# Echtzeitsysteme

## Übungen zur Vorlesung

## Betriebsmittelprotokolle

**Simon Schuster** **Phillip Raffeck**

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU)
Lehrstuhl für Informatik 4 (Verteilte Systeme und Betriebssysteme)
https://www4.cs.fau.de

Wintersemester 2019/20

# Evaluation

## Evaluation der Veranstaltung

- Eure Meinung (Lob/Kritik) ist uns wichtig!
- Eure Rückmeldung hat Konsequenzen

→ Bitte evaluiert Vorlesung und Übungen

# Evaluation

## Evaluation der Veranstaltung

- Eure Meinung (Lob/Kritik) ist uns wichtig!
- Eure Rückmeldung hat Konsequenzen

→ Bitte evaluiert Vorlesung und Übungen

Typische Rückläuferquote $\mapsto 2-10\%$

- Zu wenig für eine sinnvolle Einschätzung
- Aber: typische Rückläuferquote in EZS $\mapsto 60-80\%$

# Evaluation

☞ Evaluation der Veranstaltung

- Eure Meinung (Lob/Kritik) ist uns wichtig!
- Eure Rückmeldung hat Konsequenzen

→ Bitte evaluiert Vorlesung und Übungen

⚠ Typische Rückläuferquote $\mapsto 2-10\%$

- Zu wenig für eine sinnvolle Einschätzung
- Aber: typische Rückläuferquote in EZS $\mapsto 60-80\%$

## Motivationsanreiz zur Evaluation

- **Traditionell**: Kaffee und Kekse in der letzten Vorlesung
- **Feste Bedingung**: $\geq 70\%$ der ausgegebenen TANs werden evaluiert!

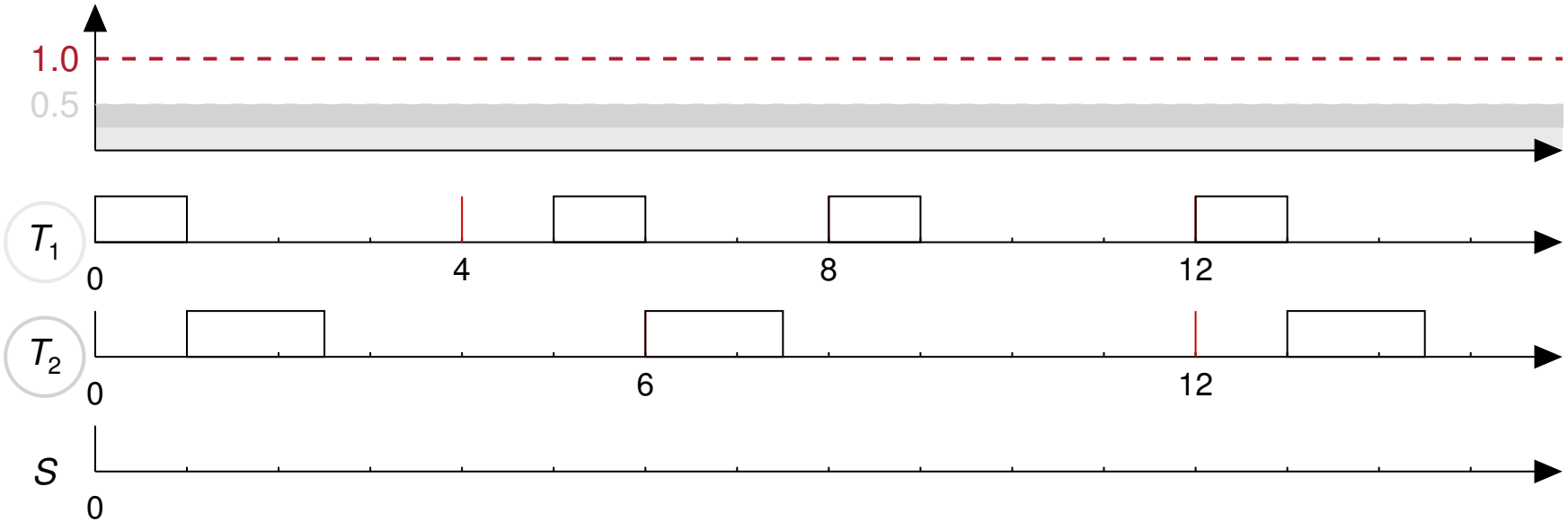
# Übersicht



# Wiederholung:
# Übernahmeprüfung bei terminbasierter Einplanung

# Beispiel: Dichte-basierter Akzeptanztest [1, S. 252]

$T_1 = (4, 1)$, $T_2 = (6, 1.5) \rightsquigarrow \Delta = 0.5$, EDF-Ablaufplanung




