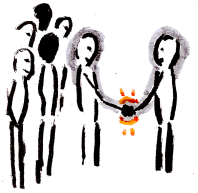
Willkommen bei Verteilte Systeme!

Von Datenbanken
über Webdienste
bis zu p2p und Sensornetzen.

Heute: **Koordination – Reihenfolge, Uhren, Konfliktvermeidung**.
„Hattest du das schon gesehen?“

Wiederholung: Grundprobleme

- **Einstieg**: Wie finde ich meinen Platz im Netz?



- **Suche**: Wo gibt es, was ich brauche?

- **Verbreitung**: Wie vermeide ich Flaschenhälse?

- **Kommunikation**: Wie fließen Informationen durchs Netz?

- ***Störungsresistenz***: *Wie skaliert Gewünschtes besser als Unerwünschtes?*

Wiederholung: Implementierungen

	Einstieg	Suche
Gnutella	WebCache	Slow-Start + Keyword-Multicast
Kademlia	Suche nach eigener ID	xor-Hash-Hierarchie
BitTorrent	Tracker-URL	Kademlia / Tracker / Web
Freenet	Seed-Nodes suchen ID	Greedy Hash auf Small World
WebRTC	WebRTC Server	-

	Verteilung	Störung
Gnutella	Alt+NAlt, Range, Merkle-Tree	Heuristik/Credence
Kademlia	*unterschiedlich*	-
BitTorrent	Torrent	Wertung auf Tracker
Freenet	Chunk-Tree with Redundancy	Propagating Trust
WebRTC	-	-

Organisation: Projekte

- Konkrete Ziele entwerfen
- Planning Poker: 4, 8, 13 oder 20 Stunden.
  - online: atomic (Umfragen)
  - offline: Handzeichen (Faust = 10)
- Zielnoten nach Zeitschätzung: Ein Wochenende pro Person
- Ziele anpassen:
  - 13 Stunden für eine Person für 1,5
  - 20 für zwei Personen für 1,5

Ablauf heute

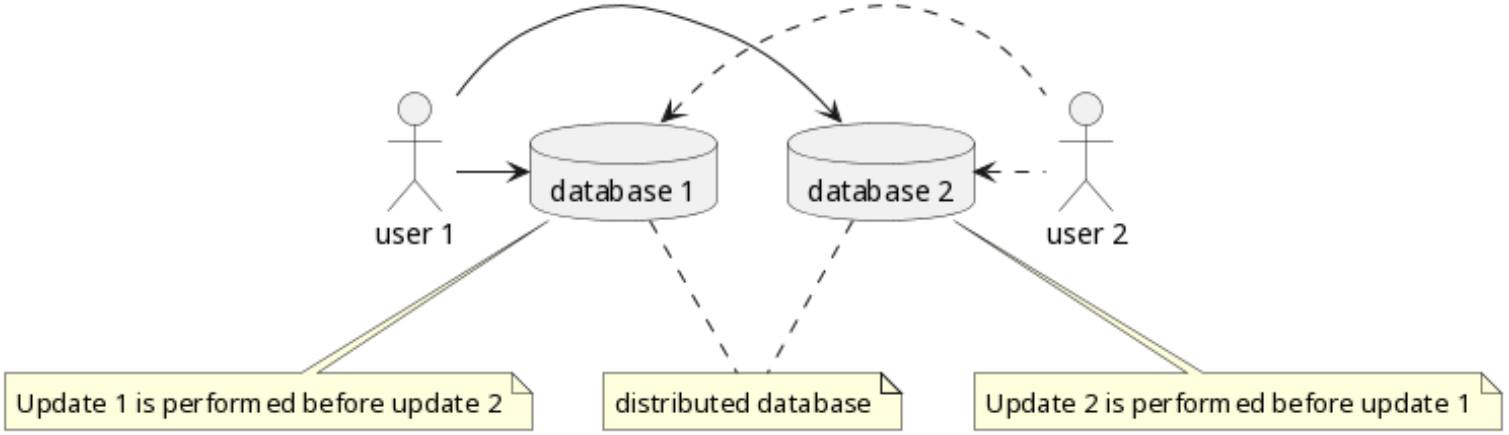
Koordination

- Reihenfolge ist relative
  - Timestamps als Lösung?
    - Uhren im Computer
    - Synchronisation von Uhren
  - Logische Uhren als Alternative
    - total geordneter Multicast
    - kausal geordneter Multicast
- Exklusiver Zugriff
- Wahlalgorithmen

Ziele heute

- Sie verstehen, wie Operationen in einem verteilten System geordnet werden können
- Sie kennen die Funktionsweise von Uhren in Computern
- Sie kennen Methoden, um Uhren zu synchronisieren
- Sie kennen Alternativen zu synchronisierten Uhren
- Sie kennen Implementierungen für wechselseitigen Ausschluss (mutual exclusion) in verteilten Systemen
- Sie kennen grundlegende Wahlalgorithmen, um Knoten spezielle Rollen zuzuweisen

Problem der Reihenfolge



- Repliziertes Bankkonto, 2 Rechenzentren (KA, FFM)
- Kunde **in KA** möchte 100 € einzahlen.
- Bänker **in FFM** möchte 5% Zinsen auf das Konto buchen.
- Beide Transaktionen zeitgleich.
- Werden in das jeweils andere Rechenzentrum repliziert.

Reihenfolge 1

```
balance = 1000
balance = balance + 100
balance = balance * 1.05
return balance
```

```
1155.0
```

- Sicht aus Rechenzentrum KA.
- Message des Kunden trifft zuerst ein.
- Message des Bänkers danach.
- Kontostand: 1'155 €.

Reihenfolge 2

```
balance = 1000
balance = balance * 1.05
balance = balance + 100
return balance
```

```
1150.0
```

- Sicht aus Rechenzentrum FFM.
- Message des Bänkers trifft zuerst ein.
- Message des Kunden danach.
- Kontostand: 1'150 €.

Das Problem

- Je nach Reihenfolge der Messages anderer Kontostand.
- Solche Inkonsistenzen vermeiden!
- Wie lassen sich die Operationen ordnen?

Ziele Uhren + Synchronisation

- Sie kennen die Funktionsweise von Uhren in Computern
- Sie kennen Methoden, um Uhren zu synchronisieren

https://xkcd.com/2867/

Uhren

Computer verwenden 2 Arten von Uhren:

- time-of-day clocks
  - Gibt aktuelles Datum und Uhrzeit zurück.
  - Beispiel: Java `System.curentTimeMillis()`
- monotonic clocks
  - Geben eine Zahl zurück die monoton steigt.
  - Beispiel: Java `System.nanoTime()`

monoton: läuft nie rückwärts.

Hardware Uhren

- Bestehen aus einem Quartz und 2 Registern.
- Der Quartz oszilliert in einer bestimmten Frequenz.
- **counter**-Register wird bei jeder Oszillation dekrementiert.
- Erreicht der Zähler 0, wird ein Interrupt abgesetzt.
  - Danach wird das counter-Register auf den Wert des **holding**-Registers gesetzt.
- Jeder Interrupt stellt einen **tick** dar.
- Die Software Uhr wird pro tick um 1 erhöht.

Der internen Uhr vertrauen? **Erfahrung**

Kerberos

- "login failed: timed out after 5 minutes."
- log: password received 17442000 minutes after login.
- epoch ... (1970)

Admins mussten lokal an den Rechner und die Mainboard-Batterie tauschen.

Ist ein Extremfall. Mikrowelle: Etwa +1 Minute pro Monat.

Clock Skew vs. Clock Drift

Wir vergleichen 2 Uhren:

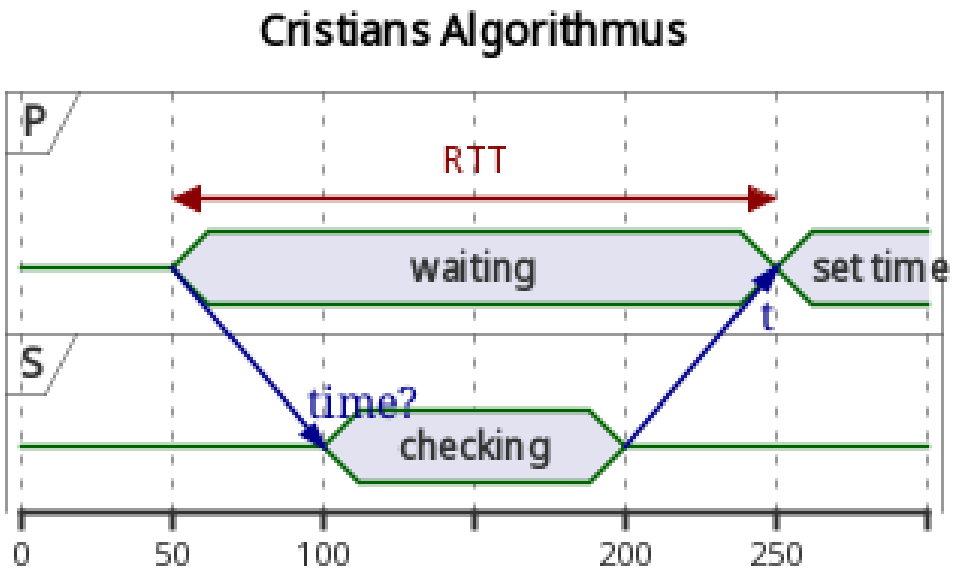
- Clock Skew: Unterschied der Werte der Uhren
- Clock Drift: Unterschied zwischen der Frequenzen der Uhren
- Clock Skew $!= 0 \Rightarrow$ Uhren sind nicht synchronisiert sind
- Clock Drift $!= 0 \Rightarrow$ Clock Skew wird sich verändern
- Clock Skew zu UTC ca. 31 Sekunden pro Jahr
- Ursache: Unterschiede in der Frequenz des Quartz (auch bei baugleichen Uhren)
- Externe Einflüsse wie Temperatur
- $\Rightarrow$ Wir müssen Synchronisieren!

Zeit-Synchronisation

Es existieren verschiedene Algorithmen:

- Cristians Algorithmus: Client-Server
- NTP: Weltzeit
- Berkeley: Clusterzeit

Cristians Algorithmus



- P fragt Zeit von S an und startet timer.
- S liest die Zeit t und antwortet.
- P setzt seine Uhr auf $t + \frac{RTT}{2}$

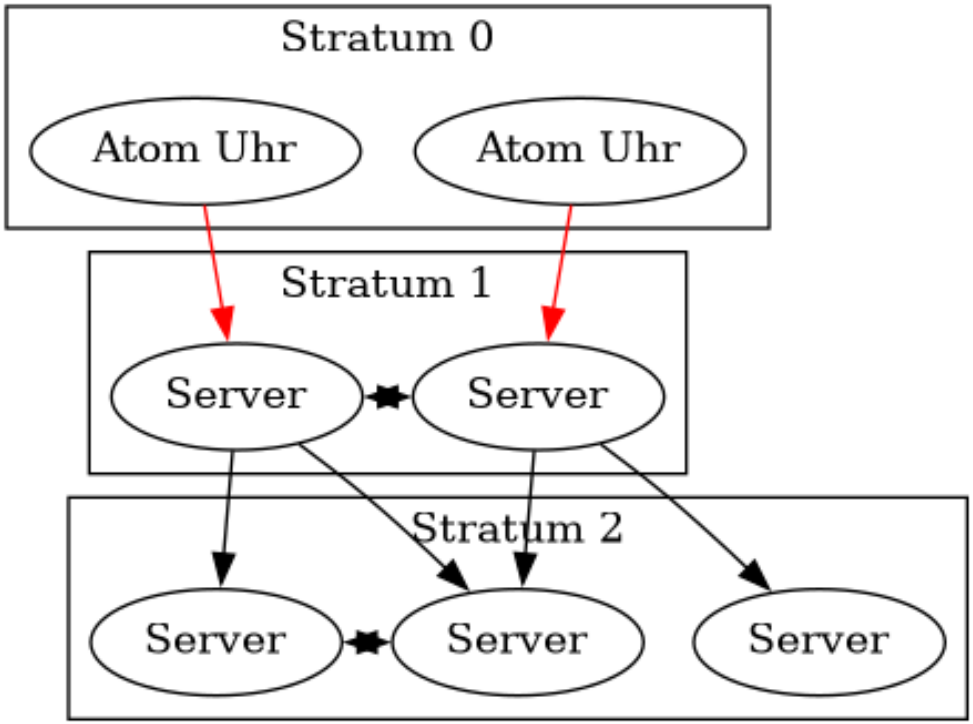
PAUSE

```
--- PAUSE ---
```

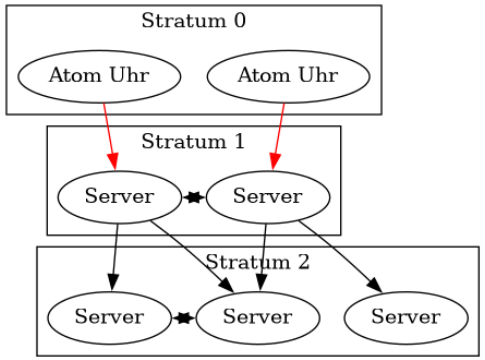
Übung Cristians Algorithmus

- Laufzeit Nachricht P $\rightarrow$ S und S $\rightarrow$ P jeweils 100 ms.
- S benötigt 10 ms für die Bearbeitung der Anfrage.
- t = 500 ms.
- Welche Zeit wird bei P eingestellt?

