Überblick

Planung des zeitlichen Ablaufs und Abfertigung

Einplanung (engl. *scheduling*) $\mapsto$ Strategie

- Erstellung des Ablaufplans von Arbeitsaufträgen
  - Festlegung einer Einlastungsreihenfolge
- in Bezug auf die Aufgabenbearbeitung geschieht dies ...

  entkoppelt (engl. *off-line*) $\rightsquigarrow$ statisch, vor Laufzeit

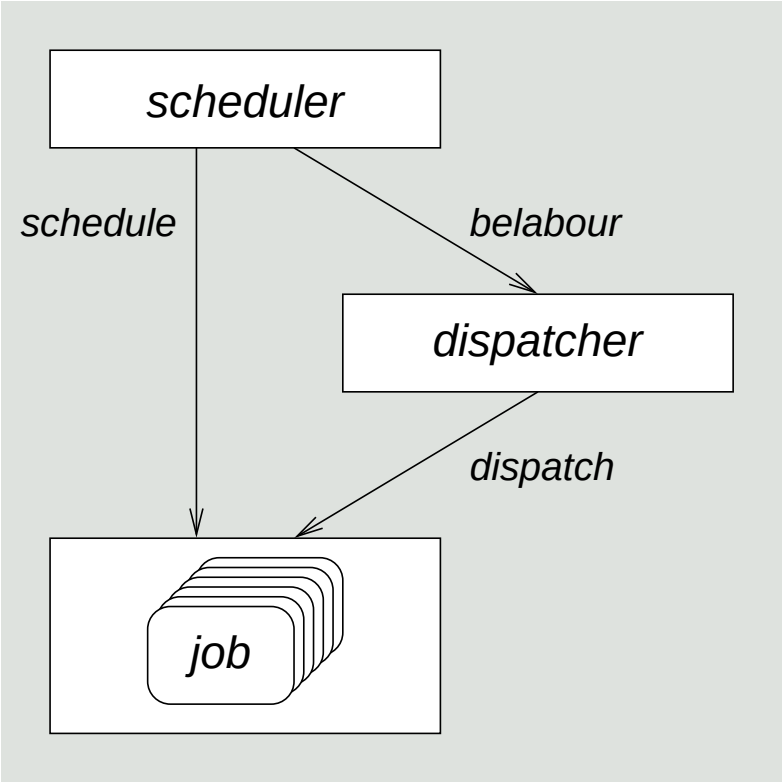
  gekoppelt (engl. *on-line*) $\rightsquigarrow$ dynamisch, zur Laufzeit[11]

Einlastung (engl. *dispatching*) $\mapsto$ Mechanismus

- Abarbeitung des Ablaufplans von Arbeitsaufträgen
  - Umsetzung der Einplanungsentscheidungen
- geschieht immer gekoppelt mit der Aufgabenbearbeitung
  - Ablaufpläne können nur *online* befolgt werden

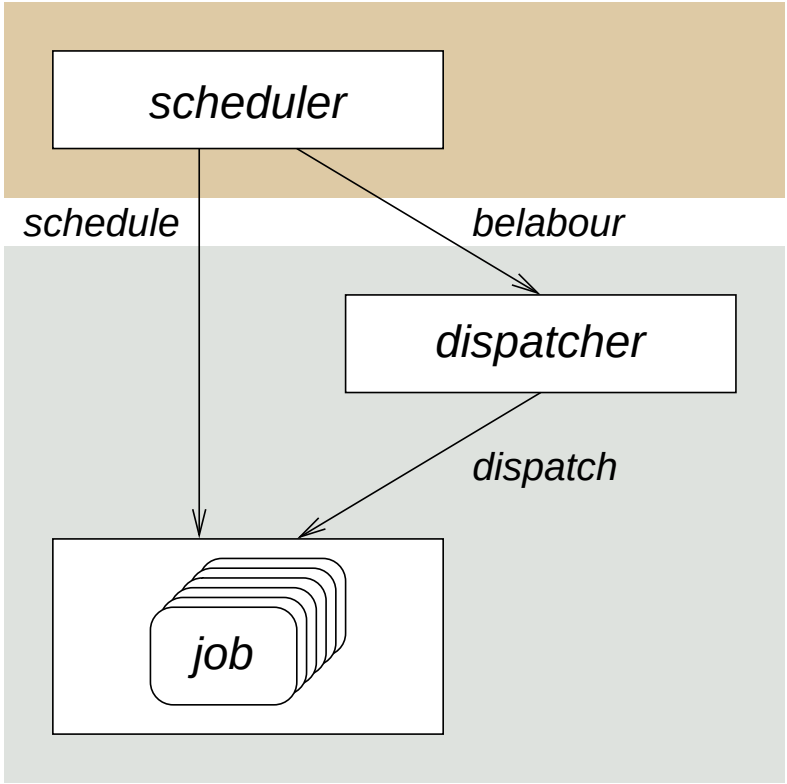
[11] Vorlage kann ein vor Beginn der Aufgabenbearbeitung statisch erstellter Ablaufplan sein, der während der Aufgabenbearbeitung dynamisch fortgeschrieben wird.