$S_1$

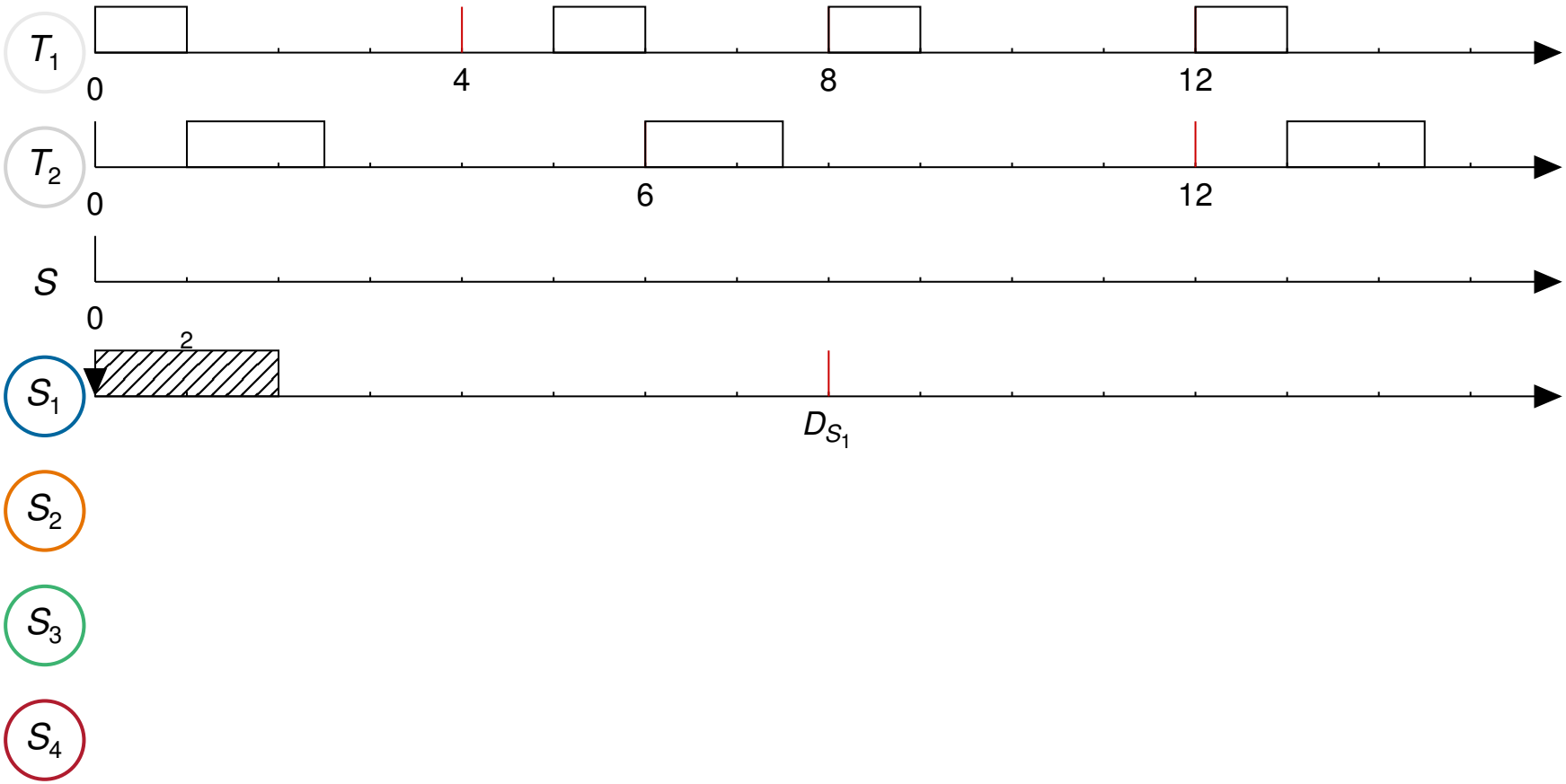
$S_2$

$S_3$

$S_4$

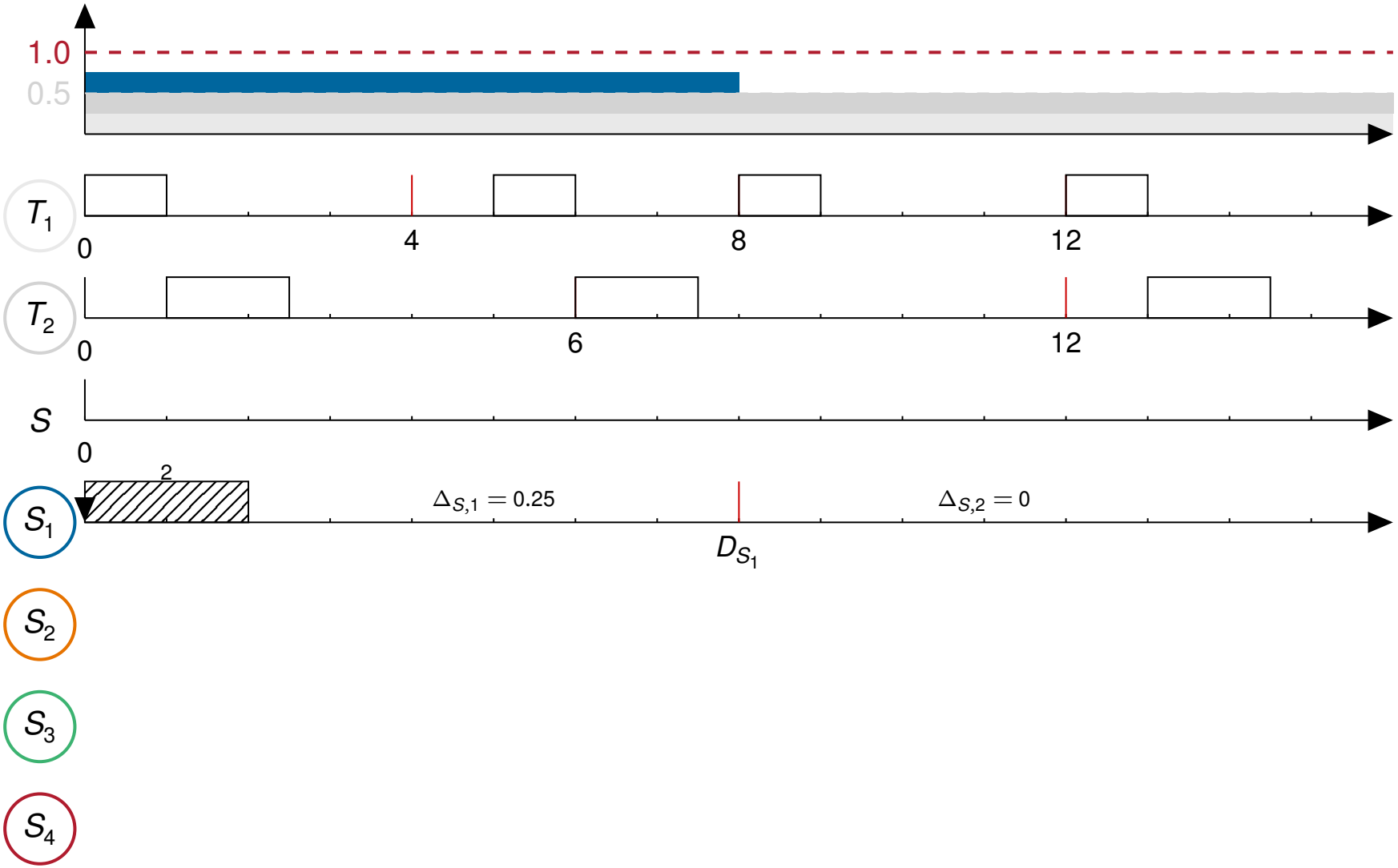
# Beispiel: Dichte-basierter Akzeptanztest [1, S. 252]

$T_1 = (4, 1)$, $T_2 = (6, 1.5) \rightsquigarrow \Delta = 0.5$, EDF-Ablaufplanung



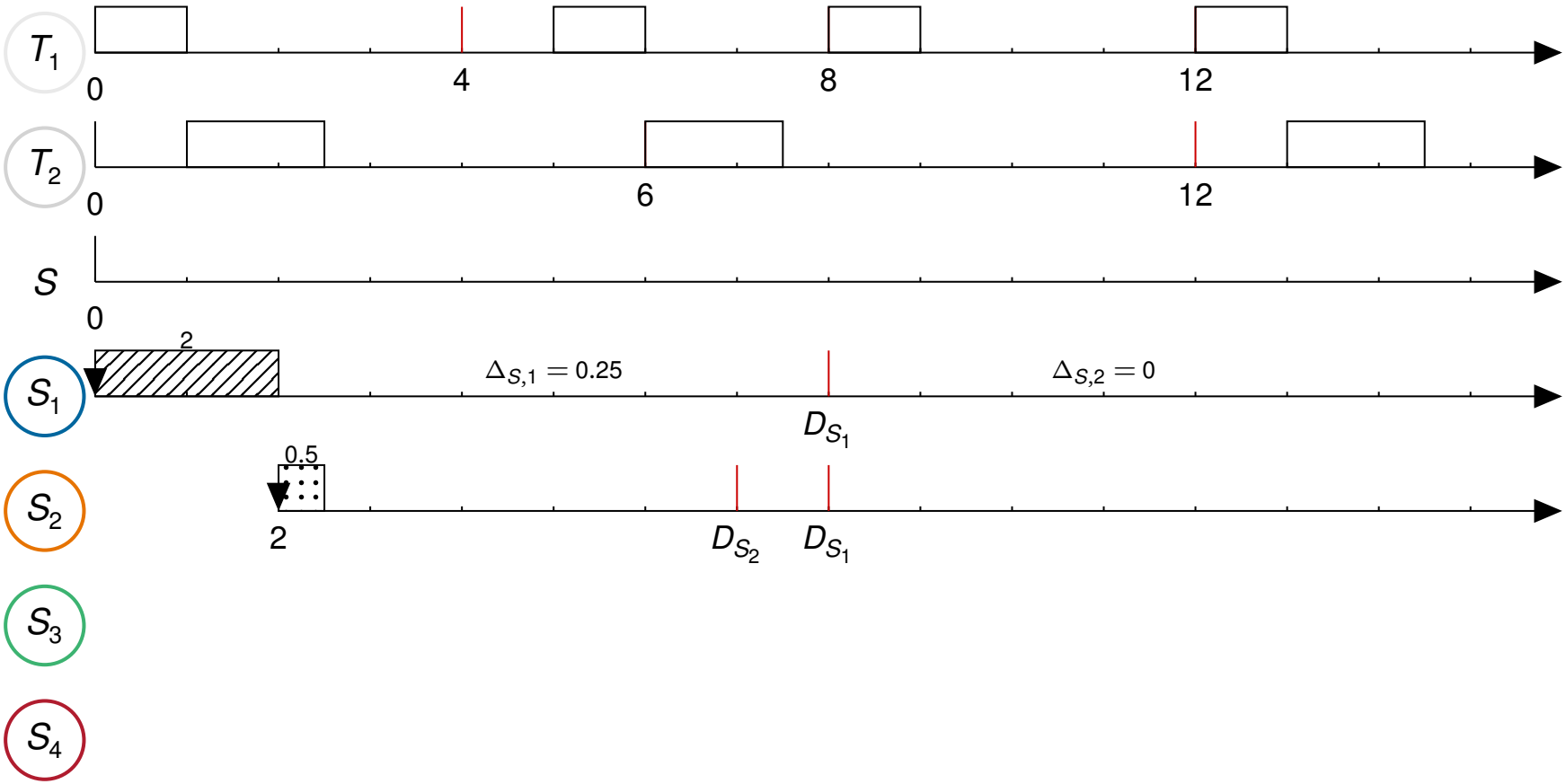
# Beispiel: Dichte-basierter Akzeptanztest [1, S. 252]

