

Duale Hochschule Baden-Württemberg Mannheim

**Integrationsseminar**

## **OS Scheduling Algorithmen**

**Studiengang Wirtschaftsinformatik**

**Studienrichtung Data Science**

Verfasser:	Jannik Völker, Benedikt Prisett, Eric Echtermeyer
Matrikelnummer:	–TODO–, –TODO–, 6373947
Kurs:	WWI-21-DSA
Studiengangsleiter:	Prof. Dr.-Ing. habil. Dennis Pfisterer
Dozent:	Prof. Dr. Maximilian Scherer
Bearbeitungszeitraum:	13.11.2023 – 07.02.2024

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>ii</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>iii</b>
<b>1 Grundlagen der Visualisierung</b>	<b>1</b>
<b>2 OS Scheduling Algorithmen</b>	<b>4</b>
2.1 First-Come-First-Serve . . . . .	4
2.2 Round Robin . . . . .	5
2.3 Multilevel Queue Scheduling . . . . .	6
<b>3 Performance Analyse</b>	<b>10</b>
3.1 Metriken . . . . .	10
3.2 Simulationsergebnisse . . . . .	11
<b>4 Anwendungsgebiete</b>	<b>12</b>
4.1 Innerhalb von Betriebssystemen . . . . .	12
4.2 Außerhalb von Betriebssystemen . . . . .	12
<b>Anhang</b>	
<b>A Quellcode</b>	<b>14</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>15</b>

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Die Szene rund um Stelle 00:00min zeigt die Kombination zwischen animierten Bildinformationen mit unterstützendem Text. . . . .	2
1.2	Die Szene rund um Stelle 00:00min animierte Darstellung des Round Robin Algorithmus, um komplexe Sachverhalte visuell einfach darzustellen. . . . .	3

# Abkürzungsverzeichnis

<b>OS</b>	Betriebssystem
<b>CPU</b>	Central Processing Unit
<b>FCFS</b>	First-Come-First-Serve
<b>FIFO</b>	First-In-First-Out
<b>MLQ</b>	Multilevel-Queue

# 1 Grundlagen der Visualisierung

Das Ziel dieses Projektes liegt in der Erstellung eines hochwertigen Animationsvideos, um den komplexen Sachverhalt der Scheduling Algorithmen von Betriebssystemen intuitiv darzustellen, sodass interessierte Zuschauer relevante Sachverhalte schnell verstehen können. Um für den Lernenden ein Animationsvideo mit möglichst hoher Qualität erstellen zu können, ist eine Beschäftigung mit theoretischen Grundlagen der Visualisierung und Animation unabdingbar. Daher wird im folgenden auf grundlegende Theorien in einer Literaturrecherche eingegangen, welche direkt mit dem von uns produzierten Animationsvideo eingebracht werden.

Unsere Herangehensweise ein Animationsvideo zu erstellen, wird durch die Dual-Coding-Theorie von Allan Paivio bestätigt, welche besagt, dass Informationen besser verarbeitet und erinnert werden können, wenn diese sowohl visuell als auch verbal präsentiert werden [3]. Diese Theorie wird bei in unserem Animationsvideo umgesetzt, indem neben den visuellen Darstellungen wie Diagrammen oder animierten Algorithmen diese gleichzeitig stets auch auf der Tonspur erklärt werden. Laut der "Cognitive Load Theory" von John Sweller (1988) ist hierbei aber darauf zu achten, dass die kognitive Belastung des Lernenden berücksichtigt wird. Um effektive Bildungsanimationen zu erstellen, ist es entscheidend, die Balance zwischen informativen Inhalten und einer überladenen Darstellung zu finden [4]. Durch die sinnvolle Anwendung von Animationen, die komplexe Konzepte in einfachere visuelle Elemente zerlegen, kann das Verständnis erleichtert und die kognitive Belastung reduziert werden. Um den Lernenden daher kognitiv nicht zu überlasten, ist es essentiell, dass animierte Darstellungen stets passend zu der Tonspur sind und diese beiden Komponenten nicht voneinander abweichen. Sollte dies doch der Fall sein, kann dies zu Verwirrung oder kognitiver Leistungsüberschreitung des Lernenden kommen, wodurch die vermittelten Inhalte nicht aufgenommen werden können.