Einplanung und Einlastung



gekoppeltes System

- zeit- und örtlich gekoppelt
  - zur Laufzeit
  - integriert in einem System
    - auf einem Rechner



entkoppeltes System

- zeit- und ggf. örtlich entkoppelt
  - vor und zur Laufzeit
  - separiert in zwei Systeme
    - ggf. auf zwei Rechner

Einplanungszeitpunkte

Adaptierbarkeit (engl. *adaptability*) vs. Vorhersagbarkeit (engl. *predictability*)

on-line scheduling (zur Laufzeit), kommt ohne *à priori* Wissen aus

- einzige Option bei unbekannter zukünftiger Auslastung
  - Lastparameter sind erst zur Joblaufzeit bekannt
- die getroffenen Entscheidungen sind häufig nur suboptimal
  - eingeschränkte Fähigkeit, Betriebsmittel maximal zu nutzen
- ermöglicht/unterstützt jedoch ein fexibles System

off-line scheduling (vor Laufzeit), benötigt *à priori* Wissen

- Voraussetzung ist ein deterministisches System, d.h.:
  - alle Lastparameter sind vor Joblaufzeit bekannt
  - ein fester Satz von Systemfunktionen ist gegeben
- zur Laufzeit ist kein NP-schweres Problem mehr zu lösen
  - d.h, einen Ablaufplan zu finden, der alle Task/Job-Fristen einhält
- Änderungen am System führen zur Neuberechung vom Ablaufplan
  - dies gilt für alle Änderungen an Software *und* Hardware

Grundsätzliche Verfahren

Vorangetrieben durch interne oder externe Ereignisse

taktgesteuert (engl. *clock-driven*, auch *time-driven*) ✓

- Einlastung nur zu festen Zeitpunkten
  - vorgegeben durch das Echtzeitrechensystem
- statische (entkoppelte) Einplanung

reihum gewichtet (engl. *weighted round-robin*)

- Echtzeitverkehr in Hochgeschwindigkeitsnetzen
  - im Koppelnetz (engl. *switched network*)
- untypisch für die Einplanung von CPU-Jobs

vorranggesteuert (engl. *priority-driven*, auch *event-driven*) ✓

- Einlastung zu Ereigniszeitpunkten
  - vorgegeben durch das kontrollierte Objekt
- dynamische (gekoppelte) Einplanung

Taktsteuerung

Zeitgesteuertes (engl. *time-triggered*) System

Einlastungszeitpunkte von Arbeitsaufträgen wurden *à priori* bestimmt

- alle Parameter aller Arbeitsaufträge sind *off-line* bekannt
  - WCET, Betriebsmittelbedarf (z.B. Speicher, Fäden, Energie), ...
- zur Laufzeit anfallende Verwaltungsgemeinkosten sind minimal

Einlastung der Arbeitsaufträge erfolgt in variablen oder festen Intervallen

- im variablen Fall wird ein Zeitgeber (engl. *timer*) mit der Länge des jeweils einzulastenden Arbeitsauftrags programmiert $\mapsto$ WCET
  - jeder Zeitablauf bewirkt eine asynchrone Programmunterbrechung
  - als Folge findet die Einlastung des nächsten Arbeitsauftrags statt
- im festen Fall liefert der Zeitgeber regelmäßige Unterbrechungen
  - ein festes Zeitraster liegt über die Ausführung der Arbeitsaufträge
  - dient z.B. dem Abfragen (engl. *polling*) von Sensoren/Geräten

Vorrangsteuerung

Ereignisgesteuertes (engl. *event-triggered*) System

Einplanung und Einlastung laufen gekoppelt ab $\mapsto$ Ereigniszeitpunkte

- asynchrone Programmunterbrechungen: Hardwareereignisse
  - Zeitsignal, Bereitstellung von Sensordaten, Beendigung von E/A
- Synchronisationspunkte: ein-/mehrseitige Synchronisation
  - Schlossvariable, Semaphor, Monitor

Ereignisse haben Prioritäten, die Dringlichkeiten zum Ausdruck bringen

- Prioritäten werden *off-line* vergeben und ggf. *on-line* fortgeschrieben
  - Arbeitsaufträge haben eine statische oder dynamische Priorität
- die Zuteilung von Betriebsmitteln erfolgt prioritätsorientiert
  - Arbeitsaufträge höherer Priorität haben Vorrang
- Betriebsmittel (insb. CPU) bleiben niemals absichtlich ungenutzt
  - im Gegensatz zur Taktsteuerung, die Betriebsmittel brach liegen lässt

Punkte auf der Echtzeitachse

Bereitstellung und Erfüllung

Auslösezeit (engl. *release time*) Zeitpunkt, zu dem ein Arbeitsauftrag zur Ausführung bereitgestellt wird

- von da an ist Einlastung des betreffenden Jobs möglich
  - vorausgesetzt, Abhängigkeitsbedingungen[12] sind erfüllt
- ggf. verzögert Einplanung die Einlastung des Jobs

Termin (engl. *deadline*) Zeitpunkt, zu dem ein Arbeitsauftrag seine Ausführung beendet haben soll bzw. muss

- ein Termin kann
  - absolut (engl. *absolute deadline*) oder
  - relativ (engl. *relative deadline*) zur Auslösezeit

  angegeben werden
- ist je nach Anforderung, weich, fest oder hart
- ist der Wert ∞, unterliegt der Job keiner Frist

[12] Daten- und/oder Kontrollabhängigkeiten vom kontrollierten Objekt bzw. von anderen Arbeitsaufträgen.