$T_1 = (4, 1)$, $T_2 = (6, 1.5) \rightsquigarrow \Delta = 0.5$, EDF-Ablaufplanung



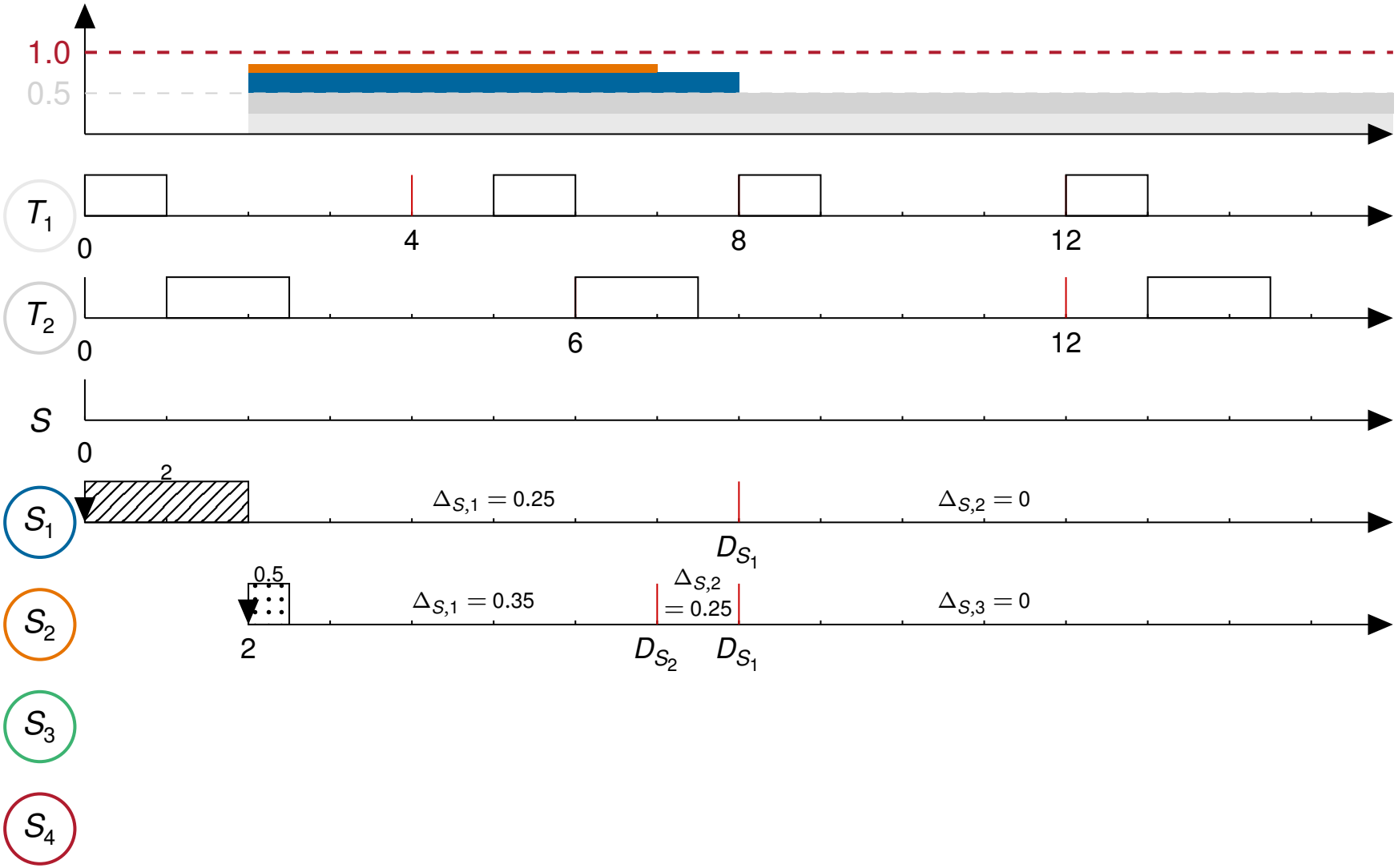
# Beispiel: Dichte-basierter Akzeptanztest [1, S. 252]

$T_1 = (4, 1)$, $T_2 = (6, 1.5) \rightsquigarrow \Delta = 0.5$, EDF-Ablaufplanung