Um das Animationsvideo einprägsamer für den Lernenden gestalten zu können, ist es sinnvoll die Multimedia-Prinzipien nach Richard E. Mayer (2001) anzuwenden. Diese besagen, dass eine angemessene Kombination von Text, Bildern und Animationen das Lernen deutlich verbessern kann [2]. Insbesondere das Kontiguitätsprinzip, das besagt, dass verbundene Text- und Bildinformationen zeitlich und räumlich nahe präsentiert werden sollten, ist für die Gestaltung von Bildungsanimationen relevant. Dies wird direkt in unserem Animations-

video umgesetzt, wie es in Abbildung 1.1 dargestellt ist. Hier werden mit dezent animiertem Text grafische Vorgänge beschrieben, sodass der Lernende sich diesen Text in Ruhe durchlesen kann ohne bei einer kurzen Unaufmerksamkeit das Verständnis für den gesamten Sachverhalt zu verlieren.

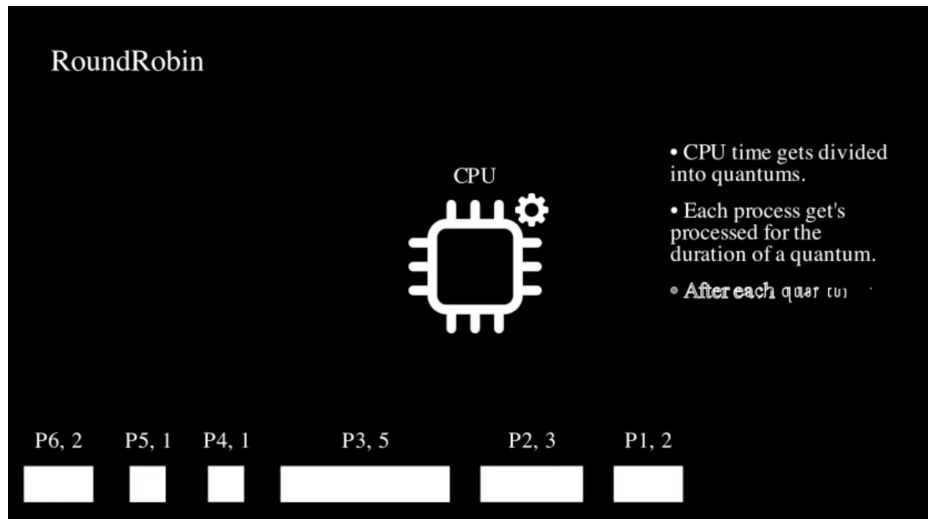


Abbildung 1.1: Die Szene rund um Stelle 00:00min zeigt die Kombination zwischen animierten Bildinformationen mit unterstützendem Text.

Im Kontext von Animationen ist es auch unerlässlich, die Prinzipien der Animation von Disney zu beachten, die von Johnston und Thomas (1981) detailliert beschrieben wurden. Diese Prinzipien, wie "Squash and Stretch" und "Anticipation", sind zwar ursprünglich für die Unterhaltungsanimation entwickelt worden, können jedoch auch in Bildungsanimationen angewendet werden, um Konzepte lebendig und verständlich darzustellen. Beispielsweise kann die Bewegung in einer Animation genutzt werden, um die Dynamik eines mathematischen Prozesses zu verdeutlichen.

Neben der Wichtigkeit von Animationen ist eine geschickte Auswahl der vorkommenden Farben ebenso essentiell. Laut der Farbtheorie kann die Auswahl von Farben und Kontrasten dabei helfen, wichtige Informationen zu betonen und die visuelle Erfahrung, und somit die vermittelten Inhalte, der Lernenden zu bereichern [1]. Auch die Gestaltungsprinzipien der Wahrnehmung, formuliert von Max Wertheimer (1923), bieten ebenfalls wichtige Einsichten für die Gestaltung von Bildungsanimationen [5]. Diese Prinzipien, wie die Gruppierung von Elementen nach Nähe oder Ähnlichkeit, können genutzt werden, um Beziehungen und Strukturen innerhalb der mathematischen Inhalte zu verdeutlichen. So kann beispielsweise das Prinzip der Nähe dazu verwendet werden, um zu zeigen, wie verschiedene mathematische Elemente miteinander in Beziehung stehen.