Intervalle auf der Echtzeitachse

Ausführung und Freiraum

it

(engl. *response time*) Zeitdauer zwischen Auslösezeit und dem Terminationszeitpunkt eines Arbeitsauftrags

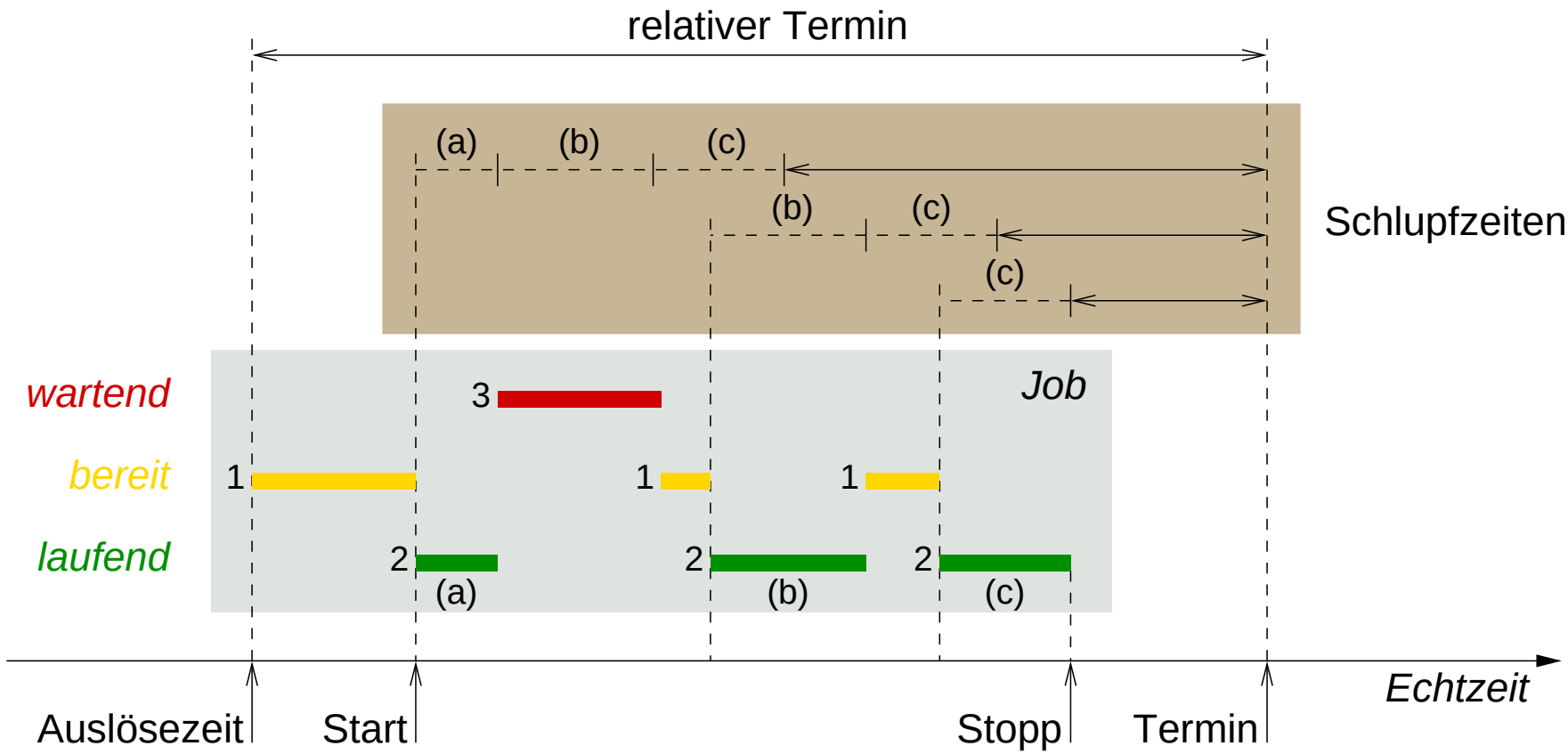
- die maximal erlaubte Antwortzeit wird durch einen relativen Termin beschränkt
- absoluter Termin $\geq$ Auslösezeit + relativer Termin

Schlupfzeit (engl. *slack time*) Zeitdauer zwischen Terminationszeitpunkt und Fristablauf eines sich in Ausführung/Bearbeitung befindlichen Arbeitsauftrags

- unter der Annahme, dass der Arbeitsauftrag nicht mehr blockiert oder unterbrochen wird
- $slack(J_i, t) = deadline(J_i) - t - maturity(J_i, t)$
  $maturity(J_i, t) = WCET(J_i) - elapsed\ time(J_i, t)$
- gibt der Einplanung Spielraum zur Einlastung eines Jobs

Jobphasen auf der Echtzeitachse

Ablaufzustände eines Fadens



Arbeitsauftrag einer komplexen Aufgabe

- (1) Einplanung, (2) Einlastung, (3) Synchronisation

Zufälle auf der Echtzeitachse

Asynchrone Ereignisse

sporadische Auslösezeit (engl. *sporadic realease-time*) Auslösezeit eines Arbeitsauftrags zu einem externen Ereignis

- Eintrittszeitpunkte externer Ereignisse ergeben sich zufällig
  - Auslösezeiten ereignisbehandelnder Jobs sind im Voraus unbekannt
- Folge: Schwankungen der Auslösezeit (engl. *realease-time jitter*)
  - die Auslösezeit r_i liegt im Bereich $[r_i^-, r_i^+]$
  - r_i^- ist die früheste, r_i^+ ist die späteste Auslösezeit
- die Arbeitsaufträge laufen sporadisch oder aperiodisch ab

