



1. DIPLOMARBEITSPREVIEW

Objektorientierte Entwicklung eines GUI-basierten Tools für die Simulation ereignisbasierter verteilter Systeme

Es fehlt noch 1 Kapitel und Schlusswort! Durchgeführt an der

Fachhochschule Aachen
Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik

Eupener Str. 70
D-52066 Aachen

mit Erstprüfer und Betreuer Prof. Dr.-Ing. Martin Oßmann
und Zweitprüfer Prof. Dr. rer. nat. Heinrich Fassbender

durch

Paul C. Bütow

Matr.Nr.: 266617
Matthiashofstr. 15
D-52064 Aachen

Aachen, den 2. August 2008

Danksagungen

Ohne die Hilfe folgender Personen wäre die Anfertigung dieser Diplomarbeit in diesem Maße nicht möglich gewesen. Daher möchte ich mich bedanken bei:

- Prof. Oßmann für die Betreuung der Diplomarbeit und der Bereitstellung des für mich sehr interessanten Themas sowie Prof. Fassbender als 2. Prüfer
- Meinem Bruder Florian Bütow
- Meinen Eltern Jörn und Leslie Bütow
- Meiner Tante Carrie Callahan
- Andre Herbst
- Der Open Source Gemeinde; diese Diplomarbeit wurde ausschließlich mit Hilfe von Open Source Software angefertigt

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	8
1.1. Motivation	8
1.2. Grundlagen	9
2. Der Simulator	13
2.1. Die grafische Benutzeroberfläche (GUI)	13
2.2. Der Expertenmodus	21
2.3. Ereignisse	24
2.4. Einstellungen	27
2.4.1. Variablendatentypen	27
2.4.2. Simulationseinstellungen	28
2.4.3. Prozess- und Protokolleinstellungen	30
2.4.4. Einstellungen im Expertenmodus	31
2.5. Protokolle	32
2.5.1. Beispiel (Dummy) Protokoll	32
2.5.2. Das Ping-Pong Protokoll	33
2.5.3. Das Broadcast Protokoll	34
2.5.4. Das Protokoll zur internen Synchronisierung in einem synchronen System	35
2.5.5. Christians Methode zur externen Synchronisierung	37
2.5.6. Der Berkeley Algorithmus zur internen Synchronisierung	39
2.5.7. Das Ein-Phasen Commit Protokoll	41
2.5.8. Das Zwei-Phasen Commit Protokoll	43
2.5.9. Der ungenügende (Basic) Multicast	44
2.5.10. Der zuverlässige (Reliable) Multicast	47
2.6. Weitere Beispiele	49
2.6.1. Vektor- und Lamportzeitstempel	51

Inhaltsverzeichnis

A. Akronyms	54
B. Literaturverzeichnis	55

Abbildungsverzeichnis

1.1. Ein verteiltes System bestehend aus 4 Computern	9
1.2. Client/Server Modell	9
1.3. Client/Server Protokolle	12
2.1. Der Simulator nach dem ersten Starten	13
2.2. Datei-Menü	14
2.3. Eine neue Simulation	15
2.4. Die Menüzeile inklusive Toolbar	15
2.5. Visualisierung einer noch nicht gestarteten Simulation	16
2.6. Rechtsklick auf einen Prozessbalken	17
2.7. Die Sidebar mit leerem Ereigniseditor	18
2.8. Die Ereignisauswahl via Sidebar	19
2.9. Der Ereigniseditor mit 3 programmierten Ereignissen	20
2.10. Das Loggfenster	20
2.11. Der Simulator im Expertenmodus	21
2.12. Die Sidebar im Expertenmodus	22
2.13. Das Fenster zu den Simulationseinstellungen	27
2.14. Weitere Simulationseinstellungen im Expertenmodus	28
2.15. Das Ping-Pong Protokoll	33
2.16. Das Ping-Pong Protokoll (Sturm)	34
2.17. Das Broadcast Protokoll	35
2.18. Das Protokoll zur internen Synchronisierung	36
2.19. Interne Synchronisierung und Christians Methode im Vergleich	38
2.20. Der Berkeley Algorithmus zur internen Synchronisierung	39
2.21. Das Ein-Phasen Commit Protokoll	41
2.22. Das Zwei-Phasen Commit Protokoll	43
2.23. Das Basic-Multicast Protokoll	46
2.24. Das Reliable-Multicast Protokoll	48

Abbildungsverzeichnis

2.25. Lamportzeitstempel	51
2.26. Vektorzeitstempel	52

Tabellenverzeichnis

2.1. Farbliche Differenzierung von Prozessen und Nachrichten	18
2.2. Verfügbare Datentypen für editierbare Variablen	26
2.3. Farbeinstellungen	32
2.4. Programmierte Ping-Pong Ereignisse	33
2.5. Programmierte Ping-Pong Ereignisse (Sturm)	34
2.6. Programmierte Broadcast Ereignisse	36
2.7. Programmierte Ereignisse zur internen Synchronisierung	36
2.8. Programmierte Ereignisse, Vergleich interne und externe Synchronisierung . .	39
2.9. Programmierte Ereignisse zum Berkeley Algorithmus	40
2.10. Programmierte Ein-Phasen Commit Ereignisse	42
2.11. Programmierte Zwei-Phasen Commit Ereignisse	43
2.12. Auszug aus der Loggausgabe des Zwei-Phasen Commit Beispiels	45
2.13. Auszug aus der Loggausgabe des Zwei-Phasen Commit Beispiels (2)	46
2.14. Programmierte Basic-Multicast Ereignisse	47
2.15. Programmierte Reliable-Multicast Ereignisse	49
2.16. Auszug aus der Loggausgabe des Reliable-Multicast Beispiels	50
2.17. Auszug aus der Loggausgabe des Reliable-Multicast Beispiels (2)	51

Kapitel 1.

Einleitung

1.1. Motivation

In der Literatur findet man viele verschiedene Definitionen eines verteilten Systems. Vieler dieser Definitionen unterscheiden sich untereinander, so dass es schwer fällt eine Definition zu finden, die als Alleinige als die Richtige gilt. Andrew Tanenbaum und Marten van Steen haben für die Beschreibung eines verteilten Systems die folgende lockere Charakterisierung formuliert:

[Tan03] *“Ein verteiltes System ist eine Menge voneinander unabhängiger Computer, die dem Anwender wie ein einzelnes, kohärentes System erscheinen”*

Der Anwender muss sich nur mit dem lokalen vor ihm befindenden Computer auseinandersetzen (Abbildung 1.1) während die Software des lokalen Computers die reibungslose Kommunikation mit den anderen beteiligten Computern des verteilten Systems sicherstellt.

Diese Diplomarbeit soll den Gebrauchern die Betrachtung von verteilten Systemen aus einer anderen Perspektive erleichtern. Es soll nicht die Sichtweise eines Endbenutzers eingenommen werden, sondern es sollen die Funktionsweisen von Protokollen und deren Prozesse in verteilten Systemen begreifbar gemacht werden. Es sollen alle relevanten Ereignisse eines verteilten Systems transparent dargestellt werden können.

Um dieses Ziel zu erreichen soll ein Simulator entwickelt werden, der dies ermöglicht. Der Simulator soll insbesondere für Lehr- und Lernzwecke an der Fachhochschule Aachen entwickelt werden. Beispielsweise sollen Protokolle aus den verteilten Systemen mit ihren wichtigsten Einflussfaktoren simuliert werden können. Der Simulator soll zu verstehen helfen wie die gegebenen Protokolle funktionieren und es soll viel Spielraum für eigene Experimente zur

Verfügung stehen. Der Simulator soll nicht auf eine feste Anzahl von Protokollen beschränkt sein. Es muss daher dem Gebraucher ermöglicht werden, eigene Protokolle zu entwerfen.

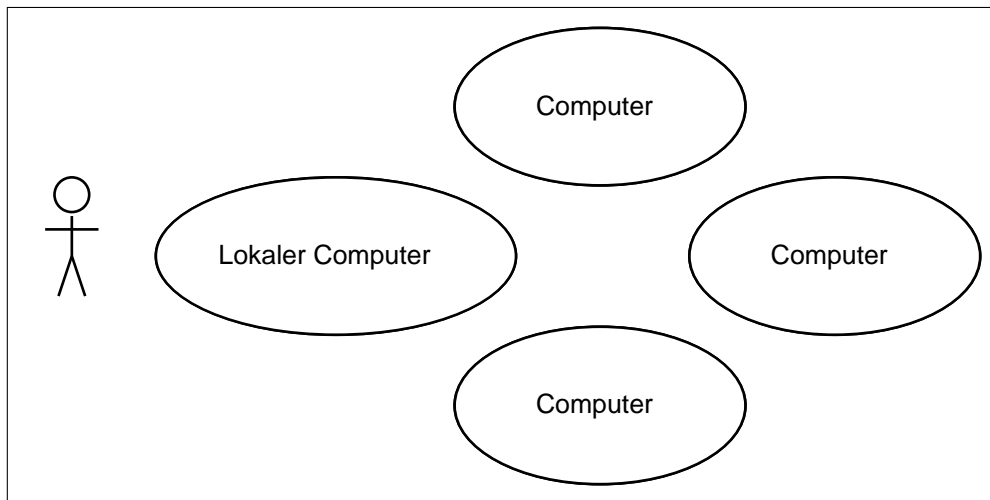


Abbildung 1.1.: Ein verteiltes System bestehend aus 4 Computern

1.2. Grundlagen

Für das Grundverständnis werden im Folgenden einige Grundlagen erläutert. Eine Vertiefung findet erst in den späteren Kapiteln statt.

Client/Server Modell

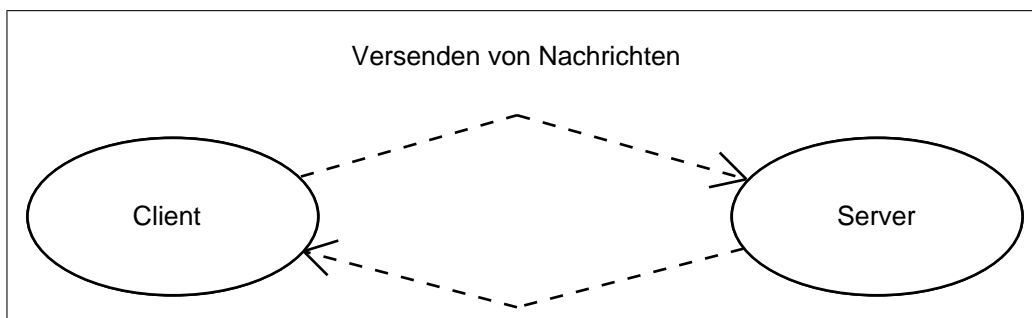


Abbildung 1.2.: Client/Server Modell

Der Simulator basiert auf dem Client/Server Prinzip. Jeder Simulation besteht in der Regel aus einem teilnehmenden Client und einem Server, die miteinander über Nachrichten kommunizieren (Abbildung 1.2). Bei komplexen Simulationen können auch mehrere Clients und/oder

Server mitwirken. In der Regel empfangen Server nur Nachrichten, die von Clients verschickt wurden und *virce versa*.

Prozesse und deren Rollen

Ein verteiltes System wird anhand von Prozessen simuliert. Jeder Prozess nimmt hierbei eine oder mehrere Rollen ein. Beispielsweise kann ein Prozess die Rolle eines Clients einnehmen und ein weiterer Prozess die Rolle eines Servers. Ein Prozess kann auch Client und Server gleichzeitig sein. Es besteht auch die Möglichkeit, dass ein Prozess die Rollen mehrerer Server und Clients gleichzeitig einnimmt. Ob das sinnvoll ist hängt vom simulierten Szenario ab. Um einen Prozess zu kennzeichnen besitzt jeder Prozess eine **eindeutige** Prozess-Identifikationsnummer (PID).

Nachrichten

In einem verteiltem System müssen Nachrichten verschickt werden können. Eine Nachricht kann von einem Client- oder Serverprozess verschickt werden und kann beliebig viele Empfänger haben. Der Inhalt einer Nachricht hängt vom verwendeten Protokoll ab. Was unter einem Protokoll zu verstehen ist, wird später behandelt. Um eine Nachricht zu kennzeichnen besitzt jede Nachricht eine **eindeutige** Nachrichten-Identifikationsnummer (NID).

Lokale und globale Uhren

In einer Simulation gibt es **genau eine** globale Uhr. Sie stellt die aktuelle und **immer korrekte** Zeit dar. Eine globale Uhr geht nie falsch.

Zudem besitzt jeder beteiligter Prozess eine eigene lokale Uhr. Sie stellt die aktuelle Zeit des jeweiligen Prozesses dar. Im Gegensatz zu der globalen Uhr können lokale Uhren eine falsche Zeit anzeigen. Wenn die Prozesszeit nicht global-korrekt ist (nicht der globalen Zeit gleicht beziehungsweise eine falsche Zeit anzeigt), dann wurde sie entweder im Laufe einer Simulation neu gestellt, oder sie geht wegen einer Uhrabweichung falsch. Die Uhrabweichung gibt an, um welchen Faktor die Uhr falsch geht. Hierauf wird später genauer eingegangen.

Neben den normalen Uhren sind auch die **Vektor-Zeitstempel** sowie die **logischen Uhren von Lamport** von Interesse. Jeder Prozess besitzt zusätzlich einen Vektor-Zeitstempel für seine Vektorzeit, sowie einen Lamportzeitstempel für seine Lamportzeit. Für die Vektor- und Lamportzeiten gibt es hier, im Gegensatz zu der normalen Zeit, keine globalen Äquivalente.

Konkrete Beispiele zu den Lamport- und Vektorzeiten werden später anhand einer Simulation behandelt.

Ereignisse

Eine Simulation besteht aus der Hintereinanderausführung von endlich vielen Ereignissen. Beispielsweise kann es ein Ereignis geben, welches einen Prozess eine Nachricht verschicken lässt. Denkbar wäre auch ein Prozessabsturzereignis. Jedes Ereignis tritt zu einem bestimmten Zeitpunkt ein. Wenn es zeitgleiche Ereignisse gibt, so werden sie in Wirklichkeit ebenso hintereinander ausgeführt, erscheinen aber in der Simulation als ob sie parallel ausgeführt würden. Dieser Umstand ist auf die Implementierung des Simulators zurückzuführen, worauf später noch genauer eingegangen wird. Den Anwender des Simulators hindert dies jedoch nicht, da Ereignisse aus seiner Sicht parallel ausgeführt werden.

Protokolle

Eine Simulation besteht auch aus der Anwendung von Protokollen. Es wurde bereits erwähnt, dass ein Prozess die Rollen von Servern und/oder Clients annehmen kann. Bei jeder Server- und Clientrolle muss zusätzlich das dazugehörige Protokoll spezifiziert werden. Ein Protokoll definiert, wie ein Client und ein Server Nachrichten verschickt und wie bei Ankunft einer Nachricht reagiert wird. Ein Protokoll legt auch fest, welche Daten in einer Nachricht enthalten sind. Ein Prozess verarbeitet eine empfangene Nachricht nur, wenn er das jeweilige Protokoll versteht.

In Abbildung 1.3 sind 3 Prozesse dargestellt. Prozess 1 unterstützt serverseitig das Protokoll "A" und clientseitig das Protokoll "B". Prozess 2 unterstützt clientseitig das Protokoll "A" und Prozess 3 serverseitig das Protokoll "B". Das heißt, dass Prozess 1 mit Prozess 2 via Protokoll "A" und mit Prozess 3 via Protokoll "B" kommunizieren kann. Die Prozesse 2 und 3 sind zueinander inkompatibel und können voneinander erhaltene Nachrichten nicht verarbeiten.

Clients können nicht mit Clients, und Server nicht mit Server kommunizieren. Für eine Kommunikation wird stets mindestens ein Client und ein Server benötigt. Diese Einschränkung kann aber umgangen werden, indem Prozesse ein gegebenes Protokoll sowohl server- als auch clientseitig unterstützen (siehe Broadcast-Sturm Protokoll später). Alle vom Simulator verfügbaren Protokolle werden später genauer behandelt.