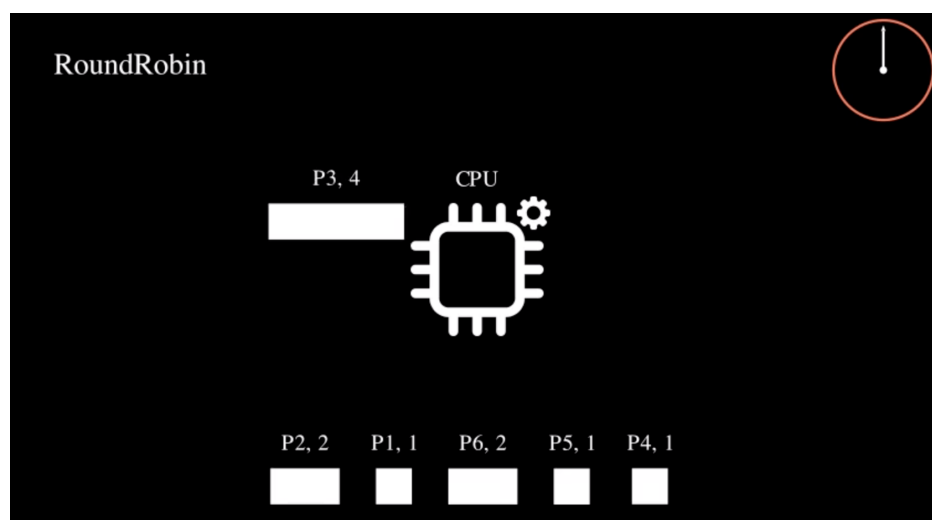


Abbildung 1.2: Die Szene rund um Stelle 00:00min animierte Darstellung des Round Robin Algorithmus, um komplexe Sachverhalte visuell einfach darzustellen.

## 2 OS Scheduling Algorithmen

Das Kernstück eines jeden modernen Betriebssystems ist dessen Fähigkeit eine Vielzahl von Prozessen effizient und effektiv zu verwalten. Diese Prozessverwaltung, auch bekannt als Scheduling, ist eine komplexe Aufgabe, welche darüber entscheidet, welcher Prozess zu welchem Zeitpunkt von der Central Processing Unit (CPU) verarbeitet wird. Da moderne Betriebssysteme stets eine hohe Anzahl von Hintergrundprozessen bis hin zu anspruchsvollen Anwendungen verarbeiten müssen, ist die Verwendung leistungsfähiger OS Scheduling Algorithmen essentiell. Im folgenden werden drei unterschiedliche Algorithmen des OS Scheduling vorgestellt, mit aufsteigender Komplexität. Jeder dieser Algorithmen hat eigenen Stärken und Schwächen, die ihn für bestimmte Szenarien und Anforderungen geeignet machen. Von den einfachen, aber grundlegenden Ansätzen wie First Come First Serve bis hin zu komplexeren Strategien wie Multilevel Queue Scheduling, spiegelt die Entwicklung dieser Algorithmen die Fortschritte in der Computertechnologie und unser zunehmendes Verständnis von effizientem Prozessmanagement wider.

### 2.1 First-Come-First-Serve

Einer der grundlegenden Scheduling Algorithmen für Betriebssysteme ist First-Come-First-Serve (FCFS), welcher auch als First-In-First-Out (FIFO) bekannt ist. FCFS verarbeitet eingehende Prozesse in der Reihenfolge ihres Eintreffens, wobei der zuerst ankommende Prozess als erstes prozessiert wird. Implementiert wird FCFS für gewöhnlich als Warteschlange, aus welcher eingehende Prozesse anschließend sequentiell verarbeitet werden können.

Der Pseudocode in Abbildung ?? implementiert den FCFS-Scheduling-Algorithmus für einen Satz von Prozessen. Dabei wird angenommen, dass jeder Prozess Eigenschaften wie Ankunftszeit (arrival) und Ausführungszeit (burst) hat. Der Algorithmus berechnet die Startzeit, Endzeit, Wartezeit und Umlaufzeit für jeden Prozess.

Der große Vorteil von FCFS liegt in dessen Einfachheit und der hieraus resultierenden leichten Implementierbarkeit. Daher wird dieser auch oft in Lehrbüchern im Kontext grundlegender Betriebssystemkonzepte diskutiert. Zudem ist FCFS transparent und einfach vor-



hersehbar, da die Reihenfolge und Bearbeitungsdauer aller Prozesse lediglich von deren Ankunftszeiten abhängig ist. Ein zusätzlicher Vorteil liegt in der fairen Behandlung aller Prozesse, welche ohne Bevorzugung stattfindet, da jeder Prozess in der Reihenfolge seines Eintreffens bearbeitet wird.