NTP (Network Time Protocol): Diagramm

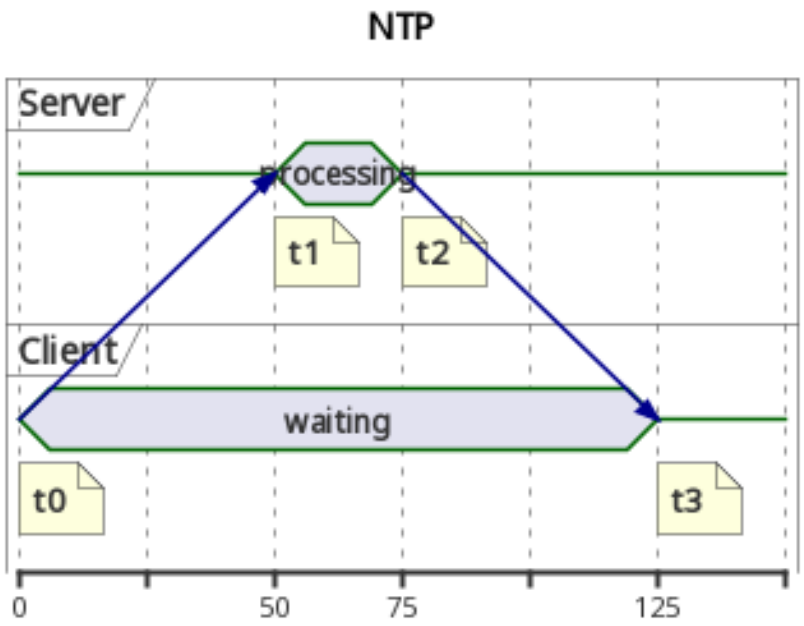


NTP (Network Time Protocol): Ablauf



- Bestandteile des Systems werden in Strata unterteilt.
- Referenz-Uhren befinden sich in Stratum 0.
- Ein Server in Stratum n kontaktiert Server in Stratum n - 1 zur Synchronisation.
- Oft werden mehrere Server angefragt und die Ergebnisse statistisch behandelt (Mittel, Ausreißer).
- Auch innerhalb eines Stratums wird kommuniziert

NTP Berechnung



- Client startet Anfrage zu t_0.
- Server empfängt Anfrage zu t_1 und sendet Anwort zu t_2.
- Client empfängt Antwort zu t_3.
- t_0 und t_3 jeweils in Client-Zeit, t_1 und t_2 in Server-Zeit.
- Offset berechnet sich: $\text{offset} = \frac{(t_1 - t_0) + (t_2 - t_3)}{2}$
- Offset wird verwendet, um die Zeit graduell anzupassen.

NTP graduelle Anpassung

- Was passiert bei offset < 0?
- Uhren sollten nicht rückwärts laufen!
- Bsp: jeder tick erhöht Software Uhr um 10 ms.
  - Idee: Verringerung des Inkrements, um Uhr schrittweise anzugleichen.
- Wird auch verwendet, um die Uhr vorwärts anzupassen.
- Graduelle Anpassung wird bei offsets > 128 ms nicht verwendet.

Niemals rückwärts! **Erfahrung**

- change password.
- error: attempt to login before password set.

NTP Übung

- Client stellt Anfrage bei $t_0 = 100$ ms.
- Server empfängt Anfrage bei $t_1 = 50$ ms und benötigt 10 ms zur Bearbeitung.
- Berechne das offset bei:
  - $t_{C->S} = t_{S->C} = 5\text{ms}$
  - $t_{C->S} = 5\text{ms}$ und $t_{S->C} = 10\text{ms}$
- Auf welche Zeit wird die Uhr des Client jeweils gestellt?

NTP

Neben dem offset wird noch das delay berechnet:
$\text{delay} = (t_3 - t_0) - (t_2 - t_1)$

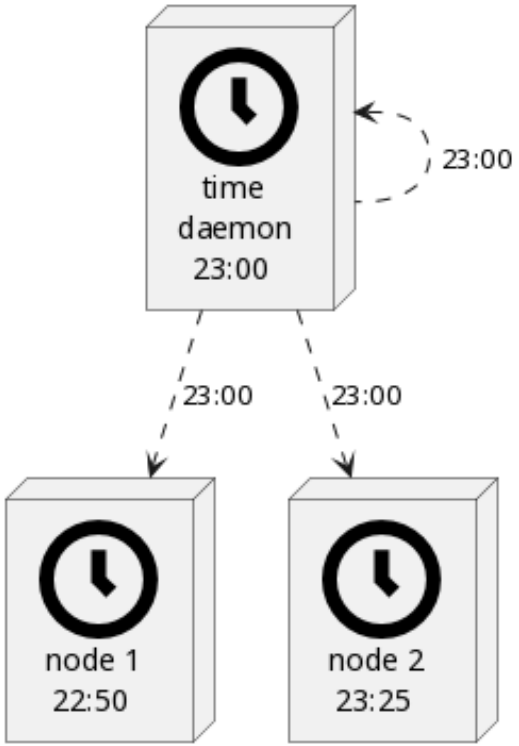
Es werden 8 offset-delay Paare ermittelt und das Paar mit dem geringsten delay verwendet.

NTP erreicht Genauigkeiten von 1-50 ms.

30ms Verzögerung ist die Obergrenze für Interaktives!

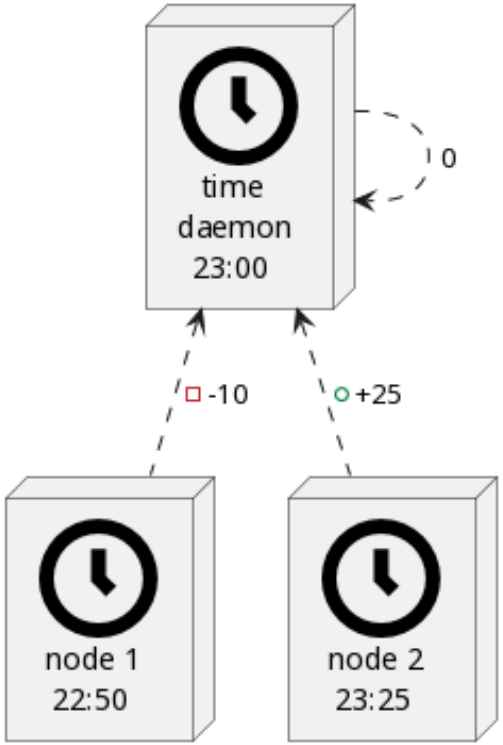
Berkeley Algorithmus - Schritt 1

Zeitserver sendet periodisch eigene Zeit an alle Maschinen im Netzwerk.



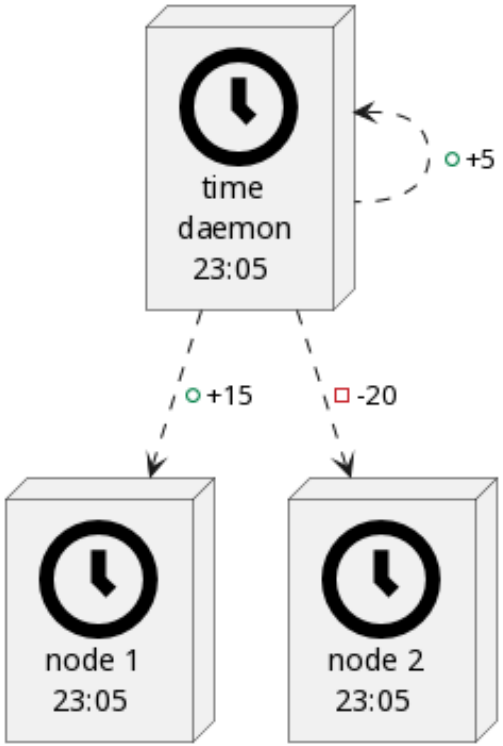
Berkeley Algorithmus - Schritt 2

Maschinen antworten mit ihrem offset.



Berkeley Algorithmus - Schritt 3

Zeitserver berechnet Durchschnitt der Uhrzeiten und sendet offsets an Maschinen.



Berkeley Algorithmus - Übung

3 Rechner und ein Server im System.

Gebe die Nachrichten des Berkley Algorithmus an. Welche Zeit wird im System eingestellt?

Server	11:00
Alice	10:55
Bob	11:15
Carol	11:10

Nr	von	an	Inhalt
1	Server	A,B,C	11:00
2	Server	Server	0
...			
9			

Berkeley Algorithmus - Beobachtungen

- Bietet interne Synchronisation.
  - System wird nicht mit externer Uhr (UTC) synchronisiert.
- Solange das System intern einen einheitlichen Zeitbegriff verwendet, können Operationen geordnet werden.

Clusterzeit.

Spanner

- Nutzt timestamps in der Form $[T_{lower}\ T_{upper}]$[1]
- „True Time Service“
- Kommt auf 6ms Genauigkeit
- Transaktionen werden verzögert, damit T_{upper} auf jeden Fall verstrichen ist.

[1] Spanner-Beschreibung: https://levelup.gitconnected.com/how-google-spanner-assigns-commit-timestamps-the-secret-sauce-of-its-strong-consistency-8bc143614f26

Wall Time Timestamps - Fazit

- Uhren sind immer mit einem Fehler versehen.

Zusammenfassung Uhren + Synchronisation

- wall time vs. monotonic clocks
- Uhren leiden under skew und drift.
  - –> müssen synchronisiert werden.
- externe Synchronisation: Cristians Algorithmus, NTP
- interne Synchronisation: Berkeley
- Uhren haben Unsicherheit

PAUSE

--- PAUSE ---

Logische Uhren + Multicast ordnen

Ziele:

- Sie kennen Alternativen zu wall time clocks.
- Sie verstehen den Unterschied zwischen partieller und totaler Ordnung.
- Sie verstehen Lamport clocks?
- Sie kennen total geordneten Multicast mit Lamport clocks.
- Sie verstehen Vector clocks.
- Sie kennen kausal geordneten Multicast mit vector clocks.

Lamport Uhren

- Die exakte Uhrzeit interessiert uns nicht
- Reihenfolge von Ereignissen
- $\Rightarrow$ Zeit-Ordnung
- Timestamps sollen Kausalität berücksichtigen:
  - Wenn a kausal vor b passiert ist, dann timestamp$(a) <$ timestamp(b).
  - Tür wird geöffnet bevor man eintritt

Die Happens-Before Relation

- Logische Beziehung zwischen 2 Ereignissen.
- Notation: $a \rightarrow b$: a ist vor b passiert.
- Regeln:
  - Innerhalb eines Prozesses $a \rightarrow b$, if $\text{time}(a) < \text{time}(b)$.
  - Wenn P1 eine Nachricht m an P2 sendet: $\text{send}(m) \rightarrow \text{receive}(m)$.
  - Wenn $a \rightarrow b$ und $b \rightarrow c$, dann auch $a \rightarrow c$ (Transitivität)
- Partielle Ordnung von Ereignissen.

Partielle Ordnung

- Eine totale Ordnung erlaubt 2 beliebige Elemente miteinander zu vergleichen.
  - Für jedes Elementpaar kann die Aussage getroffen werden welches der Elemente größer ist.
  - Beispiel: natürliche Zahlen.
- Eine Partiellen Ordnung kann nur einige vergleichen
- $\Rightarrow$ *Wir können nicht für alle Ereignisspaare die Reihenfolge bestimmen.*

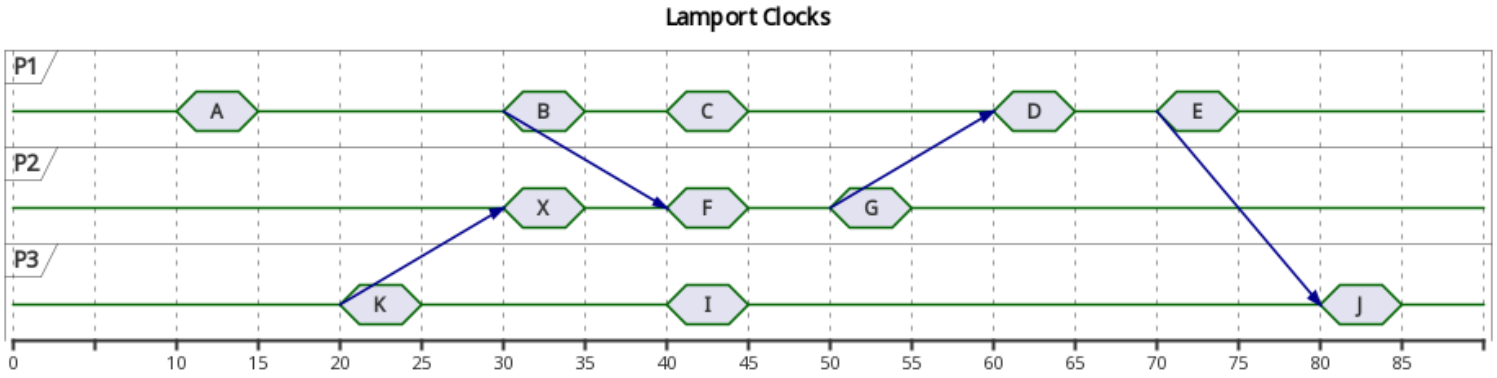
Gleichzeitig: „echte“ Reihenfolge unbekannt.

