



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

# Hausarbeit

**Birger Kamp**

**Der wissende Aufzug**

Birger Kamp

**Der wissende Aufzug**

Hausarbeit eingereicht im Rahmen des Moduls Modellierung Dynamischer Systeme

im Studiengang Master Informatik  
am Department Informatik  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuer: Prof. Dr. Wolfgang Fohl

Eingereicht am: XXXXXX

**Birger Kamp**

**Thema der Arbeit**

Der wissende Aufzug

**Stichworte**

Aufzug, Fahrstuhl, Warteschlange, Scheduling

**Kurzzusammenfassung**

Abstract

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	These der Arbeit . . . . .	1
1.2	Verwendete Metriken . . . . .	1
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>2</b>
2.1	Scheduling-Theorie . . . . .	2
2.1.1	Online Probleme . . . . .	2
2.1.2	Offline Probleme . . . . .	2
<b>3</b>	<b>Modellierung</b>	<b>3</b>
3.1	Verwendete Tools . . . . .	3
3.2	Vereinfachungen und Annahmen . . . . .	3
3.3	Das Modell . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Auswertung der Ergebnisse</b>	<b>7</b>
4.1	Fahrstuhl ohne Kenntnis zukünftiger Anfragen . . . . .	7
4.2	Fahrstuhl mit Kenntnis einiger zukünftiger Anfragen . . . . .	8
4.3	Betrachtung einzelner Anfragen . . . . .	9
4.4	Analyse . . . . .	9
<b>5</b>	<b>Fazit</b>	<b>11</b>

# 1 Einleitung

Man nimmt es als selbstverständlich an, dass ein Fahrstuhl kommt, wenn man auf den *Rufen*-Knopf gedrückt hat. Tut man dies in Gebäuden, in denen ein System mehrere Fahrstühle koordiniert, hat man mit dem bloßen Knopfdrücken einen komplexen Prozess gestartet. Die folgende Arbeit verschafft einen Einblick in die Ablaufplanung eines Fahrstuhls und was es dabei zu beachten gibt. Außerdem wird eine These gestellt und mit einem einfach gehaltenen Modell beantwortet.

## 1.1 These der Arbeit

Ein einfacher Aufzug setzt sich erst dann in Bewegung, wenn er eine Anfrage erhalten hat. Jemand der den *Rufen*-Knopf drückt, muss also warten bis der Fahrstuhl ihn abholt. Fahrstuhlsysteme sollten grundsätzlich bemüht sein, diese Wartezeit möglichst kurz zu halten.

Daraus leitet sich die These dieser Arbeit ab: "Wenn das Fahrstuhl-System wüsste, dass zum Zeitpunkt  $x$  in der Zukunft, eine Anfrage auf dem Stockwerk  $a$  gestellt wird, dann müsste der Antragsteller kürzer warten". Ein Anwendungsszenario wäre eine Hochschule bei der dem Fahrstuhlsystem bekannt ist, dass zur Pausenzeit um 9.30 Uhr auf Stockwerk 6 einige Personen zum Erdgeschoss fahren möchten.

## 1.2 Verwendete Metriken

Um die gestellte These anhand eines Modells evaluieren zu können, müssen einige Metriken bestimmt und verglichen werden.

Die These selbst nennt die *Wartezeit* in als Metrik. Um die Auswirkungen der veränderten Ablaufplanung beurteilen zu können, wird außerdem der *Anfragen-Durchsatz* und die *Fahrtzeit* gemessen. Mit Fahrtzeit wird die Zeit bezeichnet, die ein aufgenommener Fahrgast im Fahrstuhl verbringt bis er auf seinem Ziel-Stockwerk aussteigt.

## 2 Grundlagen

Hinter der Planung der Fahrstühle stecken Theorien und algorithmische Probleme, die im Folgenden erläutert werden.

### 2.1 Scheduling-Theorie

Die theoretische Grundlage für eine Fahrstuhlplanung ist die Scheduling-Theorie. In der Scheduling geht es laut [Pinedo \(2012\)](#) darum, dass der Zugriff auf eine Ressource zeitgesteuert auf die Anfragenden verteilt wird.