Nichtsdestotrotz, weist FCFS auch signifikante Nachteile auf, weshalb in der Praxis meist von einer alleinigen Nutzung dieses Algorithmus abgesehen wird. Das wesentliche Problem ist nämlich der Convoy-Effekt, bei dem ein langer Prozess, der früh in der Warteschlange erscheint, nachfolgende, kürzere Prozesse verzögert. Diese Situation führt zu einer ineffizienten CPU-Auslastung und verlängerten Wartezeiten. Weiterhin berücksichtigt FCFS neben der Dauer auch nicht die unterschiedliche Priorität von Prozessen, was besonders nachteilig für interaktive Systeme ist, in denen schnelle Antwortzeiten von höchster Relevanz sind. Diese Mängel machen FCFS für viele moderne Anwendungen unpraktikabel. Daher wird im folgenden der OS Scheduling Algorithmus Round Robin näher betrachtet, welcher versucht eine schnellere Antwortzeit zu ermöglichen.

## 2.2 Round Robin

Round Robin ist ein weit verbreiteter OS Scheduling-Algorithmus in Betriebssystemen, welcher für seine Fairness und Eignung für Zeitscheiben-basiertes Multitasking bekannt ist. Dieser Algorithmus weist jedem Prozess in der Warteschlange ein festes Zeitintervall, auch bezeichnet als Quantum, zu. Nach Ablauf des Quantums wird der aktuell laufende Prozess unterbrochen und an das Ende der Warteschlange gestellt, um dem nächsten Prozess in der Warteschlange CPU-Zeit zuweisen zu können. Diese Methode gewährleistet, dass alle Prozesse regelmäßige CPU-Zeit erhalten und kein Prozess andere blockiert, wie es bei FCFS mit dem Convoy-Effekt der Fall ist. Durch diese Rotation wird eine gleichmäßigere Verteilung der CPU-Zeit über alle Prozesse erreicht.

Abbildung ?? zeigt Pseudocode für die Implementation des Round Robin Scheduling Algorithmus für einen Satz von Prozessen. Jeder Prozess wird für eine Zeitdauer bis zum definierten Quantum ausgeführt. Der Algorithmus berechnet Start- und Endzeiten, Wartezeiten und Umlaufzeiten für jeden Prozess.

Ein wesentlicher Vorteil des Round Robin-Algorithmus ist dessen Fähigkeit, eine niedrige Antwortzeit für alle Prozesse zu gewährleisten, weshalb dieser besonders für interaktive Systeme von hoher Eignung ist. Da jeder Prozess innerhalb eines bestimmten Zeitrahmens

bedient wird, kommt es nicht zu langen Wartezeiten bis die Prozesse CPU-Zeit zugeteilt bekommen. Diese Eigenschaft wird von Silberschatz, Galvin und Gagne (2018) als entscheidend für Systeme mit hoher Prozessanzahl und Anforderungen an die Reaktionsfähigkeit angesehen, wie es bei modernen Betriebssystemen der Fall ist.

Allerdings weist Round Robin auch Nachteile auf. Ein wesentlicher Punkt ist hierbei die Wahl der Länge des Zeitquantums. Bei einem zu kurzen Quantum, kommt es durch den Round Robin Algorithmus zu häufigen Prozesswechseln, wodurch ein Overhead entsteht und hierdurch die CPU-Effizienz verringert wird. Wenn allerdings ein zu langes Quantum gewählt wird, verlängern sich die Antwortzeiten für Prozesse und in extremen Fällen kann es zum gleichen Convoy-Effekt wie bei FCFS kommen. Daher ist die Optimierung des Quantums abhängig von den spezifischen Anwendungsumgebungen und von hoher Relevanz. Ein weiterer Nachteil, ähnlich wie bei FCFS ist die fehlende Betrachtung von unterschiedlichen Prioritäten der eingehenden Prozesse. Im folgenden wird ein weiterer OS Scheduling Algorithmus beschrieben, welcher versucht diese Herausforderung eines prioritäten-basierten Scheduling zu beheben.

Insgesamt bietet der Round Robin-Algorithmus eine ausgewogene Lösung für das Scheduling-Problem, insbesondere in Umgebungen, bei welchen Fairness und schnelle Antwortzeiten gefordert sind. Seine Einfachheit und Effizienz machen ihn zu einer beliebten Wahl in vielen Betriebssystemen.

