

# Performance Vergleich von Typ 1 und Typ 2 Hypervisoren

Colin Jochum, Tom Kleinhapl  
FH JOANNEUM – University of Applied Sciences  
Dep. of Applied Computer Sciences  
Alte Poststraße 147  
8020 Graz, Austria  
Supervisor: FH-Prof. Mag. Dr. Robert Singer

**Abstract**—Diese Arbeit dreht sich um den Vergleich von Typ 1 und Typ 2 Hypervisoren hinsichtlich deren Performance. Die Forschungsfrage dieser Arbeit lautet, ob es einen signifikanten Unterschied ( $>10\%$ ) hinsichtlich der CPU-Rechenleistung und der Boot-Zeit zwischen den zwei Hypervisor Typen (Typ 1, Typ 2) gibt.

Um die Fragestellung zu beantworten, wurden zwei Messszenarien konzipiert. Der erste Messaufbau behandelt die Frage hinsichtlich der CPU-Rechenleistung. Hierbei kommt das CPU Benchmarking Tool Geekbench 5 zum Einsatz mit welchem sich sehr einfach die CPU Performance über ein Punktesystem vergleichen lässt. In diesem Test wurde sowohl die Single-Core sowie die Multi-Core Performance beider Hypervisoren verglichen. Zusätzlich wurden die Hypervisoren mit der Performance des Host Betriebssystems verglichen, um einen noch besseren Eindruck hinsichtlich der verringerten Leistung von Hypervisoren zu bekommen. Um zufällige Messfehler auszugleichen, wurden alle Geekbench Tests fünf Mal durchgeführt und der durchschnittliche Wert für die Interpretation des Ergebnisses herangezogen. Der zweite Messaufbau beschäftigte sich mit dem Vergleich der Boot Zeit der beiden Hypervisor Typen. Hierzu wurde eine Kamera aufgestellt, welche die Zeit vom Start (Betätigen des Power On Buttons) bis zum Log-in Bildschirm filmt.

Die Ergebnisse des ersten Messszenarios brachten hervor, dass tatsächlich kein signifikanter Unterschied ( $>10\%$ ) hinsichtlich der CPU-Rechenleistung zwischen den Hypervisoren besteht. Sowohl im Single-Core als auch im Multi-Core Benchmark erreichte der Hypervisor Typ 1 eine minimal bessere Leistung. Im Single-Core Benchmark betrug der Unterschied lediglich  $3,40\%$  und im Multi-Core Benchmark betrug der Unterschied  $5,33\%$ . Die Performance im Vergleich zum Host Betriebssystems war jedoch wie zu erwarten signifikant und Betrug bis zu  $16\%$  im Single-Core Benchmark.

Das zweite Messszenario welches sich der Boot-Zeit annahm, brachte hervor, dass der Typ 2 Hypervisor durchschnittlich  $70\%$  länger brauchte als der Typ 1 Hypervisor. Hier ist ein signifikanter Unterschied von  $>10\%$  gegeben und lässt sich darauf zurückzuführen, dass beim Start eines Typ 2 Hypervisoren wesentlich mehr Overhead involviert ist.

## I. EINLEITUNG

Hardware Virtualisierung ist ein unabkömmlicher Teil unserer Leben geworden. Anwendungen, die auf einer bare-metal OS laufen, sind heutzutage eine Rarität. Auch auf dem privaten Rechner wird es immer gängiger, für bestimmte Anwendungszwecke eine virtuelle Maschine (VM) zu nutzen. Um VMs zu betreiben, wird eine Abstraktionsschicht für

die Hardware benötigt. Diese ist meist in der Form eines Hypervisors gegeben. Wir stellen uns die Frage, wie groß die Auswirkung der Architektur eines Hypervisors, welche dessen Typ ausmacht, auf CPU Performance und Boot-Zeit hat.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, Performance Unterschiede zwischen Typ 1 und Typ 2 Hypervisoren zu untersuchen, um signifikante Abweichungen ( $>10\%$ ) hinsichtlich CPU-Rechenleistung und Boot-Zeit festzustellen. Dafür wurden zwei Mess-Szenarien entworfen und in einer Testumgebung durchgeführt. Im ersten Teil der Arbeit werden theoretische Inhalte der Virtualisierung und der Nutzung von Hypervisoren erläutert, anschließend werden die Messungen und deren Ergebnisse dargelegt und interpretiert. Im letzten Kapitel werden mögliche Schlüsse aus den gewonnenen Erkenntnissen gezogen.