Ein Beispiel aus der Informatik sind Multi-Threading Prozessoren. Dabei sind die Threads diejenigen Objekte, die den Zugriff auf die Ressource Prozessor erfragen. Der Thread-Scheduler erlaubt jedem anfragenden Thread eine gewisse Zeitspanne den Prozessor zu benutzen. Anschließend erhält ein anderer Thread die Ressource für eine gewisse Zeit.

#### 2.1.1 Online Probleme

Nach [Manasse u. a. \(1988\)](#) ist eine Fahrstuhl Ablaufplanung ein Problem, das in eine Unterart der Scheduling-Probleme einzuordnen ist, die *Online Probleme* genannt werden. Diese Probleme zeichnen sich dadurch aus, dass dem Scheduler zu einem Zeitpunkt nur eine Teilmenge aller anfallenden Anfragen bekannt ist. Zu jedem Zeitpunkt können weitere Anfragen dazu kommen. Daraus lässt sich folgern, dass der Scheduler nur bedingt optimal planen kann, da er nicht weiß welche Anfragen noch kommen werden.

#### 2.1.2 Offline Probleme

Im Gegensatz zu den Online Problemen stehen die *Offline Probleme*. Diese sind ebenfalls eine Unterart der Scheduling-Probleme. Bei diesen Problemen sind dem Scheduler bereits alle anfallenden Anfragen bekannt, sodass der Scheduler optimal planen kann.

Ein Beispiel für diese Probleme sind Logistik-Unternehmen: Diese können bereits im Voraus die Fahrt der Lieferwagen für den nächsten Tag planen. Denn alle Lieferanfragen gehen bereits im Vortag ein.

## 3 Modellierung

Das folgende Kapitel beschreibt wie das Modell erstellt wurde und die getroffenen Annahmen und Vereinfachungen.

### 3.1 Verwendete Tools

Die Modellierung wurde in der Programmiersprache Python vorgenommen. Diese eignet sich besonders für wissenschaftliche Zwecke, da es eine breite Auswahl an Libraries in dieser Richtung gibt.

Für die Simulation von fortschreitender Zeit und Events zu bestimmten Zeitpunkten wurde die Library *SimPy*<sup>1</sup> verwendet.

Um die Ergebnisse in Diagrammen zu visualisieren wurde die Library *matplotlib*<sup>2</sup> verwendet. Diese Library bietet eine MATLAB-ähnliche Schnittstelle an, sodass man ohne viel Zeitaufwand ein einfaches Linien-Diagramm konstruieren kann. Mit etwas mehr Aufwand sind auch komplexe 2D- und 3D-Diagramme möglich.

Außerdem wurde ein minimales Python-Interface in *curses*<sup>3</sup> geschrieben. Dies bietet zwar keinen Mehrwert in der Genauigkeit der Simulation, aber es bietet einen Überblick was während der Simulation passiert. Dadurch fallen einige Fehler auf als wenn man die Simulation blind ablaufen lassen würde, das Interface unterstützt daher bei der Fehlerfindung und Verifizierung des Planungsablauf.

### 3.2 Vereinfachungen und Annahmen

Dieses Modell sich auf das wesentliche des Fahrstuhl-Schedulings beschränken. Um den Aufwand der Modellierung im Rahmen einer Praktikumsaufgabe zu halten, wurden daher folgende Modellierungs-Entscheidungen getroffen:

1. Ein Fahrstuhl kann unendlich viele Personen beinhalten

---

<sup>1</sup><http://simpy.readthedocs.io/en/latest/>

<sup>2</sup><http://matplotlib.org/>

<sup>3</sup><https://docs.python.org/2/howto/curses.html>

2. Es wird nicht beachtet ob und wieviele Personen bei einem Halt aussteigen
3. Obwohl *keine Personen* in den Fahrstühlen mitfahren, soll keine der Anfragen unnötig lange verzögert werden
4. Folgende Aktionen eines Fahrstuhls benötigen eine Zeiteinheit:
  - Türen öffnen
  - Türen schließen
  - Veränderung der Position um ein Stockwerk
5. Beim Rufen des Fahrstuhls kann der Fahrgast angeben, in welche Richtung er fahren möchte
6. Ein Fahrstuhlruf hat immer ein anderes Ziel-Stockwerk als das, auf dem der Ruf erfolgt