## 2.3 Multilevel Queue Scheduling

Die Prozesse, welche ein modernes Betriebssystem verarbeitet kann in unterschiedliche Kategorien unterteilt werden. So gibt es beispielsweise interaktive Prozesse, bei welchen eine schnelle Antwortzeit essentiell ist, und Hintergrundprozesse, welche nicht direkt abgearbeitet werden müssen. Für gewöhnlich haben interaktive Prozesse daher eine höhere Priorität und müssen daher schneller CPU-Zeit zugeteilt bekommen. Multilevel-Queue (MLQ) Scheduling ist ein fortgeschrittener Scheduling-Algorithmus, welcher versucht diese Prozesse mit unterschiedlichen Prozessen effizient zu verwalten. Bei MLQ wird die Prozesswarteschlange in mehrere separate Warteschlangen aufgeteilt, wobei jede Warteschlange eine eigene Prioritätsebene besitzt. Eingehende Prozesse werden nun basierend auf ihrer Priorität in die jeweilig zuständige Warteschlange eingeteilt. Jede dieser Warteschlangen hat nun einen

eigenen Scheduling-Algorithmus, um eine differenzierte Behandlung der Prozesse zu ermöglichen. Bei der Verarbeitung der Prozesse wird nun stets die Warteschlange mit der höheren Priorität zuerst abgearbeitet, bis diese vollständig entleert wurde. Anschließend fängt die Verarbeitung der nächst-geringeren Prioritätsstufe an. Sofern ein Prozess mit höherer Priorität nun eintreffen sollte, wird die Verarbeitung der Warteschlange mit geringerer Priorität pausiert.

---

**Algorithmus 1** Multilevel Queue Scheduling Algorithmus mit FCFS and Round Robin
 

---

```

1: procedure MLQ(queues, processes, quantum)
2:   Assign each process to a queue based on its priority or category
3:   for each queue in queues do
4:     if queue is for interactive tasks then
5:       Apply Round Robin Scheduling (Refer to Round Robin Algorithm) with
       quantum quantum
6:       Execute interactive tasks in queue using RR
7:     else if queue is for background tasks then
8:       Apply First-Come, First-Served Scheduling (Refer to FCFS Algorithm)
9:       Execute background tasks in queue using FCFS
10:    end if
11:  end for
12:  return scheduling results for each process
13: end procedure
  
```

---

Der Pseudocode aus Abbildung 1 beschreibt, wie bei MLQ verschiedene Warteschlangen für interaktive und Hintergrundtasks verwendet werden, wobei für interaktive Tasks der Round Robin und für Hintergrundtasks der FCFS angewendet wird.

Der zentrale Vorteil von MLQ liegt in dessen Flexibilität und Effizienz bei der Behandlung verschiedener Prozesstypen. Beispielsweise können Systemprozesse, interaktive Prozesse und Batch-Prozesse in verschiedenen Warteschlangen mit entsprechenden Prioritäten und Scheduling-Strategien verwaltet werden. Hierdurch wird eine bessere Anpassung an die Anforderungen spezifischer Prozesstypen erreicht, was zu einer verbesserten Gesamtleistung des Systems führt.

Ein Nachteil von MLQ liegt allerdings in seiner Komplexität, sowohl in der Implementierung als auch im Management. Die korrekte Einordnung von Prozessen in Warteschlangen und die Auswahl geeigneter Scheduling-Algorithmen für jede Warteschlange erfordern sorgfältige Planung und ständige Anpassung. Eine nachteilige Auswahl und Konfiguration dieser Algorithmen kann zu einem erhöhten Overhead führen und die Systemeffizienz negativ beeinträchtigen.

Trotz dieser Herausforderungen ist MLQ ein beliebter Scheduling Algorithmus in Betriebssystemen, insbesondere dort, wo eine Vielzahl unterschiedlicher Prozesse und Anforderungen effizient verwaltet werden muss.