Beispielsweise kann ein Flugzeugführer das Autopilotsystem jederzeit abschalten. Wenn dies geschieht, wechselt das Autopilotsystem vom Reiseflug- in den Bereitschaftsbetrieb. Die Arbeitsaufträge, die diesen Betriebswechsel ausführen, sind sporadische Arbeitsaufträge. [2, S. 38]

Periodische Aufgabe (engl. *periodic task*)

Vorabwissen

Aufgaben, die in (halb-) regelmäßigen Zeitintervallen kontinuierlich eine vorgegebene Systemfunktion erbringen[13]

- jede periodische Aufgabe T_i ist eine Abfolge von Arbeitsaufträgen:

  Periode p_i von T_i ist die minimale Länge aller Zeitintervalle zwischen den Auslösezeiten der Jobs in T_i

  Ausführungszeit e_i von T_i ist die maximale Ausführungszeit aller Jobs in T_i

  Phase ϕ_i von T_i ist Auslösezeit des ersten Jobs in T_i
- zu jeder Zeit sind p_i und e_i aller priodischen Aufgaben T_i bekannt
  - gegeben durch *à priori* Wissen bzw. der WCET jedes einzelnen Jobs

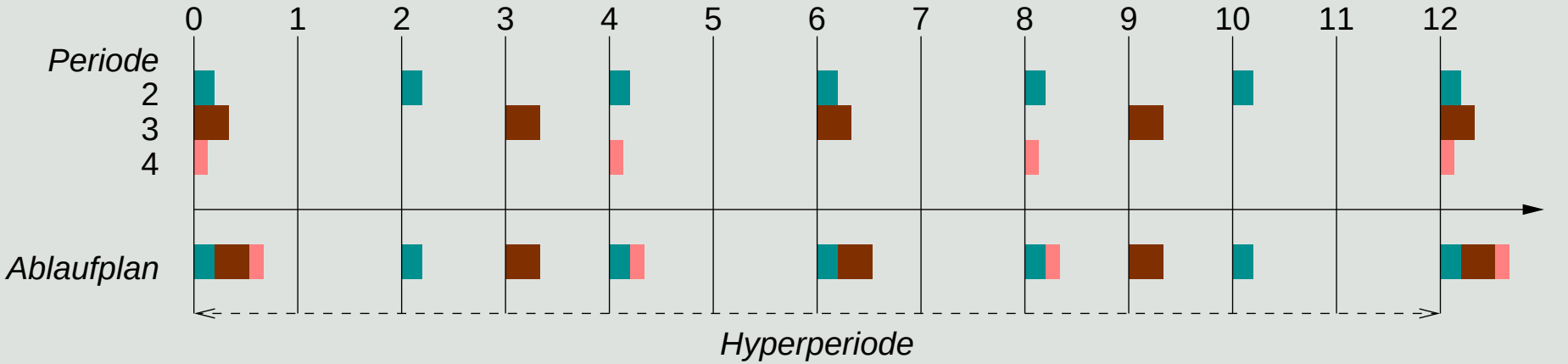
[13] Nach [2] ist eine periodische Aufgabe nicht wirklich periodisch, da die Abstände zwischen den Auslösezeiten (engl. *interrelease time*) eines Arbeitsauftrags einer periodischen Aufgabe nicht der Periode selbst entsprechen müssen. Anderswo werden solche Aufgaben verschiedendlich als sporadische Aufgaben bezeichnet.

Hyperperiode

Mix verschiedener Aufgaben mit unterschiedlichen Perioden

Zeitintervall, in dem alle periodischen Aufgaben (mindestens einmal) durchgelaufen sind und erneut zusammen zur Ausführung anstehen:

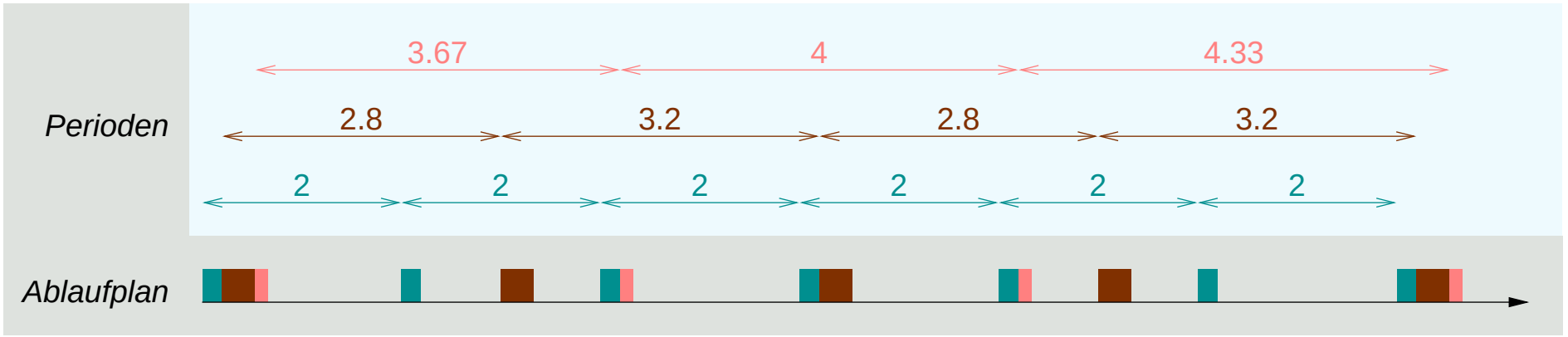
- Hyperperiode H, das kleinste gemeinsame Vielfache aller Perioden
- führt ggf. zu Schwankungen in den Einlastungszeiten
  - ein Problem bei Monoprozessorsystemen $\rightsquigarrow$ geschickte Einplanung