Die Vereinfachungen 1 und 2 sind auf den ersten Blick nicht relevant für die Planung der Aufzüge, in einigen Fällen ist es jedoch relevant. In der Realität kann ein Fahrstuhl nur endlich viele Personen aufnehmen. Sobald die konstruktionsbedingte maximale Personen-Anzahl eines Fahrstuhls überschritten wurde, geben moderne Fahrstühle ein Warnsignal, dass der Fahrstuhl zu voll beladen ist. In dem Fall müssen einige Personen aussteigen und auf den nächsten Fahrstuhl warten. Bezogen auf die Ablaufplanung hat dies den Effekt, dass ein Fahrstuhl-Ruf im Scheduling nicht als *erledigt* markiert wird, sondern wieder als eine neue Fahrstuhl-Anfrage eingereicht wird. Da dies jedoch ein Spezialfall ist, wird er in diesem Modell nicht beachtet.

## 3.3 Das Modell

Das Wesentliche in diesem Modell ist, wann ein Aufzug in welchem Stockwerk hält und in welche Richtung er nach dem Halt weiterfährt. Abhängig davon werden dem Fahrstuhl Anfragen zugeordnet, die er zu bearbeiten hat.

Ein Fahrstuhl wird beschrieben durch:

- Die Queue  $Q$  der dem Fahrstuhl zugeordneten Anfragen
- Das Stockwerk  $current\_floor$  in dem sich der Fahrstuhl aktuell befindet
- Die Richtung  $r$  in der sich der Fahrstuhl bewegt
- Der Status  $s \in S$ ;  $S = \{ "frei", "belegt" \}$  des Fahrstuhls



Alle vorhandenen Fahrstühle des Modells werden mit  $F$  bezeichnet.

Eine Anfrage wird beschrieben durch:

- Das Stockwerk  $start\_floor$  auf dem nach dem Fahrstuhl gerufen wird
- Die Richtung  $r$  in die der Anfragende fahren möchte

In Abbildung 3.1 ist das erstellte Modell dargestellt. Es gibt eine Menge von zufällig generierten Calls, die jeweils zu einem bestimmten Zeitpunkt  $t$  an den *ElevatorScheduler* gemeldet werden. Dies ist in der Realität der Zeitpunkt, wenn eine Personen den Fahrstuhl per Knopfdruck ruft.

Der *ElevatorScheduler* prüft zunächst, ob einer der vorhandenen Fahrstühle frei ist oder, ob einer der Fahrstühle in die gewünschte Richtung fährt und auf dem Weg in die Richtung an dem Stockwerk des Rufs vorbeikommt. Beschrieben durch: Sei  $f \in F$  der zu prüfende Fahrstuhl,  $c$  die neue Anfrage und  $check\_on\_way$  eine Funktion die prüft ob ein Stockwerk in Fahrtrichtung eines Fahrstuhls liegt, dann sind die in Frage kommenden Fahrstühle  $F_f$ :

$$f_f \in F_f, F_f \subseteq F : s(f_f) = "frei" \vee (r(f) = r(c) \wedge check\_on\_way(f, c)) \quad (3.1)$$

Falls eine der Bedingungen zutrifft, wird die Anfrage in die aktuelle Queue des Fahrstuhls eingereiht. Es wird berechnet, wann die neue Anfrage von diesem Fahrstuhl bearbeitet wird. Anschließend wird geprüft, wie die neue Anfrage die anderen Anfragen des Fahrstuhls beeinflusst. Aus der Bearbeitungszeit  $k_d$  des Fahrstuhls und der Beeinflussung  $k_l$  der anderen Anfragen in der Queue wird ein Wert berechnet, der die Kosten  $k$  der Anfrage bezogen auf den spezifischen Fahrstuhl darstellt. Die neue Anfrage wird dem Fahrstuhl zugewiesen, der die geringsten Kosten aufweist. Beschrieben durch: Sei  $q_n \in Q$  die Anfrage an n-ter Stelle in  $Q, n = |Q(f)|$  und  $k : k \leq n$  die Position von  $c$  in  $Q$ :

$$k_d = \sum_{i=1}^k i = |q_i - q_{i-1}| \quad (3.2)$$

$$k_l = \sum_{i=k+1}^n i = |q_i - q_{i-1}| \quad (3.3)$$

$$k = k_d + k_l \quad (3.4)$$

Der Fahrstuhl selbst beinhaltet keine Planungslogik. Er fährt lediglich die Stockwerke ab, die in seiner Queue vom *ElevatorScheduler* eingereiht wurden.