Aufbauen auf anderen Prozess-Schedulern, wie bspw. den zuvor beschriebenen First Come First Serve oder Round-Robin Prinzip gibt es weitere Verfahren, welche durch eine erweiterte Komplexität beabsichtigen zuvor entwickelte Prinzipien und Stärken zu vereinen und Schwächen zu umgehen. Eines dieser Verfahren ist das Multilevel Queue Scheduling. Es handelt sich hierbei um einen Algorithmus, bei welchem Prozess abhängig ihrer Eigenschaften in verschiedene Kategorien eingeteilt und anschließend entsprechend mit unterschiedlicher Priorität bearbeitet werden. Es soll somit, durch das Priorisieren von zeitkritischen Aufgaben und der dynamischen Ressourcenzuweisung, dem Ziel einer gerechten und effizienten Prozessverwaltung weiter nähergekommen werden. Beim Multilevel Queue Scheduling Verfahren werden zunächst die aktuell offenen, zu bearbeitenden Prozesse unterschiedlichen Warteschlangen dauerhaft zugewiesen. Diese Einteilung kann auf Grundlage unterschiedlicher Kriterien geschehen und ausschlaggebend können Speichergröße, Prozesspriorität oder der Prozesstyp sein. Eine einfache Aufteilung ist beispielsweise die Zuordnung in Vordergrundaktivitäten und Hintergrundaktivitäten sodass die erstere Gruppe interaktive Prozess umfasst welche zeitnah abgearbeitet werden müssen und die zweite Gruppe eher statische Prozesse die ggf. auch länger für die Bearbeitung benötigen. Jede der so geformten Warteschlangen kann unabhängig, auf unterschiedliche Art und Weise bearbeitet werden und verfügt über einen eigenen Scheduling-Algorithmus. So ist es bspw. üblich die Warteschlange für Vordergrundaktivitäten nach dem Round Robin Prinzip abgearbeitet werden, während bei der zweiten Warteschlange der Hintergrundaktivitäten das First Come First Serve Prinzip Anwendung findet. Dies hat den Hintergrund, dass ? Neben der unterschiedlichen Verfahren die innerhalb der Warteschlangen stattfinden gibt es ein einfaches Scheduling-Verfahren zur Verwaltung der Warteschlangen untereinander. Dieses ist für gewöhnlich mit einer festen Priorisierung und Präemptiv implementiert. Das bedeutet, dass Warteschlangen absolute Prioritäten über anderen haben und eine höher priorisierte Warteschlange zunächst vollständig abgearbeitet wird, gleichzeitig die Bearbeitung einer niedrig priorisierten Warteschlange aber zugunsten neuer Prozesse in einer anderen Schlange unterbrochen werden kann. In dem einfachen Beispiel mit zwei Warteschlangen würden daher zunächst die Vordergrundaktivitäten nach dem Round Robin Verfahren abgearbeitet und sobald diese Warteschlange leer ist die Hintergrundaktivitäten mittels First Come First Serve erledigt werden. Tritt während der Bearbeitung der Hintergrundaktivitäten ein Vordergrundprozess auf wird diese Bearbeitung solange unterbrochen,

bis wieder alle Vordergrundaktivitäten abgearbeitet sind. Das Verfahren ist hierbei nicht wie in diesem Beispiel auf zwei Warteschlangen beschränkt, sondern kann um eine Vielzahl an Schlangen für verschiedene Prozesseigenschaften erweitert werden, wie in Abbildung X dargestellt. Das Multilevel Queue Scheduling Verfahren bietet aufgrund seiner erweiterten Komplexität gegenüber herkömmlichen deutlich einfacheren Verfahren einige Vorteile aber auch Nachteile. So ist positiv zu bemerken, dass die Reaktionszeit des Systems durch die effizientere Ressourcenallokation reduziert werden kann und die Nutzererfahrung durch die schnellere Abarbeitung von interaktiven Prozessen verbessert wird. Desweiterem kann mit diesem Verfahren der Durchsatz gesteigert werden und das System ggf. auch Prozesse unterschiedlicher Schlangen gleichzeitig ausführen, welches zu der Effizienz des Systems beiträgt. Negativ zu betrachten ist hingegen die erhöhte Komplexität beim Design eines effizienten Systems, sowie der zusätzliche Arbeitsaufwand zur Verwaltung der mehreren Warteschlangen untereinander, welches die Performance des Systems wiederum lindern kann. Ein weiteres Problem ist das „Verhungern“ von Prozess in einer Warteschlange mit niedrigerer Priorität, welches auftreten kann wenn zu viele, große Prozesse in anderen Schlangen zuerst abgearbeitet werden müssen. Um diesem Nachteilen des „Verhungerns“ von Prozessen entgegenzuwirken gibt es Weiterentwicklungen der einfachen Multilevel Queue wie beispielsweise das heute verbreiterte Multilevel Feedback Queue Verfahren.