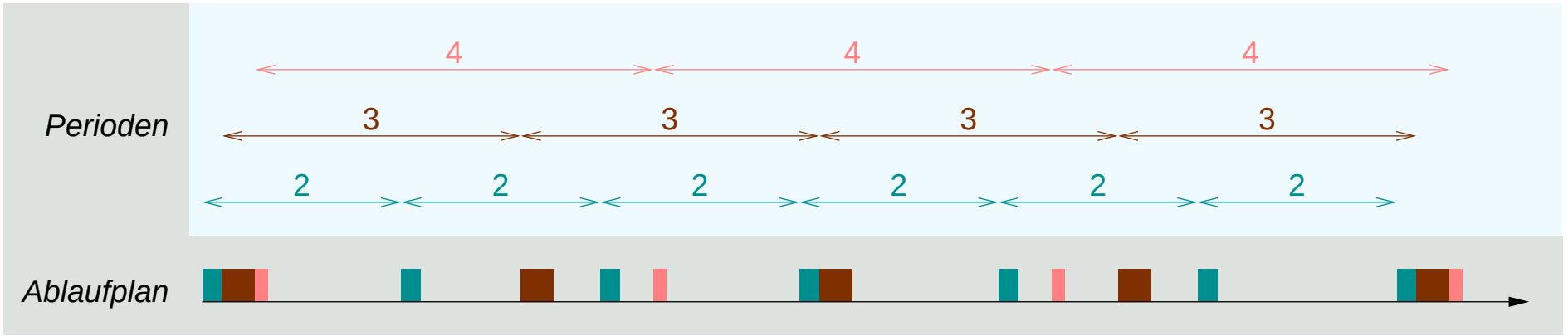
- maximale Anzahl aller Arbeitsaufträge in H ist $\sum_{i=1}^{n} H/p_i$
  - im vorliegenden Beispiel: $(12/2) + (12/3) + (12/4) = 13$

Genauigkeit periodischer Aufgaben

Einfluss der Einplanung auf Schwankungen in der Einlastung



- bis auf Periode 2 laufen alle anderen Jobs nicht wirklich periodisch ab



- alle Jobs laufen wirklich periodisch ab: Jobabstand = Periode

Belegungszeit (engl. *busy time*)

Zeitspanne, für die der Prozessor beansprucht wird

Auslastung u_i (engl. *utilization*) einer Aufgabe T_i, $u_i = e_i/p_i$

- dabei steht T_i für eine wirklich periodische Aufgabe (S. 4- 12)
  - sie stellt eine Referenz für die Auslastungsobergrenze dar
  - d.h., die Referenz einer beliebigen, durch T_i modellierten Aufgabe
- alle Aufgaben im System definieren die totale Auslastung U
  - die Summe der Auslastungen jeder einzelnen Aufgabe

Beispiel: drei periodische Aufgaben ...

- mit den Ausführungszeiten 1, 1, 3 und den Perioden 3, 4, 10
- führen zu den Einzelauslastungen 0.33, 0.25 und 0.3
- resultieren in eine totale Auslastung von 0.88
  - d.h., sie belegen den Prozessor zu 88 % seiner Zeit

Aperiodische/Sporadische Aufgabe

Strom aperiodischer/sporadischer Arbeitsaufträge

Abfolge von Arbeitsaufträgen, deren Auslösezeiten im Voraus unbekannt sind, d.h., die Bereitstellung der Jobs geschieht ereignisbedingt:

aperiodisch (engl. *aperiodic task*)

- Termine der Arbeitsaufträge sind weich oder fest
- ggf. haben die Arbeitsaufträge auch keine Termine

sporadisch (engl. *sporadic task*)

- Termine (einiger) der Arbeitsaufträge sind hart

Varianz in der Zwischenankunftszeit (engl. *interarrival time*)[14] ggf. nur einiger der Arbeitsaufträge solcher Aufgaben ist typisch

- sie kann stark schwanken
- oft ist nur der minimale Wert oder ihre statistische Verteilung bekannt

[14] auch: (engl. *interrelease time*).

Aperiodische/Sporadische Aufgabe (Forts.)

Beispiele

Aperiodische Arbeitsaufträge

- zur Empfindlichkeitseinstellung eines Radars sollte das System reagierend (engl. *responsive*) arbeiten, damit Maßnahmen zum Abgleich/zur Korrektur schnellstmöglich abgeschlossen werden können
- Reaktionen, die verzögert oder zu spät erfolgen, sind zwar unerfreulich, jedoch tolerierbar

Sporadische Arbeitsaufträge

- ein Selbststeuerungssystem muss Kommandos nicht nur innerhalb einer bestimmten Zeit entgegen nehmen sondern auch darauf reagieren (S. 4-11)
- als fehlertolerantes System muss es transiente Fehler rechtzeitig erkennen und behandeln und die Erholung (engl. *recovery*) innerhalb einer bestimmten Zeit abschließen

- bei einem Mix darf die Ansprechempfindlichkeit (engl. *responsiveness*) aperiodischer Jobs nie auf Kosten sporadischer Jobs optimiert werden