## II. VIRTUALISIERUNG UND HYPERVISOREN

In der Informatik wird der Begriff der Virtualisierung primär mit der Virtualisierung von Hardwareressourcen assoziiert. Darunter versteht man die Nachbildung einer realen Hardwareressource in einem standardisierten virtuellen Abbild mit Hilfe eines Abstraktions-Layers. Diese abstrahierende Schicht, zwischen Hardware und Betriebssystem, wird als Hypervisor, oder ursprünglich auch Virtual-Machine-Monitor (VMM) bezeichnet. [1] Durch die Abstraktion der zugrunde liegenden Hardwareressourcen in logische Ressourcen, bietet ein Hypervisor eine virtuelle Umgebung für Betriebssysteme. Grundsätzlich müssen Hypervisoren drei wesentliche Aufgaben erfüllen:

- Eine Umgebung schaffen, die mit der physischen Umgebung ident ist.
- Eine Umgebung mit minimalen Rechenleistungskosten bereitstellen.
- Die Kontrolle über die Systemressourcen bewahren.

[2]

Die ursprüngliche Bezeichnung von Hypervisoren als VMM stammt vom primären Verwendungszweck der kompletten Systemvirtualisierung von Computern, nämlich das Ausführen von komplett voneinander isolierten Gasbetriebssystemen in virtuellen Maschinen. Die Form der Komplett-Virtualisierung steht auch im Fokus unserer Messszenarien. Im Kontrast dazu gibt es auch die Paravirtualisierung, bei welcher sich mehrere

Gasbetriebssysteme einen Kernel teilen. Die Kompletvirtualisierung ermöglicht ebenfalls das Hosten mehrerer Betriebssysteme, allerdings benutzt hier jede Maschine einen eigenen Kernel. Der Hypervisor selbst erfüllt bei der Ressourcenallokation eine ähnliche Rolle wie ein Betriebssystem. Nur kommen Ressourcenanfragen nicht von einzelnen Anwendungen, sondern von einer VM. [3]

#### A. Typ1 und Typ2 Hypervisoren

Bei Hypervisoren wird generell zwischen zwei Architekturen unterschieden: Typ 1 Hypervisoren (auch native oder bare-metal Hypervisor) und Typ 2 Hypervisoren (auch hosted Hypervisor). Ein Typ 1 Hypervisor wird auch als nativer oder bare-metal Hypervisor beschrieben, weil dieser direkt auf der Server Hardware läuft, ohne ein darunterliegendes Betriebssystem zu benötigen. Ein typischer Typ 1 Hypervisor ist VMware ESXi. Der Typ 2 Hypervisor oder auch hosted Hypervisor läuft über einem traditionellen Betriebssystem, dieses wird auch als Host-Betriebssystem bezeichnet. Ein typischer Typ 2 Hypervisor ist VMware Workstation. Die verschiedenen Architekturen der beiden Hypervisor Typen werden in Abbildung 1 dargestellt.<sup>1</sup> [3]

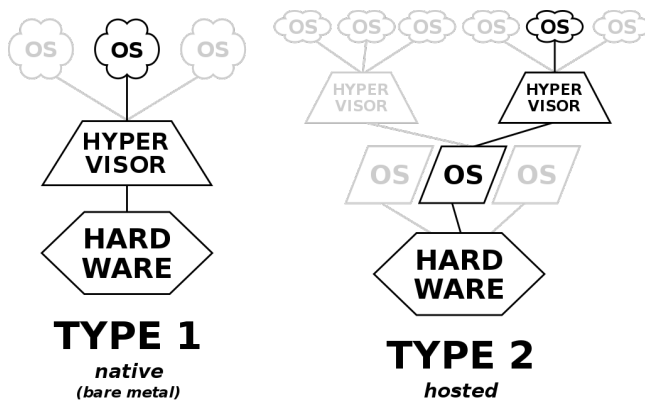


Fig. 1. Die Architektur von Typ 1 und Typ 2 Hypervisoren  
Quelle: <https://en.wikipedia.org/wiki/Hypervisor>

Der wesentliche Vorteil eines Typ 1 Hypervisoren ist hier leicht zu erkennen, zwischen Gastbetriebssystem und Hardware befindet sich eine Schicht weniger. Generell würde man bei einem Typ 1 Hypervisor eine bessere Performance erwarten, da hier Systemcalls von Gastbetriebssystemen über den Hypervisor direkt zu den Hardwareressourcen gelangen und somit weniger Overhead haben. Trotzdem finden beide Hypervisor Architekturen noch Anwendung, nur oftmals für andere Zwecke. Da Typ 2 Hypervisoren deutlich weniger Anforderungen an die Systemhardware haben, werden diese oftmals für den Betrieb von VMs auf Endgeräten eingesetzt.