Umsetzung Lamport Clocks

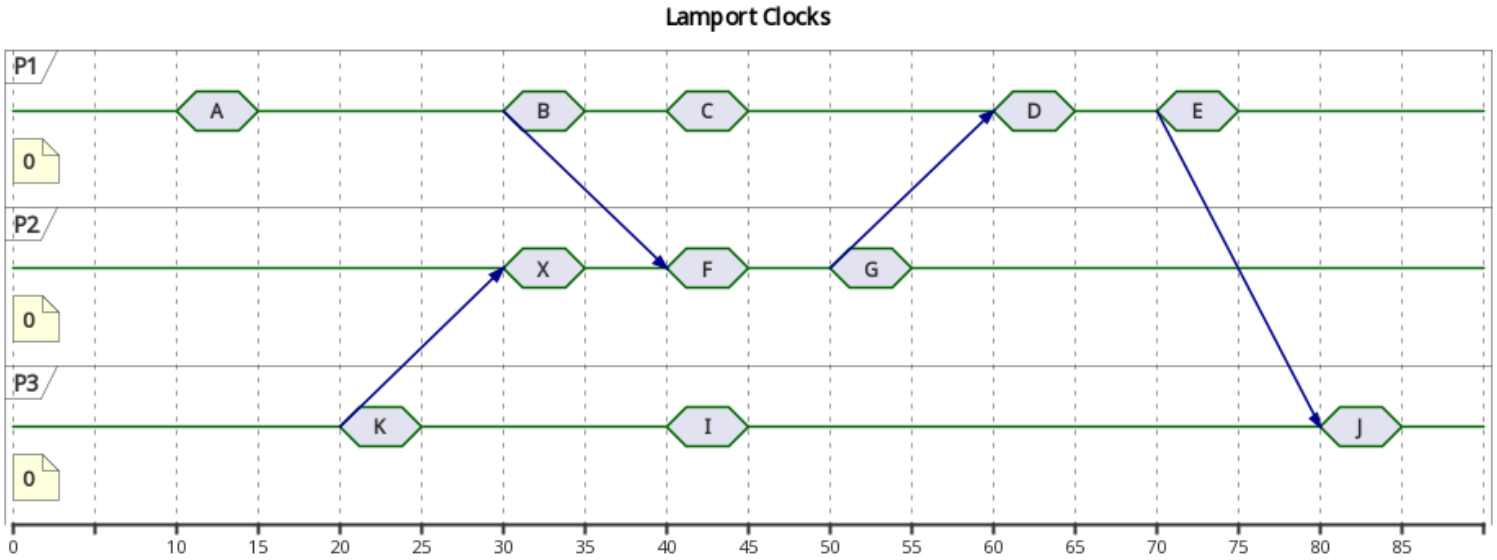
Jeder Prozess P_i erstellt einen lokalen Zähler C_i und wendet folgende Regeln an:

- Für 2 **sukzessive Ereignisse**, die in P_i stattfinden, wird C_i um 1 erhöht.
- Wenn eine Nachricht von P_i **gesendet** wird, erhält sie den timestamp $\text{ts}(m) = C_i$.
- Wenn eine Nachricht von P_j **empfangen** wird, setzt P_j C_j auf $\max(C_j, \text{ts}(m)) + 1$