Rangfolge (engl. *precedence*)

Abhängigkeit von Kontrollflüssen

Arbeitsaufträge können gezwungen sein, in einer ganz bestimmten Reihenfolge ausgeführt werden zu müssen

- Beispiel Radarüberwachungsanlage ...
  - Signalaufbereitungsauftrag muss vor Nachführauftrag gelaufen sein
- Beispiel Kommunikationssystem ...
  - Sendeauftrag muss vor Empfangsauftrag gelaufen sein
  - Empfangsauftrag muss vor Bestätigungsauftrag gelaufen sein
- Beispiel Anfragesystem ...
  - Eingabeauftrag muss vor Authentifizierunfgsauftrag gelaufen sein
  - Authentifizierungsauftrag muss vor Suchauftrag gelaufen sein
  - Suchauftrag muss vor Ausgabeauftrag gelaufen sein

☞ die Rangfolge ist oft in Datenabhängigkeiten begründet

Datenabhängigkeit (engl. *data dependency*)

Abhängigkeit von konsumierbaren Betriebsmitteln

Daten, von Arbeitsaufträgen erwartet, bilden konsumierbare Betriebsmittel

- ihre Anzahl ist (log.) unbegrenzt: Nachrichten, Signale, Interrupts

  Produzent kann beliebig viele davon erzeugen

  Konsument zerstört sie wieder bei Inanspruchnahme

Produzent und Konsument sind voneinander abhängige Entitäten

- der Konsument vom Produzenten ...
  - weil ein konsumierbares Betriebsmittel erst bereitgestellt werden muss, um es in Anspruch nehmen zu können
- der Produzent vom Konsumenten ...
  - weil konsumierbare Betriebsmittel auf endlich viele wiederverwendbare Betriebsmittel abgebildet werden
  - weil der Produzent dazu erst ein wiederverwendbares Betriebsmittel anfordern muss, das vom Konsumenten später wieder freizugeben ist
  - Beispiel: begrenzter Puffer (engl. *bounded buffer*)

Koordinierung (engl. *coordination*)

Abhängigkeiten analytisch/konstruktiv behandeln

durch Einplanung $\rightsquigarrow$ analytische Verfahren

- Ablaufpläne berücksichtigen Rangfolgen und Datenabhängigkeiten
  - *à priori* Wissen $\mapsto$ periodische Aufgaben
- Arbeitsaufträge laufen komplett durch (engl. *run to completion*)
  - sie warten weder ex- noch implizit, dürfen jedoch verdrängt werden
  - ggf. sind nicht-blockierende Betriebssystemschnittstellen gefordert
- Ergebnis ist ein System von ausschließlich einfachen Aufgaben

durch Kooperation $\rightsquigarrow$ konstruktive Verfahren

- Synchronisationspunkte in den Programmen explizit machen
  - d.h., Zeitsignale austauschen $\mapsto$ Semaphor
- Arbeitsaufträge sind Produzenten/Konsumenten von Ereignissen

  interne Ereignisse von anderen Arbeitsaufträgen

  externe Ereignisse von den kontrollierten Objekten
- Ergebnis ist ein System von (ggf. vielen) komplexen Aufgaben

Verdrängbarkeit

Verschränkung (engl. *interleaving*) von Arbeitsaufträgen

Arbeitsaufträge könn(t)en verschränkt ausgeführt werden, wenn ...

- der Planer (engl. *scheduler*) dynamisch, ereignisgesteuert arbeitet
- die Zeitbedingungen (engl. *time constraints*) es erlauben

Präemptivität (engl. *preemptivity*) ist eine Eigenschaft, die in Abhängigkeit von jedem einzelnen Arbeitsauftrag gesehen werden muss

verdrängbar (engl. *preemptable*) ist ein Arbeitsauftrag, wenn seine Ausführung suspendiert werden darf

an beliebigen Stellen (engl. *full preemptive*)

an ausgewiesenen Stellen (engl. *preemption points*)

unverdrängbar (engl. *non-preemptable*), sonst

- der Job muss durchlaufen (engl. *run to completion*)

☞ ggf. Mischbetrieb, wenn Präemptivität als Jobattribut implementiert ist

Kriterien der Prioritätsvergabe
Überblick

Dynamische Prioritäten

EDF (engl. *earliest deadline first*)
- je früher der Termin, desto höher die Priorität

LRT (engl. *latest release-time first*), EDF umgekehrt
- je später die Auslösezeit, desto höher die Priorität

LST (engl. *least slack-time first*)
- je kürzer die Schlupfzeit, desto höher die Priorität

Statische Prioritäten (periodische Verfahren)

RM (engl. *rate monotonic*)
- je kürzer die Periode, desto höher die Priorität

DM (engl. *deadline monotonic*)
- je kürzer der relative Termin, desto höher die Priorität

EDF — *Earliest Deadline First*

- benötigt kein Wissen über Ausführungszeiten von Arbeitsaufträgen

  Arbeitsaufträge $J_1 \mapsto 3\,(0,6],\ J_2 \mapsto 2\,(5,8],\ J_3 \mapsto 2\,(2,7]$
  - Ausführungszeiten 3, 2, 2 — verzichtbar
  - zulässige Ausführungsintervalle (*earliest*, *latest*]

