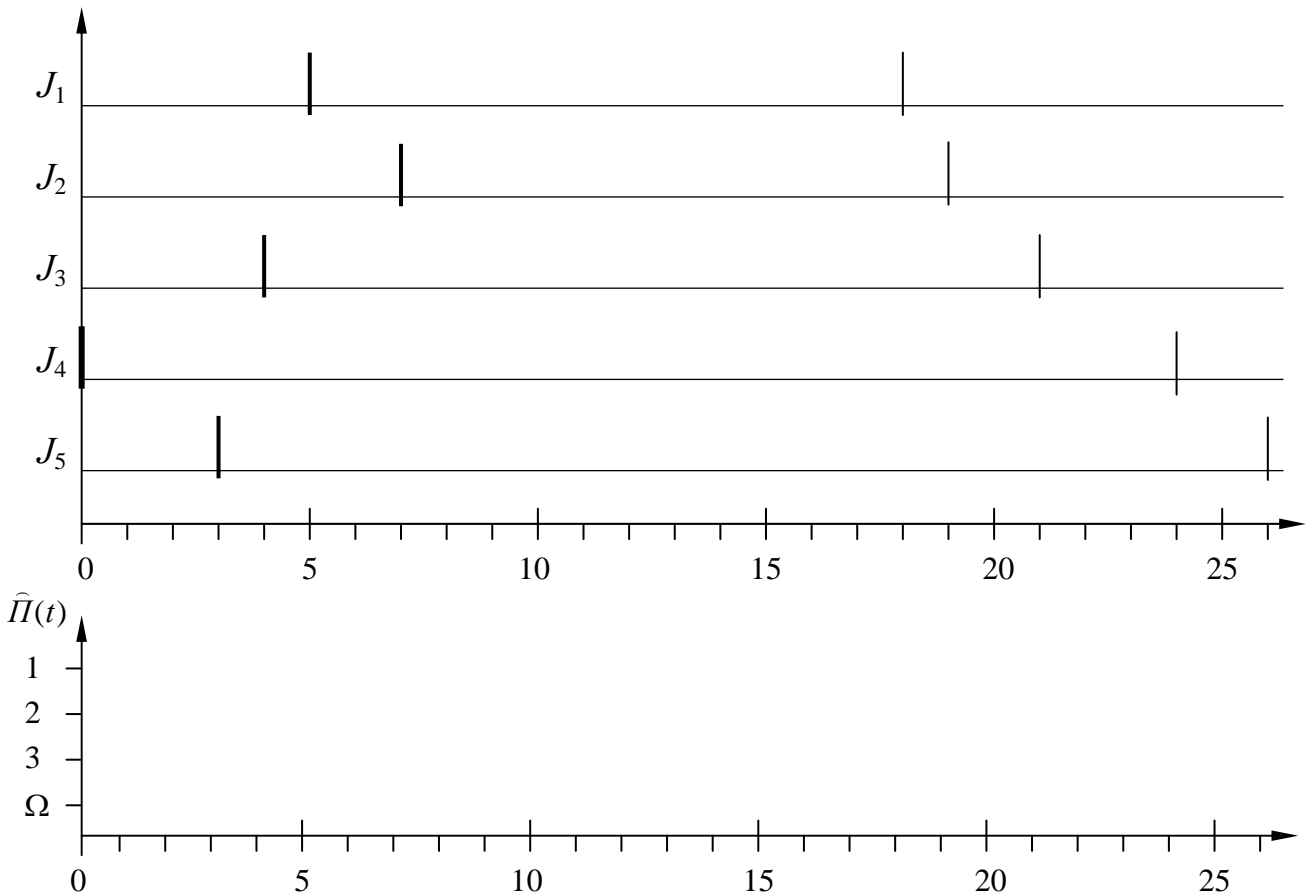
• **Beispiel 9.4.**

Kellerbasiertes Verdrängungsstufen-Protokoll für Bsp. 9.3 bei EDF.

Kantenbeschriftung: Beginn und Dauer der BM-Nutzung



Jobs	p_i	r_i	d_i	e_i	π_i
J_1		5	13	5	
J_2		7	12	3	
J_3		4	17	4	
J_4		0	24	9	
J_5		3	23	4	



• **Eigenschaften**

wie Prioritätsschranken-Protokoll

9.7. Mehrexemplar-Betriebsmittel

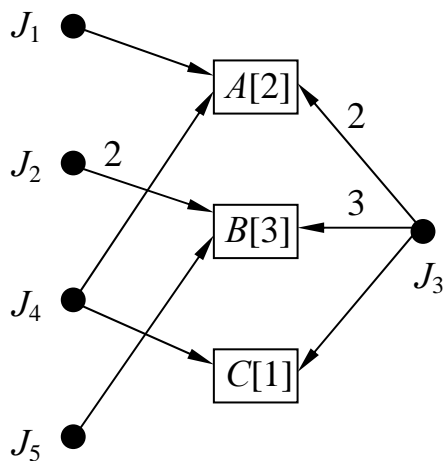
r_k : Anzahl der Exemplare von BM R_k

f : Anzahl der freien Exemplare eines BM

- **Prioritätsschranke $P_f(R_k)$**

höchste Priorität aller Jobs, die (momentan) mehr als f Exemplare anfordern; sonst Ω .

- **Beispiel 9.5.**



$i \mid f$	BM-Anford. von J_i					$P_f(R)$			
	1	2	3	4	5	0	1	2	3
A									
B									
C									

- **Protokoll und Eigenschaften**

analog (bis auf Vererbung bei Prioritätsschranken-Protokoll).

• **Beispiel 9.6.**

$i \setminus f$	BM-Anford. von J_i					$P_f(R)$					
	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
$A[5]$	2	4	0	1	1						
$B[1]$	1	1	0	0	1						