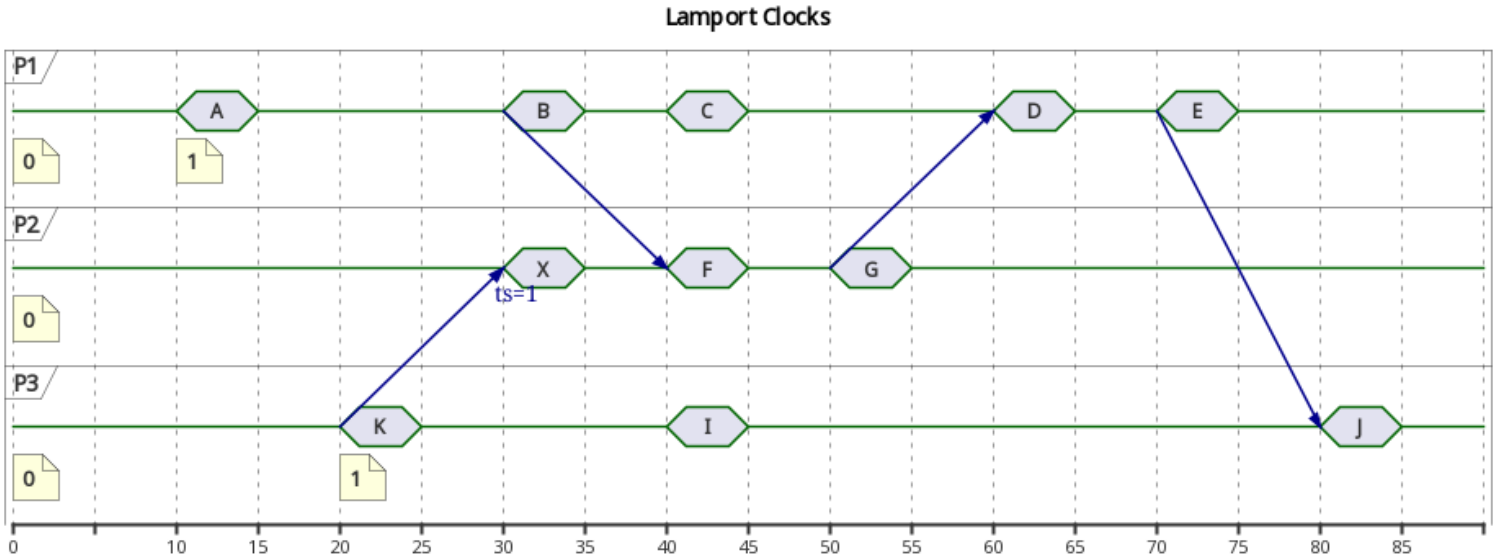
Beispiel Lamport Clocks



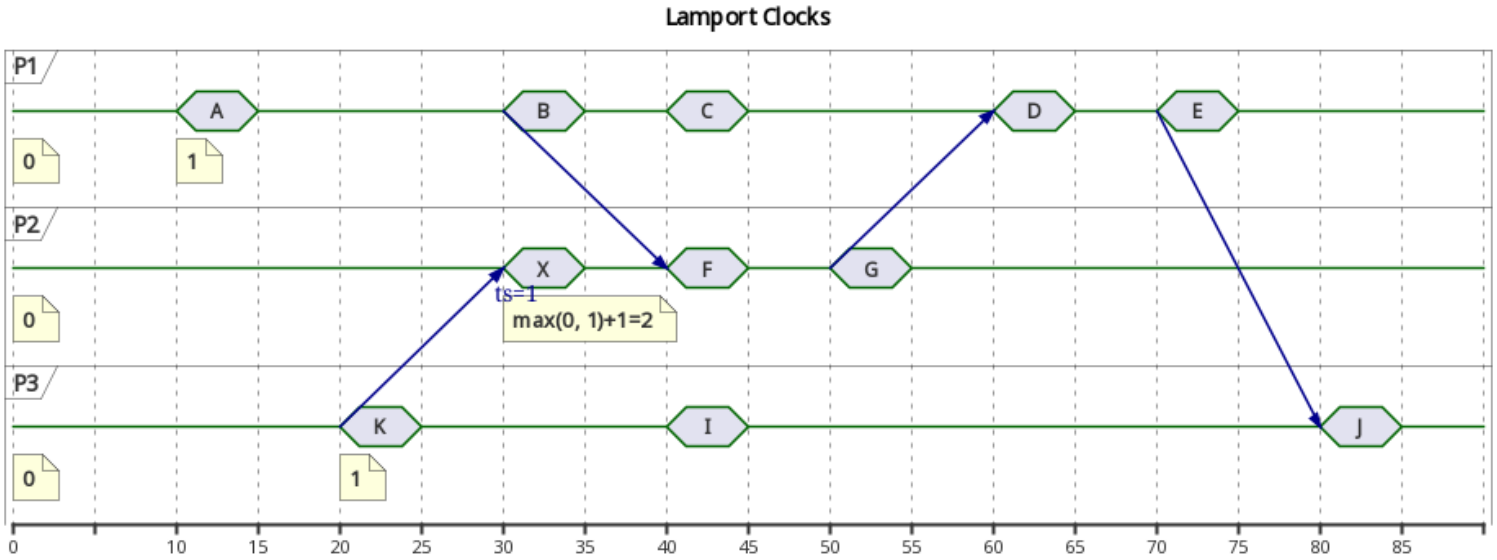
Lamport Clocks - Schritt 1



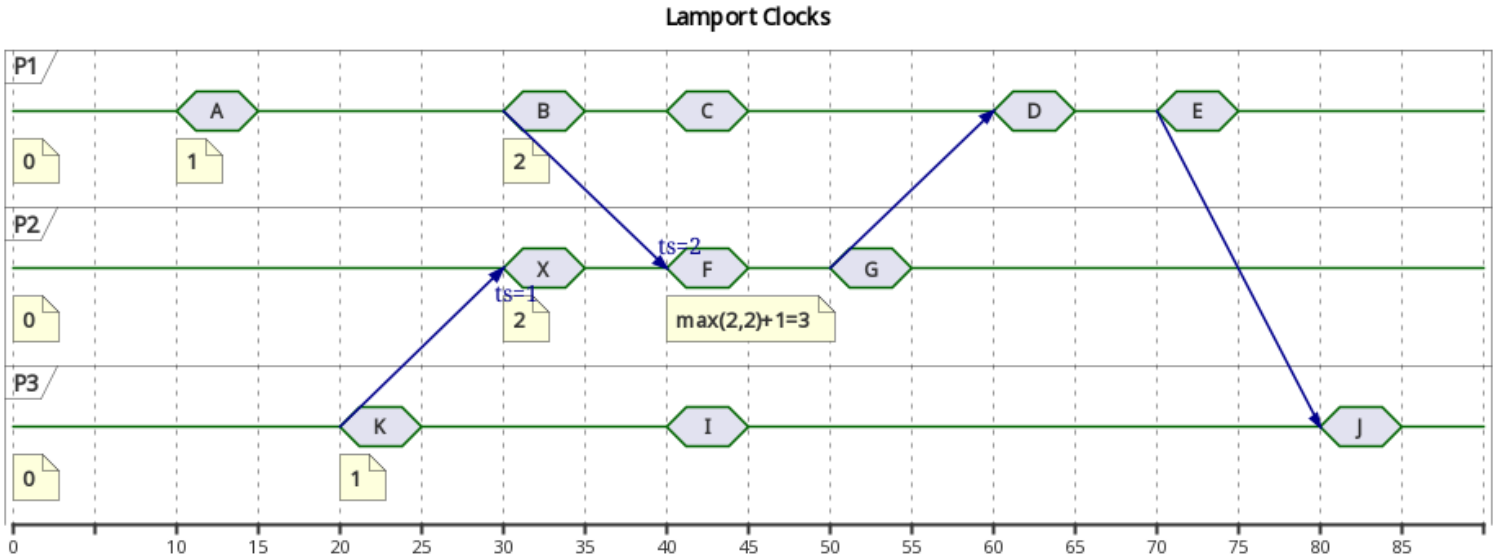
Lamport Clocks - Schritt 2



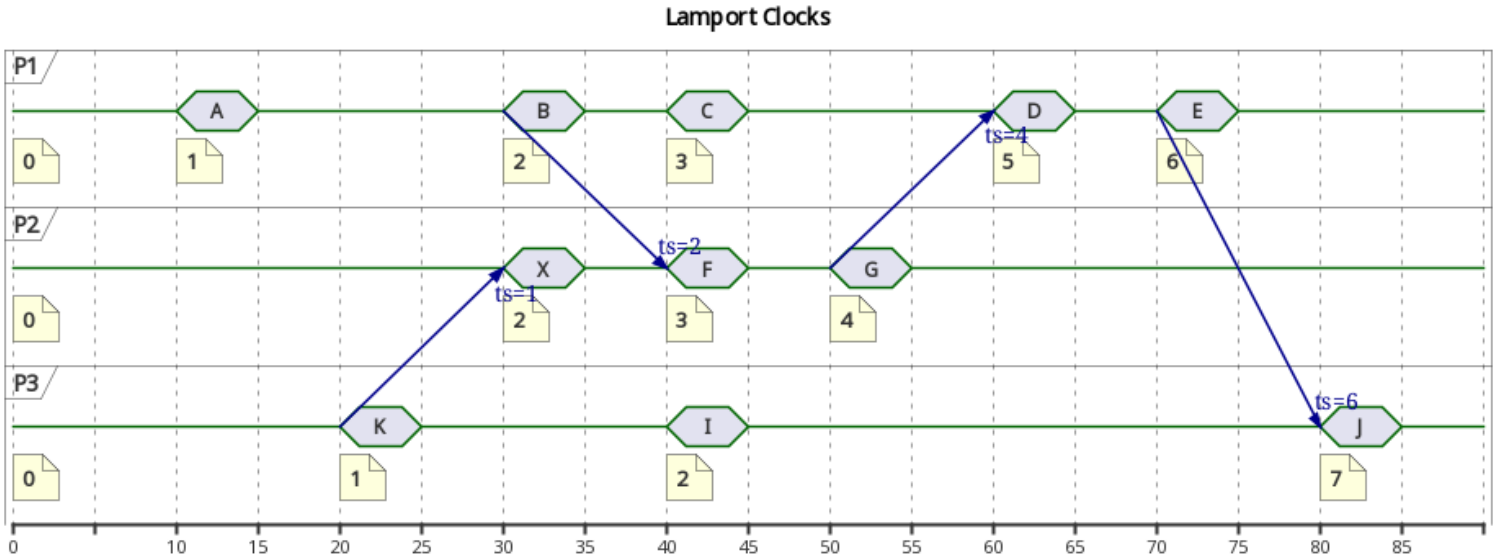
Lamport Clocks - Schritt 3



Lamport Clocks - Schritt 4



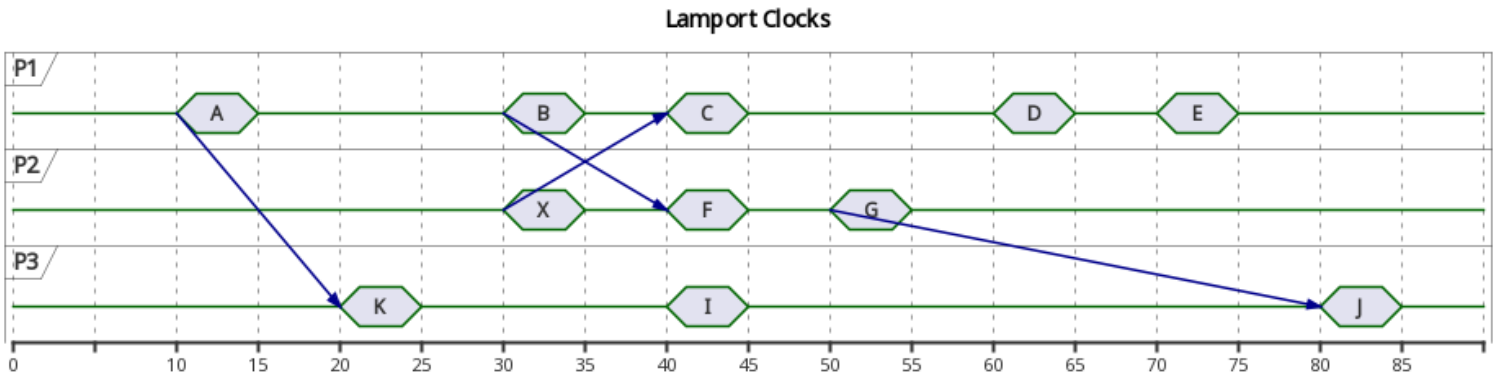
Lamport Clocks - Ende



Lamport Clocks

- Ein Paar von gleichzeitigen (concurrent) Ereignissen hat keinen kausalen Pfad.
- Lamport timestamps müssen bei gleichzeitigen Ereignissen weder geordnet noch ungleich sein.
- $A \rightarrow B \implies \text{ts}(A) < \text{ts}(B)$ **aber**
  - $\text{ts}(A) < \text{ts}(B) \implies \{A \rightarrow B\}$ OR $\{A, B \text{ gleichzeitig}\}$

Lamport Clocks - Übung



- Besteht ein kausaler Zusammenhang zwischen:
  - A, J
  - H, G
  - C, F
- Berechne die timestamps.

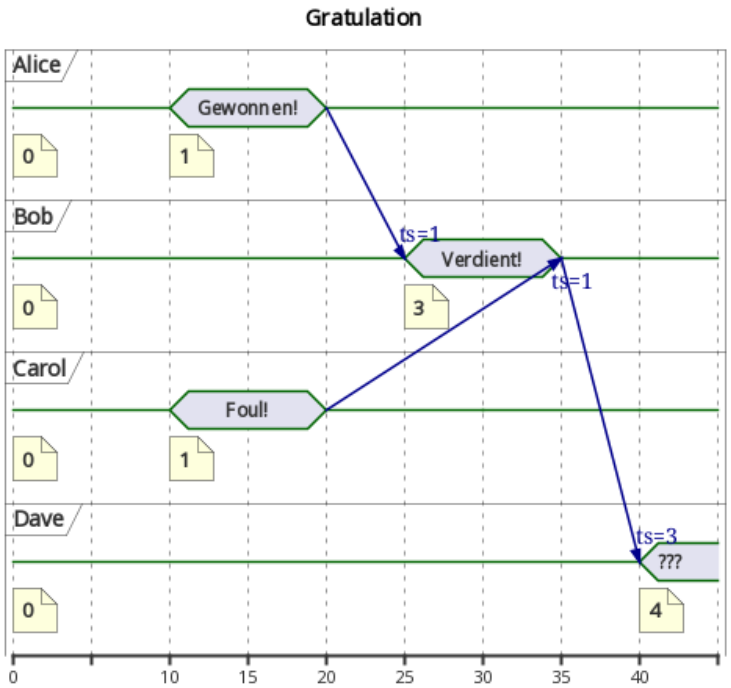
Lamport Clocks, Bedeutung

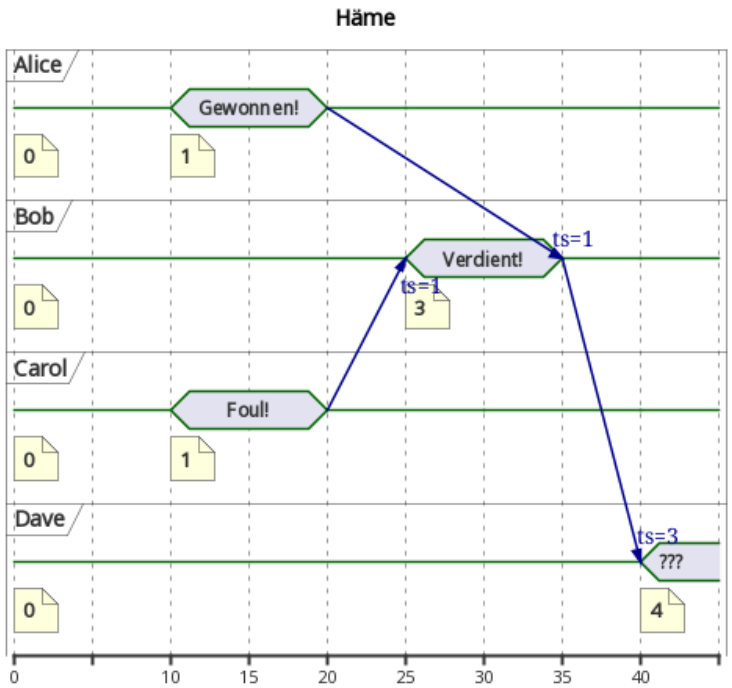
- $A \rightarrow B \implies \text{ts}(A) < \text{ts}(B)$ **aber**
  - $\text{ts}(A) < \text{ts}(B) \implies \{A \rightarrow B\}$ OR $\{A, B \text{ gleichzeitig}\}$

„*Wenn es vorher war, dann ist der Zeitstempel kleiner.*“

Aber **nicht**: „*Hattest du hier meine Nachricht schon gesehen?*“

Lamport: Wann reicht das nicht?





Das Ziel ist nicht, die Wirklichkeit abzubilden, sondern eine Datengrundlage für lokale Entscheidungen zu haben.

Vektor Uhren

Lamport Uhren:

- $A \rightarrow B \implies \text{ts}(A) < \text{ts}(B)$ **aber**
- $\text{ts}(A) < \text{ts}(B) \implies \{A \rightarrow B\}$ OR $\{A, B$ gleichzeitig$\}$

Gibt es ein Verfahren, das $\text{ts}(A) < \text{ts}(B) \implies A \rightarrow B$ ermöglicht?

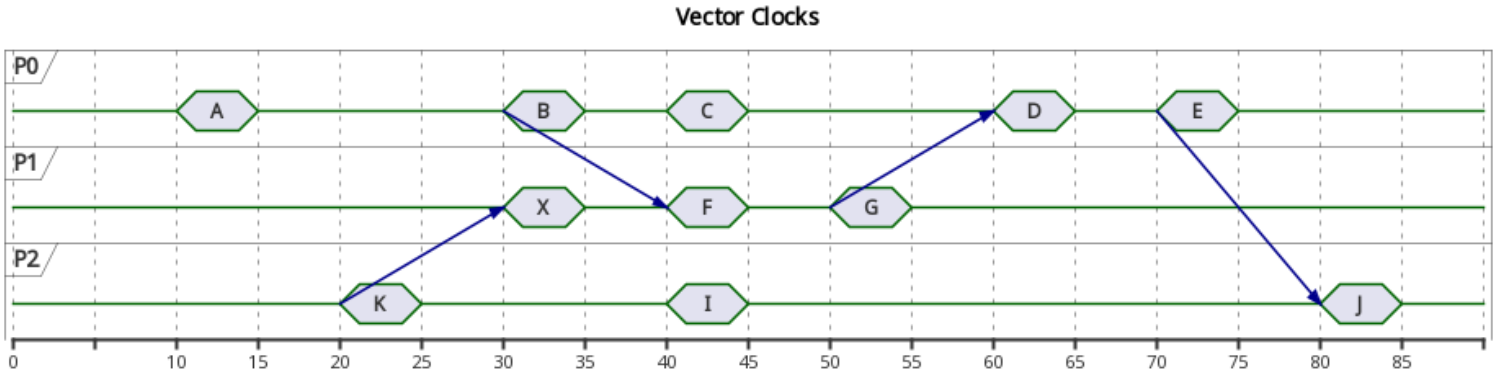
Vektor Uhren - Umsetzung

- Jeder Prozess verwaltet einen Vektor von Integer Uhren.
- Bei N Prozesse hat jeder Vektor N Elemente.
- Ein Prozess i verwaltet einen Vektor V_i[0...(N-1)]
- V_i[i] ist die lokale Uhr des Prozesses i.
- Falls V_i[j]=k, dann weiß i, dass k Ereignisse in P_j stattgefunden haben.
- In jedem Knoten `O(N)` $\rightarrow$ Wir hätten gerne `O(log(N))` (haben wir aber nicht).