  Ablaufplan $J_1[1,3] \rightarrow J_3[4,5] \rightarrow J_2[6,7]$
  - resultierende Ausführungsintervalle [*start*, *stop*]
  - Ausführungsintervall $(7,8]$ gibt Verzögerungsspiel
- Arbeitsaufträge werden möglichst auslösezeitnah gestartet
  - lässt den Prozessor nicht untätig, wenn ausführbereite Jobs anstehen

LRT — *Latest Release-Time First*

EDF umgekeht $\rightsquigarrow$ Arbeitsaufträge werden „rückwärts“ eingeplant

- Auslösezeiten sind Termine
- Termine sind Auslösezeiten

- benötigt Wissen über Ausführungszeiten von Arbeitsaufträgen

  Arbeitsaufträge $J_1 \mapsto 3\,(0,6],\ J_2 \mapsto 2\,(5,8],\ J_3 \mapsto 2\,(2,7]$
  - Ausführungszeiten 3, 2, 2
  - zulässige Ausführungsintervalle $(\mathit{earliest}, \mathit{latest}]$

  Ablaufplan $J_1[2,4] \rightarrow J_3[5,6] \rightarrow J_2[7,8]$
  - resultierende Ausführungsintervalle $[\mathit{start}, \mathit{stop}]$
  - Ausführungsintervall $(0,1]$ bleibt ungenutzt
- Arbeitsaufträge werden möglichst terminnah erfüllt
  - lässt den Prozessor ggf. untätig trotz ausführbereiter Jobs
    - schiebt Jobs mit harten Echtzeitbedingungen nach hinten
    - schafft vorne Spiel für Jobs mit weichen/festen Echtzeitbedingungen

LST — *Least Slack-Time First*

auch: *Minimum Laxity First*, MLF

- benötigt Wissen über die Ausführungszeiten von Arbeitsaufträgen

  Schlupfzeit $slack(J_i, t) = deadline(J_i) - t - maturity(J_i, t)$
  - zum Zeitpunkt t
  - $maturity(J_i, t) = WCET(J_i) - elapsed\ time(J_i, t)$

  Arbeitsaufträge $J_1 \mapsto 3\,(0, 6]$, $J_2 \mapsto 2\,(5, 8]$, $J_3 \mapsto 2\,(2, 7]$
  - Ausführungszeiten 3, 2, 2
  - zulässige Ausführungsintervalle $(earliest, latest]$

  Ablaufplan $J_1[1, 2) \rightarrow J_3[3, 4] \rightarrow J_1[5, 6] \rightarrow J_2[7, 8]$
  - solange J_1 läuft, ist seine Schlupfzeit 3
  - J_3 (mit Schlupfzeit 3) verdrängt J_1 zum Zeitpunkt 2
  - während J_3 läuft, fällt die Schlupfzeit von J_1 auf 1
  - J_2 trifft zum Zeitpunkt 5 ein, seine Schlupfzeit ist 1
  - zu dem Zeitpunkt hat J_1 eine Schlupfzeit von 0
- Arbeitsaufträge werden möglichst auslösezeitnah gestartet
  - lässt den Prozessor nicht untätig, wenn ausführbereite Jobs anstehen

LST — *Least Slack-Time First* (Forts.)

Beispiel: $J_1 \mapsto 3\,(0,6]$, $J_2 \mapsto 2\,(5,8]$, $J_3 \mapsto 2\,(2,7]$

t	J_1	J_2	J_3
0	$6-0-(3-0)=3$		
1	$6-1-(3-1)=3$		
2	$6-2-(3-2)=3$		$7-2-(2-0)=3$
3	$6-3-(3-2)=2$		$7-3-(2-1)=3$
4	$6-4-(3-2)=1$		$7-4-(2-2)=3$
5	$6-5-(3-2)=0$	$8-5-(2-0)=1$	
6	$6-6-(3-3)=0$	$8-6-(2-0)=0$	
7		$8-7-(2-1)=0$	
8		$8-8-(2-2)=0$	

$$J_1[1,2) \rightarrow J_3[3,4] \rightarrow J_1[5,6] \rightarrow J_2[7,8]$$

RM — *Rate Monotonic*

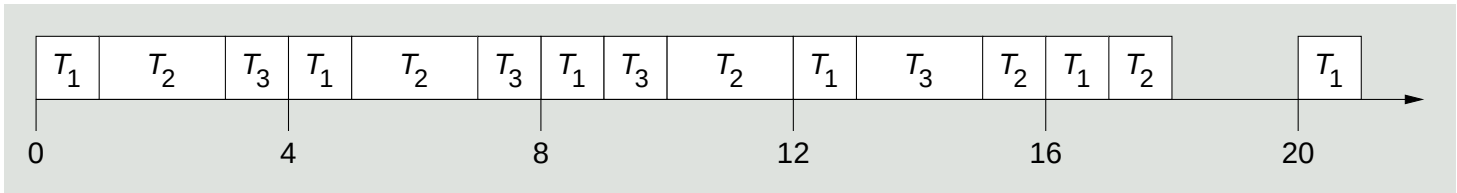
Rate einer Aufgabe T_i ist die Inverse der Periode von T_i

- bezieht sich auf die Auslösung von Arbeitsaufträgen in T_i
- je kürzer die Periode von T_i, desto höher die Rate von T_i
  - desto höher die Priorität von T_i