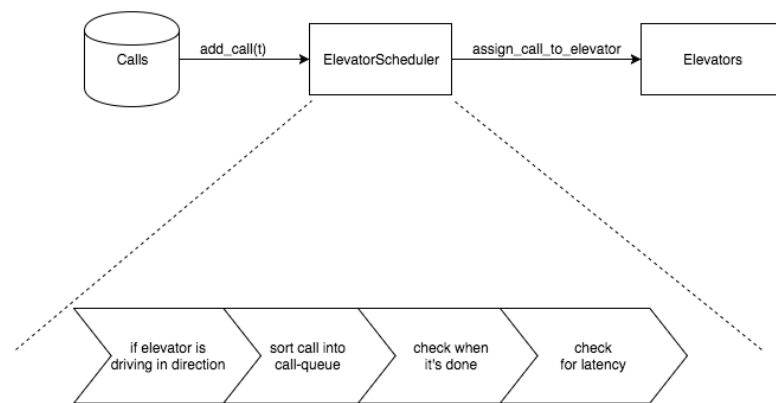


Abbildung 3.1: Modellierung einer Fahrstuhl-Ablaufplanung

Ein zukünftiger Fahrstuhlruf, der bereits vorher bekannt ist, unterscheidet sich von einem einfachen Fahrstuhlruf insofern, dass der zukünftige Ruf bereits 10 Zeiteinheiten bevor er auftritt vom Scheduler berücksichtigt wird.

## 4 Auswertung der Ergebnisse

Im Folgenden werden die unterschiedlichen Fahrstuhl-Scheduler miteinander verglichen. Dazu wurde eine Menge von Fahrstuhl-Rufen zusammengestellt, die im einfachen Scheduler zu einem nahezu konstanten Durchsatz führen. Dadurch, dass eine der Metriken konstant ist, sind die Unterschiede zwischen den Metriken der Scheduler deutlicher zu sehen.

Für die Simulation wurde eine Zeitspanne von 200 Zeiteinheiten festgesetzt. Alle zwei Zeiteinheiten wird ein zufälliger Fahrstuhl-Ruf generiert, der vom Scheduler anschließend behandelt wird.

### 4.1 Fahrstuhl ohne Kenntnis zukünftiger Anfragen

Im Folgenden werden die ermittelten Werte des einfachen Fahrstuhl-Schedulers dargestellt.

In Diagramm 4.1 ist der Durchsatz des einfachen Schedulers dargestellt. Es ist zu sehen, dass der einfache Scheduler nach Ablauf der Simulationszeit 88 Fahrstuhl-Rufe erledigt hat.

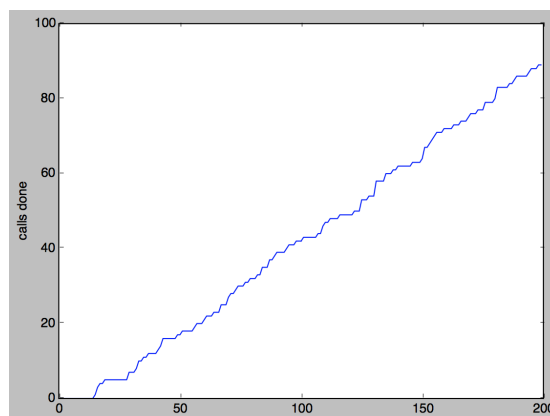


Abbildung 4.1: Durchsatz des einfachen Schedulers

In Abbildung 4.2 sind die durchschnittlichen Warte- und Fahrzeiten pro Zeiteinheit der Fahrstuhlrufe zu sehen.