Vektor Uhren - Verwaltung

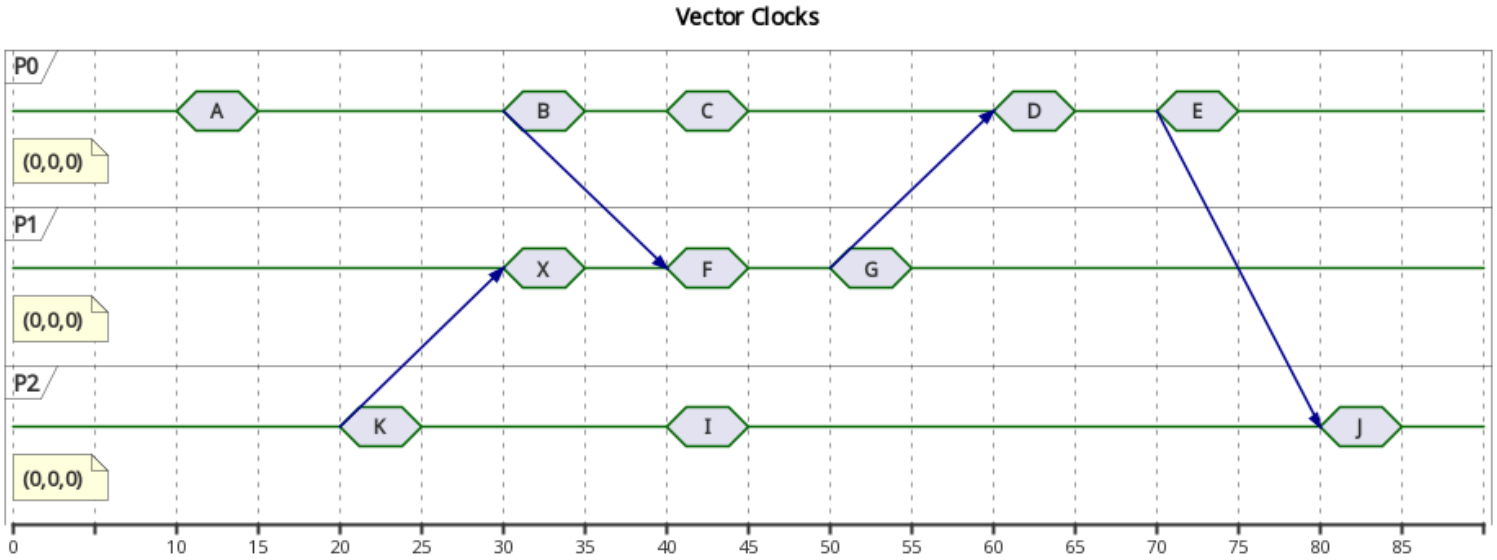
- Vor Ausführung eines lokalen Ereignisses führt P_i die Anweisung $V_i[\mathrm{i}] \mathrel{+}= 1$ aus.
- Wenn P_i eine Nachricht sendet, wird der timestamp der Nachricht auf V_i gesetzt, nachdem $V_i[\mathrm{i}] \mathrel{+}=1$ ausgeführt wurde.
- Beim Empfang einer Nachricht in P_i:
  - $V_i[\mathrm{i}] \mathrel{+}= 1$
  - $V_i[j] = \max(V_m[j], V_i[j]), \mathrm{for} j \neq i$

Vektor Uhren - Beispiel 1

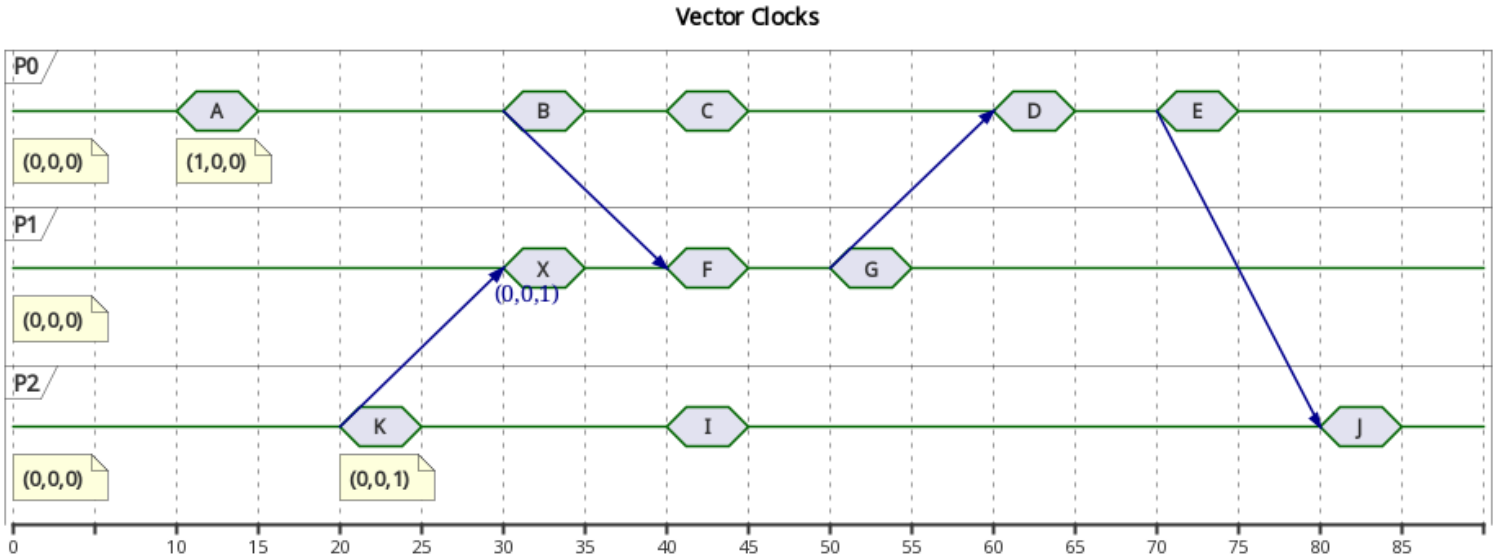


Selbe Ausgangssituation wie bei Lamport Clocks.

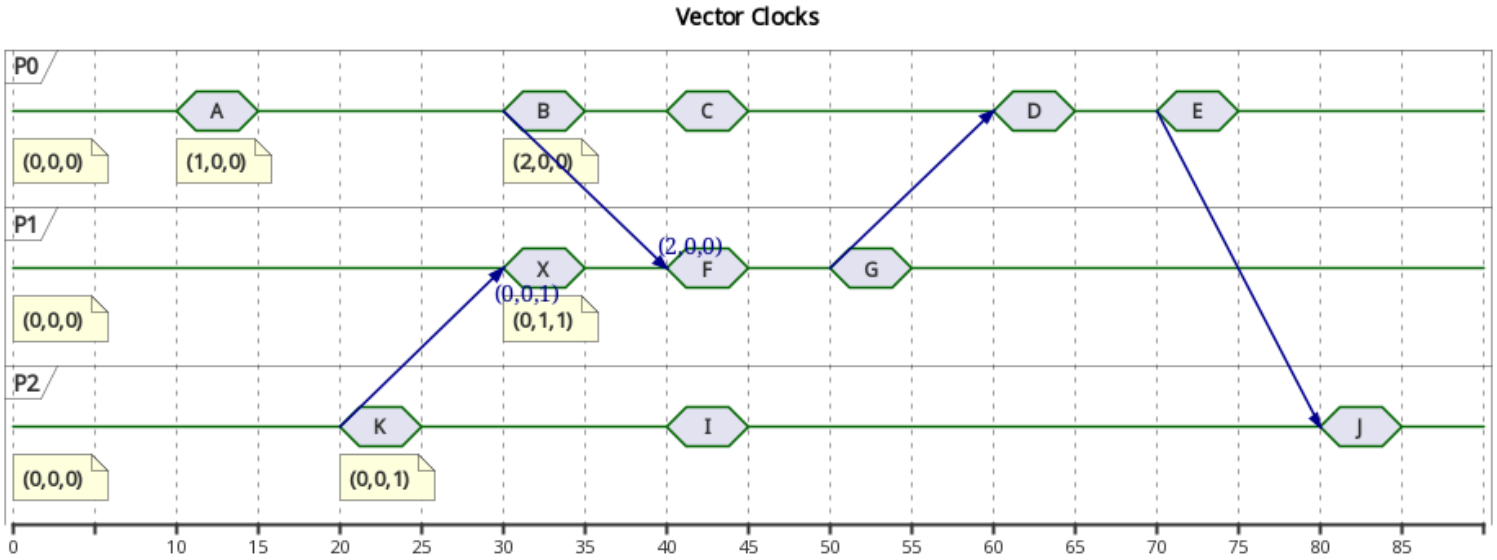
Vektor Uhren - Beispiel 2



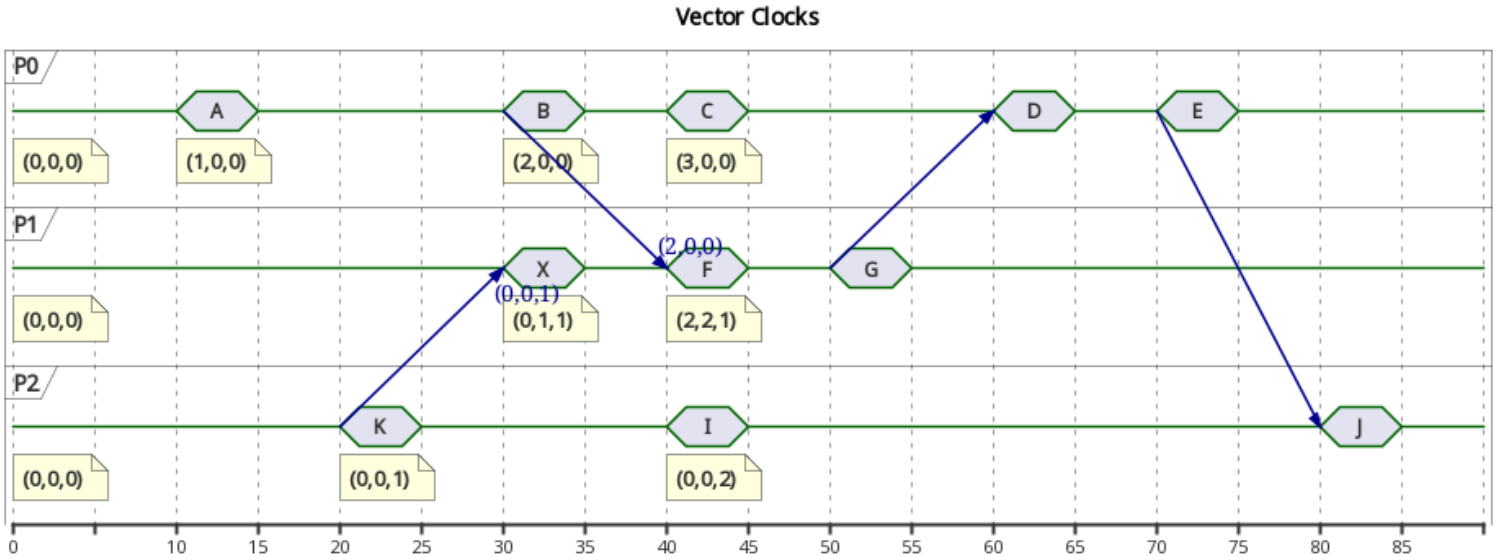
Vektor Uhren - Beispiel 3



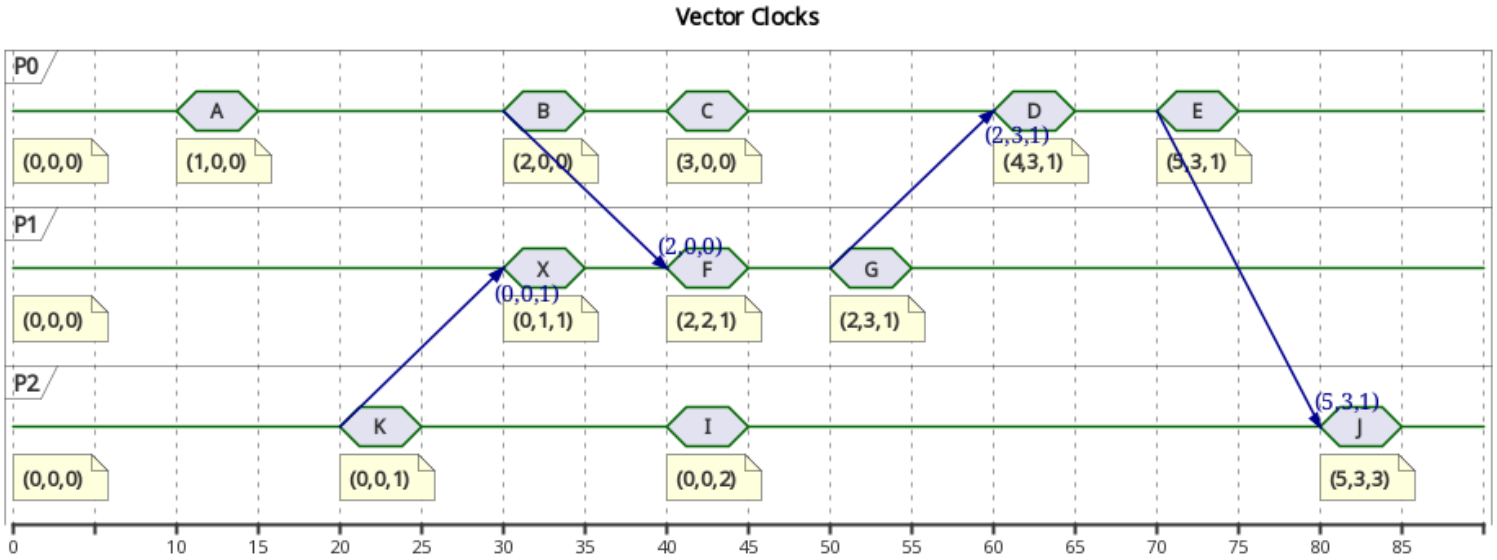
Vektor Uhren - Beispiel 4



Vektor Uhren - Beispiel 5



Vektor Uhren - Beispiel 6



Vektor Uhren - kausale Abhängigkeit

Ereignis B hängt **vielleicht** kausal von A ab, wenn $\text{ts}(A) < \text{ts}(B)$.