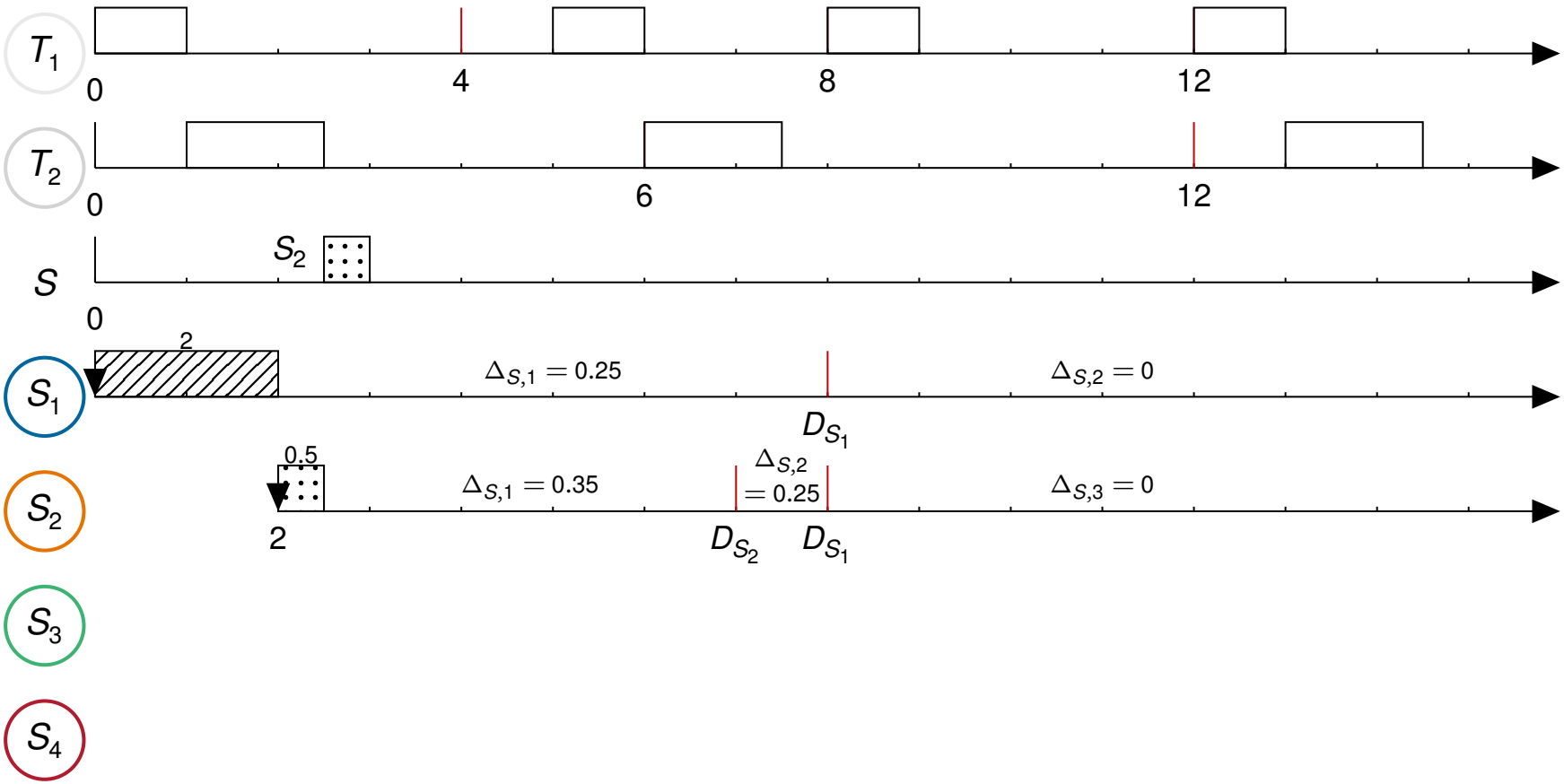
# Beispiel: Dichte-basierter Akzeptanztest [1, S. 252]

$T_1 = (4, 1)$, $T_2 = (6, 1.5) \rightsquigarrow \Delta = 0.5$, EDF-Ablaufplanung



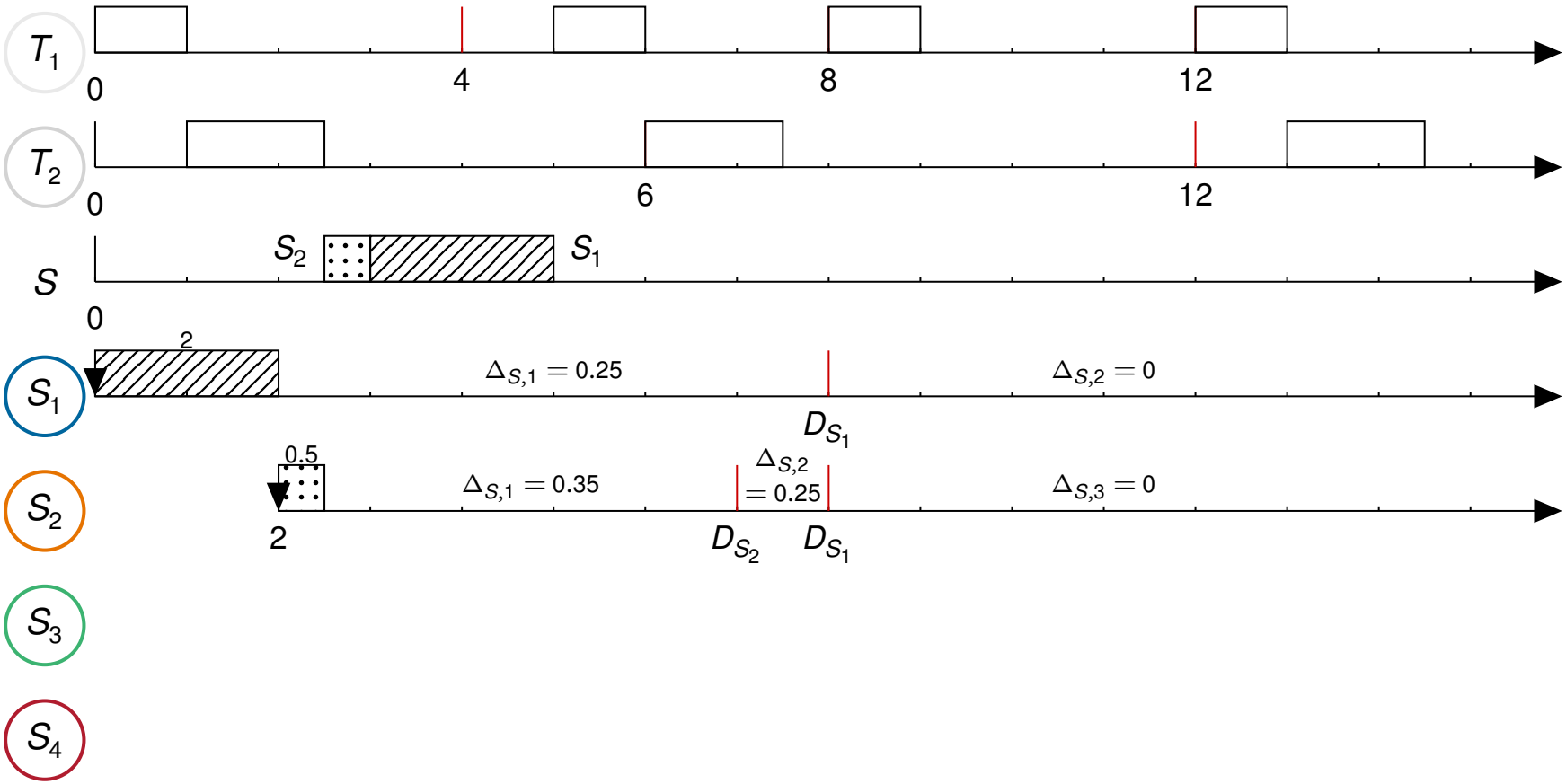
# Beispiel: Dichte-basierter Akzeptanztest [1, S. 252]

$T_1 = (4, 1)$, $T_2 = (6, 1.5) \rightsquigarrow \Delta = 0.5$, EDF-Ablaufplanung