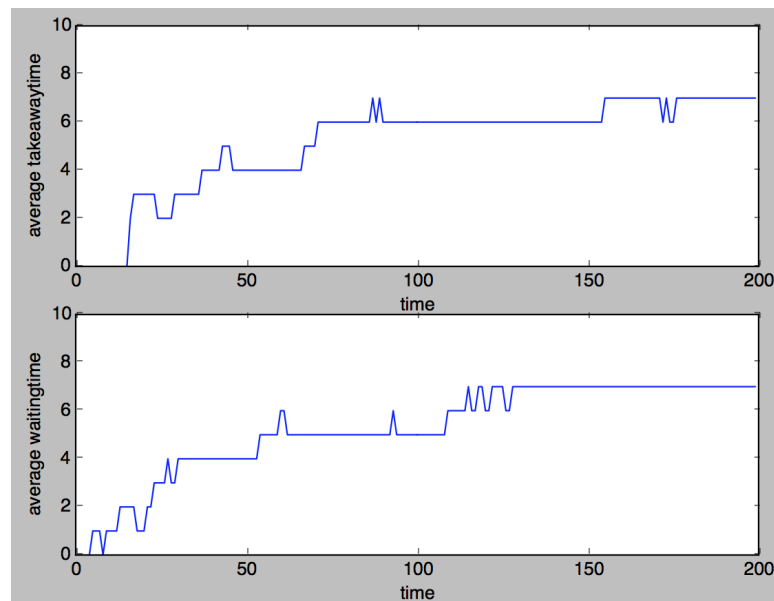


Abbildung 4.2: Zeiten des einfachen Schedulers

## 4.2 Fahrstuhl mit Kenntnis einiger zukünftiger Anfragen

Im Folgenden werden die ermittelten Werte des wissenden Fahrstuhl-Schedulers dargestellt.

In Diagramm 4.3 ist der Durchsatz des einfachen Schedulers dargestellt. Es ist zu sehen, dass der wissende Scheduler nach Ablauf der Simulationszeit 92 Fahrstuhl-Rufe erledigt hat.

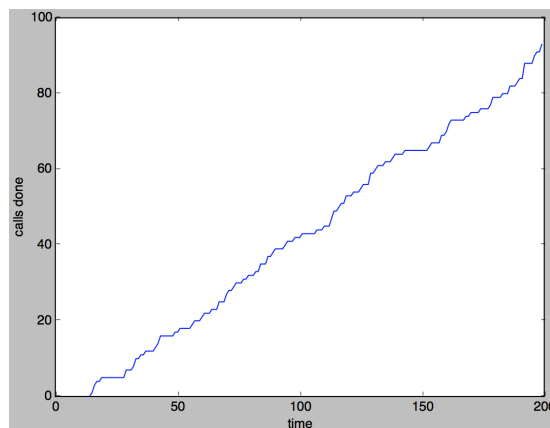


Abbildung 4.3: Durchsatz des wissenden Schedulers

In Abbildung 4.4 sind die durchschnittlichen Warte- und Fahrzeiten pro Zeiteinheit der Fahrstuhlrufe zu sehen.

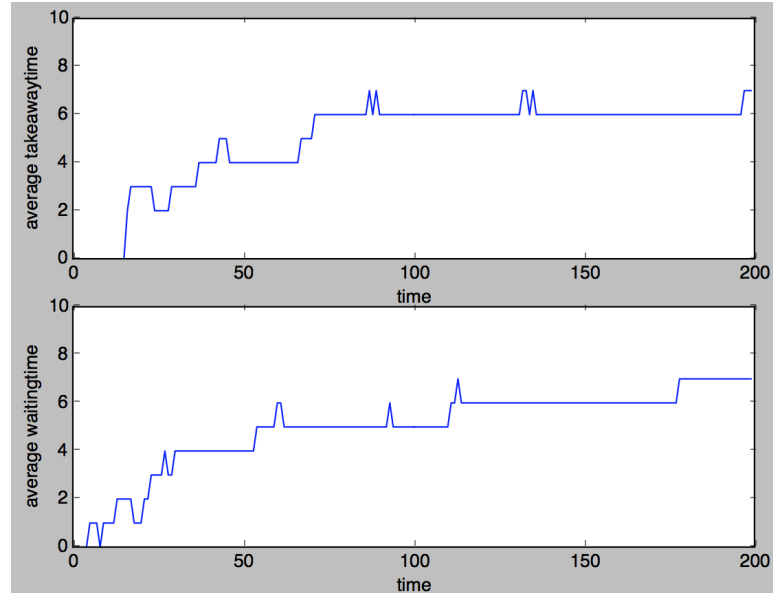


Abbildung 4.4: Zeiten des wissenden Schedulers

### 4.3 Betrachtung einzelner Anfragen

Einige zufällig ausgewählte Fahrstuhl-Anfragen wurden in der Simulation so konfiguriert, dass sie dem wissenden Scheduler vorzeitig bekannt sind. Für diese dedizierten Anfragen wurden einige Werte erfasst, die im Folgenden gezeigt werden. Dort ist außerdem zu sehen, zu welchem Zeitpunkt die Anfrage in das Scheduling des Schedulers eingegangen ist. Dieser Zeitpunkt ist in der Tabelle 4.1 in der Spalte *Scheduler-Zeit* geführt.