# 3 Performance Analyse

Die richtige Auswahl dieser Algorithmen ist ein kritischer Bestandteil, um die Gesamtleistung und Reaktionsfähigkeit des Computersystems zu optimieren. Die zentrale Herausforderung hierbei ist die begrenzte Leistungsfähigkeit der Hardware, insbesondere der CPU, da diese zu einem Zeitpunkt stets nur einen Prozess ausführen kann. Dieser Engpass wird durch die OS Scheduling Algorithmen gemindert, da diese entscheiden welcher Prozess als nächstes Zugang zur CPU erhalten soll. Um den am besten passenden OS Scheduling Algorithmus für das spezifische Anwendungsgebiet auswählen zu können, ist es hilfreich unterschiedliche Metriken zu betrachten, um die richtige Balance zu finden. Im folgenden werden die wichtigsten Metriken kurz vorgestellt und anschließend auf die bereits zuvor beschriebenen OS Scheduling Algorithmen FCFS, Round Robin und MLQ angewendet.

## 3.1 Metriken

Während für spezifische Anwendungsgebiete unterschiedliche Metriken von besonderer Relevanz sind, werden folgende Metriken meistens betrachtet, um eine fundierte Entscheidung treffen zu können. Während in interaktive Systeme beispielsweise eine geringe Antwortzeit priorisieren, ist bei Batch-Processing-Systemen eine niedrige Ausführungszeit von höherer Relevanz.

**Durchsatz (Throughput):** Der Durchsatz misst die Anzahl der Prozesse, die in einer bestimmten Zeiteinheit vollständig abgearbeitet werden. Ein höherer Durchsatz bedeutet eine effizientere Verarbeitung von Prozessen durch das System. Bei vollständiger CPU-Auslastung, ist diese Metrik bei unterschiedlichen Algorithmen konstant. Folgende Formel berechnet den Durchsatz als Anzahl der Prozesse, die pro Zeiteinheit abgeschlossen werden.

**Wartezeit (Waiting Time):** Die Wartezeit ist die Gesamtzeit, die ein Prozess in der Warteschlange verbringt, bevor er Zugang zur CPU erhält. Niedrigere Wartezeiten sind in der Regel wünschenswert, da sie auf ein reaktionsfähigeres System hinweisen. Hierbei ist  $n$  die Anzahl der Prozesse, und die Wartezeit wird als Durchschnitt der Zeit berechnet, die jeder Prozess vom Ankunftszeitpunkt bis zum Start der Ausführung wartet.

**Antwortzeit (Response Time):** Die Antwortzeit misst die Zeit vom Beginn eines Prozesses bis zur ersten Antwort, nicht bis zur vollständigen Ausführung. Diese Metrik ist besonders wichtig in interaktiven Systemen, wo eine schnelle Reaktion auf Benutzereingaben erforderlich ist. Die Antwortzeit misst die Zeit vom Ankomst bis zur ersten Antwort jedes Prozesses, gemittelt über alle Prozesse.

**Ausführungszeit (Turnaround Time):** Die Ausführungszeit ist die gesamte Zeit vom Start eines Prozesses bis zu seinem Abschluss. Diese Metrik berücksichtigt sowohl die Wartezeit als auch die Ausführungszeit und gibt somit ein umfassendes Bild von der Effizienz des Scheduling-Algorithmus. Die Ausführungszeit wird als durchschnittliche Gesamtzeit berechnet, die ein Prozess vom Ankunftszeitpunkt bis zum Abschluss benötigt.

**CPU-Auslastung (CPU Utilization):** Diese Metrik gibt an, wie effektiv die CPU genutzt wird. Eine hohe CPU-Auslastung bedeutet, dass die CPU aktiv Prozesse bearbeitet und nicht untätig ist, was auf eine effiziente Nutzung der Ressourcen hinweist. Die folgende Formel gibt den Prozentsatz der Zeit an, in der die CPU aktiv Prozesse bearbeitet hat, bezogen auf die gesamte Beobachtungszeit.

**Fairness:** Fairness misst, wie gleichmäßig die CPU-Zeit zwischen den verschiedenen Prozessen aufgeteilt wird. Ein fairer Scheduling-Algorithmus stellt sicher, dass kein Prozess übermäßig bevorzugt oder benachteiligt wird. Es handelt sich hierbei um eine qualitative Metrik und lässt sich nicht direkt durch eine allgemeine Formel quantifizieren. Stattdessen wird sie oft durch die Analyse der Verteilung der CPU-Zeit und der Wartezeiten über die verschiedenen Prozesse hinweg bewertet.