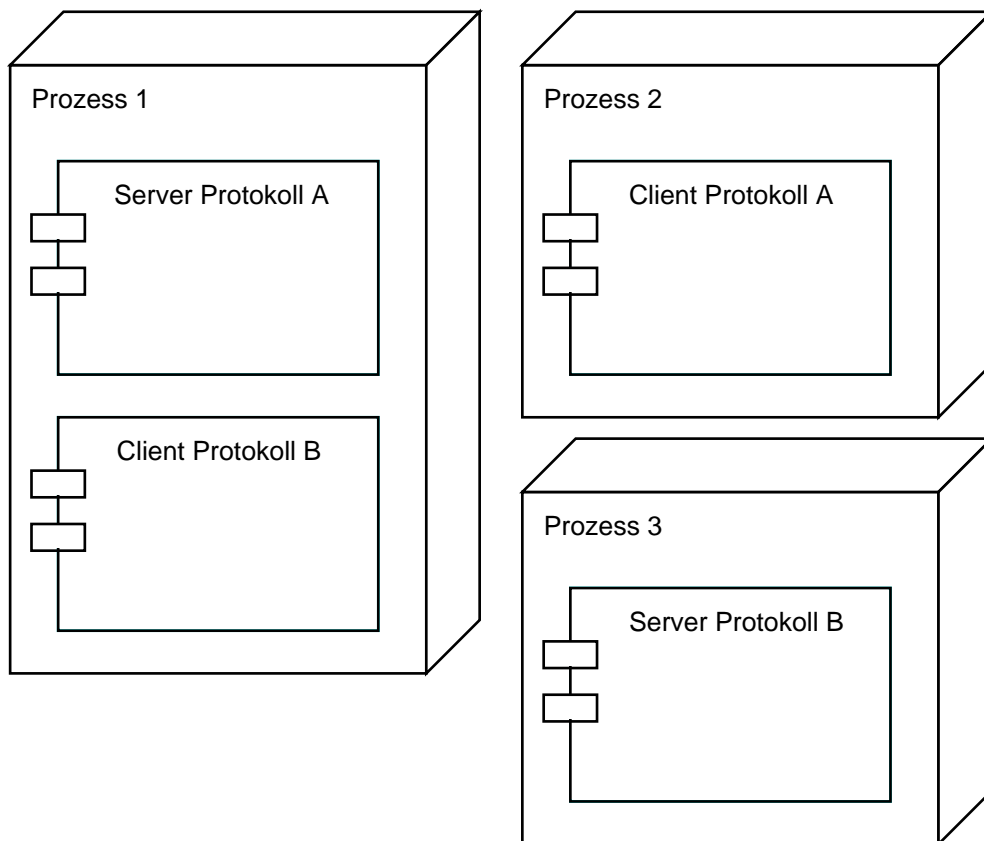


Abbildung 1.3.: Client/Server Protokolle

Kapitel 2.

Der Simulator

2.1. Die grafische Benutzeroberfläche (GUI)

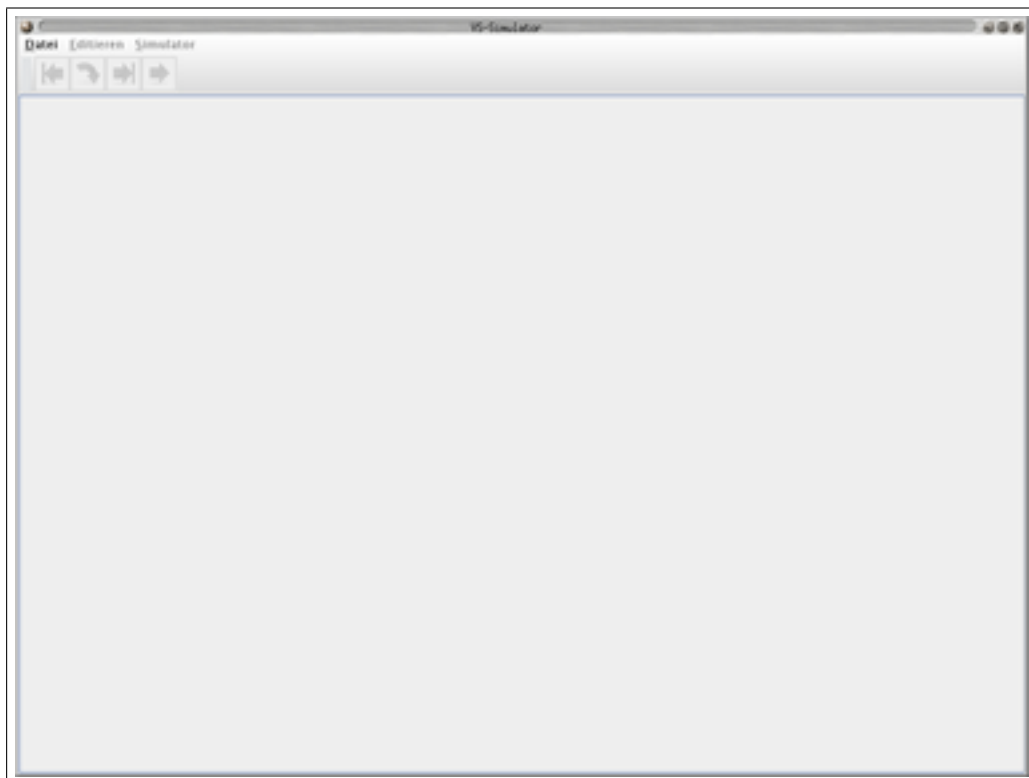


Abbildung 2.1.: Der Simulator nach dem ersten Starten

Der Simulator läßt sich mit dem Befehl `java -jar VS-Sim.jar` starten und präsentiert sich nach dem ersten Starten wie auf [Abbildung 2.1](#). Für die Erstellung einer neuen Simulation wird im Menü "Datei" ([Abbildung 2.2](#)) der Punkt "Neue Simulation" ausgewählt, wo

anschließend das Einstellungsfenster für die neue Simulation erscheint. Auf die einzelnen Optionen wird später genauer eingegangen und es werden nun nur die Standardeinstellungen übernommen. Die GUI mit einer frischen Simulation sieht aus wie auf Abbildung 2.3.

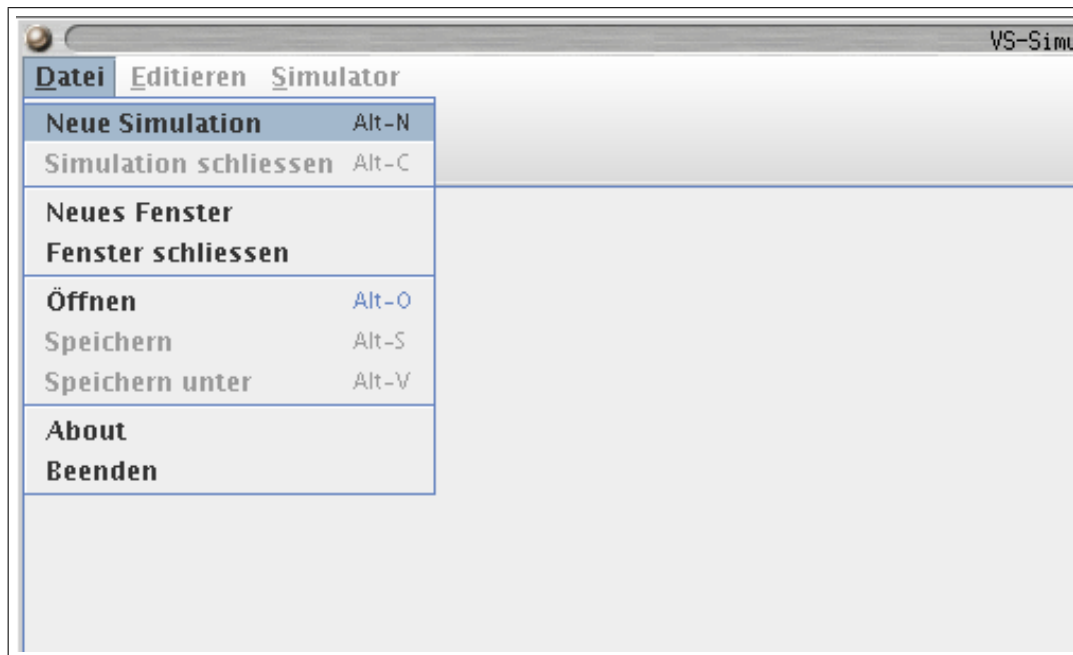


Abbildung 2.2.: Datei-Menü

Die Menüzeile

Im Datei-Menü (Abbildung 2.2) lassen sich neue Simulationen erstellen oder die aktuell geöffnete Simulation schließen. Neue Simulationen öffnen sich standardmäßig in einem neuen Tab. Es können allerdings auch neue Simulationsfenster, die wiederum eigene Tabs besitzen, geöffnet oder geschlossen werden. In jedem Tab befindet sich eine von den Anderen vollständig unabhängige Simulation. Es können somit beliebig viele Simulationen parallel ausgeführt werden. Die Menüeinträge "Öffnen", "Speichern" und "Speichern unter" dienen für das Laden und Speichern von Simulationen.

Über das Editieren-Menü gelangt der Anwender zu den Simulationseinstellungen, worauf später genauer eingegangen wird. In diesem Menü werden auch alle beteiligten Prozesse zum Editieren aufgelistet. Wählt der Anwender dort einen Prozess aus, dann öffnet sich der dazugehörige Prozesseditor. Auf diesen wird ebenso später genauer eingegangen. Das Simulator-Menü bietet die selben Optionen wie die Toolbar, welche im nächsten Teilkapitel beschrieben wird, an.

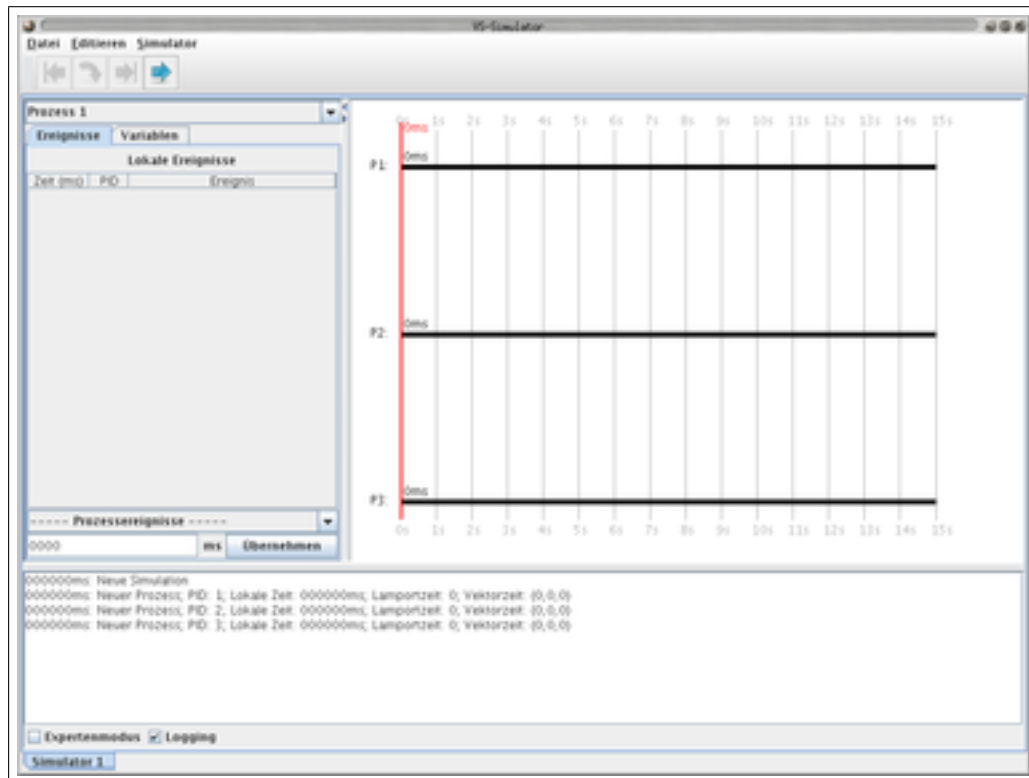


Abbildung 2.3.: Eine neue Simulation

Einige Menüunterpunkte sind erst erreichbar, wenn im aktuellen Fenster bereits eine Simulation erstellt oder geladen wurde.

Die Toolbar

Oben links im Simulator befindet sich die Toolbar (Abbildung 2.4). Die Toolbar enthält die Funktionen die vom Anwender am häufigsten benötigt werden.



Abbildung 2.4.: Die Menüleiste inklusive Toolbar

Die Toolbar bietet vier verschiedene Funktionen an:

- Zurücksetzen der Simulation; kann nur betätigt werden, wenn die Simulation pausiert wurde oder wenn die Simulation abgelaufen ist.

- Wiederholen der Simulation; kann nicht betätigt werden, wenn die Simulation noch nicht gestartet wurde.
- Pausieren der Simulation; kann nur betätigt werden, wenn die Simulation derzeit läuft.
- Starten der Simulation; kann nur betätigt werden, wenn die Simulation derzeit nicht läuft.

Die Toolbar lässt sich nach Wunsch repositionieren (z.B. links, rechts oder unten des Simulatorfensters). Hierfür muss sie per “Drag-n-Drop” zur Zielposition gezogen werden.

Die Visualisierung

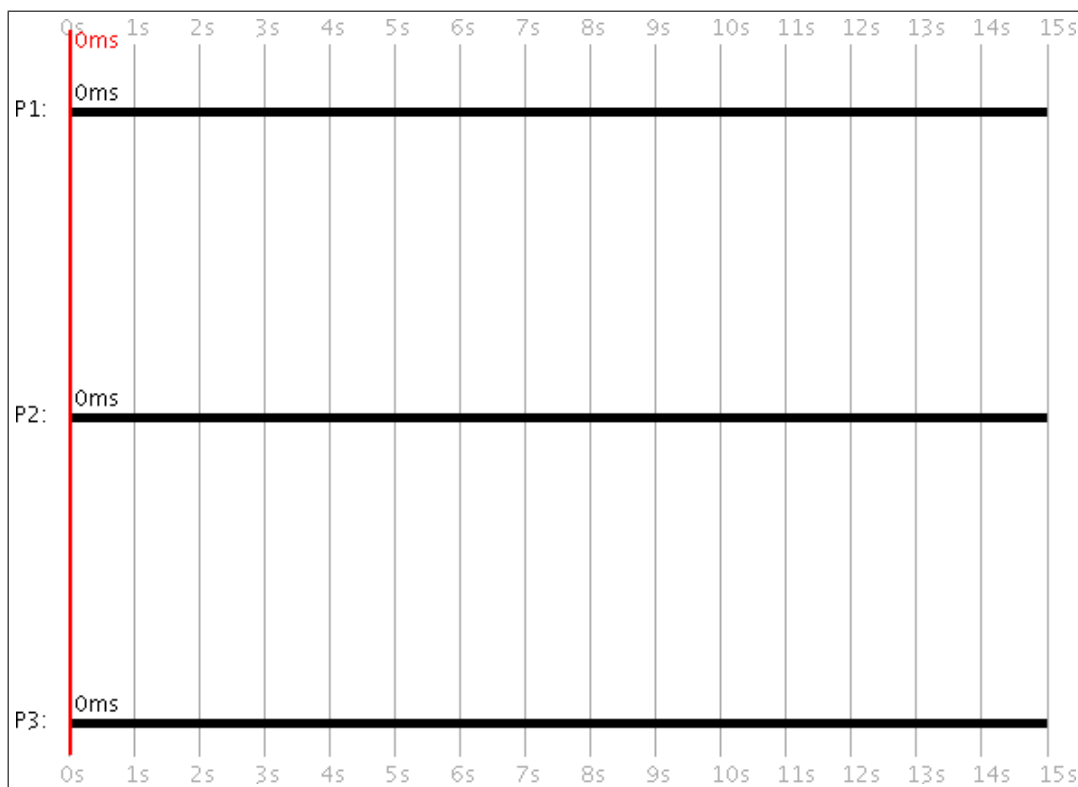


Abbildung 2.5.: Visualisierung einer noch nicht gestarteten Simulation

Mittig rechts befindet sich die grafische Simulationsvisualisierung. Die X-Achse gibt die Zeit in Millisekunden an und auf der Y-Achse sind alle beteiligten Prozesse aufgeführt. Unsere Demo-Simulation endet nach genau 15 Sekunden. Auf [Abbildung 2.5](#) sind 3 Prozesse (mit den PIDs 1, 2 und 3) dargestellt, die jeweils einen eigenen horizontalen schwarzen Balken

besitzen. Auf diesen Prozessbalken kann der Anwender die jeweilige lokale Prozesszeit ablesen. Die vertikale rote Linie stellt die globale Simulationszeit dar.

