

# **Managing Complexity in Carbon-Aware Scheduling: saving emissions via an emission aware scheduling model**

**TODO: Titel in Deutsch**

Vincent Opitz

Arbeit zur Erlangung des Grades “Master of Science” der  
Digital-Engineering-Fakultät der Universität Potsdam



# **Managing Complexity in Carbon-Aware Scheduling: saving emissions via an emission aware scheduling model**

**TODO: Titel in Deutsch**

Vincent Opitz

Arbeit zur Erlangung des Grades “Master of Science” der  
Digital-Engineering-Fakultät der Universität Potsdam

Unless otherwise indicated, this work is licensed under a Creative Commons license:

© ⓘ ⓘ Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International.

This does not apply to quoted content from other authors and works based on other permissions.

To view a copy of this license, visit

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en>

**Managing Complexity in Carbon-Aware Scheduling: saving emissions via an emission aware scheduling model**

**(TODO: Titel in Deutsch)**

von Vincent Opitz

Arbeit zur Erlangung des Grades “Master of Science” der Digital-Engineering-Fakultät der Universität Potsdam

**Betreuer:in:** Prof. Dr. rer. nat. habil. Andreas Polze  
Universität Potsdam,  
Digital Engineering-Fakultät,  
Fachgebiet für Betriebssysteme und Middleware

**Gutachter:in:** Prof. Dr. Jack Alsohere  
University of San Serife  
Faculty of Computer Doings  
Amelia van der Beenherelong  
ACME Cooperation

**Datum der Einreichung:** 23. April 2024

## **Zusammenfassung**

This thesis delves into optimizing job scheduling in a High-Performance Computing (HPC) environment with a focus on reducing CO<sub>2</sub> emissions. Given the time-dependent nature of CO<sub>2</sub> emissions, various strategies such as temporal shifting, frequency scaling, and node management have been explored in existing literature. Moreover, job scheduling may involve considerations like priorities, deadlines, and time constraints.

To address these complexities, this work introduces a novel parameterized model that allows integration of multiple scheduling approaches. This model serves as the foundation for developing a scheduler aimed at minimizing carbon emissions while upholding quality of service standards. Validation of the model is conducted using real-world academic data center scenarios.

Through simulation experiments with diverse parameters, our proposed scheduler demonstrates significant reductions in carbon emissions compared to conventional approaches. Specifically, it achieves a 10% reduction for round-robin-scheduled workloads and an impressive 20% reduction for backfill-scheduled workloads.



# Contents

<b>1</b>	<b>Aufbau der Arbeit</b>	<b>1</b>
<b>A</b>	<b>Appendix</b>	<b>3</b>
	<b>References</b>	<b>3</b>





# 1 Aufbau der Arbeit

Jede Arbeit besteht in der Regel aus einer **Problemstellung**, einem **definitorischen Abschnitt**, der eigentlichen **Behandlung der Problemstellung** sowie einer **Zusammenfassung der zentralen Ergebnisse**.

**Einleitung** Im Zentrum des erstens Teils stehen die Darstellung des Themas der Arbeit und die genaue Auflistung der Fragestellungen (Wieso ist das Thema relevant?). Ebenso sollten schon einzelne Aspekte des Problems herausgearbeitet werden. Dabei ist es hilfreich, die zentralen Fragen aufzulisten, die im Rahmen der Arbeit beantwortet werden sollen.

Außerdem sollte ein knapper Überblick gegeben werden, in welchen Schritten die Problembehandlung erfolgt: Hinführung zum Thema, Herleitung und Ausformulierung der Fragestellung, Abgrenzung des Themas (Angabe von Aspekten, die zum Thema gehören, aber ausgeklammert werden) und Aufbau der Arbeit (Begründung der Gliederung).

**Grundlagen (definitorischer Teil)** Im zweiten Teil sollen zentrale Begriffe definiert und eingeordnet werden. Es geht dabei nicht darum, Definitionen aus Lexika zu suchen; stattdessen sollten problemorientierte Definitionen verwendet werden. Häufig können einzelne Begriffe unterschiedlich weit oder eng definiert werden, sodass auch eine Diskussion unterschiedlicher Definitionsansätze hilfreich sein kann, bevor eine für die weitere Arbeit verbindliche Definition gewählt wird. Zudem sollte ein Überblick über die in der Literatur vorhandenen Methoden bzw. Lösungsansätze, der aktuelle Stand der Technik und verwandte Arbeiten gegeben werden.

**Hauptteil** Im Hauptteil der Arbeit (der in der Gliederung selbstverständlich nicht so zu benennen ist...) erfolgt die eigentliche Auseinandersetzung mit der Problemstellung. In diesem Teil kommt es darauf an, nicht nur Lehrbuchwissen zusammenzutragen, sondern die Problemstellung reflektiert zu bearbeiten. Aussagen sollten durch herangezogene Literatur gestützt und belegt werden. Bitte darauf achten, in logischen, nachvollziehbaren Schritten vorzugehen.

**Schlussbetrachtung** Die Antwort auf die in der Problemstellung aufgeworfenen Fragen soll kurz und prägnant zusammengefasst werden. Ebenso sollte ein Ausblick auf offen gebliebene Fragen sowie auf interessante Fragestellungen, die sich aus der Arbeit ergeben, gegeben werden. Eine kritische Betrachtung der eigenen Arbeit ist an dieser Stelle ebenfalls sinnvoll.

Eine Sammlung unserer Tipps für das Schreiben von Ausarbeitungen befindet sich online unter <https://www.dcl.hpi.uni-potsdam.de/media/theses/>.



# A Appendix

## **Eins (ohne extra Eintrag im Inhaltsverzeichnis)**

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum.

## **Zwei (ohne extra Eintrag im Inhaltsverzeichnis)**

Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua.

## **Drei (ohne extra Eintrag im Inhaltsverzeichnis)**

At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

## **Vier (ohne extra Eintrag im Inhaltsverzeichnis)**

Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.



### **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit versichere ich, dass meine Arbeit zur Erlangung des Grades "Master of Science" der Digital-Engineering-Fakultät der Universität Potsdam mit dem Titel "Managing Complexity in Carbon-Aware Scheduling: saving emissions via an emission aware scheduling model" ("TODO: Titel in Deutsch") selbständig verfasst wurde und dass keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen benutzt wurden. Diese Aussage trifft auch für alle Implementierungen und Dokumentationen im Rahmen dieses Projektes zu.

Potsdam, den 23. April 2024

---

(Vincent Opitz)