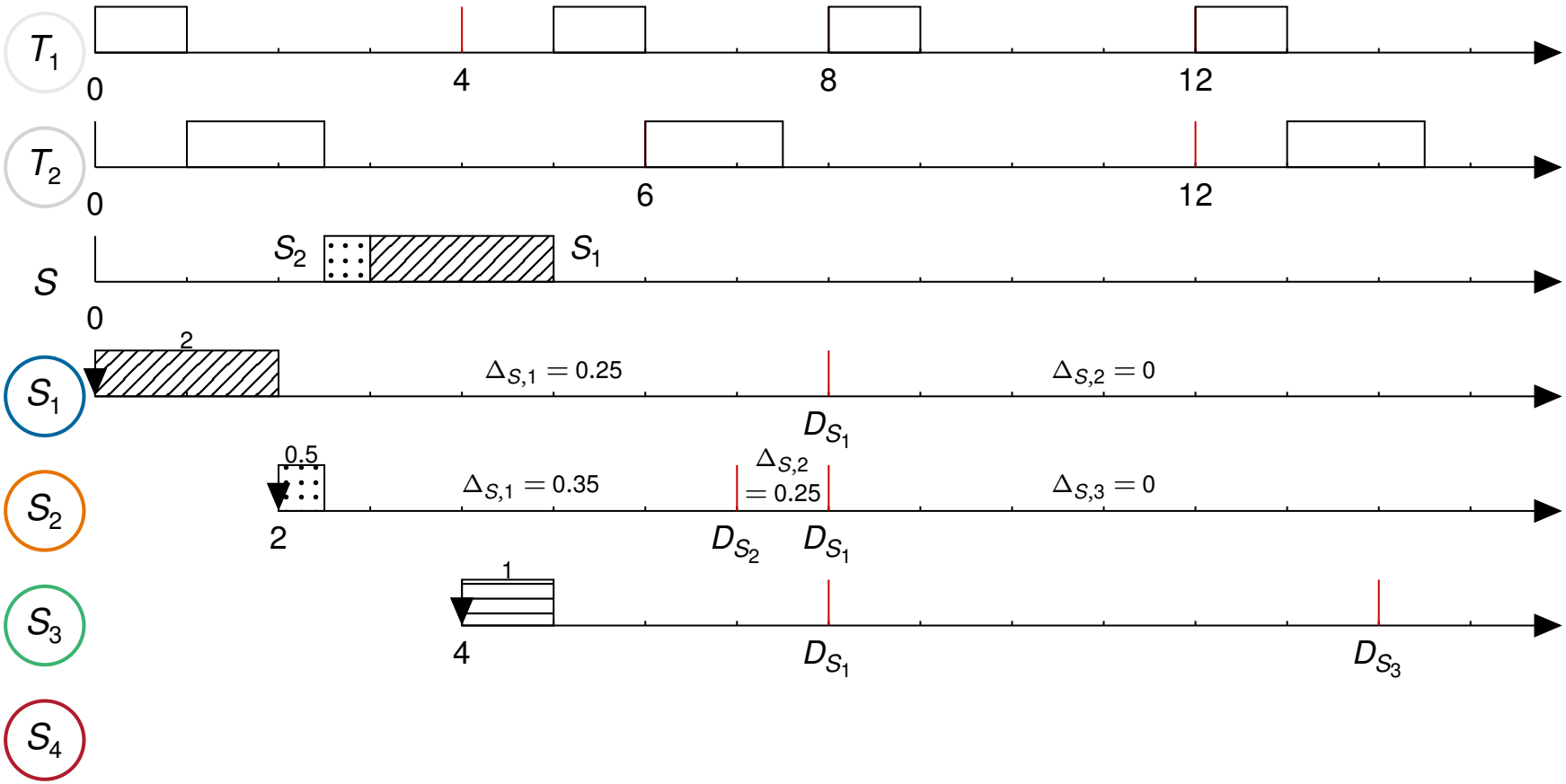
# Beispiel: Dichte-basierter Akzeptanztest [1, S. 252]

$T_1 = (4, 1)$, $T_2 = (6, 1.5) \rightsquigarrow \Delta = 0.5$, EDF-Ablaufplanung



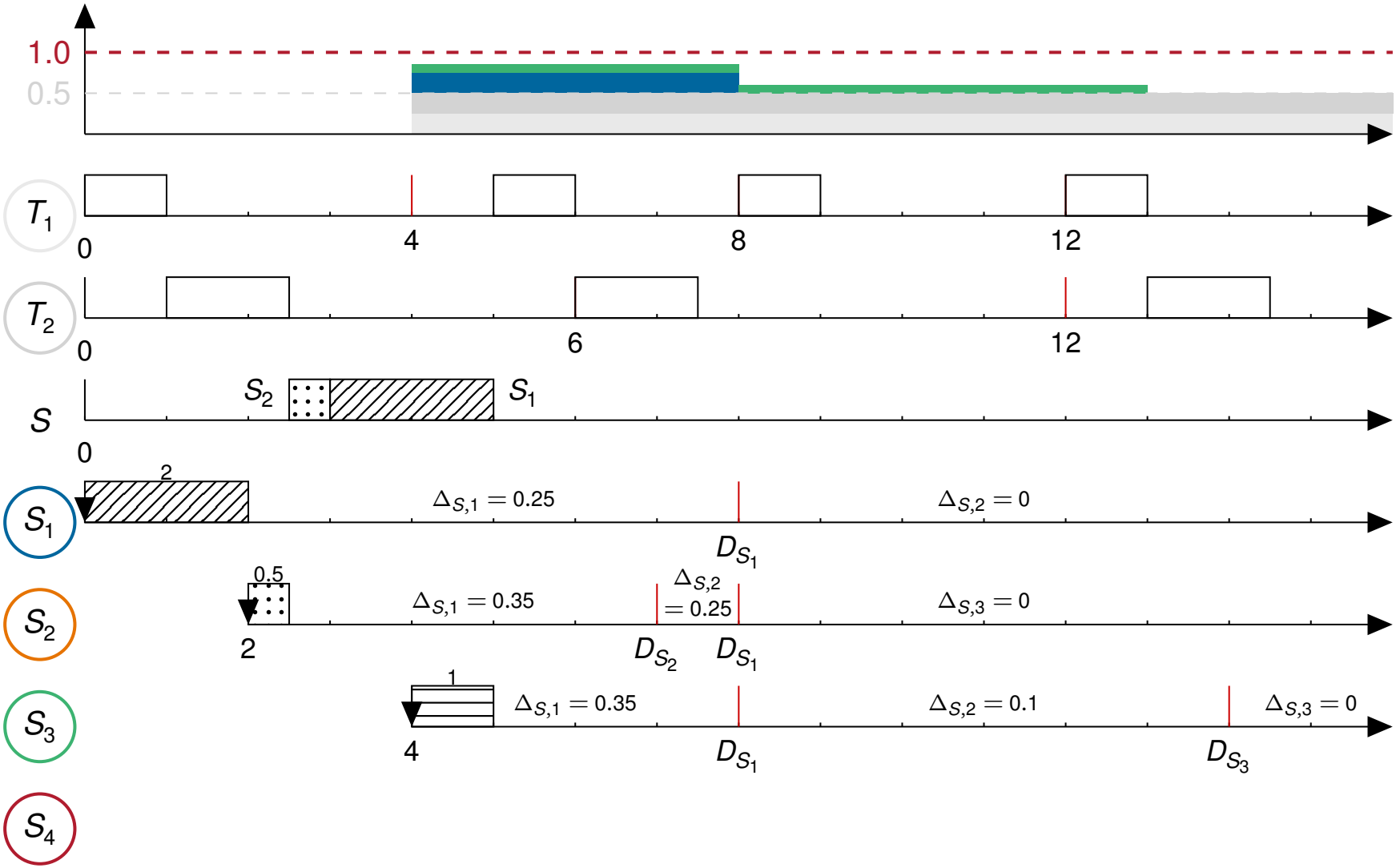
# Beispiel: Dichte-basierter Akzeptanztest [1, S. 252]

$T_1 = (4, 1)$, $T_2 = (6, 1.5) \rightsquigarrow \Delta = 0.5$, EDF-Ablaufplanung