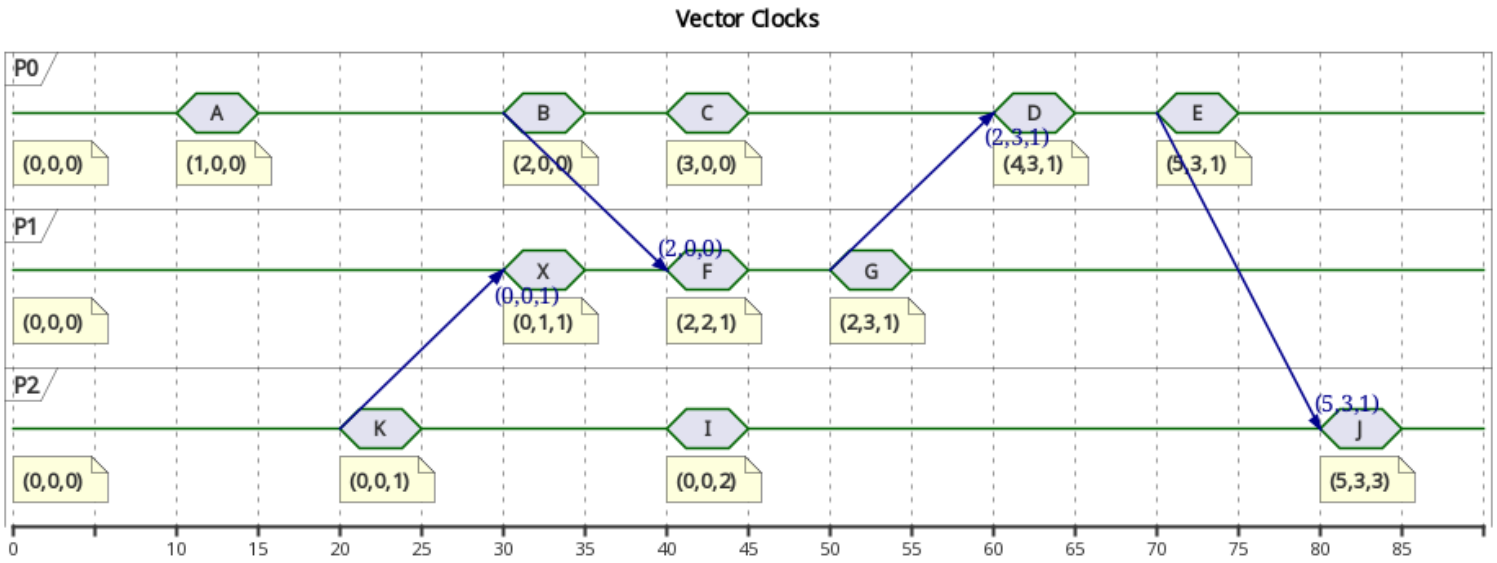
$\text{ts}(A) < \text{ts}(B)$:

- für alle i: $\text{ts}(A)[i] \leq \text{ts}(B)[i]$ und
- es existiert mindestens ein Index k für den: $\text{ts}(A)[k] < \text{ts}(B)[k]$ gilt.

In diesem Fall gilt:

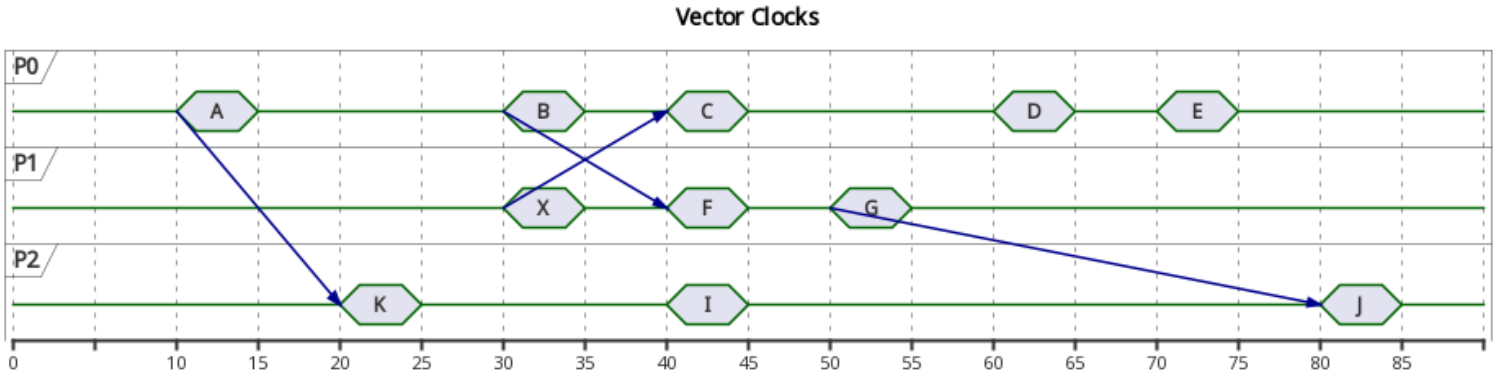
- **A geht B kausal voraus.**
- B hängt vielleicht kausal von A ab, da es Informationen von A geben könnte, die in B propagiert werden.

Vektor Uhren - Gleichzeitigkeit



Paar	ts(1)	ts(2)	ts(1) < ts(2)	ts(2) < ts(1)	Folgerung
A, E	(1,0,0)	(5,3,1)	Ja	Nein	A kausal vor E
H, C	(0,0,1)	(3,0,0)	Nein	Nein	H und C gleichzeitig

Vektor Uhren - Übung



- Berechne die timestamps.
- Hängt J vielleicht kausal von A ab?
- Finden C und F gleichzeitig statt?

Vektor Uhren, Bedeutung

Vector Clocks:

- $\text{ts}(A) < \text{ts}(B) \implies A \rightarrow B$
- $\neg(\text{ts}(A) < \text{ts}(B)) \wedge \neg(\text{ts}(B) < \text{ts}(A)) \implies A, B$ gleichzeitig

„Wenn der Zeitstempel kleiner ist, dann war es vorher.“

Vektor Uhren - Abschluss

Lamport Clocks:

- $A \rightarrow B \implies \text{ts}(A) < \text{ts}(B)$ **aber**
- $\text{ts}(A) < \text{ts}(B) \implies \{A \rightarrow B\}$ OR $\{A, B \text{ gleichzeitig}\}$

Vector Clocks:

- $\text{ts}(A) < \text{ts}(B) \implies A \rightarrow B$
- $\neg(\text{ts}(A) < \text{ts}(B)) \wedge \neg(\text{ts}(B) < \text{ts}(A)) \implies A, B \text{ gleichzeitig}$

PAUSE

--- PAUSE ---

Kausal geordneter Multicast

- Vollständig geordneter Multicast stellt sicher, dass alle Nachrichten in gleicher Reihenfolge bearbeitet werden.
- Kausal geordnet bedeutet, dass Nachrichten, die sich gegenseitig beeinflussen könnten von allen Prozessen in gleicher Reihenfolge empfangen werden.

Kausal geordneter Multicast mit Vector Clocks

Mit wenigen Änderungen können Vector Clocks genutzt werden, um kausal geordnete Nachrichten sicherzustellen.

Folgendes Beispiel:

- Ein Bulletin Board Service.
- Benutzer treten Gruppen bei.
- Posts werden an alle Gruppenmitglieder gemulticastet.
- Könnte vollständig geordneten Multicast verwenden.
  - Wird aber nicht benötigt.

Bulletin Board - Anzeige

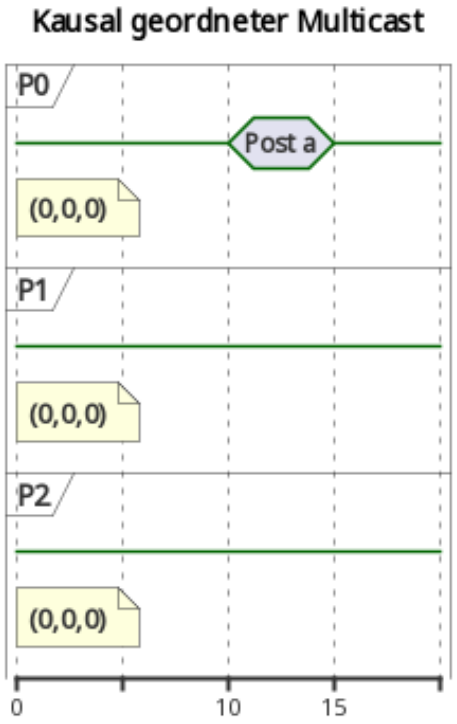
Betreff
Mach
Microkernels
Hurd; was: Microkernels
RPC Performance
Re: Mach

- Bei vollständiger Ordnung ist diese Liste bei jedem Benutzer in der gleichen Reihenfolge.
- Kausal geordneter Multicast erfordert nur, dass Reaktionen (Re: Mach) nach dem Post (Mach) angezeigt werden.
- Für die angezeigten Posts sind verschiedene Reihenfolgen möglich.

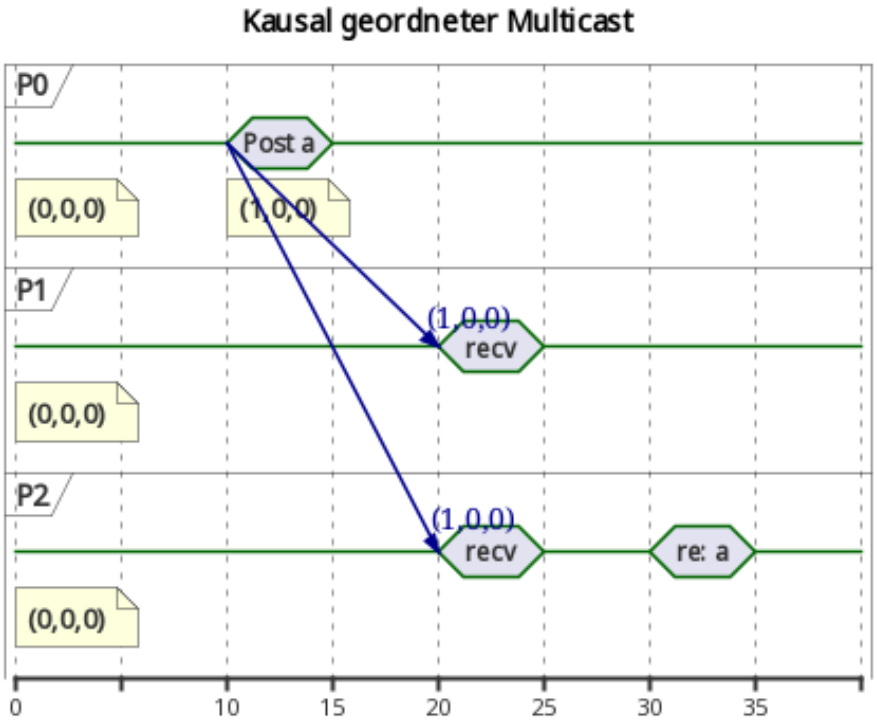
Kausal geordneter Multicast - Anpassungen

- Vector Clocks werden nur bei Empfang oder Senden einer Nachricht angepasst.
  - Beim Senden in P_i: V_i[i] $+= 1$
  - Beim Empfang von m in P_i: für alle k: $V_i[k] = \max(V_i[k], V_m[k])$
- Eine Nachricht m (von P_k an P_i) wird erst von der Anwendung prozessiert wenn:
  - $V_m[k] = V_i[k] + 1$, m ist die nächste Nachricht, die P_{i} von P_{k} erwartet hat.
  - $V_m[x] \leq V_i[x]$ für alle x $\neq$ k, P_i hat alle Nachrichten gesehen, die P_k gesehen hat als m gesendet wurde.