Die Prozessbalken dienen auch für Start- und Zielpunkte von Nachrichten. Wenn beispielsweise Prozess 1 eine Nachricht an Prozess 2 verschickt, so wird eine Linie vom einen Prozessbalken zum Anderen gezeichnet. Nachrichten, die ein Prozess an sich selbst schickt, werden nicht visualisiert. Sie werden aber im Loggfenster (mehr dazu später) protokolliert.

Eine andere Möglichkeit einen Prozesseditor aufzurufen ist ein Linksklick auf den zum Prozess gehörigen Prozessbalken. Dies muss also nicht immer über das Simulator-Menü geschehen. Ein Rechtsklick hingegen öffnet ein Popup-Fenster mit weiteren Auswahlmöglichkeiten (Abbildung 2.6). Ein Prozess kann über das Popup-Menü nur während einer laufenden Simulation zu einem Absturz oder einer Wiederbelebung bewegt werden.

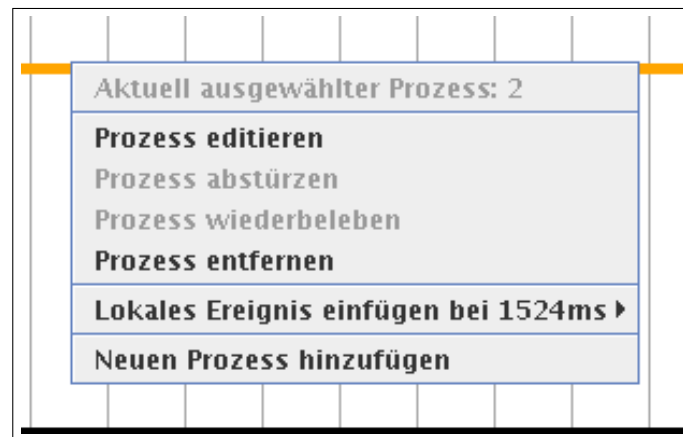


Abbildung 2.6.: Rechtsklick auf einen Prozessbalken

Generell kann die Anzahl der Prozesse nach belieben variieren. Die Dauer der Simulation beträgt mindestens 5 und höchstens 120 Sekunden. Die Simulation endet erst, wenn sie die globale Zeit die angegebene Simulationsendzeit (hier 15 Sekunden) erreicht hat, und nicht, wenn eine lokale Prozesszeit diese Endzeit erreicht.

Farbliche Differenzierung

Farben helfen dabei die Vorgänge einer Simulation besser zu deuten. Standardmäßig werden die Prozesse (Prozessbalken) und Nachrichten mit den Farben wie in Tabelle 2.1 aufgelistet dargestellt. Dies sind lediglich die Standardfarben, welche über die Einstellungen geändert werden können.

Prozessfarbe	Bedeutung
Schwarz	Die Simulation läuft derzeit nicht
Orange	Die Maus befindet sich über den Prozessbalken
Rot	Der Prozess ist abgestürzt
Nachrichtenfarbe	Bedeutung
Grün	Die Nachricht ist noch unterwegs und hat das Ziel noch nicht erreicht
Blau	Die Nachricht hat das Ziel erfolgreich erreicht
Rot	Die Nachricht ging verloren

Tabelle 2.1.: Farbliche Differenzierung von Prozessen und Nachrichten

Die Sidebar

Mithilfe der Sidebar lassen sich Prozessereignisse programmieren. Oben auf Abbildung 2.7 ist der zu verwaltende Prozess selektiert (hier mit der PID 1). In dieser Prozessauswahl gibt es auch die Möglichkeit “Alle Prozesse” auszuwählen, womit die Ereignisse aller Prozesse gleichzeitig verwaltet werden können. Unter “Lokale Ereignisse” versteht man diejenigen Ereignisse, die auftreten, wenn eine bestimmte lokale Zeit des dazugehörigen Prozesses eingetreten ist. Die darunterliegende Ereignistabelle listet alle programmierten Ereignisse (hier noch keine vorhanden) mitsamt Eintrittszeiten sowie den PIDs auf.

Abbildung 2.7.: Die Sidebar mit leerem Ereigniseditor

Für die Erstellung eines neuen Ereignisses kann der Anwender entweder mit einem Rechtsklick auf einen Prozessbalken (Abbildung 2.6) klicken und dort “Lokales Ereignis einfügen” wählen, oder unterhalb der Ereignistabelle ein Ereignis auswählen (Abbildung 2.8), im darun-

ter liegendem Textfeld die Ereigniseintrittszeit eintragen und auf “Übernehmen” gehen. Beispielsweise wurden auf Abbildung 2.9 drei Ereignisse hinzugefügt: Absturz nach 123ms, Wiederbelebung nach 321ms und erneuter Absturz nach 3000ms des Prozesses mit der ID 1.

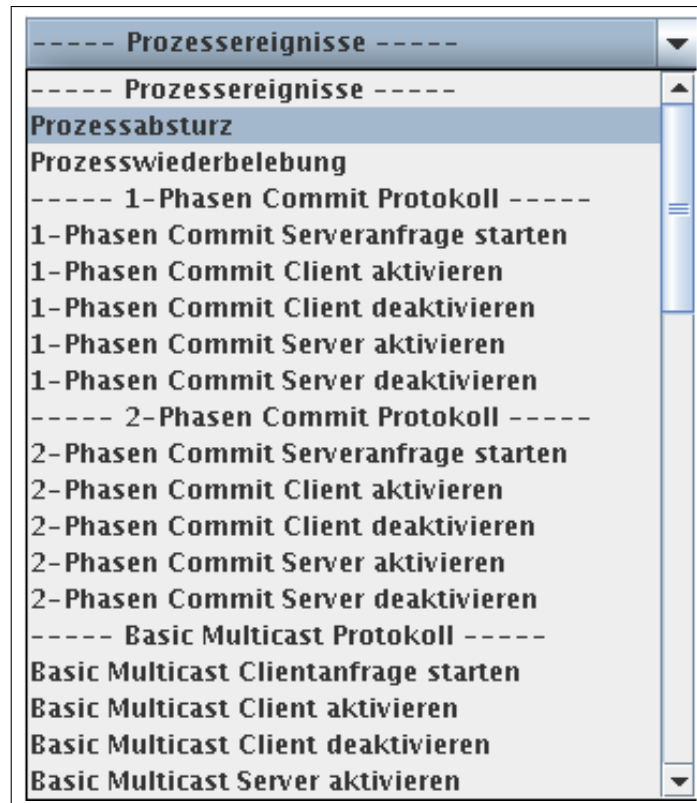


Abbildung 2.8.: Die Ereignisauswahl via Sidebar

Mit einem Rechtsklick auf den Ereigniseditor lassen sich alle selektierten Ereignisse entweder kopieren oder löschen. Mithilfe der Strg-Taste können auch mehrere Ereignisse gleichzeitig markiert werden. Die Einträge der Spalten für die Zeit und der PID lassen sich nachträglich editieren. Somit besteht eine komfortable Möglichkeit bereits programmierte Ereignisse auf eine andere Zeit zu verschieben oder einen anderen Prozess zuzuweisen. Allerdings sollte der Anwender darauf achten, dass er nach dem Ändern der Ereigniseintrittszeit die Enter-Taste betätigt, da sonst die Änderung unwirksam ist.

In der Sidebar gibt es neben dem Ereignis-Tab einen weiteren Tab “Variablen”. Hinter diesem Tab verbirgt sich der Prozesseditor des aktuell ausgewählten Prozesses. Dort können alle Variablen des Prozesses editiert werden und ist somit eine weitere Möglichkeit einen Prozesseditor aufzurufen. Der Prozesseditor wird später genauer behandelt.

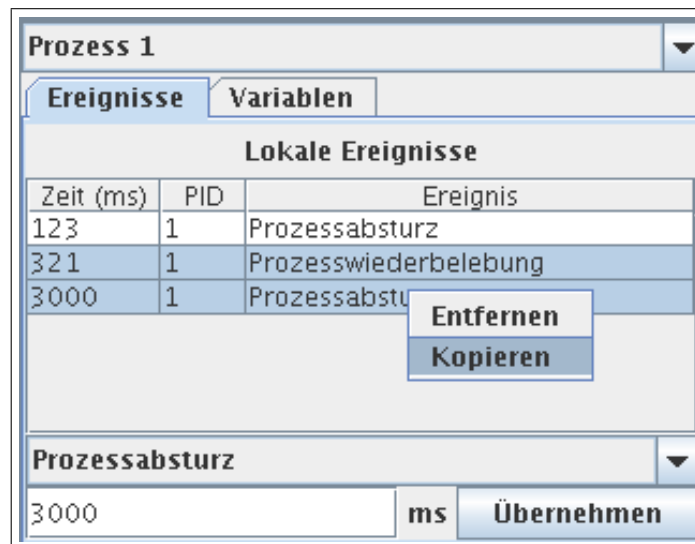


Abbildung 2.9.: Der Ereigniseditor mit 3 programmierten Ereignissen

Das Loggfenster

Das Loggfenster (Abbildung 2.3, unten) protokolliert in chronologischer Reihenfolge alle eingetroffenen Ereignisse. Auf Abbildung 2.10 ist das Loggfenster nach Erstellung der Demo-Simulation zu sehen, an welcher 3 Prozesse beteiligt sind. Am Anfang eines Loggeintrages wird stets die globale Zeit in Millisekunden protokolliert. Bei jedem Prozess werden ebenso seine lokale Zeiten sowie die Lamport- und die Vektor-Zeitstempel aufgeführt. Letztere werden später genauer behandelt. Hinter den Zeitangaben werden weitere Angaben, wie beispielsweise welche Nachricht mit welchem Inhalt verschickt wurde und welchem Protokoll sie angehört, gemacht. Dies wird später noch anhand von Beispielen demonstriert.

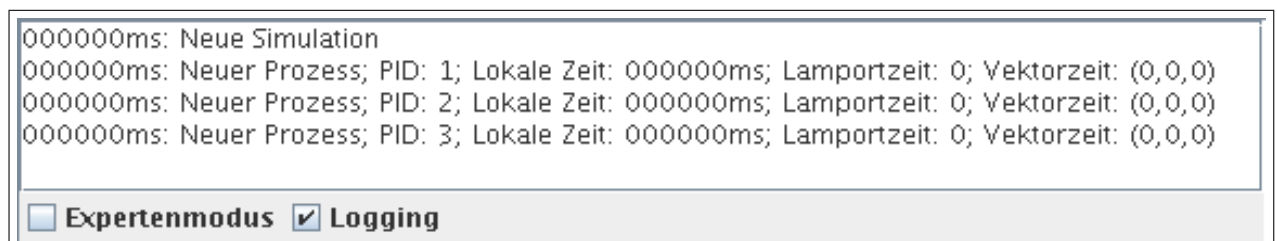


Abbildung 2.10.: Das Loggfenster

Mit dem Deaktivieren der Checkbox "Logging" läßt sich das Loggen von Nachrichten temporär einstellen. Mit deaktiviertem Loggen werden keine neuen Nachrichten mehr ins Loggfenster geschrieben. Nach Reaktivieren der Checkbox werden alle ausgelassenen Nachrichten nachträglich in das Fenster geschrieben. Ein deaktiviertes Loggen kann zu verbessertem

Leistungsverhalten des Simulators führen (z.B. kein Ruckeln; ist vom verwendeten Computer, auf dem der Simulator läuft, abhängig). Dieser Umstand ist der sehr langsamen Java-Implementierung der JTextArea-Klasse zu verdanken, die schnelle Updates nur sehr träge durchführt.

Über die Checkbox "Expertenmodus" wird der Expertenmodus aktiviert beziehungsweise deaktiviert.

2.2. Der Expertenmodus

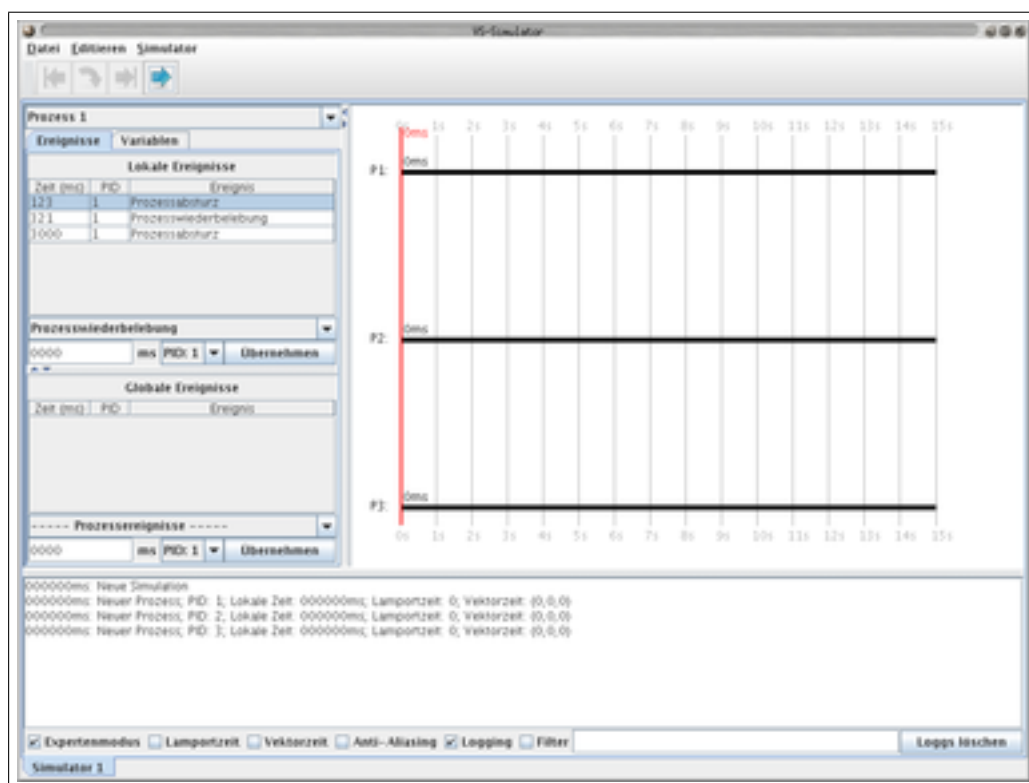


Abbildung 2.11.: Der Simulator im Expertenmodus

Der Simulator kann in zwei verschiedenen Modi betrieben werden. Es gibt einen einfachen und einen Expertenmodus. Der Simulator startet standardmäßig im einfachen Modus, so dass sich der Anwender nicht mit der vollen Funktionalität des Simulators auf einmal auseinandersetzen muß. Der einfache Modus ist übersichtlicher, bietet jedoch weniger Funktionen an. Der Expertenmodus eignet sich mehr für erfahrene Anwender und bietet dementsprechend auch mehr Flexibilität. Der Expertenmodus kann über die gleichnamige Checkbox

unterhalb des Loggfensters oder über die Simulationseinstellungen aktiviert oder deaktiviert werden. Auf Abbildung 2.11 ist der Simulator im Expertenmodus zu sehen. Wenn der Expertenmodus mit dem normalen Modus verglichen wird, dann fallen einige Unterschiede auf:

The screenshot shows the 'Prozess 1' sidebar in Expert Mode. It features two tabs: 'Ereignisse' (selected) and 'Variablen'. Under 'Ereignisse', there are three sections:

- Lokale Ereignisse**: A table with columns 'Zeit (ms)', 'PID', and 'Ereignis'. It contains three entries:

Zeit (ms)	PID	Ereignis
123	1	Prozessabsturz
321	1	Prozesswiederbelebung
3000	1	Prozessabsturz
- Prozesswiederbelebung**: A section with a dropdown menu, an input field '0000', a unit selector 'ms', a PID selector 'PID: 1', and a button 'Übernehmen'.
- Globale Ereignisse**: A table with columns 'Zeit (ms)', 'PID', and 'Ereignis'. It is currently empty.
- Prozessereignisse**: A section with a dropdown menu, an input field '0000', a unit selector 'ms', a PID selector 'PID: 1', and a button 'Übernehmen'.