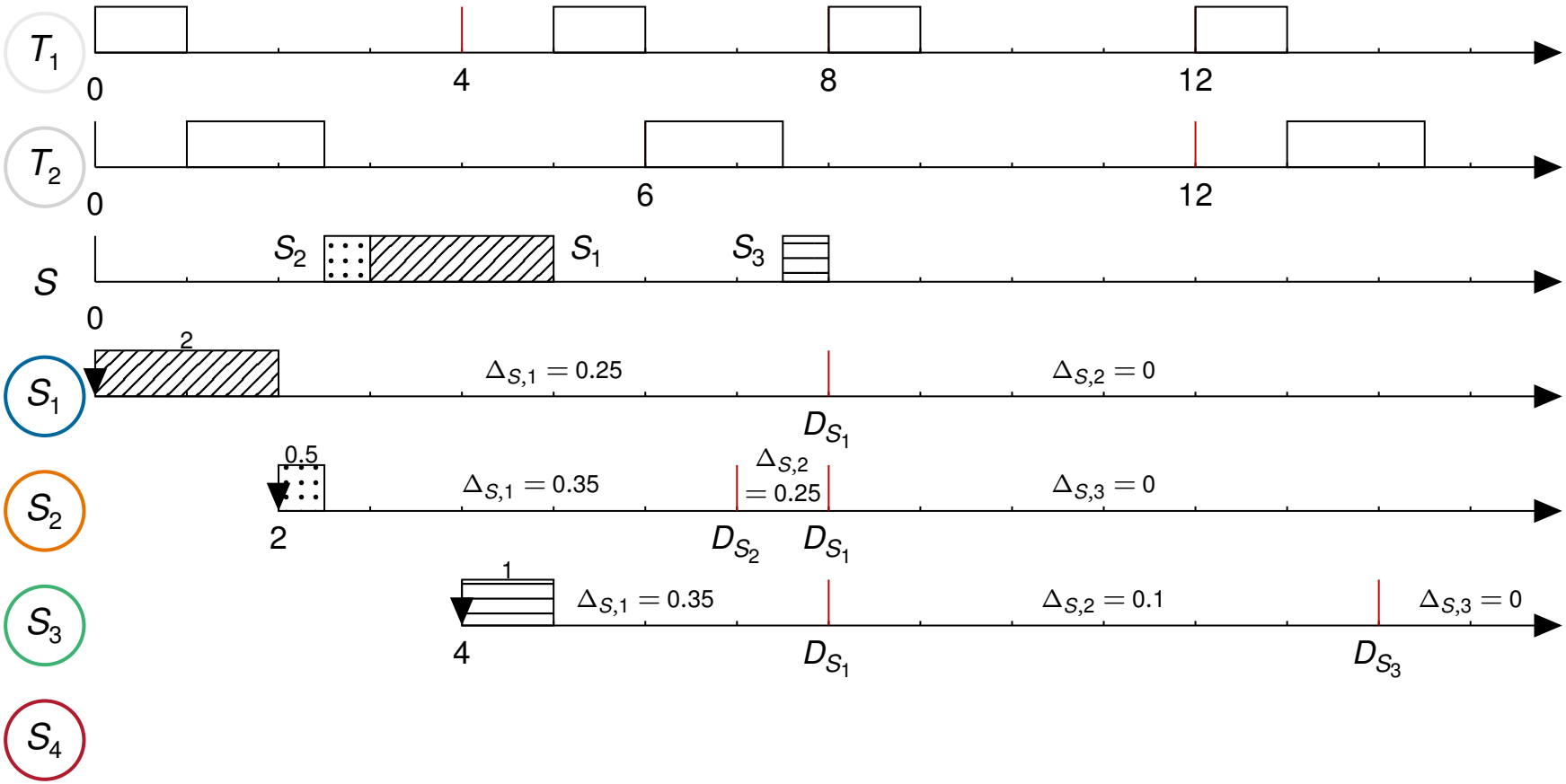
# Beispiel: Dichte-basierter Akzeptanztest [1, S. 252]

$T_1 = (4, 1)$, $T_2 = (6, 1.5) \rightsquigarrow \Delta = 0.5$, EDF-Ablaufplanung



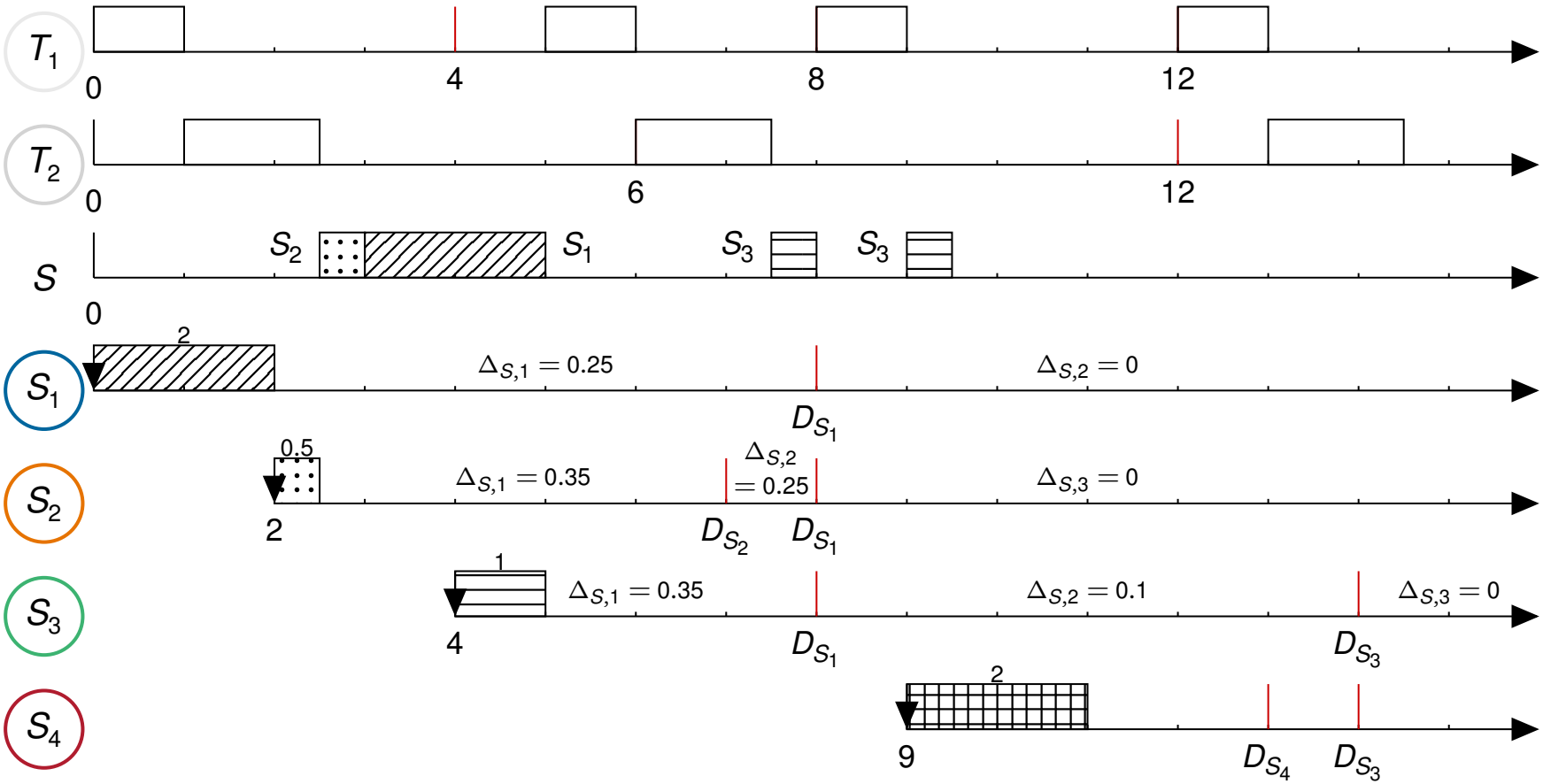
# Beispiel: Dichte-basierter Akzeptanztest [1, S. 252]

$T_1 = (4, 1)$, $T_2 = (6, 1.5) \rightsquigarrow \Delta = 0.5$, EDF-Ablaufplanung