#### III. ANBIETER WAHL

Bei der Wahl der Hypervisoren für die Messungen haben wir uns am Marktanteil der verschiedenen Provider orientiert. Wie in Abbildung 2 zu sehen ist, haben VMware Produkte

aggregiert deutlich die Nase vorne. Die Wahl des Typ 1 Hypervisoren viel daher auf den VMware vSphere Hypervisor, auch als VMware ESXi bekannt. Für den Typ 2 Hypervisor fiel die Wahl schlussendlich auf VMware Workstation. Beides sind kommerzielle Virtualisierungslösungen, welche lizenzfrei nur für eine Probezeit oder mit eingeschränktem Feature-Set nutzbar sind.

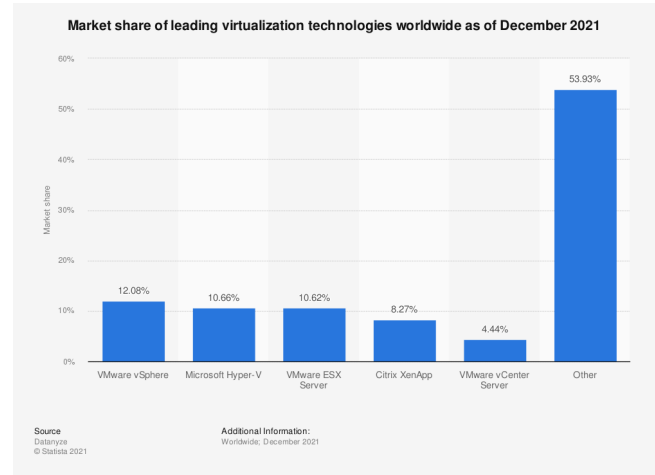


Fig. 2. Weltweiter Marktanteil von Virtualisierungstechnologien  
Quelle: <https://www.statista.com/statistics/1252355/top-virtualization-technologies-by-domain/>

#### IV. COMPUTER SPEZIFIKATION

Die zwei Computersysteme, welche für die Versuche/Messungen verwendet wurden, wurden von der FH Joanneum Graz zur Verfügung gestellt. Es wurden zwei Systeme ausgewählt da dadurch ein paralleler Testbetrieb ermöglicht wurde was eine enorme Zeitersparnis einbrachte. Bei den Systemen handelt es sich um zwei vollständig idente Systeme um zu gewährleisten, dass die Grundvoraussetzungen dieselben sind. Die untenstehende Tabelle gibt einen Überblick über die wichtigsten Spezifikationen der beiden Systeme.

CPU	Intel Core i7-6700 4 Kerne + 4 Threads (3,40GHz)
SSD	Samsung 500GB 860 EVO SSD
RAM	16GB DDR4 RAM
Hypervisor Typ 1	VMware vSphere Hypervisor
Hypervisor Typ 2	VMware Workstation 16 Pro (30 Tage Testversion)
OS	Windows 10

#### V. MESSUNG DER CPU PERFORMANCE

In diesem Kapitel wird die Leistung der CPU zwischen Hypervisor Typ 1 und Hypervisor Typ 2 verglichen. Es wird sowohl die Single-Core Performance als auch die Multi-Core Performance gemessen.

##### A. Messaufbau

Für die Messung der CPU Performance haben wir uns dazu entschieden das Tool Geekbench in der derzeit aktuellen Version 5 zu verwenden. Bei Geekbench werden eine Vielzahl

<sup>1</sup><https://www.computerwoche.de/a/alles-ueber-virtualisierung,2350017>

von unterschiedlichen Workloads durchgeführt um die Single-Core sowie die Multi-Core Performance zu testen <sup>2</sup>. Am Ende eines Testdurchlaufs berechnet Geekbench einen Score, welcher sich sehr gut dazu eignet, die Hypervisortypen zu vergleichen. Die Spezifikationen des Testsystems lassen sich aus Kapitel 4 entnehmen. Bei den Messungen haben wir sowohl die Single-Core Performance als auch die Multi-Core Performance gemessen. Die Messungen wurden 5-mal auf den zwei Virtualisierungsmethoden (Hypervisor Typ1, Hypervisor Typ2) durchgeführt, um Messfehler bzw. ungewollte Ausreiser durch eine Bildung des Mittelwerts auszugleichen.