Abbildung 2.12.: Die Sidebar im Expertenmodus

Neue Funktionen in der Sidebar

Der erste Unterschied ist in der Sidebar erkennbar (Abbildung 2.12). Dort sind nun, zusätzlich den lokalen Ereignissen, auch globale Ereignisse editierbar. Wie bereits erwähnt sind unter lokale Ereignisse diejenigen Ereignisse zu verstehen, die auftreten, wenn eine bestimmte lokale Zeit des dazugehörigen Prozesses eingetreten ist. Globale Ereignisse hingegen sind diejenigen Ereignisse, die auftreten, wenn eine bestimmte globale Zeit eingetreten ist. Ein globales Ereignis nimmt die globale Zeit- und ein lokales Ereignis die lokale Prozesszeit als Eintrittskriterium. Globale Ereignisse machen somit nur einen Unterschied, wenn sich die lokalen Prozesszeiten von der globalen Zeit unterscheiden.

Des Weiteren kann der Anwender bei der Programmierung eines neuen Ereignisses direkt die dazugehörige PID selektieren. Im einfachen Modus wurde hier immer standardmäßig die PID des aktuell (in der obersten Combo-Box) ausgewählten Prozesses verwendet (hier mit

PID 1). In dieser Combo-Box sollte der Anwender gegebenenfalls “Alle Prozesse” selektieren, damit im Ereigniseditor stets die Ereignisse aller Prozesse aufgelistet werden.

Lampportzeit, Vektorzeit und Anti-Aliasing Schalter

Weitere Unterschiede machen sich unterhalb des Loggfensters bemerkbar. Dort gibt es unter Anderem zwei neue Checkboxes “Lampportzeit” und “Vektorzeit”. Aktiviert der Anwender eine dieser beiden Checkboxes, so wird die Lampport- beziehungsweise Vektorzeit in der Visualisierung dargestellt. Damit die Übersichtlichkeit nicht leidet, kann der Anwender nur jeweils eine dieser beiden Checkboxes zur gleichen Zeit aktiviert haben.

Die Anti-Aliasing-Checkbox ermöglicht dem Anwender Anti-Aliasing zu aktivieren beziehungsweise zu deaktivieren. Mit aktiviertem Anti-Aliasing werden alle Grafiken der Visualisierung gerundet dargestellt. Aus Performancegründen ist Anti-Aliasing standardmäßig nicht aktiv.

Der Loggfilter

Je komplexer eine Simulation wird, desto unübersichtlicher werden die Einträge im Loggfenster. Hier fällt es zunehmend schwerer die Übersicht aller Ereignisse zu behalten. Um dem entgegenzuwirken gibt es im Expertenmodus einen Loggfilter, welcher es ermöglicht nur die wesentlichen Daten aus den Logs zu filtern.

Der Loggfilter wird anhand der dazugehörigen Checkbox “Filter” aktiviert beziehungsweise deaktiviert. In der dahinterliegenden Eingabezeile kann ein regulärer Ausdruck in Java-Syntax angegeben werden. Beispielsweise werden mit “PID: (1 | 2)” nur Loggzeilen angezeigt, die entweder “PID: 1” oder “PID: 2” beinhalten. Alle anderen Zeilen, die zum Beispiel nur “PID: 3” beinhalten, werden dabei nicht angezeigt. Mit aktivem Loggfilter werden nur die Loggzeilen angezeigt, auf die der reguläre Ausdruck passt. Der Loggfilter kann auch nachträglich aktiviert werden, da bereits protokollierte Ereignisse nach jeder Filteränderung erneut gefiltert werden.

Der Loggfilter kann auch während einer laufenden Simulation verwendet werden. Bei Loggfilterdeaktivierung werden alle Nachrichten wieder angezeigt. Loggnachrichten, die aufgrund des Filters noch nie angezeigt wurden, werden dann nachträglich angezeigt.

2.3. Ereignisse

Es wird zwischen zwei Haupttypen von Ereignissen unterschieden: Programmierbare Ereignisse und nicht-programmierbare Ereignisse. Programmierbare Ereignisse lassen sich im Ereigniseditor programmieren und editieren und deren Eintrittszeiten hängen von den lokalen Prozessuhren oder der globalen Uhr ab. Nicht-programmierbare Ereignisse lassen sich hingegen nicht im Ereigniseditor programmieren und treten nicht wegen einer bestimmten Uhrzeit ein, sondern aufgrund anderer Gegebenheiten wie zum Beispiel das Eintreffen einer Nachricht oder das Ausführen einer Aktion aufgrund eines Weckers, worauf weiter unten nochmal genauer eingegangen wird.

Prozessabsturz- und Wiederbelebung (programmierbar)

Die beiden einfachsten Ereignisse sind "Prozessabsturz" sowie "Prozesswiederbelebung". Wenn ein Prozess abgestürzt ist, so wird sein Prozessbalken in rot dargestellt. Ein abgestürzter Prozess kann keine weiteren Ereignisse mehr verarbeiten und wenn bei ihm eine Nachricht eintrifft, dann kann sie nicht verarbeitet werden und geht deshalb verloren. Die einzige Ausnahme bildet ein Wiederbelebungseignis. Ein abgestürzter Prozess kann nichts, außer wiederbelebt werden. Während eines Prozessabsturzes läuft die lokale Prozessuhr, abgesehen der Lamport- und Vektor-Uhren, normal weiter. Das heißt es besteht die Möglichkeit, dass ein Prozess einige seiner Ereignisse gar nicht ausführt, da er zu den Ereigniseintrittszeiten abgestürzt ist. Wenn im echten Leben ein Computer abstürzt oder abgeschaltet wird, dann läuft seine Hardware-Uhr unabhängig vom Betriebssystem auch weiter.

Aktivierung und Deaktivierung von Protokollen sowie Starten von Anfragen (programmierbar)

Es ist bereits bekannt, dass ein Prozess mehrere Protokolle client- und auch serverseitig unterstützen kann. Welches Protokoll von einem Prozess unterstützt wird, kann der Anwender anhand von Protokollaktivierungs- und Protokolldeaktivierungseignissen konfigurieren. Somit besteht die Möglichkeit, dass ein gegebener Prozess ein bestimmtes Protokoll erst zu einem bestimmten Zeitpunkt unterstützt und gegebenenfalls ein anderes Protokoll ablöst. Jedes Protokoll kann entweder server- oder clientseitig aktiviert beziehungsweise deaktiviert

werden. Welche Protokolle es gibt wird später behandelt. Der Anwender hat die Auswahl zwischen fünf verschiedenen Protokollereignistypen:

- Aktivierung des Clients eines gegebenen Protokolls
- Aktivierung des Servers eines gegebenen Protokolls
- Deaktivierung des Clients eines gegebenen Protokolls
- Deaktivierung des Servers eines gegebenen Protokolls
- Starten einer Client/Server-Anfrage eines gegebenen Protokolls

Ob sich das Ereignis für das Starten einer Anfrage auf einen Client oder einen Server bezieht hängt vom verwendeten Protokoll ab. Es gibt Protokolle, wo der Client die initiale Anfrage starten muss, und es gibt Protokolle, wo der Server diese Aufgabe übernimmt. Beispielsweise startet bei dem "Ping-Pong Protokoll" der Client- und bei dem "Commit-Protokollen" der Server immer die erste Anfrage. Es gibt kein Protokoll, wo der Client und der Server jeweils eine initiale Anfrage starten können.

Bei allen dieser fünf Ereignissen kann der betroffene Prozess noch beliebig andere Dinge, abhängig vom Protokoll, tun. Beispielsweise kann er den Inhalt der Nachricht generieren oder lokale Variablen initialisieren oder eine der lokalen Uhzeiten ändern oder einen Wecker für "Callback Ereignisse" setzen (mehr dazu später) und vieles mehr.

Nachrichtenempfang sowie Antwortnachrichten (nicht-programmierbar)

Nachdem ein Prozess eine Nachricht empfängt wird zuerst überprüft ob er das dazugehörige Protokoll unterstützt. Wenn der Prozess das Protokoll unterstützt, wird geschaut ob es sich um eine Client- oder eine Servernachricht handelt. Wenn es sich um eine Clientnachricht handelt, so muß der Empfängerprozess das Protokoll serverseitig unterstützen und vice versa. Wenn alles passt, dann führt der Empfängerprozess die vom Protokoll definierten Aktionen aus. In der Regel berechnet der Prozess einen bestimmten Wert und schickt ihn über eine Antwortnachricht zurück. Es können aber auch beliebig andere Aktionen ausgeführt werden. Welche dies sind hängt vom Protokoll ab.

Prefix	Beschreibung
Boolean	booleschen Wert, z.B. <code>true</code> oder <code>false</code>
Color	Java-Farbojekt
Float	Fließkommazahl einfacher Genauigkeit
Integer[]	Integervektor
Integer	Einfache Integerzahl
Long	Einfache Long-Zahl
String	Java-Stringobjekt

Tabelle 2.2.: Verfügbare Datentypen für editierbare Variablen

Callback-Ereignisse (nicht-programmierbar)

Ein Callback-Ereignis kann von einem Protokoll ausgelöst werden. Das Protokoll setzt einen Wecker, der angibt zur welcher lokalen Uhrzeit eine weitere Aktion ausgeführt werden soll. Zum Beispiel lassen sich hiermit Timeouts realisieren: Wenn ein Protokoll eine Antwort erwartet, diese aber nicht eintrifft, dann kann nach einer bestimmten Zeit eine Anfrage erneut verschickt werden! Es können beliebig viele Callback-Ereignisse definiert werden. Wenn sie noch nicht ausgeführt wurden und aufgrund eines anderen Ereignisses nicht mehr benötigt werden, dann können sie vom Protokoll wieder nachträglich entfernt werden. Wenn ein Callback-Ereignis ausgeführt wird, dann kann es sich selbst wieder für eine weitere Ausführung erneut planen. So lassen sich periodisch wieder-eintreffende Ereignisse realisieren. Beispielsweise verwenden die "Commit-Protokolle" (mehr dazu später) Callback-Ereignisse, indem solange Anfragen verschickt werden, bis alle benötigten Antworten vorliegen.

Zufallseignisse (nicht-programmierbar)

Die Eintrittszeit eines Zufallseignisses wird vom Simulator zufällig gewählt. Es besteht lediglich die Möglichkeit die Wahrscheinlichkeit, dass das Ereignis überhaupt eintritt, einzustellen. Ein Beispiel ist ein zufälliger Prozessabsturz, dessen Wahrscheinlichkeit unter den Prozessvariablen konfiguriert werden kann. Diese Variable wird im Abschnitt über den Prozesseditor noch ausführlicher beschrieben.

2.4. Einstellungen

In diesem Abschnitt wird genauer auf die möglichen Konfigurationsmöglichkeiten eingegangen. Zunächst gibt es globale Simulationseinstellungen. Diese beinhalten Variablen die die gesamte Simulation betreffen. Zudem hat jeder Prozess seine eigenen lokale Einstellungen. Darüber hinaus kann jedes Protokoll für jeden Prozess separat eingestellt werden.

2.4.1. Variablentypen

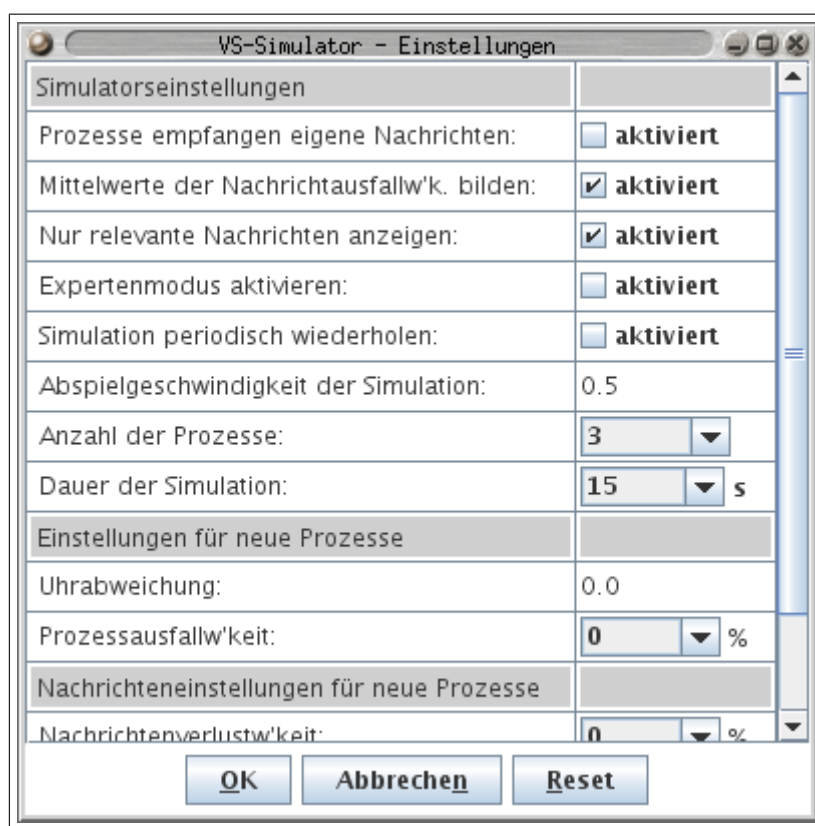


Abbildung 2.13.: Das Fenster zu den Simulationseinstellungen

Der Simulator unterscheidet zwischen mehreren Datentypen, in denen die einstellbaren Variablen vorliegen können (Tabelle 2.2). Im folgenden bedeutet `Prefix: wert`, dass die Variable vom Typ `Prefix` ist, und standardmässig den Wert `wert` zugewiesen hat. Vom Anwender lassen sich lediglich die Variablenwerte, jedoch nicht die Variablentypen sowie Variablennamen, ändern.

2.4.2. Simulationseinstellungen

Beim Erstellen einer neuen Simulation erscheint zunächst das dazugehörige Einstellungsfenster (Abbildung 2.13). In der Regel reicht es, wenn der Anwender hier, bis auf die Anzahl beteiligter Prozesse, die Standardwerte übernimmt. Es besteht auch die Möglichkeit die Einstellungen nachträglich zu editieren, indem das Einstellungsfenster via “Editieren → Einstellungen” erneut aufgerufen wird.

Im Folgenden werden alle in den Simulationseinstellungen verfügbaren Variablen beschrieben. Die Klammern geben die Typen und die Standardwerte an, in denen die Variablen vorliegen.

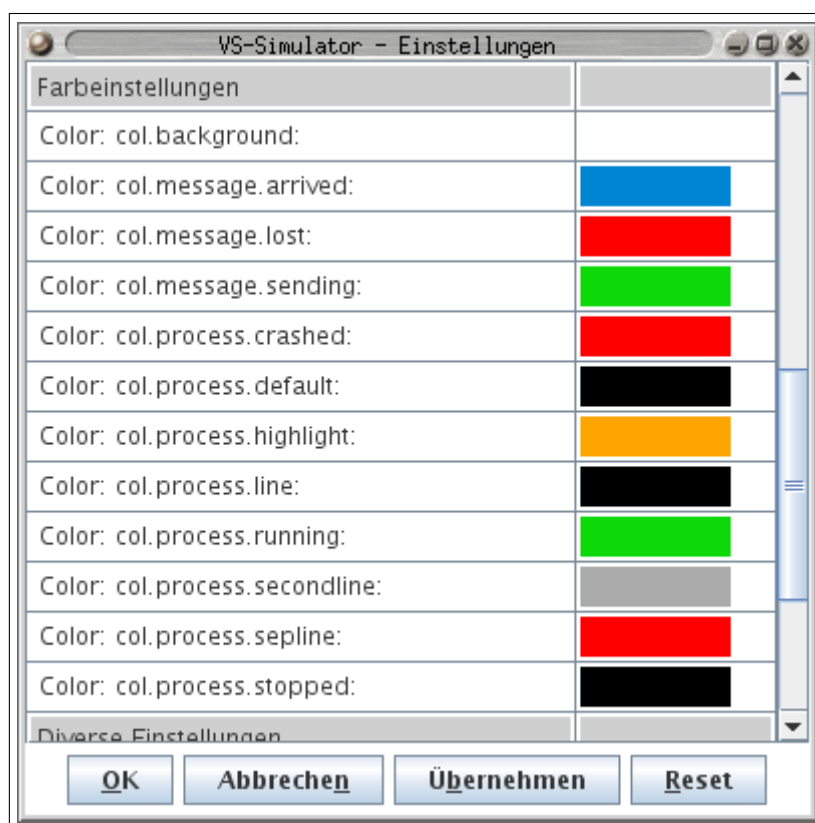


Abbildung 2.14.: Weitere Simulationseinstellungen im Expertenmodus

- **Prozesse empfangen eigene Nachrichten** (*Boolean: false*): Standardmäßig können Prozesse keine Nachrichten empfangen, die sie selbst verschickt haben. Dies trägt zur Übersichtlichkeit der Simulation bei. Wenn diese Variable jedoch auf `true` gesetzt wird, dann kann ein Prozess auch selbst verschickte Nachrichten empfangen und auf diese ebenso antworten. Die Zeit für das Versenden und Empfangen einer Nachricht

an sich selbst beträgt jedoch stets 0ms. Diese Variable sollte mit Vorsicht verwendet werden, da hierdurch, bedingt aus den 0ms, Endlosschleifen entstehen können.