- benötigt Wissen über Ausführungszeiten von Arbeitsaufträgen

  Aufgaben $T_1 = (4, 1),\ T_2 = (5, 2),\ T_3 = (20, 5)$
  - 3-Tupel (p_i, e_i, D_i); gilt $D_i = p_i$, wird D_i nicht geschrieben
  - Perioden $p_i = 4, 5, 20$
  - Ausführungszeiten $e_i = 1, 2, 5$
  - relative Termine $D_i = p_i$

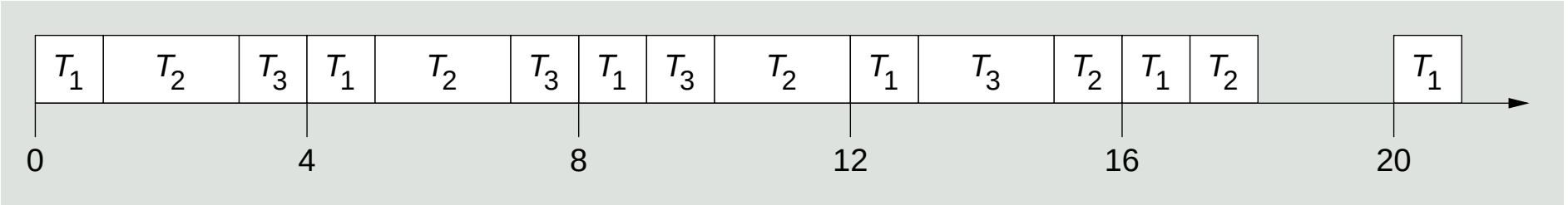
  Ablaufplan



- Arbeitsaufträge werden in ihren Aufgabenperioden ausgeführt
  - lässt den Prozessor nicht untätig, wenn ausführbereite Jobs anstehen

RM — *Rate Monotonic* (Forts.)

Beispiel: $T_1 = (4, 1)$, $T_2 = (5, 2)$, $T_3 = (20, 5)$



- T_1 hat die höchste Rate (kürzeste Periode) und startet zuerst
  - alle Jobs von T_1 werden ausgelöst
- T_2 hat die zweithöchste Priorität und folgt T_1
  - die Jobs von T_2 werden im Hintergrund von T_1 ausgeführt
  - der erste Job von T_2 startet mit Ende des erstes Jobs von T_1
  - T_2 wird zum Zeitpunkt $t = 16$ von T_1 verdrängt
- T_3 hat die dritthöchste Priorität und folgt T_2
  - die Jobs von T_3 laufen im Hintergrund von T_1 und T_2
  - T_3 läuft nur, wenn kein Job von T_1 und T_2 ausführbereit ist
  - für Zeitintervall $[18, 19]$ gibt es keine ausführbereiten Jobs mehr

DM — *Deadline Monotonic*

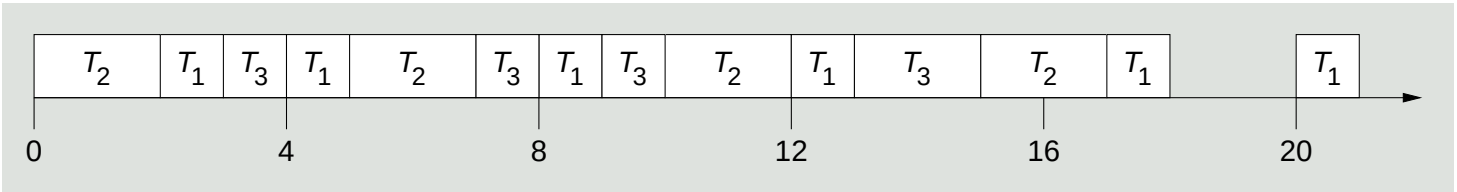
DM = RM wenn gilt: D_i ist proportional zu p_i

- z.B. $T_1 = (4, 1),\ T_2 = (5, 2),\ T_3 = (20, 5)$
  - entspricht $T_1 = (4, 1, 4),\ T_2 = (5, 2, 5),\ T_3 = (20, 5, 20)$
  - relativer Termin und Periode jeder Aufgabe sind identisch/proportional

- benötigt Wissen über Ausführungszeiten von Arbeitsaufträgen

  Aufgaben $T_1 = (4, 1),\ T_2 = (5, 2, 3),\ T_3 = (20, 5)$
  - Perioden $p_i = 4, 5, 20$
  - Ausführungszeiten $e_i = 1, 2, 5$
  - relative Termine $D_i = 4, 3, 20$

  Ablaufplan



- bei beliebigen relativen Terminen arbeitet DM besser als RM
  - d.h., DM liefert zulässige Abläufe in Fällen, wo RM scheitert

Resümee

Trennung unterschiedlicher Belange $\mapsto$ Strategie & Mechanismus

- Einplanung ist die Strategie, Einlastung ist der Mechanismus

Arbeitsweise ist zeit- oder ereignisgesteuert: Einplanung & Einlastung

- gekoppelt im zeitgesteuerten System (Taktsteuerung)
- entkoppelt im ereignisgesteuerten System (Vorrangsteuerung)

Zeitparameter sind Punkte und Intervalle auf der Echtzeitachse

- (sporadische) Auslösezeit, (absoluter) Termin
- Antwortzeit bzw. relativer Termin, Schlupfzeit

Taskmodelle für periodische Aufgaben

- aperiodische oder sporadische Aufgaben bzw. Arbeitsaufträge
  - je nach dem, ob Jobtermine weich/fest oder hart sind
- Rangfolgen, Abhängigkeiten, Koordinierung, Verdrängung

Verfahren EDF, LRT, LST, RM und DM