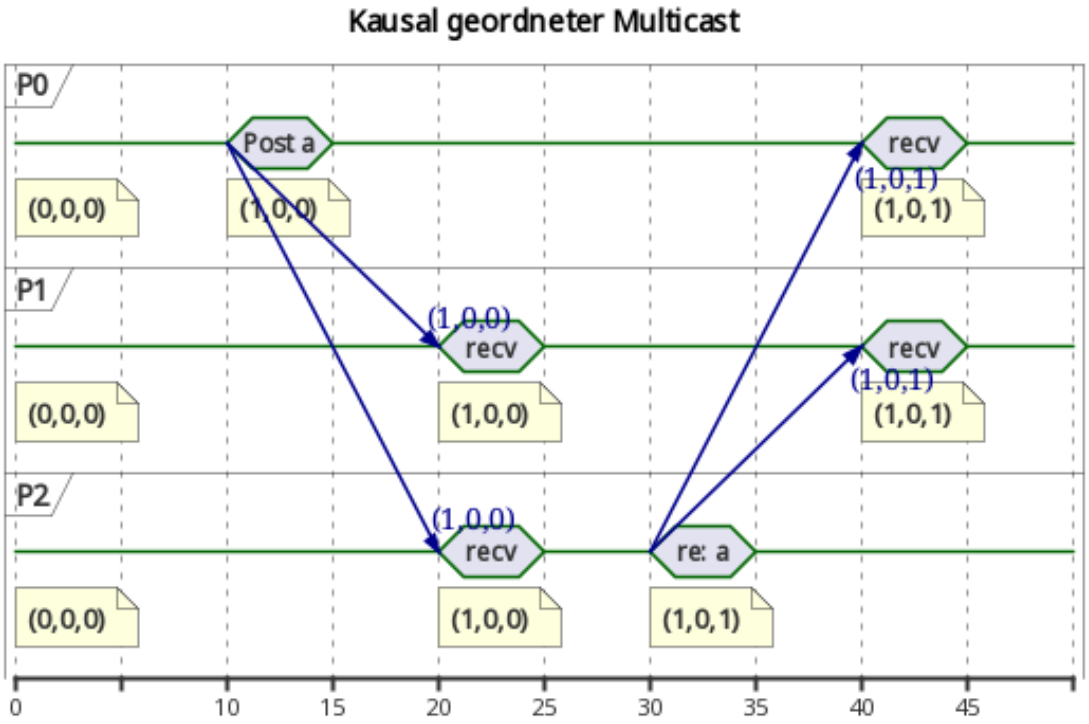
Kausal geordneter Multicast - Beispiel 1



Kausal geordneter Multicast - Beispiel 2

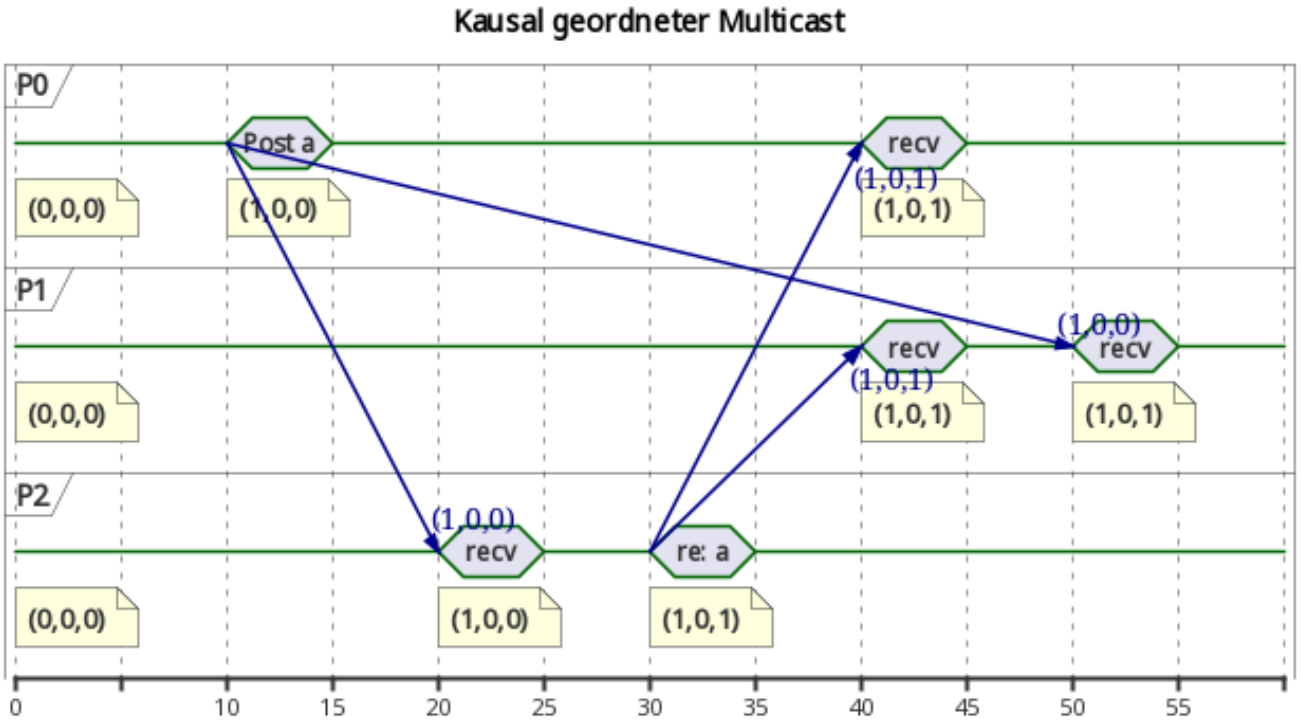


Kausal geordneter Multicast - Beispiel 3



Was passiert bei verzögerter Zustellung?

Kausal geordneter Multicast - Beispiel 4



Zusammenfassung Logische Uhren

- happens before Relation bestimmt eine partielle Ordnung.
- Lamport Clocks: Counter pro Prozess
  - Timestamps bilden totale Ordnung.
  - Vergleich von timestamps gibt keine Aussage zu Kausalität.
  - Total geordneter Multicast kann mit Lamport Clocks implementiert werden.
- Vector Clocks: Vector of Counter pro Prozess
  - Vergleich von timestamps gibt Aussage zu Kausalität.
  - Kausal geordneter Multicast kann mit vector clocks implementiert werden.

PAUSE

```
--- PAUSE ---
```

Gegenseitiger Ausschluss

Ziele:

- Sie kennen die Grundlegenden Konzepte für Gegenseitigen Ausschluss.

Gegenseitiger Ausschluss

Das Problem: Einige Prozesse in einem verteilten System möchten exklusiven Zugriff auf eine Ressource.

2 Vorgehensweisen:

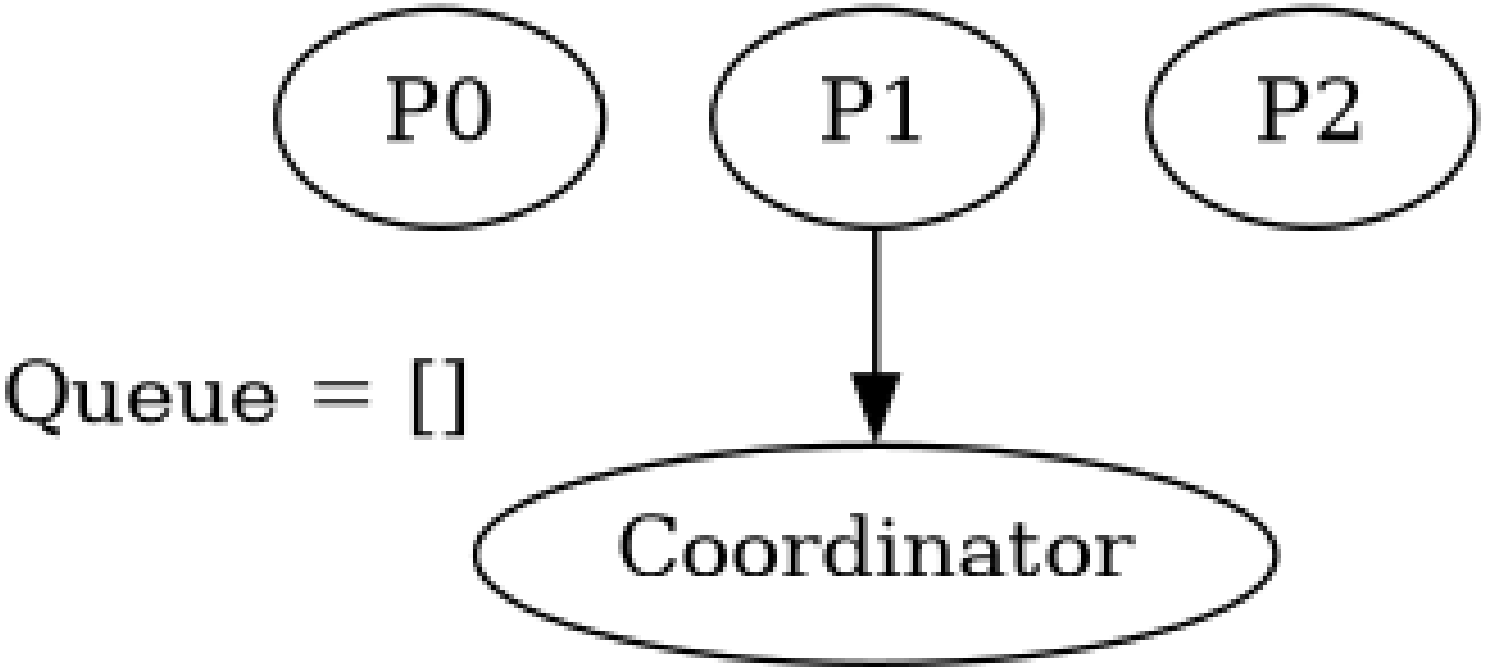
- Berechtigungsbasiert: Prozesse benötigen Berechtigung anderer Prozesse um auf Ressource zuzugreifen.
- Tokenbasiert: Einzigartiges Token wird zwischen Prozessen weitergereicht. Wer das Token hält, hat Zugriff auf die Ressource.[2]

[2] Token-Basiert bis hin zu Funktionsargumenten: https://fosdem.org/2022/schedule/event/spritelygoblins/

Zentralisierter Algorithmus

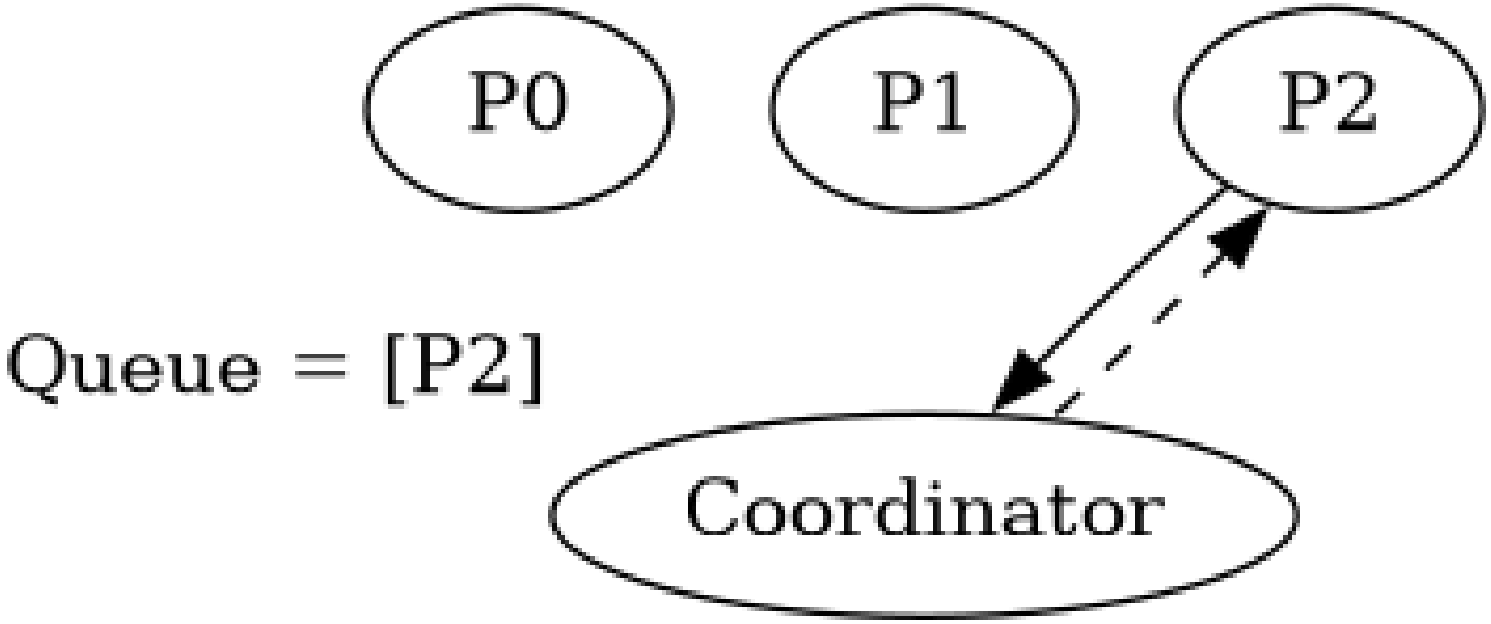
- Simuliert Vorgehen innerhalb einer CPU.
- Ein Prozess wird als Koordinator konfiguriert.
- Prozesse, die auf die Ressource zugreifen möchten, fragen dies beim Koordinator an.

Zentralisierter Algorithmus - Happy Path



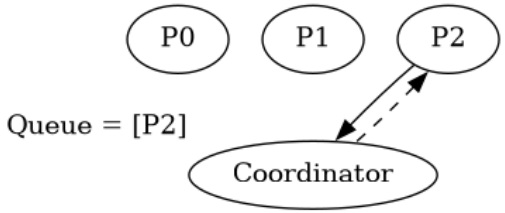
Falls die Ressource verfügbar ist, erhält der anfragende Prozess die Berechtigung.