- **Mittelwerte der Nachrichtenverlustwahrscheinlichkeiten bilden** (*Boolean, true*): Jede Nachricht die verschickt wird hat, je nach Einstellungen, eine vom verschickenden Prozess abhängige zufällige Übertragungszeit bis sie ihr Ziel erreicht. Wenn diese Option aktiviert ist, so wird der Mittelwert vom Sende- und Empfangsprozess gebildet. Ansonsten wird stets die Übertragungszeit, die beim Senderprozesses angegeben wurde, verwendet.
- **Nur relevante Nachrichten anzeigen** (*Boolean: true*): Wenn nur alle relevanten Nachrichten angezeigt werden, so werden Nachrichten an einen Prozess die er selbst nicht verarbeiten kann, weil er das dazugehörige Protokoll nicht unterstützt, nicht angezeigt. Hierdurch wird eine Simulation viel übersichtlicher dargestellt.
- **Expertenmodus aktivieren** (*Boolean, false*): Hier lässt sich der Expertenmodus aktivieren beziehungsweise deaktivieren. Alternativ kann dies über die gleichnamige Checkbox unterhalb des Loggfensters geschehen.
- **Simulation periodisch wiederholen** (*Boolean: false*): Wenn diese Variable auf `true` gesetzt ist, so wird die Simulation jedes Mal nach Ablauf automatisch erneut gestartet.
- **Lamportzeiten betreffen alle Ereignisse** (*Boolean: false*): Wenn diese Variable auf `true` gesetzt ist, so werden bei jedem Ereignis alle Lamportzeitstempel aller Prozesse jeweils inkrementiert. Bei einem Wert `false` inkrementieren sich die Lamportzeitstempel jeweils nur, wenn eine Nachricht empfangen oder verschickt wurde.
- **Vektorzeiten betreffen alle Ereignisse** (*Boolean: false*): Wenn diese Variable auf `true` gesetzt ist, so werden bei jedem Ereignis alle Vektor-Zeitstempel aller Prozesse jeweils inkrementiert. Bei einem Wert `false` inkrementieren sich die Vektor-Zeitstempel jeweils nur, wenn eine Nachricht empfangen oder verschickt wurde.
- **Abspielgeschwindigkeit der Simulation** (*Float: 0.5*): Gibt den Faktor der Simulationsabspielgeschwindigkeit an. Wenn als Faktor 1 gewählt wird, dann dauert eine simulierte Sekunde so lange wie eine echte Sekunde. Der Faktor 0.5 gibt somit an, dass die Simulation mit halber Echtzeitgeschwindigkeit abgespielt wird.
- **Anzahl der Prozesse** (*Integer: 3*): Gibt an wieviele Prozesse an der Simulation teilnehmen sollen. Der Anwender kann auch nachträglich via Rechtsklick auf den Pro-

prozessbalken den jeweiligen Prozess aus der Simulation entfernen oder weitere Prozesse hinzufügen.

- **Dauer der Simulation** (*Integer: 15*): Gibt die Dauer der Simulation in Sekunden an.

Die weiteren Simulationseinstellungen unter “Einstellungen für neue Prozesse” sowie “Nachrichteneinstellungen für neue Prozesse” geben lediglich Standardwerte an, die für neu zu erstellende Prozesse verwendet werden. Die dort verfügbaren Variablen werden im folgenden Teilkapitel genauer beschrieben.

2.4.3. Prozess- und Protokolleinstellungen

Jeder Prozess besitzt folgende Variablen, die entweder via dem Variablen-Tab in der Sidebar oder “Editieren → Prozess *PID*” oder Linksklick auf den Prozessbalken editiert werden können. Auf allen drei Wegen kommt jeweils der selbe Prozesseditor zum Vorschein.

- **Uhrabweichung** (*Float: 0.0*): Gibt den Faktor an, um den die lokale Prozessuhr abweicht. Der Faktor 0.0 besagt beispielsweise, dass die Uhr keine Abweichung hat und somit global-korrekt läuft. Ein Faktor von 1.0 würde hingegen bedeuten, dass die Uhr mit doppelter Geschwindigkeit- und ein Faktor von -0.5 , dass die lokale Prozessuhr mit halber Geschwindigkeit der globalen Uhr fortschreitet. Es sind nur Werte > -1.0 erlaubt, da sonst die Prozessuhr rückwärts laufen könnte. Bei allen anderen Werten wird der Faktor wieder automatisch auf 0.0 gesetzt. Da der Simulator intern mit Fließkommazahlen doppelter Genauigkeit arbeitet, kann es zu kleinen, jedoch vernachlässigbaren, Rundungsfehlern kommen.
- **Prozessausfallwahrscheinlichkeit** (*Integer: 0*): Gibt eine Wahrscheinlichkeit in Prozent an, ob der gegebene Prozess während der Simulation zufällig abstürzt. Die Wahrscheinlichkeit bezieht sich auf die komplette Simulationsdauer. Bei einer Einstellung von 100 Prozent und der Simulationsdauer von 15 Sekunden stürzt der Prozess auf jeden Fall zwischen 0ms und 15000ms ab. An welcher Stelle dies geschieht wird zufällig bestimmt. Wenn der Prozess nach seinem Absturz wiederbelebt wird, stürzt er nicht noch einmal zufällig ab. Dies gilt allerdings nicht, wenn die Prozesseinstellungen nach dem Zufallsabsturz erneut geändert und übernommen werden, da dann das Zufallsabsturzereignis erneut erstellt wird.
- **Lokale Zeit** (*Long: 0*): Gibt die lokale Prozesszeit in Millisekunden an.

- **Nachrichtenverlustwahrscheinlichkeit** (*Integer: 0*): Gibt eine Wahrscheinlichkeit in Prozent an, ob eine vom aktuell ausgewählten Prozess verschickte Nachricht unterwegs verloren geht. An welcher Stelle die Nachricht zwischen dem Sende- und Empfangsprozess verloren geht wird vom Simulator zufällig gewählt.
- **Maximale Übertragungszeit** (*Long: 2000*): Gibt die Dauer in Millisekunden an, die eine vom Prozess verschickte Nachricht maximal benötigt, bis sie einen Empfängerprozess erreicht. Im weiteren Verlauf wird dieser Wert mit t_{max} bezeichnet. Der tatsächlich verwendete Wert wird zufällig zwischen der minimalen- und der maximalen Zeit (jeweils inklusive) gewählt.
- **Minimale Übertragungszeit** (*Long: 500*): Gibt die Dauer in Millisekunden an, die eine vom Prozess verschickte Nachricht minimal benötigt, bis sie einen Empfängerprozess erreicht. Im weiteren Verlauf wird dieser Wert mit t_{min} bezeichnet. Der tatsächlich verwendete Wert wird zufällig zwischen der minimalen- und der maximalen Zeit (jeweils inklusive) gewählt.

Wenn die Übertragungszeit einer Nachricht immer exakt die selbe Zeit in Anspruch nehmen soll, dann müssen die Prozesseinstellungen mit $t_{min} = t_{max}$ konfiguriert werden.

Im selben Fenster lassen sich auch die Protokollvariablen editieren. Die Protokollvariablen werden jedoch später bei den Protokollen beschrieben.

2.4.4. Einstellungen im Expertenmodus

Im Expertenmodus lassen sich zusätzliche Variablen, wie beispielsweise diverse Farbwerte und Anzahl oder Pixel verschiedener der GUI-Elemente, editieren. Auf Abbildung 2.14 sieht der Anwender alle einstellbaren Farben. Die fettgedruckten Schlüssel in Tabelle 2.3 dienen nur als Standardwerte für die neu zu erstellen Prozesse und sind auch jeweils in den Prozesseinstellungen für jeden Prozess separat editierbar.

Schlüssel	Beschreibung
<code>col.background</code>	Die Hintergrundfarbe der Simulation
<code>col.message.arrived</code>	Nachrichtenfarbe wenn sie ihr Ziel erreicht hat
<code>col.message.lost</code>	Nachrichtenfarbe wenn sie verloren ging
<code>col.message.sending</code>	Nachrichtenfarbe wenn sie noch unterwegs ist
<code>col.process.crashed</code>	Prozessfarbe wenn er abgestürzt ist
<code>col.process.default</code>	Prozessfarbe wenn die Simulation aktuell nicht läuft und der Prozess aktuell nicht abgestürzt ist
<code>col.process.highlight</code>	Prozessfarbe wenn die Maus über seinem Balken liegt
<code>col.process.line</code>	Farbe, in der die kleine "Prozessfane" an der auch die lokale Prozesszeit angegeben wird, dargestellt wird
<code>col.process.running</code>	Prozessfarbe wenn er nicht abgestürzt ist und die Simulation aktuell läuft
<code>col.process.secondline</code>	Farbe in der die Sekunden-Zeitgitter dargestellt werden
<code>col.process.sepline</code>	Farbe der globalen Zeitachse
<code>col.process.stopped</code>	Prozessfarbe wenn die Simulation pausiert wurde

Tabelle 2.3.: Farbeinstellungen

2.5. Protokolle

Im Folgenden werden alle verfügbaren Protokolle behandelt. Wie bereits beschrieben wird bei Protokollen zwischen Server- und Clientseite unterschieden. Server können auf Clientnachrichten, und Client auf Servernachrichten antworten. Jeder Prozess kann beliebig viele Protokolle sowohl clientseitig als auch serverseitig unterstützen. Theoretisch ist es auch möglich, dass ein Prozess für ein bestimmtes Protokoll gleichzeitig der Server und der Client ist. Der Anwender kann auch weitere eigene Protokolle in der Programmiersprache Java mittels einer speziellen API (Application Programming Interface) erstellen. Wie eigene Protokolle erstellt werden können wird später behandelt.

2.5.1. Beispiel (Dummy) Protokoll

Das Dummy-Protokoll dient lediglich als leeres Template für die Erstellung eigener Protokolle. Bei der Verwendung des Dummy-Protokolls werden bei Ereignissen lediglich Loggnachrichten ausgegeben. Es werden aber keine weiteren Aktionen ausgeführt.

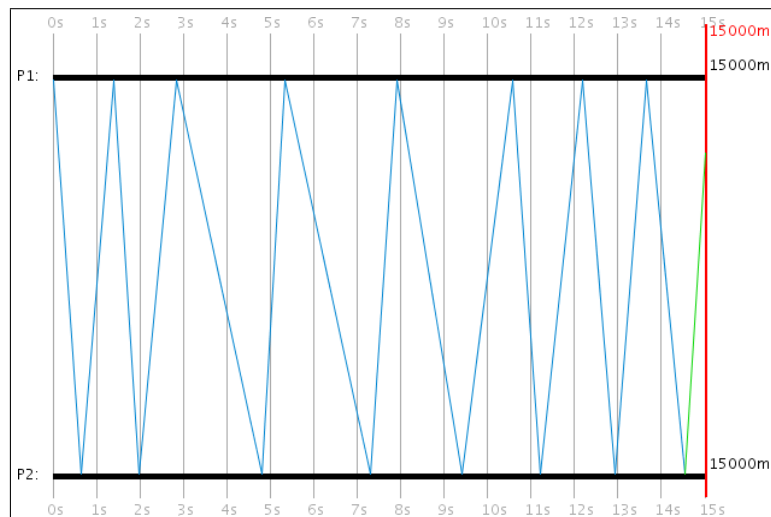


Abbildung 2.15.: Das Ping-Pong Protokoll

Zeit (ms)	PID	Ereignis
0	1	Ping Pong Client aktivieren
0	2	Ping Pong Server aktivieren
0	1	Ping Pong Clientanfrage starten

Tabelle 2.4.: Programmierte Ping-Pong Ereignisse

2.5.2. Das Ping-Pong Protokoll

Bei dem Ping-Pong Protokoll (Abbildung 2.15) werden zwischen zwei Prozessen, Client P1 und Server P2, ständig Nachrichten hin- und hergeschickt. Der Ping-Pong Client startet die erste Anfrage, worauf der Server dem Client antwortet. Auf diese Antwort wird vom Client ebenfalls geantwortet und so weiter. Jeder Nachricht wird ein Zähler mitgeschickt, der bei jeder Station um eins inkrementiert- und jeweils im Loggfenster protokolliert wird. In Tabelle 2.4 sind alle für dieses Beispiel programmierten Ereignisse aufgeführt. Wichtig ist, dass Prozess 1 seinen Ping-Pong Client aktiviert, bevor er eine Ping-Pong Clientanfrage startet! Wenn die Eintrittszeiten für die Aktivierung des Protokolls und das Starten der Anfrage identisch sind, so ordnet der Task-Manager (mehr dazu später) diese Ereignisse automatisch in der richtigen Reihenfolge an. Wenn der Ping-Pong Client nicht aktiviert werden würde, dann könnte P1 auch keine Ping-Pong Anfrage starten. Bevor ein Prozess eine Anfrage starten kann, muss er das dazugehörige Protokoll unterstützen beziehungsweise aktiviert haben. Dies gilt natürlich für alle anderen Protokolle analog. Anhand diesem Beispiel ist erkennbar, dass die noch nicht ausgelieferte Nachrichten grün eingefärbt ist. Alle ausgelieferten Nachrichten tragen bereits die Farbe Blau.

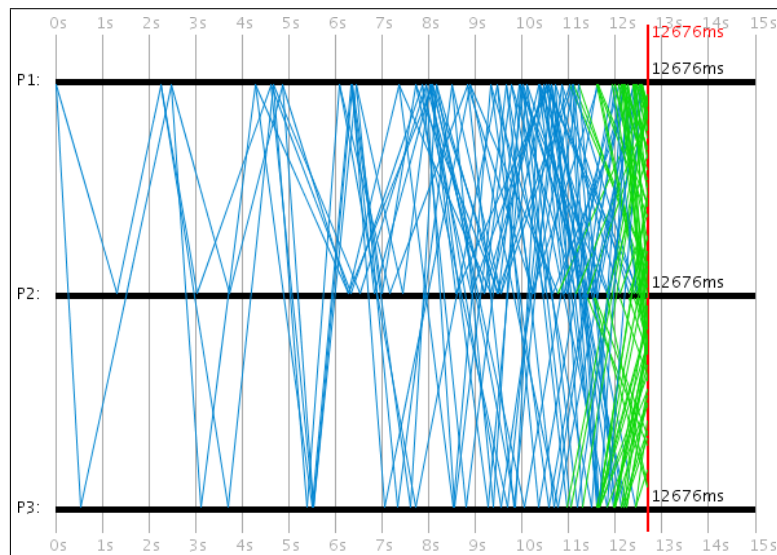


Abbildung 2.16.: Das Ping-Pong Protokoll (Sturm)

Zeit (ms)	PID	Ereignis
0	1	Ping Pong Client aktivieren
0	2	Ping Pong Server aktivieren
0	3	Ping Pong Server aktivieren
0	1	Ping Pong Clientanfrage starten

Tabelle 2.5.: Programmierte Ping-Pong Ereignisse (Sturm)

Werden die Ereignisse wie in Tabelle 2.5 abgeändert, so lässt sich ein Ping-Pong Sturm realisieren. Dort wurde ein neuer Prozess 3 eingeführt, der als zusätzlicher Ping-Pong Server agiert. Da auf jede Clientnachricht stets zwei Serverantworten folgen, verdoppelt sich bei jedem Ping-Pong Durchgang die Anzahl der kursierenden Nachrichten. Auf Abbildung 2.16 ist der dazugehörige Simulationsverlauf bis zum Zeitpunkt 12.676ms dargestellt.