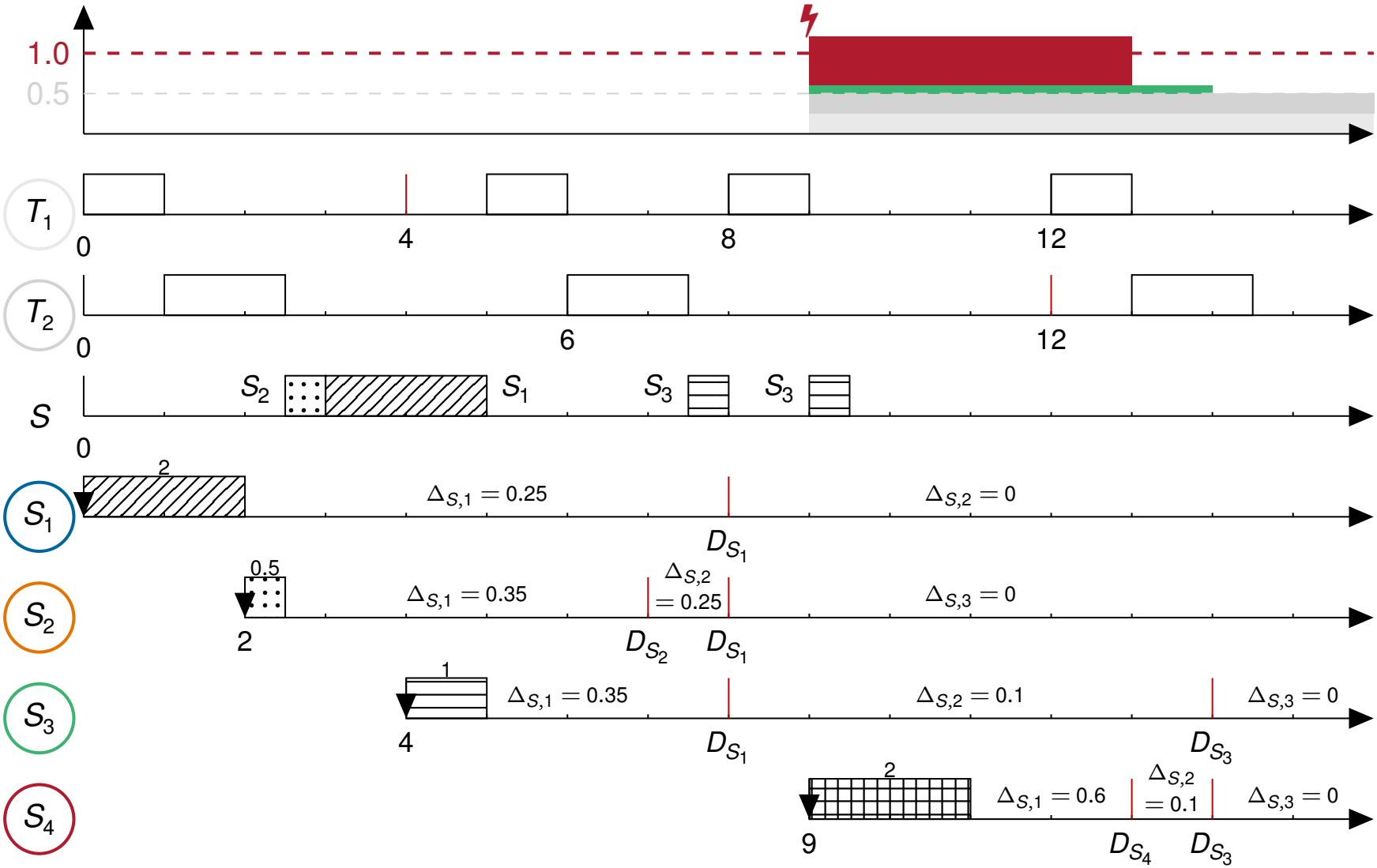

# Beispiel: Dichte-basierter Akzeptanztest [1, S. 252]

$T_1 = (4, 1)$, $T_2 = (6, 1.5) \rightsquigarrow \Delta = 0.5$, EDF-Ablaufplanung



# Beispiel: Dichte-basierter Akzeptanztest [1, S. 252]

$T_1 = (4, 1)$, $T_2 = (6, 1.5) \rightsquigarrow \Delta = 0.5$, EDF-Ablaufplanung



# Übersicht



# Zugriffskontrolle

## Konkurrenz und Koordination

- Betriebsmittelarten $\rightsquigarrow$ einseitige/mehrseitige Synchronisation
- Konkurrenz $\rightsquigarrow$ Vergabe/Freigabe (P/V)
- Konflikt $\rightsquigarrow$ Streit um begrenzte bzw. unteilbare Betriebsmittel (BM)

# Zugriffskontrolle

## Konkurrenz und Koordination

- Betriebsmittelarten $\rightsquigarrow$ einseitige/mehrseitige Synchronisation
- Konkurrenz $\rightsquigarrow$ Vergabe/Freigabe (P/V)
- Konflikt $\rightsquigarrow$ Streit um begrenzte bzw. unteilbare Betriebsmittel (BM)

## Synchronisation

$\rightsquigarrow$ Nichtfunktionale Eigenschaft

- Prioritätsumkehr $\rightsquigarrow$ kontrolliert vs. unkontrolliert
- Verklemmung (Deadlock)

# Zugriffskontrolle

## Konkurrenz und Koordination

- Betriebsmittelarten $\rightsquigarrow$ einseitige/mehrseitige Synchronisation
- Konkurrenz $\rightsquigarrow$ Vergabe/Freigabe (P/V)
- Konflikt $\rightsquigarrow$ Streit um begrenzte bzw. unteilbare Betriebsmittel (BM)

## Synchronisation

$\rightsquigarrow$ Nichtfunktionale Eigenschaft

- Prioritätsumkehr $\rightsquigarrow$ kontrolliert vs. unkontrolliert
- Verklemmung (Deadlock)

## Synchronisationsprotokolle

- Verdrängungssteuerung
- Prioritätsvererbung & Prioritätsobergrenzen
- Blockadezeit $\rightsquigarrow$ direkt vs. durch Vererbung

# Zugriffskontrolle

## Verdrängungssteuerung (NPCS)

- Unterbindet Verdrängung im kritischen Abschnitt
- Blockadezeit $\leadsto max(cs)$
- \+ Deadlock Prevention $\leadsto$ Kein „hold and wait”
- \+ Kein à priori Wissen nötig
- \+ Einfach; gut für wenige BM
- – Verzögerung höher priorer Jobs ohne Konflikt

# Zugriffskontrolle

## Verdrängungssteuerung (NPCS)

- Unterbindet Verdrängung im kritischen Abschnitt
- Blockadezeit $\leadsto max(cs)$
- \+ Deadlock Prevention $\leadsto$ Kein „hold and wait”
- \+ Kein à priori Wissen nötig
- \+ Einfach; gut für wenige BM
- – Verzögerung höher priorer Jobs ohne Konflikt

## Prioritätsvererbung (Priority Inheritance)

- Priorität zeitweise erhöhen (von höherprioren Fäden erben)
- Blockadezeit $\leadsto min(n,k) \cdot max(cs)$
- \+ Verbessert Verzögerung von Jobs ohne Konflikt
- – Transitive Blockierung möglich; Deadlocks möglich