Die Zeitwerte sind in der Tabelle 4.1 aufgeführt. Die Zeit-Werte einer Zelle sind dabei folgendermaßen zu lesen:  $a/b$  wobei  $a$  der Wert ist, der im einfachen Scheduler erreicht wurde und  $b$  der Wert ist, der im wissenden Scheduler erreicht wurde.

ID der Anfrage	Scheduler-Zeit	Wartezeit	Fahrzeit
52	104/94	115/105	131/119
59	118/108	134/129	140/135
74	148/138	163/149	176/158
83	166/156	166/167	169/170

Tabelle 4.1: Zeit-Werte von ausgewählten Anfragen

## 4.4 Analyse

Nimmt man die Abbildungen dieses Kapitels für sich, haben sie keine Aussagekraft. Im Folgenden werden sie miteinander verglichen, um einen Wert aus ihnen zu ziehen.

Vergleicht man die Durchsatz-Abbildungen, dann sieht man, dass der wissende Scheduler einige Fahrstuhlrufe mehr beendet hat als der einfache Scheduler. Dies ist auf die Konstellation der zufällig erstellten Fahrstuhlrufe zurückzuführen und ist für diese Betrachtung nicht von Interesse. Simulationen mit anderen zufälligen Fahrstuhlruf-Konstellationen hat gezeigt, dass der einfache Scheduler ebenso einen höheren Durchsatz erreichen kann als der wissende Scheduler.

Was außerdem auffällt ist, dass die Kurve anders verläuft. Bis zum Zeitpunkt 104 verlaufen die Durchsatz-Kurven der beiden Scheduler gleichmäßig. Zu dem Zeitpunkt tritt der erste zukünftige Fahrstuhlruf auf. Man sieht in den Graphen, dass in der Kurve des wissenden Scheduler - im Vergleich zum einfachen Scheduler - an dieser Stelle weniger Rufe erledigt wurden. Dies liegt am veränderten Scheduling-Verhalten, das in in Abschnitt 3.3 erklärt wird. An den Zeitpunkten 118, 148 und 166 treten ebenfalls zukünftige Rufe auf. Zu diesen Zeitpunkten ist ebenfalls niedriges Wachstum in Abbildung 4.3 zu finden.

Ähnlich ist es in den Zeit-Graphen (Abbildungen 4.2 und 4.4). Auch dort verlaufen die Kurven der beiden Scheduler bis zum Auftreten des ersten zukünftigen Fahrstuhlrufs deckungsgleich. Ab dem Zeitpunkt 104 verläuft die Kurve des wissenden Schedulers anders als die des einfachen Schedulers. Die Durchschnittswerte der Warte- und Fahrzeiten des einfachen Schedulers wachsen nach dem Zeitpunkt 104 auf den Wert sieben an. Dieses Wachstum gibt es beim wissenden Schedulers auch, dort erfolgt das Wachstum allerdings erst später. Diese Wachstums-Verzögerung ist nicht von Bedeutung, denn Simulationsversuche mit anderen zufälligen Fahrstuhlruf-Konstellationen haben gezeigt, dass der wissende Scheduler ebenso deutlich höhere Zeit-Werte als der einfache Scheduler erreichen kann.

## **5 Fazit**

# Literaturverzeichnis

- [Manasse u. a. 1988] MANASSE, Mark ; MCGEOCH, Lyle ; SLEATOR, Daniel: Competitive algorithms for on-line problems. In: *Proceedings of the twentieth annual ACM symposium on Theory of computing* ACM (Veranst.), 1988, S. 322–333
- [Pinedo 2012] PINEDO, Michael L.: *Scheduling: theory, algorithms, and systems*. Springer Science & Business Media, 2012