2.5.3. Das Broadcast Protokoll

Das Broadcast Protokoll verhält sich ähnlich wie das Ping-Pong Protokoll. Der Unterschied besteht darin, dass sich das Protokoll anhand einer eindeutigen Broadcast-ID merkt, welche Nachrichten bereits verschickt wurden. Das Broadcast Protokoll (server- und clientseitig) verschickt alle erhaltenen Nachrichten, sofern sie vom jeweiligen Prozess noch nicht schon einmal verschickt wurden, erneut. Der Server und der Client unterscheiden sich in diesem Fall nicht und führen bei Ankunft einer Nachricht jeweils die selben Aktionen durch. Somit lässt

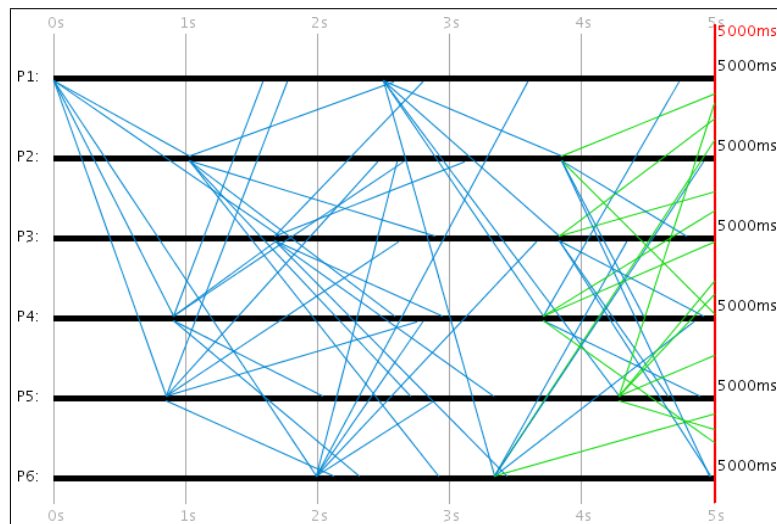


Abbildung 2.17.: Das Broadcast Protokoll

sich, unter Verwendung mehrerer Prozesse (hier 6), wie auf Abbildung 2.17, ein Broadcast erzeugen. P1 ist der Client und startet je eine Anfrage nach 0ms und 2500ms. Die Simulationsdauer beträgt hier genau 5000ms. Da ein Client nur Servernachrichten und ein Server nur Clientnachrichten empfangen kann, ist in dieser Simulation jeder Prozess, wie in Tabelle 2.6 angegeben, gleichzeitig Server und Client.

2.5.4. Das Protokoll zur internen Synchronisierung in einem synchronen System

Bisher wurden nur Protokolle vorgeführt, in denen die beteiligten Prozesse keine Uhrabweichung eingestellt hatten. Das Protokoll zur internen Synchronisierung ist ein Protokoll zur Synchronisierung der lokalen Prozesszeit, welches beispielsweise angewendet werden kann, wenn eine Prozesszeit aufgrund einer Uhrabweichung falsch geht. Wenn der Client seine falsche lokale Zeit t_c mit einem Server synchronisieren möchte, so schickt er ihm eine Clientanfrage. Der Server schickt als Antwort seine eigene lokale Prozesszeit t_s zurück, womit der Client seine neue und genauere Prozesszeit berechnen kann. Wie genau die neue Prozesszeit berechnet wird, wird im Folgenden beschrieben.

Hier (Abbildung 2.18) stellt P1 den Client und P2 den Server dar. Da die Übertragungszeit t_u einer Nachricht angenommen zwischen t'_{min} und t'_{max} liegt, setzt der Client P1 nach Empfang der Serverantwort seine lokale Prozesszeit auf

Zeit (ms)	PID	Ereignis
0000	1	Broadcast Client aktivieren
0000	2	Broadcast Client aktivieren
0000	3	Broadcast Client aktivieren
0000	4	Broadcast Client aktivieren
0000	5	Broadcast Client aktivieren
0000	6	Broadcast Client aktivieren
0000	1	Broadcast Server aktivieren
0000	2	Broadcast Server aktivieren
0000	3	Broadcast Server aktivieren
0000	4	Broadcast Server aktivieren
0000	5	Broadcast Server aktivieren
0000	6	Broadcast Server aktivieren
0000	1	Broadcast Clientanfrage starten
2500	1	Broadcast Clientanfrage starten

Tabelle 2.6.: Programmierte Broadcast Ereignisse

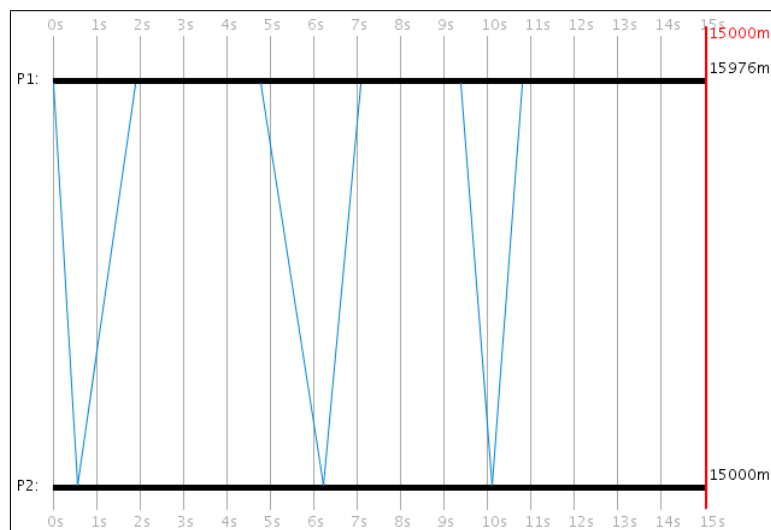


Abbildung 2.18.: Das Protokoll zur internen Synchronisierung

Zeit (ms)	PID	Ereignis
00000	1	Interne Sync. Client aktivieren
00000	2	Interne Sync. Server aktivieren
00000	1	Interne Sync. Clientanfrage starten
05000	1	Interne Sync. Clientanfrage starten
10000	1	Interne Sync. Clientanfrage starten

Tabelle 2.7.: Programmierte Ereignisse zur internen Synchronisierung

$$t_c := t_s + \frac{1}{2}(t'_{min} + t'_{max})$$

Somit wurde die lokale Zeit von P1, bis auf einen Fehler von $< \frac{1}{2}(t'_{max} - t'_{min})$, synchronisiert.

Der Clientprozess hat in der Abbildung 2.18 als Uhrabweichung den Wert 0.1 und der Server hat als Uhrabweichung den Wert 0.0 konfiguriert. Der Client startet, wie in Tabelle 2.7 angegeben, nach 0ms, 5000ms und 10000ms seiner lokalen Prozesszeit jeweils eine Clientanfrage. In der Abbildung lässt sich erkennen, dass die 2. und die 3. Anfrage nicht synchron zu der globalen Zeit (siehe Sekunden-Gatter) gestartet werden, was auf die Uhrabweichung von P1 zurückzuführen ist. Nach Simulationsende ist die Zeit von P1 bis auf 15000ms - 15976ms = -976ms synchronisiert.

Protokollvariablen

Dieses Protokoll verwendet folgende zwei clientseitige Variablen, die in den Prozesseinstellungen unter dem Punkt "Interne Sync. Client" konfiguriert werden können. Serverseitig gibt es hier keine Variablen.

- **Min. Übertragungszeit** (Long: 500): Gibt den Wert t'_{min} in Millisekunden an
- **Max. Übertragungszeit** (Long: 2000): Gibt den Wert t'_{max} in Millisekunden an

t'_{min} und t'_{max} sind die bei den Protokollberechnungen verwendeten Werte. Sie können sich allerdings von den tatsächlichen Nachrichtenübertragungszeiten t_{min} und t_{max} (siehe Sektion über Prozesseinstellungen) unterscheiden. Somit lassen sich auch Szenarien simulieren, in denen das Protokoll falsch eingestellt wurde und wo in der Zeitsynchronisierung größere Fehler auftreten können.

2.5.5. Christians Methode zur externen Synchronisierung

Ein weiteres Protokoll für die Synchronisierung von Uhrzeiten funktioniert nach der Christians Methode zur externen Synchronisierung. Die Christians Methode benutzt die RTT (Round Trip Time) t_{rtt} , um die Übertragungszeiten von einzelnen Nachrichten zu approximieren.

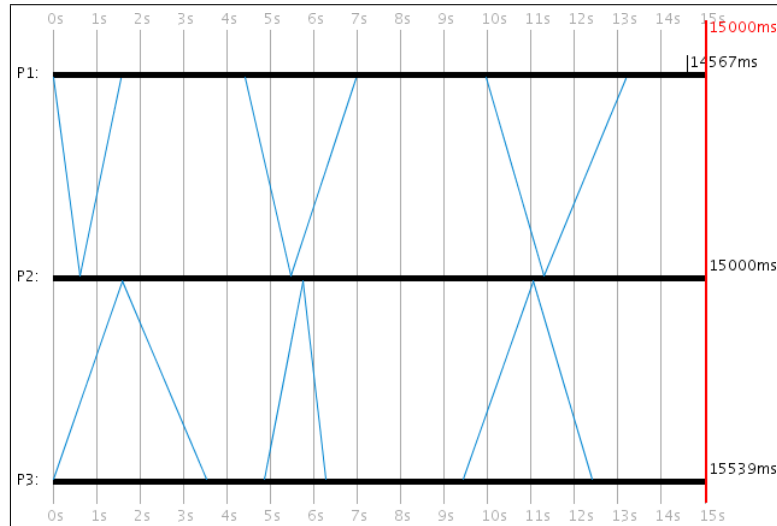


Abbildung 2.19.: Interne Synchronisierung und Christians Methode im Vergleich

Wenn der Client seine lokale Zeit t_c bei einem Server synchronisieren möchte, so verschickt er eine Anfrage, und misst dabei bis zur Ankunft der Serverantwort die dazugehörige RTT t_{rtt} . Die Serverantwort beinhaltet die lokale Prozesszeit t_s vom Server von dem Zeitpunkt, als der Server die Antwort verschickte. Der Client setzt dann seine lokale Zeit neu auf:

$$t_c := t_s + \frac{1}{2}t_{rtt}$$

und zwar mit einer Genauigkeit von $\pm(\frac{1}{2}t_{rtt} - u_{min})$ wenn u_{min} eine Schranke für eine Nachrichtenübertragung mit $t_{rtt} < u_{min}$ ist (siehe [OBm07]).

Im Prinzip sieht eine Christians-Simulation so aus wie auf Abbildung 2.18, daher wird hier auf eine einfache Abbildung vom Christians-Protokoll verzichtet. Viel Interessanter ist der direkte Vergleich zwischen dem Protokoll zur internen Synchronisierung und der Christians Methode der externen Synchronisierung (Abbildung 2.19). Hier stellt P1 den Client zur internen Synchronisierung und P3 den Client zur externen Synchronisierung dar. P2 fungiert für beide Protokolle gleichzeitig als Server. P1 und P3 starten jeweils zu den lokalen Prozesszeiten 0ms, 5000ms und 10000ms eine Clientanfrage (Tabelle 2.8). P1 und P3 haben als Uhrabweichung 0.1 eingestellt und die Simulationsdauer beträgt insgesamt 15000ms.

Auf der Abbildung 2.19 ist ablesbar, dass nach Ablauf der Simulation P1 seine Zeit bis auf $15000\text{ms} - 14567\text{ms} = 433\text{ms}$ und P3 seine Zeit bis auf $15000\text{ms} - 15539\text{ms} = -539\text{ms}$ synchronisiert hat. In diesem Beispiel hat also das Protokoll zur internen Synchronisierung

Zeit (ms)	PID	Ereignis
00000	1	Interne Sync. Client aktivieren
00000	1	Interne Sync. Clientanfrage starten
00000	2	Christians Server aktivieren
00000	2	Interne Sync. Server aktivieren
00000	3	Christians Client aktivieren
00000	3	Christians Clientanfrage starten
05000	1	Interne Sync. Clientanfrage starten
05000	3	Christians Clientanfrage starten
10000	1	Interne Sync. Clientanfrage starten
10000	3	Christians Clientanfrage starten

Tabelle 2.8.: Programmierte Ereignisse, Vergleich interne und externe Synchronisierung

ein besseres Ergebnis geliefert. Dies ist allerdings nicht zwingend immer der Fall, da nach einer erneuten Ausführung alle Nachrichten jeweils eine neue zufällige Übertragungszeit zwischen t_{min} und t_{max} haben werden, die auf das eine oder andere Protokoll wieder andere Auswirkungen haben können.

2.5.6. Der Berkeley Algorithmus zur internen Synchronisierung

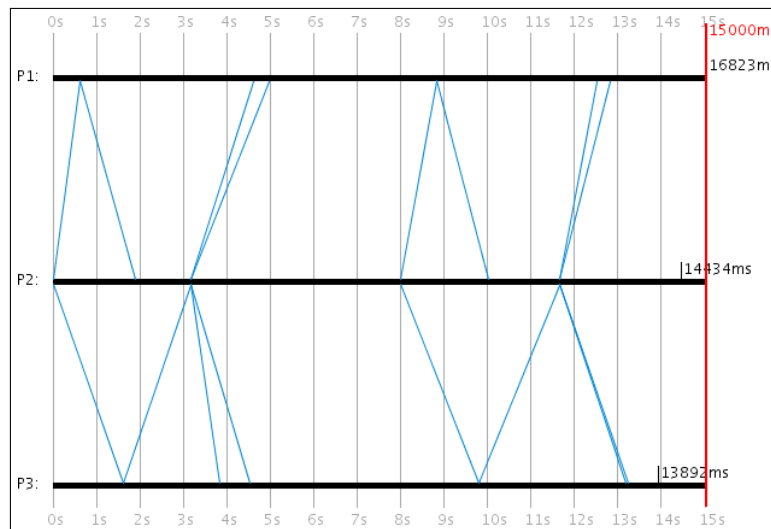


Abbildung 2.20.: Der Berkeley Algorithmus zur internen Synchronisierung

Der Berkeley Algorithmus zur internen Synchronisierung ist eine weitere Möglichkeit lokale Uhrzeiten abzugleichen. Dies ist das erste Protokoll, wo der Server die initiale Anfrage startet. Der Server stellt den Koordinator des Protokolls dar. Die Clients sind somit passiv

Zeit (ms)	PID	Ereignis
0000	1	Berkeley Client aktivieren
0000	2	Berkeley Server aktivieren
0000	3	Berkeley Client aktivieren
0000	2	Berkeley Serveranfrage starten
7500	2	Berkeley Serveranfrage starten

Tabelle 2.9.: Programmierte Ereignisse zum Berkeley Algorithmus

und müssen warten, bis eine Serveranfrage eintrifft. Hierbei muss der Server wissen, welche Clientprozesse an dem Protokoll teilnehmen, was sich in den Protokolleinstellungen des Servers einstellen lässt.

Wenn der Server seine eigene lokale Zeit t_s und auch die lokalen Prozesszeiten t_i der Clients ($i = 1, \dots, n$) synchronisieren möchte, so verschickt er eine Serveranfrage. n sei hierbei die Anzahl beteiligter Clients. Die Clients senden dann ihre lokalen Prozesszeiten in einer Nachricht zurück zum Server. Der Server hat dabei die RTTs r_i bis zur Ankunft aller Clientantworten gemessen.

Nachdem alle Antworten vorliegen, setzt er zunächst seine eigene Zeit t_s auf den Mittelwert t_{avg} aller bekannten Prozesszeiten (seiner eigenen Prozesszeit eingeschlossen). Die Übertragungszeit einer Clientantwort wird auf die Hälfte der RTT geschätzt und wird in der Berechnung berücksichtigt:

$$t_{avg} := \frac{1}{n+1} \left(t_s + \sum_{i=1}^n \frac{r_i}{2} + t_i \right)$$

$$t_s := t_{avg}$$

Anschließend berechnet der Server für jeden Client einen Korrekturwert $k_i := t_{avg} - t_i$, den er jeweils in einer separaten Nachricht zurückschickt. Die Clients setzen dann jeweils die lokale Prozesszeit auf $t'_i := t_i + k_i$. Hierbei stellt t'_i die derzeit aktuelle Prozesszeit des jeweiligen Clients dar. Denn bis zum Eintreffen des Korrekturwertes ist inzwischen wieder neue Zeit verstrichen.