### B. Single-Core Performance-Messung

Bei der Single-Core Performance Messung wird lediglich die Performance eines einzigen Rechenkerns gemessen. Dies bedeutet das Geekbench für den Benchmark eine vordefinierte CPU reserviert, um darauf den Benchmark durchzuführen. Vor der Durchführung des Experiments wurden theoretische Annahmen bezüglich der Unterschiede in den Scores zwischen Hypervisor Typ 1 (ESXi) und Typ 2 (VMware Workstation Pro) besprochen. Es ist zu erwarten, dass sich die Punkteanzahl bei einem Single-Core Performance Benchmark zwischen den Hypervisoren nur marginal unterscheidet. Wie bereits erwähnt, wurde der Single-Core Benchmark insgesamt fünf Mal durchgeführt, um zufällig auftretende Messfehler später einfach mittels einer Mittelung auszugleichen. Die Resultate des Single-Core Performance Tests mittels Geekbench 5 finden sich in der unterstehenden Grafik.

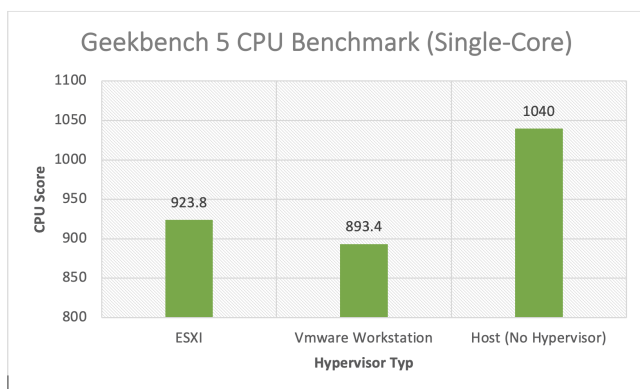


Fig. 3. Single Core Benchmark

Wie angenommen unterschieden sich die Endergebnisse zwischen ESXi und VMware Workstation Hypervisor nur marginal. Der Typ 1 (ESXi) Hypervisor weißt wie zu erwarten eine höhere CPU Performance auf jedoch ist der Unterschied mit 30,4 Punkten (3,40%) beinahe vernachlässigbar. Wesentlich höher fällt der Unterschied aus, wenn man das Single-Core Punkteergebnis des Hosts (Kein Einsatz eines Hypervisoren) mit den Hypervisor Resultaten vergleicht. Der Host erreichte im Single-Core Performance Benchmark einen

Wert von 1040 Punkten was im Vergleich zum ESXi Hypervisor ein Plus von 116,2 Punkten (12,57%) bedeutet. Noch deutlicher fällt das Resultat aus, wenn dieses mit dem der VMware Workstation verglichen wird, denn hier beträgt der Unterschied bereits 146,6 Punkte (16,40%). Das Ergebnis entspricht den Erwartungen jedoch wurde nicht erwartet, dass beide Hypervisoren im Vergleich zum Host einen doch sehr deutlichen Performanceeinbruch erleiden.

### C. Multi-Core Performance-Messung

Der Multi Core Benchmark hatte denselben Ablauf wie der Single-Core Benchmark nur wurden hier alle 8 Kerne verwendet. Dieser Benchmark bereitete in der Vorbereitung zu den Benchmarks Probleme da der ursprünglich ausgewählte Typ 2 Hypervisor VMware Player nicht mehr als 4 Kerne unterstützte. Das Problem wurde nach einiger Recherche entdeckt und der für Enterprise Systeme gedachte Typ 2 Hypervisor VMware Workstation Pro 16, welcher mehr als 4 Kerne unterstützt kam für alle durchgeführten Tests zum Einsatz. Wie bereits beim Single-Core Benchmark wurde im Vorfeld überlegt wie die Endergebnisse aussehen könnten und ob die Unterschiede zwischen den zwischen den Hypervisor Typen in dieser Messung höher ausfallen könnten. Es wird erwartet das die Endpunkte aufgrund der Anzahl von Kernen wesentlich höher ausfällt jedoch wird, angenommen dass prozentuell der Unterschied zwischen den Hypervisoren sich ähnlich verhält wie bei der Single-Core Performance Messung.

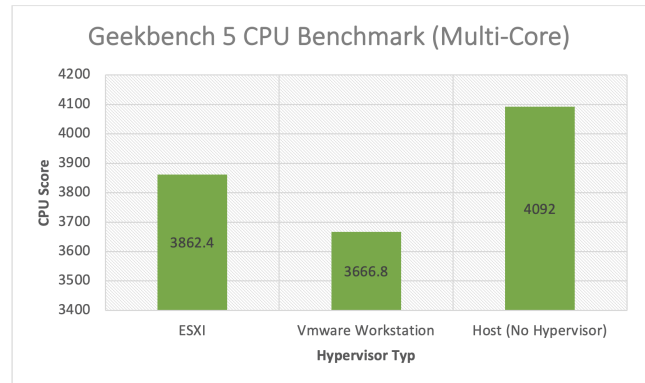


Fig. 4. Multi-Core Benchmark

Wie erwartet sind bei der Multi-Core Messung im Vergleich zum Single-Core Benchmark wesentlich höhere Ergebnisse sichtbar was auf den Einsatz von insgesamt 8 Kernen (4 Kerne + 4 Threads) zurückzuführen ist. Der Typ 1 Hypervisor erreichte in diesem Benchmark eine Punktezahl von 3862,4 Punkten und übertrifft wie erwartet die 3666,8 Punkte des VMware Workstation Typ 1 Hypervisoren. Der Unterschied zwischen Typ 1 und Typ 2 beträgt 195,6 Punkte (5,33%) und ist somit ist der Unterschied nur marginal größer als bei der Single-Core Messung (3,29%). Wie auch beim Single-Core Performance Benchmark ist auch hier der Unterschied zum Hostsystem deutlich sichtbar. Hier beträgt der Unterschied

<sup>2</sup><https://www.geekbench.com/doc/geekbench5-cpu-workloads.pdf>

zwischen Typ 1 ESXi Hypervisor und Host 229,6 Punkte (5,94%). Der Unterschied zwischen Typ 2 VMware Workstation Hypervisor und Host beträgt 425,2 Punkte (11,59%) und fällt wie erwartet höher aus. Im Vergleich zum Single-Core Benchmark fällt hier jedoch der Unterschied prozentual gesehen geringer aus.

#### D. Interpretation

In beiden Testszenarien zeigt sich, dass der Typ 1 Hypervisor im Vergleich zu einem Typ 2 Hypervisor eine höhere CPU-Leistung erzielen kann. Zu Beginn der Arbeit wurde definiert, dass eine Leistungssteigerung von >10% einen signifikanten Unterschied bedeutet. Durchschnittlich erzielt der Typ 1 Hypervisor im Vergleich zum Typ 2 Hypervisor eine 4,31% höhere Leistung (Multi-Core und Single-Core) und somit wird dies als nicht signifikante Leistungssteigerung betrachtet. Beachtlich war hingegen, dass im Vergleich zum Host System beide Hypervisor Typen einen erheblichen Leistungseinbruch verzeichnen müssen.

### VI. MESSUNG DER BOOT-ZEIT

In diesem Kapitel werden die Bootzeiten von Typ 1 und Typ 2 Hypervisoren verglichen. Es wurde darauf geachtet, dass auf beiden Windows VMs dieselben Applikationen im Bootprozess gestartet werden.

#### A. Messaufbau

Für die Messung der Bootzeiten der VMs wurden auf beiden PCs eine Windows 10 VM mit identen Spezifikationen konfiguriert. Ursprünglich sollte dafür der Windows Log mit der ID 100 im Ereignisprotokoll als Messinstrument verwendet werden. Dieses Ereignis wird von Windows 10 standardmäßig bei jedem Bootvorgang geloggt und beinhaltet unter anderem die Boot-Zeit in Millisekunden.<sup>3</sup> Allerdings, stellte sich heraus, dass dieses Ereignis in virtuellen Umgebungen nicht erfasst werden kann. Daher wurde die Boot-Zeit durch das Filmen des Bildschirms erfasst, welches es ermöglicht den Start- und End-Frame des Bootvorganges genau festzulegen und somit auf die vergangene Zeit rückzuschließen. Für das Messergebnis wurden zwei Messungen auf den beiden PCs festgehalten und der Mittelwert berechnet.

#### B. Interpretation

Das Ergebnis der Bootzeitmessung ist in Abbildung 5 zu sehen. Das Booten der Windows VM auf dem Typ 2 Workstation Hypervisor dauerte etwa 70% länger als auf dem Typ 1 Hypervisor. Ein signifikanter Unterschied, welchen wir als größer 10% definiert haben, ist somit gegeben. Zurückzuführen ist der Unterschied auf einen geringeren Overhead von Typ 1 Hypervisoren, im Vergleich zu Typ 2 Hypervisoren, welche ein zusätzliches Hostbetriebssystem betreiben müssen. Die Abweichung zwischen den beiden Messungen war bei dem Typ 2 Hypervisor ebenfalls größer. Die erste Typ 2 Messung lag bei 18,3 Sekunden und die zweite bei 17 Sekunden. Die

<sup>3</sup><https://www.windows-faq.de/2017/02/05/windows-ereignis-id-100-im-ereignisprotokoll/>

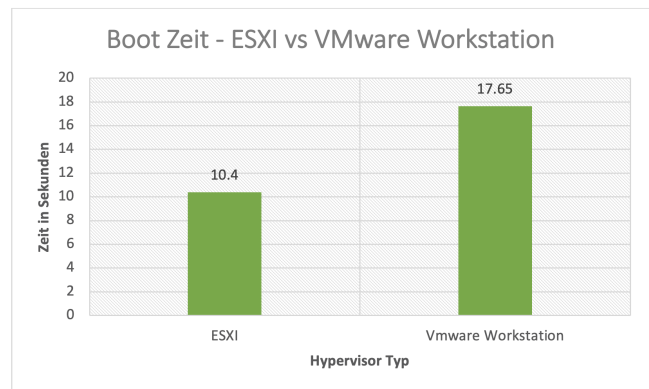


Fig. 5. Boot Zeit Typ1 (ESXi) vs Typ2 (VMware Workstation)

Typ 1 Messungen kamen bei beiden Bootvorgängen auf genau 10,4 Sekunden.

### VII. FAZIT

Das Hauptziel dieser Arbeit war es festzustellen, ob ein signifikanter Unterschied zwischen den Hypervisoren Typ 1 und Typ 2 hinsichtlich der CPU-Rechenleistung und der Boot-Zeit existiert.

Die erste Messung, welche sich der CPU-Rechenleistung angenommen hat, hat ergeben, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen dem Hypervisor Typ 1 und Hypervisor Typ 2 gibt. Dieses Ergebnis zeigt, dass der Typ 2 Hypervisor aufgrund zahlreicher Optimierungen in dieser Workload-Kategorie durchaus mit dem Typ 1 mithalten kann. Die Messung zeigte jedoch deutlich, dass der Einsatz von Hypervisoren einen deutlichen Leistungseinbruch im Vergleich zum Host Betriebssystem mit sich bringt.

Die zweite Messung fokussierte sich auf den Vergleich hinsichtlich der Boot-Zeit und hier zeigten die Messungen, dass durchaus ein signifikanter Unterschied zwischen den zwei verschiedenen Hypervisoren besteht. Der Hypervisor mit Typ 1 konnte eine um 70% schnellere Boot-Zeit vorweisen, was darauf zurückzuführen ist, dass beim Booten der Overhead des Typ2 deutlicher zum Tragen kommt.

Abschließend lässt sich sagen, dass es sehr stark davon abhängt welche Workload verwendet wird. Der Typ 2 welcher auf dem Papier deutlich mehr Overhead mit sich bringt kann in einigen Szenarien durchaus mit dem Typ 1 Hypervisor mithalten. Hier wären weitere Messungen / Untersuchungen mit unterschiedlichen Workload Szenarien möglich.

### REFERENCES

- [1] M. Portnoy, *Virtualization Essentials*, 2nd ed., J. Lefevre, Ed. John Wiley & Sons, Inc., 2016.
- [2] G. J. Popek and R. P. Goldberg, "Formal requirements for virtualizable third generation architectures," *Commun. ACM*, vol. 17, no. 7, pp. 412–421, jul 1974. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/361011.361073>
- [3] R. P. Goldberg, "Architectural principles for virtual computer systems," 1973.

## LIST OF FIGURES

1	Die Architektur von Typ 1 und Typ 2 Hypervisoren Quelle: <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Hypervisor">https://en.wikipedia.org/wiki/Hypervisor</a> .	2
2	Weltweiter Marktanteil von Virtualisierungstechnologien Quelle: <a href="https://www.statista.com/statistics/1252355/top-virtualization-technologies-by-domain/">https://www.statista.com/statistics/1252355/top-virtualization-technologies-by-domain/</a> . . . . .	2
3	Single Core Benchmark . . . . .	3
4	Multi-Core Benchmark . . . . .	3
5	Boot Zeit Typ1 (ESXi) vs Typ2 (WMware Workstation) . . . . .	4