## 3.2 Simulationsergebnisse

fehlt noch hehe

# 4 Anwendungsgebiete

Innerhalb dieses Kapitels werden wird auf konkrete Anwendungsgebiete der zuvor genannten OS-Scheduling Algorithmen eingegangen. Da diese Algorithmen auch außerhalb von Betriebssystemen eine zentrale Rolle spielen, werden auch Beispiele solcher Anwendungsgebiete aufgenommen.

## 4.1 Innerhalb von Betriebssystemen

Ein häufiges Anwendungsgebiet von FCFS ist für Aufgaben der Batch-Verarbeitung, da hierbei der Convoy-Effekt nicht entscheidend ist. Ein klassisches Beispiel ist das Druckmanagement in frühen Betriebssystemen, wo Druckaufträge in der Reihenfolge ihres Eintreffens abgearbeitet werden.

Round Robin hingegen ist ein weit verbreiteter Scheduling Algorithmus in zeitkritischen Betriebssystemen. Ein Beispiel hierfür ist das Thread-Scheduling in Unix-basierten Systemen, bei dem jedem Thread eine feste Zeitscheibe zugeteilt wird.

MLQ wird in modernen Betriebssystemen wie Linux angewendet, um Prozesse basierend auf ihrer Priorität zu ordnen, wobei systemkritische Prozesse höher priorisiert werden als Benutzerprozesse.

## 4.2 Außerhalb von Betriebssystemen

FCFS wird in zahlreichen Gebieten verwendet, insbesondere bei Prozessen die eine schwierige Digitalisierbarkeit aufweisen. Beispielsweise wird FCFS in der Industrieautomatisierung, insbesondere in der Steuerung von Fertigungsstraßen, verwendet, bei welcher Aufträge in der Reihenfolge ihres Eingangs bearbeitet werden. Auch in Bereichen fernab von Computern und Industrie wird FCFS in alltäglichen Situationen eingesetzt. Ob die Warteschlange an der Kasse im Supermarkt, die Patientenabfertigung im Krankenhaus in der Notaufnahme oder auch der Essensausgabe in der Kantine.



Ein bekanntes Anwendungsgebiet von Round Robin ist die Telekommunikation. Hierbei wird Round Robin für die Paketvermittlung und Lastverteilung in Netzwerkroutern eingesetzt. Ein Beispiel ist die Verteilung von Netzwerkbandbreite in Cisco-Routern. Darüber hinaus wird Round Robin in der Luftfahrtindustrie für die Flugzeugbodenabfertigung eingesetzt, um eine faire und effiziente Zuteilung von Abfertigungsdiensten zu gewährleisten.

MLQ findet beispielsweise Anwendung in Cloud-Computing-Umgebungen wie AWS oder Google Cloud, wo verschiedene Instanzen oder Services in getrennten Warteschlangen basierend auf SLAs verwaltet werden.

# A Quellcode

Der vollständige Quellcode ist über folgenden GitHub Link erreichbar:  
<https://github.com/echtermeyer/OS-Scheduling-Algorithms-Comparison>

# Literaturverzeichnis

- [1] Louise Ballard. „The Art of Color by Johannes Itten“. In: *The Journal of Aesthetics and Art Criticism* 22.3 (März 1964), S. 344. ISSN: 0021-8529. DOI: 10.2307/427243. URL: <https://doi.org/10.2307/427243> (besucht am 03.01.2024).
- [2] Richard E. Mayer. „Multimedia learning“. In: *Psychology of Learning and Motivation*. Bd. 41. Academic Press, Jan. 2002, S. 85–139. DOI: 10.1016/S0079-7421(02)80005-6. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079742102800056> (besucht am 03.01.2024).
- [3] Allan Paivio. „Dual coding theory: Retrospect and current status“. In: *Canadian Journal of Psychology / Revue canadienne de psychologie* 45.3 (1991). Place: Canada Publisher: Canadian Psychological Association, S. 255–287. ISSN: 0008-4255. DOI: 10.1037/h0084295.
- [4] John Sweller. „Cognitive Load Theory“. In: *Psychology of Learning and Motivation*. Hrsg. von Jose P. Mestre und Brian H. Ross. Bd. 55. Academic Press, Jan. 2011, S. 37–76. DOI: 10.1016/B978-0-12-387691-1.00002-8. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123876911000028> (besucht am 03.01.2024).
- [5] Max Wertheimer. „Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt“. In: *Gestalt Theory* 39 (März 2017). DOI: 10.1515/gth-2017-0007.