Im Beispiel auf Abbildung 2.20 gibt es die 2 Clientprozesse P1 und P3 sowie den Serverprozess P2. Der Server startet nach jeweils 0ms und 7500ms eine Synchronisierungsanfrage (Tabelle 2.9). Hier fällt auf, dass der Server stets 2 Korrekturwerte verschickt, die jeweils P1 und P3 erreichen. Es werden hier also pro Synchronisierungsvorgang insgesamt 4 Korrekturwerte ausgeliefert. Eine Korrekturnachricht enthält neben dem Korrekturwert k_i auch die PID

des Prozesses, für den die Nachricht bestimmt ist. Indem das Protokoll die PID überprüft verarbeitet ein Client so nur die für ihn bestimmten Korrekturwerte.

Protokollvariablen

Dieses Protokoll verwendet folgende serverseitige Variable, die in den Prozesseinstellungen unter dem Punkt "Berkeley Server" konfiguriert werden kann. Clientseitig gibt es hier keine Variablen.

- **PIDs beteiligter Prozesse** (*Integer[]: [1,3]*): Dieser Vektor aus Integerwerten beinhaltet alle PIDs der Berkeley Clientprozesse, mit denen der Berkeley Server die Zeit synchronisieren soll. Das Protokoll funktioniert nicht wenn hier eine PID angegeben wird die gar nicht existiert oder nicht das Berkeley Protokoll clientseitig unterstützt. In diesem Fall würde ewig auf eine fehlende Clientantwort gewartet werden.

2.5.7. Das Ein-Phasen Commit Protokoll

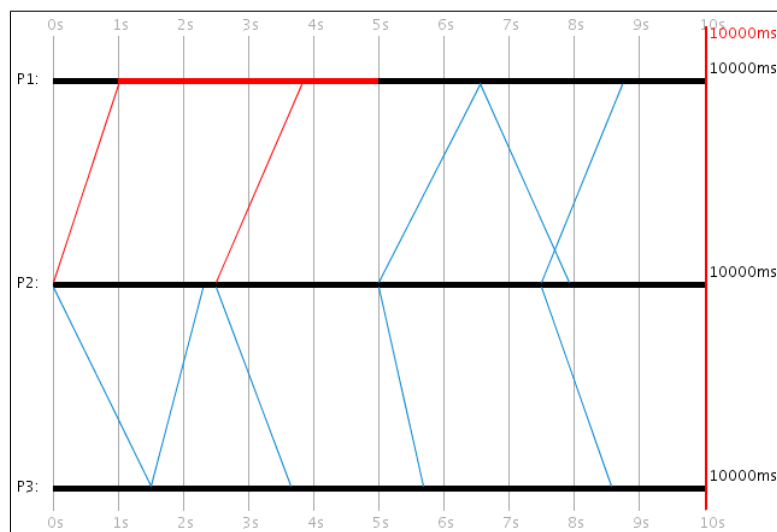


Abbildung 2.21.: Das Ein-Phasen Commit Protokoll

Das Ein-Phasen Commit Protokoll ist dafür gedacht beliebig vielen Clients zu einer Festschreibung zu bewegen. Im realen Leben könnte dies beispielsweise das Erstellen oder Löschen einer Datei sein, von der auf jedem Client eine lokale Kopie existiert. Der Server ist der Koordinator und auch derjenige, der einen Festschreibewunsch initiiert. Hierbei verschickt der Server periodisch so oft den Festschreibewunsch, bis er von jedem Client eine

Zeit (ms)	PID	Ereignis
0000	1	1-Phasen Commit Client aktivieren
0000	2	1-Phasen Commit Server aktivieren
0000	3	1-Phasen Commit Client aktivieren
0000	2	1-Phasen Commit Serveranfrage starten
1000	1	Prozessabsturz
5000	1	Prozesswiederbelebung

Tabelle 2.10.: Programmierte Ein-Phasen Commit Ereignisse

Bestätigung erhalten hat. Der Server muss dabei die PIDs aller beteiligten Clientprozesse sowie einen Wecker für erneutes Versenden des Festschreibewunsches eingestellt bekommen.

Die programmierten Ereignisse des Beispiels auf Abbildung 2.21 sind in Tabelle 2.10 aufgelistet. P1 und P3 simulieren jeweils einen Client und P2 den Server. Damit die Simulation mehrere Festschreibewünsche verschickt, stürzt in der Simulation P1 nach 1000ms ab und nach 5000ms steht er wieder zur Verfügung. Die ersten beide Festschreibewünsche erreichen dadurch P1 nicht und erst der dritte Versuch verläuft erfolgreich. Bevor die Bestätigung von P1 bei P2 eintrifft, läuft jedoch der Wecker erneut ab, so dass ein weiterer Festschreibewunsch verschickt wird. Da P1 und P3 jeweils schon eine Bestätigung verschickt haben, wird diese Festschreibewunschnachricht ignoriert. Jeder Client bestätigt auf einen Festschreibewunsch nur ein einziges Mal.

Protokollvariablen

Dieses Protokoll verwendet folgende serverseitige Variablen, die in den Prozesseinstellungen unter dem Punkt “1-Phasen Commit Server” konfiguriert werden können. Clientseitig gibt es hier keine Variablen.

- **Zeit bis erneute Anfrage** (*Long: 2500*): Gibt die Anzahl von Millisekunden an, die gewartet werden sollen, bis der Festschreibewunsch erneut verschickt wird.
- **PIDs beteiligter Prozesse** (*Integer[]: [1,3]*): Dieser Vektor aus Integerwerten beinhaltet alle PIDs der Clientprozesse, die festschreiben sollen.

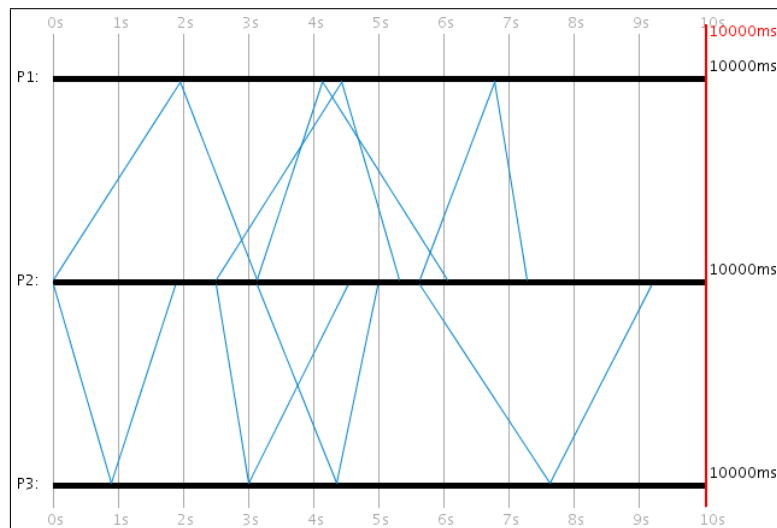


Abbildung 2.22.: Das Zwei-Phasen Commit Protokoll

Zeit (ms)	PID	Ereignis
0000	1	2-Phasen Commit Client aktivieren
0000	2	2-Phasen Commit Server aktivieren
0000	3	2-Phasen Commit Client aktivieren
0000	2	2-Phasen Commit Serveranfrage starten

Tabelle 2.11.: Programmierte Zwei-Phasen Commit Ereignisse

2.5.8. Das Zwei-Phasen Commit Protokoll

Das Zwei-Phasen Commit Protokoll ist eine Erweiterung des Ein-Phasen Commit Protokolls. Der Server startet zunächst eine Anfrage an alle beteiligten Clients, ob festgeschrieben werden soll. Jeder Client antwortet dann mit `true` oder `false`. Der Server fragt so oft periodisch nach, bis alle Ergebnisse aller Clients vorliegen. Nach Erhalt aller Abstimmungen überprüft der Server, ob alle mit `true` abgestimmt haben. Für den Fall dass mindestens ein Client mit `false` abgestimmt hat, wird der Festschreibevorgang abgebrochen und als globales Abstimmungsergebnis `false` verschickt. Wenn jedoch alle mit `true` abstimmten, soll festgeschrieben werden. Dabei wird das globale Abstimmungsergebnis `true` verschickt. Das globale Abstimmungsergebnis wird periodisch so oft erneut verschickt, bis von jedem Client eine Bestätigung des Erhalts vorliegt.

In dem Beispiel (Abbildung 2.22) sind P1 und P3 Clients und P2 der Server. Der Server verschickt nach `0ms` seine initiale Anfrage (Tabelle 2.11). Da diese Simulation recht unübersichtlich ist, liegen in den Tabellen 2.12 und 2.13 Auszüge aus dem Loggfenster vor.

Auf die Lamport- und Vektorzeitstempel sowie die lokalen Prozesszeiten wurde hier wegen Irrelevanz verzichtet. Da keine Uhrabweichungen konfiguriert wurden, sind die lokalen Prozesszeiten stets gleich der globalen Zeit und deswegen wird hier pro Loggeintrag jeweils nur eine Zeit angegeben. Anhand der Nachrichten IDs lassen sich dort die einzelnen Sendungen zuordnen. In den Loggs wird auch ständig der Inhalt der verschickten Nachricht sowie die dazugehörigen Datentypen aufgeführt. Hier stimmen P1 und P3 jeweils mit `true`, d.h. es soll festgeschrieben werden, ab.

Protokollvariablen

Dieses Protokoll verwendet folgende serverseitige Variablen, die in den Prozesseinstellungen unter dem Punkt “2-Phasen Commit Server” konfiguriert werden können:

- **Zeit bis erneute Anfrage** (*Long: 2500*): Gibt die Anzahl von Millisekunden an, die gewartet werden sollen, bis der Festschreibewunsch erneut verschickt wird.
- **PIDs beteiligter Prozesse** (*Integer[]: [1,3]*): Dieser Vektor aus Integerwerten beinhaltet alle PIDs der Clientprozesse, die über eine Festschreibung abstimmen, und anschließend gegebenenfalls festschreiben sollen.

Und folgende Clientvariable kann unter den Prozesseinstellungen unter dem Punkt “2-Phasen Commit Client” konfiguriert werden:

- **Festschreibewahrscheinlichkeit** (*Integer: 50*): Gibt die Wahrscheinlichkeit in Prozent an, die der Client mit `true`, also für das Festschreiben, abstimmt.

2.5.9. Der ungenügende (Basic) Multicast

Das Basic-Multicast Protokoll ist sehr einfach aufgebaut. Im Beispiel auf Abbildung 2.23 sind P1 und P3 Server und P2 der Client. Bei diesem Protokoll startet der Client immer die Anfrage, welche bei diesem Protokoll eine einfache Multicast-Nachricht darstellen soll. Die Basic-Multicast Server dienen lediglich für den Empfang einer Nachricht. Es werden keine Bestätigungen verschickt. Wie in Tabelle 2.14 aufgeführt verschickt P2 alle 2500ms jeweils eine Multicast-Nachricht, die alle voneinander völlig unabhängig sind.

P1 kann jedoch erst nach 2500ms Multicast-Nachrichten empfangen, da er vorher das Protokoll nicht unterstützt während P3 von 3000ms bis 6000ms abgestürzt ist und in dieser

Zeit (ms)	PID	Loggnachricht
000000		Simulation gestartet
000000	1	2-Phasen Commit Client aktiviert
000000	2	2-Phasen Commit Server aktiviert
000000	2	Nachricht versendet; ID: 94; Protokoll: 2-Phasen Commit Boolean: wantVote=true
000000	3	2-Phasen Commit Client aktiviert
000905	3	Nachricht erhalten; ID: 94; Protokoll: 2-Phasen Commit
000905	3	Nachricht versendet; ID: 95; Protokoll: 2-Phasen Commit Integer: pid=3; Boolean: isVote=true; vote=true
000905	3	Abstimmung true versendet
001880	2	Nachricht erhalten; ID: 95; Protokoll: 2-Phasen Commit
001880	2	Abstimmung von Prozess 3 erhalten! Ergebnis: true
001947	1	Nachricht erhalten; ID: 94; Protokoll: 2-Phasen Commit
001947	1	Nachricht versendet; ID: 96; Protokoll: 2-Phasen Commit Integer: pid=1; Boolean: isVote=true; vote=true
001947	1	Abstimmung true versendet
002500	2	Nachricht versendet; ID: 97; Protokoll: 2-Phasen Commit Boolean: wantVote=true
003006	3	Nachricht erhalten; ID: 97; Protokoll: 2-Phasen Commit
003006	3	Nachricht versendet; ID: 98; Protokoll: 2-Phasen Commit Integer: pid=3; Boolean: isVote=true; vote=true
003006	3	Abstimmung true versendet
003137	2	Nachricht erhalten; ID: 96; Protokoll: 2-Phasen Commit
003137	2	Abstimmung von Prozess 1 erhalten! Ergebnis: true
003137	2	Abstimmungen von allen beteiligten Prozessen erhalten! Globales Ergebnis: true
003137	2	Nachricht versendet; ID: 99; Protokoll: 2-Phasen Commit Boolean: isVoteResult=true; voteResult=true
004124	1	Nachricht erhalten; ID: 99; Protokoll: 2-Phasen Commit
004124	1	Globales Abstimmungsergebnis erhalten. Ergebnis: true
004124	1	Nachricht versendet; ID: 100; Protokoll: 2-Phasen Commit Integer: pid=1; Boolean: isAck=true
004354	3	Nachricht erhalten; ID: 99; Protokoll: 2-Phasen Commit
004354	3	Globales Abstimmungsergebnis erhalten. Ergebnis: true
004354	3	Nachricht versendet; ID: 101; Protokoll: 2-Phasen Commit Integer: pid=3; Boolean: isAck=true
004434	1	Nachricht erhalten; ID: 97; Protokoll: 2-Phasen Commit
004434	1	Nachricht versendet; ID: 102; Protokoll: 2-Phasen Commit Integer: pid=1; Boolean: isVote=true; vote=true

Tabelle 2.12.: Auszug aus der Loggausgabe des Zwei-Phasen Commit Beispiels

Zeit (ms)	PID	Loggnachricht
004434	1	Abstimmung true versendet
004527	2	Nachricht erhalten; ID: 98; Protokoll: 2-Phasen Commit
004975	2	Nachricht erhalten; ID: 101; Protokoll: 2-Phasen Commit
005311	2	Nachricht erhalten; ID: 102; Protokoll: 2-Phasen Commit
005637	2	Nachricht versendet; ID: 103; Protokoll: 2-Phasen Commit Boolean: isVoteResult=true; voteResult=true
006051	2	Nachricht erhalten; ID: 100; Protokoll: 2-Phasen Commit
006051	2	Alle Teilnehmer haben die Abstimmung erhalten
006766	1	Nachricht erhalten; ID: 103; Protokoll: 2-Phasen Commit
006766	1	Globales Abstimmungsergebnis erhalten. Ergebnis: true
006766	1	Nachricht versendet; ID: 104; Protokoll: 2-Phasen Commit Integer: pid=1; Boolean: isAck=true
007279	2	Nachricht erhalten; ID: 104; Protokoll: 2-Phasen Commit
007618	3	Nachricht erhalten; ID: 103; Protokoll: 2-Phasen Commit
007618	3	Globales Abstimmungsergebnis erhalten. Ergebnis: true
007618	3	Nachricht versendet; ID: 105; Protokoll: 2-Phasen Commit Integer: pid=3; Boolean: isAck=true
009170	2	Nachricht erhalten; ID: 105; Protokoll: 2-Phasen Commit
010000		Simulation beendet

Tabelle 2.13.: Auszug aus der Loggausgabe des Zwei-Phasen Commit Beispiels (2)

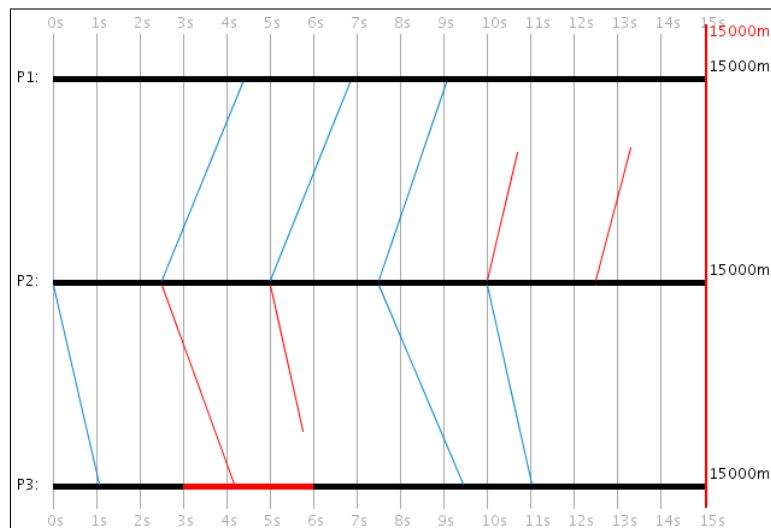


Abbildung 2.23.: Das Basic-Multicast Protokoll

Zeit (ms)	PID	Ereignis
00000	2	Basic Multicast Client aktivieren
00000	3	Basic Multicast Server aktivieren
00000	2	Basic Multicast Clientanfrage starten
02500	1	Basic Multicast Server aktivieren
02500	2	Basic Multicast Clientanfrage starten
03000	3	Prozessabsturz
05000	2	Basic Multicast Clientanfrage starten
06000	3	Prozesswiederbelebung
07500	2	Basic Multicast Clientanfrage starten
10000	2	Basic Multicast Clientanfrage starten
12500	2	Basic Multicast Clientanfrage starten

Tabelle 2.14.: Programmierte Basic-Multicast Ereignisse

Zeit auch keine Nachrichten empfangen kann. Je nach Interpretation könnte P1 einen Server simulieren, der erst später ans Netz angeschlossen wird. Da die Einstellung “Nur relevante Nachrichten anzeigen” aktiviert ist, wird die erste Multicast-Nachricht von P2 an P1 nicht dargestellt. Bei jedem Prozess wurde die Nachrichtenverlustwahrscheinlichkeit auf 30 Prozent gestellt, weswegen alle in dieser Simulation verschickten Nachrichten mit einer Wahrscheinlichkeit von 30 Prozent ausfallen.

In diesem Beispiel ging die 3. Multicast-Nachricht auf den Weg zu P3- und die 5. sowie 6. Nachricht auf den Weg zu P1 verloren. Lediglich die 4. Multicast-Nachricht hat alle beiden Ziele aufeinmal erreicht.

2.5.10. Der zuverlässige (Reliable) Multicast

Bei dem zuverlässigen (Reliable) Multicast verschickt der Client so oft periodisch seine Multicast-Nachricht erneut, bis er von allen beteiligten Servern eine Bestätigung erhalten hat. Nach jedem erneuten Versuch vergisst der Client, von welchen Servern er bereits eine Bestätigung erhalten hat, womit jeder erneuter Versuch von allen Teilnehmern aufs Neue bestätigt werden muss. In dem Beispiel (Abbildung 2.24, Tabelle 2.15, sowie den Loggs in den Tabellen 2.16 und 2.17) ist P2 der Multicast-verschickende Client, während P1 und P3 die Server darstellen. Bei 0ms initiiert der Client seine Multicast-Nachricht. Die Nachrichtenverlustwahrscheinlichkeiten sind bei allen Prozessen auf 30 Prozent eingestellt.

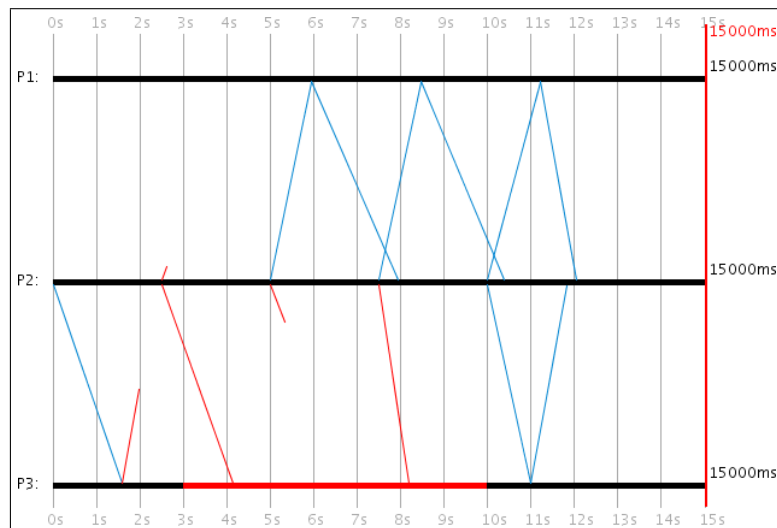


Abbildung 2.24.: Das Reliable-Multicast Protokoll

In diesem Beispiel benötigt der Client bis zur erfolgreichen Auslieferung des zuverlässigen Multicasts genau 5 Versuche:

1. Versuch:

- P1 unterstützt das Reliable-Multicast Protokoll noch nicht, und kann somit weder Multicast-Nachricht erhalten noch eine Bestätigung verschicken.
- P3 empfängt die Multicast-Nachricht, jedoch geht seine Bestätigungsnachricht verloren.

2. Versuch:

- P1: Die Multicast-Nachricht geht unterwegs zu P1 verloren.
- P3: Die Multicast-Nachricht erreicht P3, aber P3 ist abgestürzt und kann somit keine Nachricht verarbeiten.

3. Versuch:

- P1 empfängt die Multicast-Nachricht und seine Bestätigung kommt wie geplant bei P2 an.
- P3: Die Multicast-Nachricht geht unterwegs zu P3 verloren.

4. Versuch:

- P1 empfängt die Multicast-Nachricht und seine Bestätigung kommt wie geplant bei P2 an.

Zeit (ms)	PID	Ereignis
00000	3	Reliable Multicast Server aktivieren
00000	2	Reliable Multicast Client aktivieren
00000	2	Reliable Multicast Clientanfrage starten
02500	1	Reliable Multicast Server aktivieren
03000	3	Prozessabsturz
10000	3	Prozesswiederbelebung

Tabelle 2.15.: Programmierte Reliable-Multicast Ereignisse

- P3: Die Multicast-Nachricht erreicht P3, aber P3 ist abgestürzt und kann somit keine Nachricht verarbeiten.

5. Versuch:

- P1 empfängt die Multicast-Nachricht und seine Bestätigung kommt wie geplant bei P2 an.
- P3 empfängt die Multicast-Nachricht und seine Bestätigung kommt wie geplant bei P2 an.

Protokollvariablen

Dieses Protokoll verwendet folgende serverseitige Variablen, die in den Prozesseinstellungen unter dem Punkt "Reliable Multicast Server" konfiguriert werden können:

- **Zeit bis erneute Anfrage** (*Long: 2500*): Gibt die Anzahl von Millisekunden an, die gewartet werden sollen, bis der Muticast erneut verschickt wird.
- **PIDs beteiligter Prozesse** (*Integer[]: [1,3]*): Dieser Vektor aus Integerwerten beinhaltet alle PIDs der Serverprozesse, die die Multicast-Nachricht erhalten sollen.

2.6. Weitere Beispiele

Bisher wurden alle verfügbaren Protokolle anhand von Beispielen aufgeführt. Mit dem Simulator lassen sich allerdings noch viel mehr Szenarien simulieren. Daher soll hier auf weitere Anwendungsbeispiele eingegangen werden.

Zeit (ms)	PID	Loggnachricht
000000		Simulation gestartet
000000	2	Reliable Multicast Client aktiviert
000000	2	Nachricht versendet; ID: 280; Protokoll: Reliable Multicast; Boolean: isMulticast=true
000000	3	Reliable Multicast Server aktiviert
001590	3	Nachricht erhalten; ID: 280; Protokoll: Reliable Multicast
001590	3	Nachricht versendet; ID: 281; Protokoll: Reliable Multicast Integer: pid=3; Boolean: isAck=true
001590	3	ACK versendet
002500	1	Reliable Multicast Server aktiviert
002500	2	Nachricht versendet; ID: 282; Protokoll: Reliable Multicast Boolean: isMulticast=true
003000	3	Abgestürzt
005000	2	Nachricht versendet; ID: 283; Protokoll: Reliable Multicast Boolean: isMulticast=true
005952	1	Nachricht erhalten; ID: 283; Protokoll: Reliable Multicast
005952	1	Nachricht versendet; ID: 284; Protokoll: Reliable Multicast Integer: pid=1; Boolean: isAck=true
005952	1	ACK versendet
007500	2	Nachricht versendet; ID: 285; Protokoll: Reliable Multicast Boolean: isMulticast=true
007937	2	Nachricht erhalten; ID: 284; Protokoll: Reliable Multicast
007937	2	ACK von Prozess 1 erhalten!
008469	1	Nachricht erhalten; ID: 285; Protokoll: Reliable Multicast
008469	1	Nachricht versendet; ID: 286; Protokoll: Reliable Multicast Integer: pid=1; Boolean: isAck=true
008469	1	ACK erneut versendet
010000	2	Nachricht versendet; ID: 287; Protokoll: Reliable Multicast Boolean: isMulticast=true
010000	3	Wiederbelebt
010395	2	Nachricht erhalten; ID: 286; Protokoll: Reliable Multicast
010995	3	Nachricht erhalten; ID: 287; Protokoll: Reliable Multicast
010995	3	Nachricht versendet; ID: 288; Protokoll: Reliable Multicast Integer: pid=3; Boolean: isAck=true
010995	3	ACK erneut versendet
011213	1	Nachricht erhalten; ID: 287; Protokoll: Reliable Multicast
011213	1	Nachricht versendet; ID: 289; Protokoll: Reliable Multicast Integer: pid=1; Boolean: isAck=true

Tabelle 2.16.: Auszug aus der Loggausgabe des Reliable-Multicast Beispiels

Zeit (ms)	PID	Loggnachricht
011213	1	ACK erneut versendet
011813	2	Nachricht erhalten; ID: 288; Protokoll: Reliable Multicast
011813	2	ACK von Prozess 3 erhalten!
011813	2	ACKs von allen beteiligten Prozessen erhalten!
012047	2	Nachricht erhalten; ID: 289; Protokoll: Reliable Multicast
015000		Simulation beendet

Tabelle 2.17.: Auszug aus der Loggausgabe des Reliable-Multicast Beispiels (2)

2.6.1. Vektor- und Lamportzeitstempel

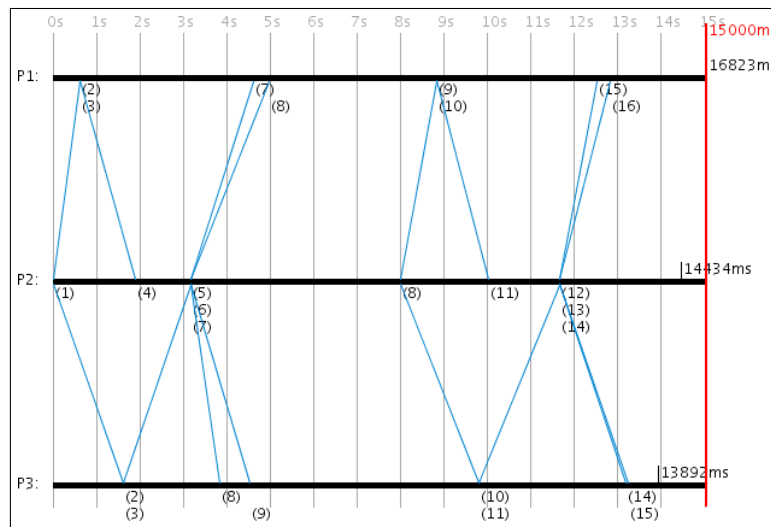


Abbildung 2.25.: Lamportzeitstempel

Die Vektor- und Lamportzeitstempel lassen sich sehr gut am bereits behandeltem Beispiel des Berkeley-Protokoll's demonstrieren. Nach Aktivierung der Lamportzeit-Checkbox erscheinen bei jedem Ereignis die zum jeweiligen Prozess gehörigen Lamportzeitstempel (Abbildung 2.25). Jeder Prozess besitzt einen eigenen Lamportzeitstempel, der bei jedem Versenden oder Erhalten einer Nachricht inkrementiert wird. Jeder Nachricht wird die aktuelle Lamportzeit $t_l(i)$ des sendenden Prozesses i beigefügt. Wenn ein weiterer Prozess j diese Nachricht erhält, so wird der aktuelle Lamportzeitstempel $t_l(j)$ von Prozess j wie folgt neu berechnet:

$$t_l(j) := 1 + \max(t_l(j), t_l(i))$$

Es wird also stets die grössere Lamportzeit vom Sender- und Empfängerprozess verwendet

und anschließend wird diese um 1 inkrementiert. Nach Ablauf der Berkeley-Simulation hat P1 (16), P2 (14) und P3 (15) als Lamportzeitstempel abgespeichert.

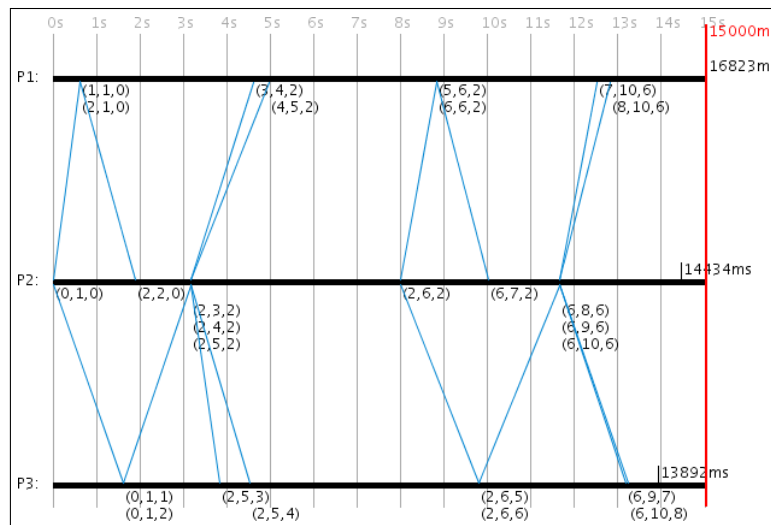


Abbildung 2.26.: Vektorzeitstempel

Mit aktivierter Vektorzeit-Checkbox werden, wie auf Abbildung 2.26, alle Vektor-Zeitstempel angezeigt. Wie bei den Lamportzeitstempeln wird auch hier jeder Nachricht der aktuelle Vektor-Zeitstempel des Senderprozesses beigegefügt. Bei n beteiligten Prozessen hat der Vektor-Zeitstempel v die Größe n . Somit gibt es für jeden beteiligten Prozess i einen eigenen Index i . Über $v(i)$ kann jeder Prozess auf seine lokale logische Zeit zugreifen.

Standardmäßig wird der Vektor-Zeitstempel nur inkrementiert, wenn eine Nachricht verschickt- oder erhalten wird. Bei beiden Fällen inkrementiert der Sender- beziehungsweise Senderprozess seinen eigenen Index im Vektor-Zeitstempel mit $v(i) = v(i) + 1$. Beim Empfang einer Nachricht wird anschließend der lokale Vektor-Zeitstempel mit dem des Senderprozesses verglichen und für alle Indizes stets der größere Wert in den lokalen Vektor-Zeitstempel übernommen.

Im Beispiel auf Abbildung 2.26 hat P1 (8, 10, 6), P2 (6, 10, 6) und P3 (6, 10, 8) als Vektor-Zeitstempel abgespeichert.

Wenn im Laufe einer Simulation Prozesse entfernt- oder neue Prozesse hinzugefügt werden, so passt sich die Größe der Vektor-Zeitstempel aller anderen Prozesse automatisch der Anzahl der Prozesse an.

Wie bereits beschrieben gibt es in den Simulationseinstellungen die boolschen Variablen "Lamportzeiten betreffen alle Ereignisse" und "Vektorzeiten betreffen alle Ereignisse", die

standardmäßig auf `false` gesetzt sind. Mit `true` werden alle Ereignisse, und nicht nur der Empfang oder das Versenden einer Nachricht, berücksichtigt. Für eine weitere Betrachtung der Lamport- sowie Vektor-Zeitstempel siehe [\[OBm07\]](#) oder [\[Tan03\]](#).

Anhang A.

Akronyms

API Application Programming Interface

GUI Graphical User Interface

JRE Java Runtime Environment

NID Nachrichten-Identifikationsnummer

PID Prozess-Identifikationsnummer

RTT Round Trip Time

SDK Software Development Kit

VS Verteilte Systeme

Anhang B.

Literaturverzeichnis

- [Oßm07] Martin Oßmann. Vorlesung “verteilte systeme” an der fh aachen. Vorlesung, 2007.
- [Tan03] Andrew Tanenbaum. Verteilte systeme - grundlagen und paradigmten. Buch, 2003.
2. Autor Marten van Steen; ISBN: 3-8273-7057-4.