# Zugriffskontrolle

## Prioritätsobergrenzen (Priority Ceiling Protocol)

- Variante der PV mit Prioritätsobergrenzen
- BM-Obergrenze $\rightsquigarrow$ $max(p_i)$ aller Jobs die das BM nutzen
- Systemobergrenze $\rightsquigarrow$ höchstpriores, belegtes BM (zur *Laufzeit*)
- Betriebsmittelvergabe $\rightsquigarrow$ BM-Graph (lineare Ordnung)
- Blockadezeit $\rightsquigarrow$ $max(cs)$ (wie NPCS)
- \+ Deadlock Avoidance $\rightsquigarrow$ Kein „cyclic wait“
- \+ Vermeidet transitive Blockierung
- – à priori Wissen nötig; aufwendig; avoidance blocking

# Zugriffskontrolle

## Prioritätsobergrenzen (Priority Ceiling Protocol)

- Variante der PV mit Prioritätsobergrenzen
- BM-Obergrenze $\rightsquigarrow$ $max(p_i)$ aller Jobs die das BM nutzen
- Systemobergrenze $\rightsquigarrow$ höchstpriores, belegtes BM (zur *Laufzeit*)
- Betriebsmittelvergabe $\rightsquigarrow$ BM-Graph (lineare Ordnung)
- Blockadezeit $\rightsquigarrow$ $max(cs)$ (wie NPCS)
- \+ Deadlock Avoidance $\rightsquigarrow$ Kein „cyclic wait“
- \+ Vermeidet transitive Blockierung
- – à priori Wissen nötig; aufwendig; avoidance blocking

## Stackbasierte Prioritätsobergrenzen

- Vereinfachung des klassischen PCP $\rightsquigarrow$ Stack-based PCP
- Implementiert z. B. in OSEK; Keine Selbstsuspendierung erlaubt!

# Übersicht



# Gegenseitiger Ausschluss – eCos-NPCS[1]

Nicht-preemptiver kritischer Abschnitt durch Sperren des Schedulers

Kerneldatenstrukturen durch Sperren des Schedulers geschützt

$\rightsquigarrow$ **Big Kernel Lock** (BKL)

- Sperre: `void cyg_scheduler_lock(void);`
  - Sofortiges Anhalten des Schedulings
  - Verzögerung der DSR-Ausführungen
  - ISRs werden weiterhin zugestellt!
- Freigabe: `void cyg_scheduler_unlock(void);`
  - Sofortige Abarbeitung angelaufener DSRs
- Alle Systemaufrufe werden per NPCS synchronisiert
- Anwendungen sollten Mutexe, Semaphore, etc. nutzen
  - Ausnahme: Synchronisation zwischen DSR und Thread

[1] `http://ecos.sourceware.org/docs-latest/ref/kernel-schedcontrol.html`

# Gegenseitiger Ausschluss – eCos-NPCS[1]

Nicht-preemptiver kritischer Abschnitt durch Sperren des Schedulers

Kerneldatenstrukturen durch Sperren des Schedulers geschützt

$\rightsquigarrow$ **Big Kernel Lock** (BKL)

- Sperre: `void cyg_scheduler_lock(void);`
  - Sofortiges Anhalten des Schedulings
  - Verzögerung der DSR-Ausführungen
  - ISRs werden weiterhin zugestellt!
- Freigabe: `void cyg_scheduler_unlock(void);`
  - Sofortige Abarbeitung angelaufener DSRs
- Alle Systemaufrufe werden per NPCS synchronisiert
- Anwendungen sollten Mutexe, Semaphore, etc. nutzen
  - Ausnahme: Synchronisation zwischen DSR und Thread

Was sind die Vor- bzw. Nachteile des BKL Konzepts?

[1] `http://ecos.sourceware.org/docs-latest/ref/kernel-schedcontrol.html`

# Gegenseitiger Ausschluss – eCos-Mutex[2]



- Initialisierung

```
void cyg_mutex_init(cyg_mutex_t* mutex);
```

- Protokoll auswählen:

```
void cyg_mutex_set_protocol(cyg_mutex_t*                mutex,
                            enum cyg_mutex_protocol protocol);
```

  - `CYG_MUTEX_NONE` keine Prioritätsvererbung
  - `CYG_MUTEX_INHERIT` erbe Priorität des aktuellen Inhabers
  - `CYG_MUTEX_CEILING` erbe Prioritätsobergrenze

- nur bei `CYG_MUTEX_CEILING`: Prioritätsobergrenze setzen

```
void cyg_mutex_set_ceiling(cyg_mutex_t*   mutex,
                           cyg_priority_t priority);
```

- *Prioritätsobergrenze höherprior als Thread: in eCos -1*

[2] http://ecos.sourceware.org/docs-latest/ref/kernel-mutexes.html

# Gegenseitiger Ausschluss – eCos-Mutex



- Mutex belegen

```
cyg_bool_t cyg_mutex_lock(cyg_mutex_t* mutex);
```

Rückgabewert

- `true` falls Belegen erfolgreich
- `false` sonst

- Mutex freigeben:

```
void cyg_mutex_unlock(cyg_mutex_t* mutex);
```

# Gegenseitiger Ausschluss – eCos-Mutex

Beispiel

```
1  static cyg_mutex_t s_mutex;
2
3  void cyg_user_start(void) {
4    // Mutex initialisieren
5    cyg_mutex_init(&s_mutex);
6
7    // Protokoll auswaehlen
8    cyg_mutex_set_protocol(&s_mutex, CYG_MUTEX_CEILING);
9
10   // Prioritaetsobergrenze festlegen
11   cyg_mutex_set_ceiling(&s_mutex, 3);
12
13   // Tasks, Alarme etc.
14 }
15
16 void task_entry(cyg_addrword_t data) {
17   cyg_mutex_lock(&s_mutex); // auf Freigabe warten
18   // kritischer Abschnitt
19   cyg_mutex_unlock(&s_mutex); // Mutex freigeben
20 }
```

# Übersicht



# Aufgabe 7



## Aufgabensysteme

1. 3 Aufgaben, 1 Betriebsmittel
2. 4 Aufgaben, 3 Betriebsmittel
3. 3 Aufgaben, 2 Betriebsmittel

## Problematische Konstellationen für einzelne Vergabeprotokolle

- Deadlocks
- Pathfinder-Beispiel
- Transitive Blockierung

## Implementierung von 1–3, Basisaufgabe:

- `aufgabe_1.c` ⇝ Verdrängungssteuerung
- `aufgabe_2.c` ⇝ Prioritätsvererbung
- `aufgabe_3.c` ⇝ Prioritätsobergrenzen

# Betriebsmittelnotation

## (R, 3, 4)

- R: verwendetes Betriebsmittel
- 3: relativer Anforderungszeitpunkt in ms
- 4: Zeit, die Betriebsmittel gehalten wird in ms

## Beispiel: Task mit WCET von 9 ms

```
1  void task() {
2    non_critical_work(); // 3 ms
3
4    cyg_mutex_lock(&R); // acquire
5    critical_work(); // 4 ms
6    cyg_mutex_unlock(&R); // release
7
8    non_critical_work(); // 2 ms
9  }
```

# Betriebsmittelnotation

## (R, 3, 4)

- R: verwendetes Betriebsmittel
- 3: relativer Anforderungszeitpunkt in ms
- 4: Zeit, die Betriebsmittel gehalten wird in ms

**Beispiel: Task mit WCET von 9 ms**

```
1  void task() {
2    non_critical_work(); // 3 ms
3
4    cyg_mutex_lock(&R); // acquire
5    critical_work(); // 4 ms
6    cyg_mutex_unlock(&R); // release
7
8    non_critical_work(); // 2 ms
9  }
```

## Phasenversatz im Tracing

- Aufgabensysteme beginnen mit Phasenversatz von 1 ms
- Traces versetzt (Tracenullpunkt entspricht 1 ms)

# Literatur

[1] Jane W. S. Liu.
*Real-Time Systems*.
2000.