Zentralisierter Algorithmus - Ressource belegt



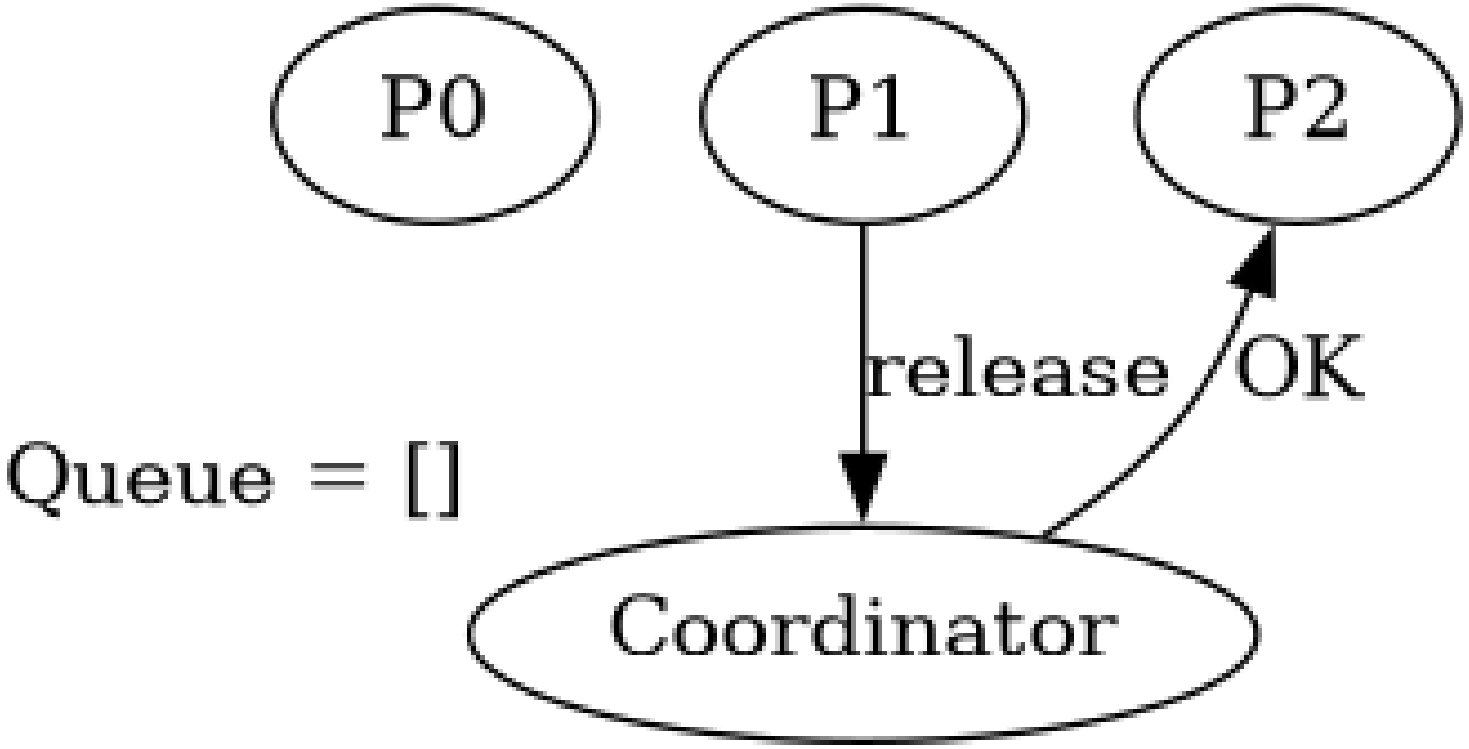
- Koordinator hat Übersicht, ob Ressource momentan frei ist.

Zentralisierter Algorithmus - Ressource belegt



- Koordinator hat Übersicht, ob Ressource momentan frei ist.
- Hier wird die Antwort an den anfragenden Prozess verzögert, bis die Ressource wieder frei wird.
- P2 wird dadurch geblockt.
- Der Koordinator speichert die Anfrage in einer Queue.

Zentralisierter Algorithmus - Ressource wird frei



Sobald die Ressource wieder frei wird, gibt der Koordinator die Ressource an den ersten Prozess in der Queue.

Zentralisierter Algorithmus - Fragen

- Wieviele Nachrichten werden ausgetauscht?
  -
- Was passiert, wenn der Koordinator ausfällt?
  -
- Was passiert bei vielen Anfragen?
  -

Zentralisierter Algorithmus - Bewertung

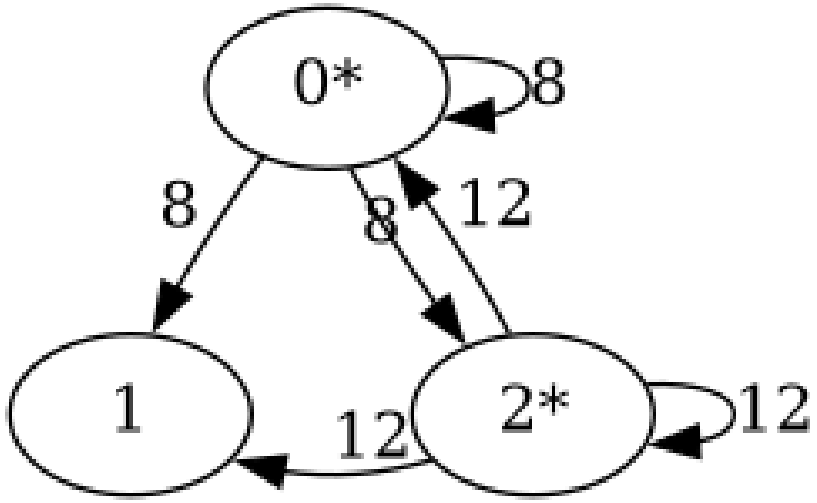
- Wieviele Nachrichten werden ausgetauscht?
  - **3 Messages pro lock**
- Was passiert, wenn der Koordinator ausfällt?
  - **System funktioniert nicht mehr**
- Was passiert bei vielen Anfragen?
  - **Koordinator ist Flaschenhals**

Verteilter Algorithmus

- Wenn ein Prozess, die Ressource benötigt sendet er eine Nachricht an alle Prozesse (auch sich selbst).
- Bei Erhalt so einer Nachricht:
  - Prozess hält Ressource nicht und möchte sie nicht: sendet OK.
  - Prozess hält Ressource: antwortet nicht.
  - Prozess möchte Ressource: vergleiche timestamp der Nachricht mit timestamp der eigenen Nachricht. Der niedrigere timestamp gewinnt.
- Prozess wartet Antworten aller Prozesse ab. Sobald er sämtliche OKs erhalten hat, verwendet er die Ressource.

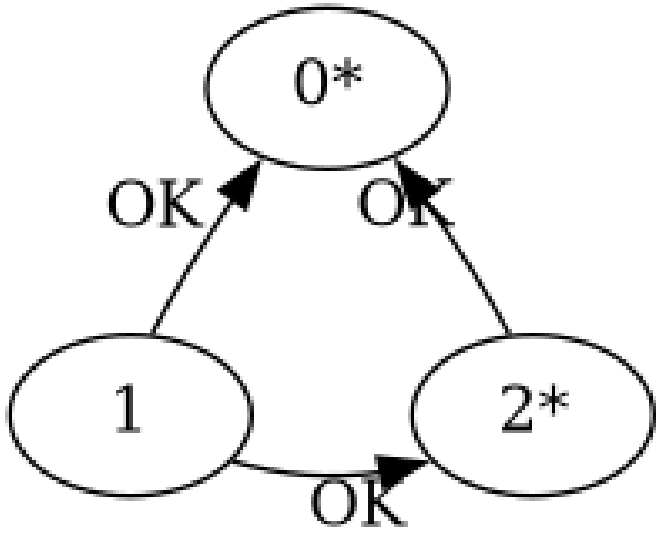
Voraussetzung: Totale Ordnung der Nachrichten.

Verteilter Algorithmus - Gleichzeitiger Zugriff



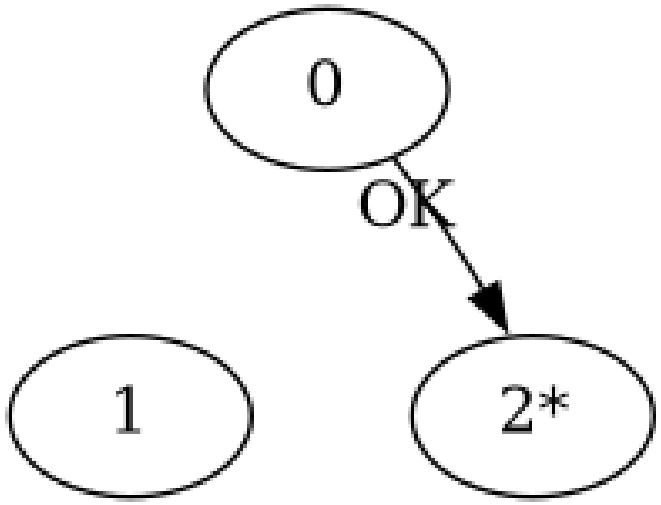
- P0 sendet Anfragen mit timestamp 8.
- P2 sendet Anfragen mit timestamp 12.

Verteilter Algorithmus - Gleichzeitiger Zugriff 2



- P1 sendet OK an beide Prozesse.
- P0 und P2 vergleichen timestamps.
  - P2 sendet OK.
  - P0 stellt P2s Anfrage in einer Queue ein.

Verteilter Algorithmus - Gleichzeitiger Zugriff 3

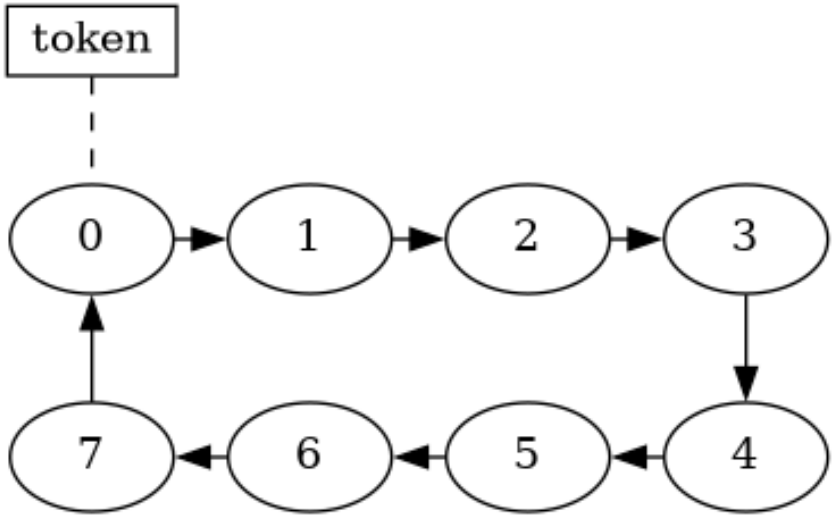


- P0 benötigt die Ressource nicht mehr.
- P0 sendet OK an erste Anfrage in Queue.
- P2 erhält Zugriff.

Verteilter Algorithmus - Bewertung

- Was passiert wenn ein Knoten ausfällt?
  - Können wir den Algorithmus anpassen?
- Wieviele Nachrichten werden benötigt?

Token Ring Algorithmus



- Prozesse werden in ringförmigen Overlay Netzwerk angeordnet.
- Erster Prozess erhält Token.
- Token stellt Berechtigung dar die Ressource zu verwenden.
- Wird Ressource nicht benötigt, wird Token weitergeleitet.

Token Ring Algorithmus - Bewertung

- Was passiert wenn ein Knoten ausfällt?
- Wieviele Nachrichten werden benötigt?

Vergleich

Algorithmus	Nachrichten pro Ein/Austritt
Zentralisiert	3
Verteilt	2N-1
Token Ring	$1, \ldots, \infty$

Zusammenfassung Gegenseitiger Ausschluss

- Mutex mit Koordinator
- Mutex verteilt
- Mutex Token Ring

Zusammenfassung

Reale Uhren:

- wall time vs. monotonic clocks
- Skew und Drift
- Synchronisieren: extern (Cristian, NTP), intern (Berkeley)

Logische Uhren:

- Lamport: Ein Zähler pro Knoten. „*Wenn es vorher war, dann ist der Zeitstempel kleiner.*“
- Vektor: N Zähler in jedem der N Knoten. Kausalität. „*Wenn der Zeitstempel kleiner ist, dann war es vorher.*“

Ausschluss: Koordinator oder verteilt ⇒ Zusätzliche Nachrichten.

Abschluss

Für koordinierte Projekte!

Verweise I

Bilder: