

# **Nutzwertanalyse von Virtualisierungsplattformen Windows Hyper-V Manager und Linux PROXMOX für die Virtualisierung von Windows Server 2019**

## **Bachelorarbeit**

eingereicht von: **Danijel Matuzovic**

Matrikelnummer: 52108401

im Fachhochschul-Bachelorstudiengang Wirtschaftsinformatik (0470)  
der Ferdinand Porsche FernFH

zur Erlangung des akademischen Grades eines  
**Bachelor of Arts in Business**

Betreuung und Beurteilung: Herr Dieter Brennsteiner

Wiener Neustadt, September 2024

## Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere hiermit,

1. dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle Inhalte, die direkt oder indirekt aus fremden Quellen entnommen sind, sind durch entsprechende Quellenangaben gekennzeichnet.
2. dass ich diese Bachelorarbeit bisher weder im Inland noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit zur Beurteilung vorgelegt oder veröffentlicht habe.

Eggenstein-Leopoldshafen, 29.09.2024



---

Unterschrift

### Creative Commons Lizenz

Das Urheberrecht der vorliegenden Arbeit liegt bei beim Autor. Sofern nicht anders angegeben, sind die Inhalte unter einer Creative Commons „Namensnennung - Nicht-kommerziell - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz“ (CC BY-NC-SA 4.0)> lizenziert.

Die Rechte an zitierten Abbildungen liegen bei den in der jeweiligen Quellenangabe genannten Urheber\*innen.

Die Kapitel 1 bis 5 der vorliegenden Bachelorarbeit wurden im Rahmen der Lehrveranstaltung „Bachelor Seminar 1“ eingereicht und am 03.09.2024 als Bachelorarbeit 1 angenommen.
--

**Kurzzusammenfassung:** Nutzwertanalyse von Virtualisierungsplattformen Windows Hyper-V Manager und Linux PROXMOX für die Virtualisierung von Windows Server 2019

Virtualisierung ist heute ein zentraler Bestandteil der IT-Welt und ermöglicht es Unternehmen, ihre Ressourcen effizienter zu nutzen. Benutzer, Computer und virtuelle Maschinen (VMs) teilen sich gemeinsam Ressourcen wie CPU, Speicher und Netzwerk, um die Auslastung zu maximieren und Kosten zu senken.

In dieser Arbeit geht es um den Vergleich zweier Virtualisierungsplattformen, Hyper-V von Microsoft und Proxmox VE, mit dem Ziel, die optimale Lösung zur Virtualisierung von Windows Server 2019 für ein Unternehmen mit etwa 250 Mitarbeiter zu finden. Beide Plattformen bieten eine Vielzahl an Funktionen, um Server-Ressourcen effizient zu verwalten und zu verteilen. Der Vergleich konzentriert sich auf grundlegende Funktionen wie Kosten, Leistung, Skalierbarkeit, Sicherheit sowie die Nachhaltigkeit der beiden Virtualisierungsplattformen.

**Schlagwörter:**

Microsoft, Hyper-V, Proxmox, Virtualisierung, Ressourcen, virtuelle Maschinen, Linux, Nutzwertanalyse, Hypervisor

**Abstract:** Utility analysis of virtualization platforms Windows Hyper-V Manager and Linux PROXMOX for the virtualization of Windows Server 2019

Virtualization is now a central component of the IT world and enables companies to use their resources more efficiently. Users, computers and virtual machines (VMs) share resources such as CPU, memory and network to maximize utilization and reduce costs.

This paper compares two virtualization platforms, Hyper-V from Microsoft and Proxmox VE, with the aim of finding the optimal Windows Server 2019 virtualization solution for a company with around 250 employees. Both platforms offer a wide range of functions for efficiently managing and distributing server resources. The comparison focuses on basic functions such as costs, performance, scalability, security and the sustainability of the two virtualization platforms.

**Keywords:**

Microsoft, Hyper-V, Proxmox, virtualization, resources, virtual machines, Linux, utility analysis, hypervisor

# Inhaltsverzeichnis

## VORWORT UND DANK

<b>1. EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung und Motivation	1
1.2 Zielsetzung der Arbeit	2
1.3 Forschungsfrage und Hypothese	3
1.4 Struktur der Arbeit	5
<b>2. THEORETISCHER HINTERGRUND</b>	<b>8</b>
2.1 Grundlagen der Virtualisierung	8
2.2 Überblick der Hypervisor-Typen	10
2.2.1 Hypervisor Typ 1 (Bare-Metal-Hypervisor)	11
2.2.2 Hypervisor Typ 2 (Hosted-Hypervisor)	12
2.3 Hyper-V und Proxmox: Einführung und Unterschiede	12
2.3.1 Hyper-V	12
2.3.2 Proxmox	14
<b>3. AKTUELLER FORSCHUNGSSTAND UND BISHERIGE ARBEITEN DER NUTZWERT-ANALYSE DER VIRTUALISIERUNGSPLATTFORMEN</b>	<b>16</b>
<b>4. ANFORDERUNGEN VON WINDOWS SERVER 2019</b>	<b>18</b>
4.1 Systemanforderungen für Windows Server 2019	18
4.2 Versionen und Editionen von Windows Server 2019	19
4.3 Serverrollen von Windows Server 2019	21
4.3.1 Die wichtigsten Serverrollen von Windows Server 2019 (Aribas 2024)	21
<b>5. RELEVANTE TECHNOLOGIEN UND KONZEPTE</b>	<b>23</b>
5.1 Spezifische Hardwareanforderungen für die Virtualisierung	23
5.2 Hyper-V: Features und Funktionalitäten	25
5.2.1 Unterschiede zwischen Hyper-V auf Windows und auf Windows Server:	27
5.3 PROXMOX: Features und Funktionalitäten	28

<b>5.4 Spezifische Leistungskriterien für Virtualisierungsplattformen</b>	<b>30</b>
<b>6. METHODE DER NUTZWERTANALYSE FÜR DIE VIRTUALISIERUNGSPLATTFORMEN</b>	<b>32</b>
<b>6.1 Erläuterung der Nutzwertanalyse</b>	<b>32</b>
<b>6.2 Kriterien festlegen</b>	<b>34</b>
6.2.1 Leistung – 26,7 %	37
6.2.2 Sicherheit – 23,3 %	37
6.2.3 Skalierbarkeit – 16,7 %	38
6.2.4 Nachhaltigkeit – 13,3%	38
6.2.5 Kosten – 20%	39
<b>7. BEWERTUNG DER VIRTUALISIERUNGSPLATTFORMEN</b>	<b>39</b>
<b>7.1 Bewertung der Leistung</b>	<b>40</b>
<b>7.2 Bewertung der Sicherheit</b>	<b>41</b>
<b>7.3 Bewertung der Skalierbarkeit</b>	<b>43</b>
<b>7.4 Bewertung der Nachhaltigkeit</b>	<b>44</b>
<b>7.5 Bewertung der Kosten</b>	<b>45</b>
<b>8. BEWERTUNG DER DATENERGEBNISSE</b>	<b>46</b>
<b>8.1 Hyper-V</b>	<b>47</b>
<b>8.2 Proxmox VE</b>	<b>47</b>
<b>9. INTERPRETATION DER TABELLENDATEN</b>	<b>47</b>
<b>9.1 Hyper-V</b>	<b>47</b>
<b>9.2 Proxmox VE</b>	<b>48</b>
<b>10. SCHLUSSFOLGERUNG</b>	<b>49</b>
<b>10.1 Beantwortung der Forschungsfrage</b>	<b>49</b>
<b>10.2 Bewertung der Hypothese</b>	<b>50</b>
<b>11. LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>52</b>
<b>12. TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>65</b>
<b>13. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>66</b>
<b>14. ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>68</b>

## **VORWORT UND DANK**

Liebe Leserinnen und Leser,

ich freue mich, dass Sie meine Bachelorarbeit zur Virtualisierung gefunden haben. Diese Arbeit soll Ihnen die Möglichkeiten und Vorteile der Virtualisierung näherbringen und Ihr Wissen erweitern.

Mein Interesse an der Virtualisierung wurde sowohl durch mein Studium als auch durch private Recherchen geweckt. Die Virtualisierung hat die IT-Welt revolutioniert und beeinflusst unser tägliches Leben maßgeblich. Sie eröffnet neue Potenziale und verändert die Art und Weise, wie Unternehmen ihre IT-Infrastruktur verwalten und skalieren.

Diese Arbeit soll einen umfassenden Einblick in Virtualisierungstechnologien geben. Wie das Rad die Menschheitsgeschichte veränderte, so verändert die Virtualisierung die IT-Welt. Diese Technologie bietet enorme Vorteile und eröffnet neue Forschungsfelder zur Verbesserung von Sicherheit und Funktionalität.

Mein Dank gilt allen, die mich unterstützt haben. Besonders danke ich meiner Familie für ihre bedingungslose Unterstützung, Geduld und Verständnis. Ohne sie wäre mein Bildungsweg nicht möglich gewesen. Ihr Rückhalt hat mir die Kraft gegeben, das Studium erfolgreich abzuschließen.

Abschließend bedanke ich mich bei meinem Betreuer Herrn Dieter Brennsteiner, den Professoren und meinen Studienkollegen für die gemeinsame Zeit. Die Zusammenarbeit in Projekten und Diskussionen hat das Studium unvergesslich gemacht.

Ich hoffe, diese Arbeit inspiriert und bereichert Sie.

Mit herzlichen Grüßen,

Danijel Matuzovic

# 1. EINLEITUNG

## 1.1 Problemstellung und Motivation

Die Virtualisierung hat seit Anfang dieses Jahrhunderts mit der Veröffentlichung von Hypervisoren für x86-Architekturen (Pujar 2022) eine bahnbrechende Entwicklung erlebt und die Art und Weise, wie heutige IT-Systeme konzipiert und gestaltet werden, grundlegend verändert. Bahnbrechend war, dass diese Technologie nicht nur für den Gebrauch in Großrechenzentren vorbehalten war, sondern auch in kleineren Umgebungen ihren Weg gefunden hat. Diese Entwicklung ist derzeit im vollen Gange und es werden täglich neue Modelle und Konzepte entwickelt, die in kürzester Zeit von neuen ersetzt werden. (IT-Rakete 2023) Das die Virtualisierung im Vorschein gekommen ist, ist alles außer natürlich. Sie selbst ist eher als Antwort auf die notwendige und unvermeidliche Herausforderung von dem Unternehmen und der Gesellschaft ständig ihre IT-Infrastrukturen und Systeme flexibler, skalierbarer und kosteneffizienter zu gestalten. Mit diesem Versuch sind die alten Hardware-orientierten Ansätze schnell an ihre Grenzen gestoßen und stellten insbesondere Aufstellung sogar für sich selbst eine Gefährdung, um ein nicht funktionales und operatives System für die geplante Anzahl der Benutzer, die bedient werden sollen. (Red Hat 2022)

Die eigentliche Geburt der Virtualisierung datiert sogar in die 50er Jahren wo die Virtualisierung nur auf den Großrechnern, den sogenannten Mainframes lief. (Muth 2022) Damals war es sogar möglich auf den von der Firma IBM entwickelten „Virtual Machine Monitor“-Software mehrere virtuelle Maschinen auf einen physischen Großrechner auszuführen und zu betreiben. In den 70er Jahren war die Virtualisierung nicht mehr relevant da die Systeme aufgrund von größeren Aufkommen der Mikroprozessoren nicht dermaßen groß waren wie die Mainframes. Weiter ging es in den 1960-ern wo das Konzept genutzt wurde, das sehr viele NutzerInnen gleichzeitig Zugriff auf Computer zur Batch-Verarbeitung haben. (Meutzner 1 2024) Die Idee und Konzepte waren schon damals im Einsatz jedoch nicht in dem Ausmaß wie heute wo es wesentlich effizienter und schneller genutzt wird. Später in den 80er und 90ern ging es weiter mit heranbringen von Personal Computer an den Schreibtisch wo sich die Technologie im Client/Server Modus durchgesetzt hat. (Computerwoche 1 2024)

Mit dem Trend der Produktionsverlagerung ins Ausland (Kalman 2005), vor allem in der Herstellung von der Computer-Technologie ist auch der Preis gesunken was die Möglichkeit mit sich gebracht hat die Rechner immer mehr und billiger aufzurüsten. IT-Systeme sind das Rückgrat moderner Unternehmen und umfassen eine Vielzahl von Technologien und Prozessen, die die Verwaltung, Speicherung und Kommunikation von geschäftskritischen Informationen und Daten erleichtern. (DataGuard 2024)

Sie spielen eine entscheidende Rolle bei der Optimierung von Abläufen, der Steigerung der Effizienz und der Steigerung der Gesamtproduktivität. Durch die Integration von Hardware- und Softwarelösungen können Organisationen Aufgaben automatisieren, manuelle Fehler reduzieren und Entscheidungsprozesse beschleunigen. (DataGuard 2024)

Die Einführung von Cloud Computing hat die IT-Infrastrukturen weiter revolutioniert und bietet skalierbare und kostengünstige Lösungen für die Speicherung und den Zugriff auf Daten. Durch die Nutzung dieser technologischen Fortschritte können Unternehmen im heutigen schnelllebigen Geschäftsumfeld wettbewerbsfähig bleiben, schnell auf Marktveränderungen und Kundenanforderungen reagieren. (DataGuard 2024)

In den 90er Jahren kam insbesondere mit der Einführung von x86-Architekturen endlich der Durchbruch und das Wiederbeleben der Virtualisierung, sodass auf einen Windows Rechner virtualisiert ein anderes Betriebssystem läuft, parallel auch mehrere. Das gelang der Firma VMware die Software hergestellt hat mit denen mehrere Betriebssysteme auf den einzigen x86-Server ausführbar waren. (Stefani 2019)

## **1.2 Zielsetzung der Arbeit**

Ziel dieser Arbeit ist es, eine ausführliche Gegenüberstellung der beiden genannten Virtualisierungsplattformen zu durchzuführen. Der Fokus liegt dabei auf dem Windows Server 2019, der in einem Unternehmen eingesetzt wird und verschiedene Dienste bereitstellen soll. In vieler Hinsicht bauen Unternehmen heutzutage ihre gesamten Geschäfte auf der IT-Infrastruktur auf, weshalb es umso wichtiger ist, die geeignete Infrastruktur sowie die Serverlandschaft zu installieren und zu betreiben. (Schultz 2024)

In dieser Abhandlung werden sämtliche Vor- und Nachteile der beiden Plattformen aus der Perspektive eines regelmäßigen Anwenders ausführlich analysiert. Zudem werden die Gründe dargelegt, die den Mehrwert im Verhältnis zu den anfallenden Kosten erklären. Da die heutige Geschäftswelt von einem stetig wachsenden Bedarf an effizienten und flexiblen Strukturen geprägt ist, strebe ich in diesem Bereich durch gründliche Analyse danach, die optimale Lösung zu identifizieren, um Unternehmen bei der Auswahl der geeigneten Umgebung für die Virtualisierung zu unterstützen. Diese Arbeit soll auch Entscheidungsträger bei ihren Entscheidungen unterstützen.

Das Augenmerk liegt auf der einfachen Administration solcher Serverlandschaften in den vorgestellten Produkten und der Benutzerfreundlichkeit. Hierbei werden nicht nur Kostenaspekte, sondern auch die Skalierbarkeit, die Flexibilität sowie die Sicherheitsmerkmale der jeweiligen Plattformen gegenübergestellt, um einen Leitfaden für die optimale Virtualisierungslösung für ein Unternehmen zu bieten.

Weiterhin soll diese Arbeit nicht nur die Entscheidungsfindung für eine Virtualisierungsumgebung unterstützen, sondern auch Fachleute dazu motivieren, die möglichen Vorteile oder Nachteile der beiden Plattformen weiter zu untersuchen und zu erforschen, um in Zukunft noch mehr von solchen Lösungen gemeinsam zu profitieren.

### **1.3 Forschungsfrage und Hypothese**

Die konkrete Forschungsfrage lautet:

Welche der zwei folgenden Virtualisierungsplattformen ist im Sinne der Kosten-Nutzen-Analyse die optimale Lösung zur Virtualisierung von Windows Server 2019 für ein Unternehmen mit ca. 250 Mitarbeiter:innen am besten?

1. Windows Hyper-V Manager
2. Linux Proxmox

Es wird explizit die optimale Lösung für die Virtualisierung von Microsoft Windows Server 2019 gesucht, da der Mainstream-Support für diese Version am 9. Januar 2024 endete. Der erweiterte Support endet am 9. Januar 2029. (Microsoft 2023)

Die Hypothese lautet:

Windows Hyper-V Manager ist im Sinne eine Kosten-Nutzen-Analyse die optimale Virtualisierungsplattform zur Virtualisierung von Windows Server 2019 für ein Unternehmen mit ca. 250 Mitarbeiter: innen.

Wie Microsoft auf ihrer Website angekündigt hat, endete der erweiterte Support für Microsoft Server 2012 R2 bereits am 10. Oktober 2023, und viele Unternehmen haben sich für die Windows Server 2019 Version entschieden. (Microsoft10 2023)

Um die komplette Infrastruktur nicht neu gestalten zu müssen, haben sich zahlreiche Unternehmen für Upgrade von Microsoft Server entschieden.

<b>Upgrade from / to</b>	<b>Windows Server 2012 R2</b>	<b>Windows Server 2016</b>	<b>Windows Server 2019</b>	<b>Windows Server 2022</b>	<b>Windows Server 2025 (preview)</b>
Windows Server 2012	Yes	Yes	-	-	-
Windows Server 2012 R2	-	Yes	Yes	-	Yes
Windows Server 2016	-	-	Yes	Yes	Yes
Windows Server 2019	-	-	-	Yes	Yes
Windows Server 2022	-	-	-	-	Yes
Windows Server 2025 (preview)	-	-	-	-	Yes

Tabelle 1: Unterstützte Server Upgradepfade (Microsoft5 2024)

Basierend auf den Daten der obigen Tabelle ist erkennbar, dass Unternehmen, die bisher Windows Server 2012 R2 im Einsatz hatten, nur die Möglichkeit der Aktualisierung auf die Versionen Windows Server 2016 oder Windows Server 2019 haben. Microsoft empfiehlt stets die Aktualisierung auf die neueste Version. (Microsoft5 2024) Wie in der Tabelle ersichtlich, war zum Zeitpunkt des Support-Endes für Windows Server 2012 R2 die höchste Version, auf die ein Upgrade möglich war, Windows Server 2019. Windows Server 2025 war zu diesem Zeitpunkt nur in der Preview-Version verfügbar.

Für Unternehmen bedeutet dies konkret die Notwendigkeit, vor allem bei jenen, die die auslaufende Windows Server Version im Einsatz haben, schnell neue Lösungen zu erarbeiten, um den Serverbetrieb aufrechtzuerhalten. Diese Unternehmen stehen vor der nicht einfachen Wahl, die unter Umständen mit hohem Aufwand und Kosten verbunden sein kann. Das Konzept und die Möglichkeiten der Virtualisierung haben viele positive Eigenschaften gezeigt, vor allem effizientere Nutzung der Computer-Hardware und eine höhere Rentabilität der Hardwareinvestitionen eines Unternehmens und es geht vielmehr darum, welche der beiden Plattformen zu wählen ist, als ob die neue Serverlandschaft überhaupt virtualisiert werden soll. (IBM 2024)

Meine Hypothese, dass der Hyper-V Manager die optimale Virtualisierungsplattform im Gegensatz zu Linux Proxmox ist, basiert auf der Tatsache, dass er wesentlich bekannter ist und die Entwicklung überwiegend von Microsoft-Ingenieuren durchgeführt wird.

Die zweite Variante, die in dieser Bachelorarbeit verglichen wird, ist eine Open Source Software, die den KVM-Hypervisor und Linux-Container integriert. (n-komm 2024) KVM (Kernel-based Virtual Machine) ist eine Virtualisierungstechnologie, die direkt in den Linux-Kernel integriert ist und es ermöglicht, dass ein Host-System mehrere isolierte virtuelle Maschinen (VMs) ausführt. Diese Technologie macht aus einem Linux-Betriebssystem einen Typ-1-Hypervisor, der als Bare-Metal-Hypervisor fungiert und somit direkten Zugriff auf die Hardware ermöglicht. (Red Hat 2022)

## **1.4 Struktur der Arbeit**

Im ersten Teil der Arbeit werden den LeserInnen zunächst die Technologien für die Virtualisierung und die beiden Hypervisoren vorgestellt. Es wird auf die Spezifikationen sowie die Voraussetzungen eingegangen, insbesondere auf die Anforderungen von Microsoft Windows Server 2019. Im zweiten Teil dieser Bachelorarbeit werden die zwei Produkte gegenübergestellt und einer Nutzwertanalyse nach vordefinierten Kriterien unterzogen und bewertet.

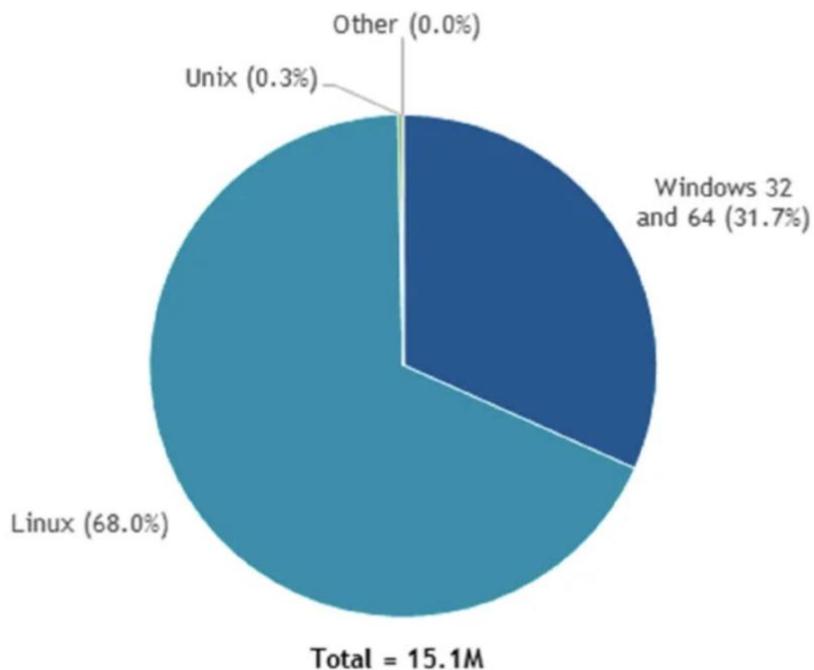
Weiterhin wird die Hypervisor-Technologie erklärt und die Möglichkeiten dieser Technologie, die nach heutigen Standards einige Ressourcen einsparen sowie die Effizienz und Sicherheit der Serverlandschaften erhöhen können. Es wird auf die

Entwicklung dieser Technologien sowie deren stetig wachsenden Bekanntheitsgrad und Nutzung in der modernen IT-Welt eingegangen.

Im mittleren Bereich des ersten Teils dieser Arbeit wird auch auf die bisherigen Arbeiten und Forschungen im Bereich Virtualisierungstechnologien eingegangen und einige Meilensteine explizit erläutert.

Weiterhin wird der Autor sich explizit mit dem Windows Server 2019 auseinandersetzen, die wichtigsten Funktionalitäten auflisten und kurz erklären.

### Worldwide Server Operating Environment Shipments/Subscriptions and Nonpaid Deployment Share by Operating Environment, 2017



Source: IDC, 2018

**Abbildung 1: Worldwide Server Operating Environment Shipments/Subscriptions and Nonpaid Deployment Share by Operating Environment, 2017 (The Red Hat Enterprise Linux Team 2018)**

Wie aus der oberen Abbildung ersichtlich ist, ist Linux das dominante Betriebssystem im Server Bereich, gefolgt von ebenso sehr stark vertretenen Windows Betriebssystem. Unix und andere Betriebssysteme haben weltweit nur einen geringen Marktanteil. In dieser Statistik wurden 15,1 Millionen Einheiten überprüft, die uns die Verbreitung und

Nutzung verschiedener Betriebssysteme weltweit veranschaulicht. (The Red Hat Enterprise Linux Team 2018)

Die Linux-Distributionen waren also einerseits kostenlos, andererseits vollkommen flexibel einsetzbar, da sie mit dem entsprechenden Know-how wunschgemäß angepasst bzw. erweitert werden konnten. Zusammen mit der erstklassigen Rechte- und Systemverwaltung wurden sie daher für viele Administratoren schnell zur präferierten Serverlösung, vor allem in der Webentwicklung – ein Zustand, der bis heute währt. (IONOS 2024)

Die tragende Rolle spielt auch heute noch Linux: Über die Hälfte der unixoiden Systeme, die laut W3Techs bei rund zwei Dritteln aller Webprojekte zum Einsatz kommen, sind Linux-Distributionen. Besonders beliebt sind die Distributionen Ubuntu und Debian, gefolgt von CentOS; seltener verwendet, aber ebenfalls erwähnenswert sind Red Hat, Gentoo, Fedora und SUSE. (IONOS 2024)

## 2. THEORETISCHER HINTERGRUND

### 2.1 Grundlagen der Virtualisierung

Virtualisierung ist eine Schlüsseltechnologie für effizientes Ressourcenmanagement, das im letzten Jahrhundert begonnen wurde und sich immer noch in der Entwicklung befindet. Obwohl es bereits erhebliche Fortschritte gemacht hat, spielt es eine bedeutende Rolle in modernen IT-Infrastrukturen. (Wissenschaft 2024)

Der Anfang in den 1960er Jahren begann mit den Mainframes und musste sehr lange auf den Durchbruch bis in die 2000er Jahre warten. (Wissenschaft 2024) Erst durch die Einführung von Produkten wie VMware ESXi, Microsoft Hyper-V und Xen sowie durch die gesunkenen Speicherpreise, wie in Abbildung 2 dargestellt, erlebte die Virtualisierung ihren lang ersehnten Erfolg. (Computerwoche 2 2007)

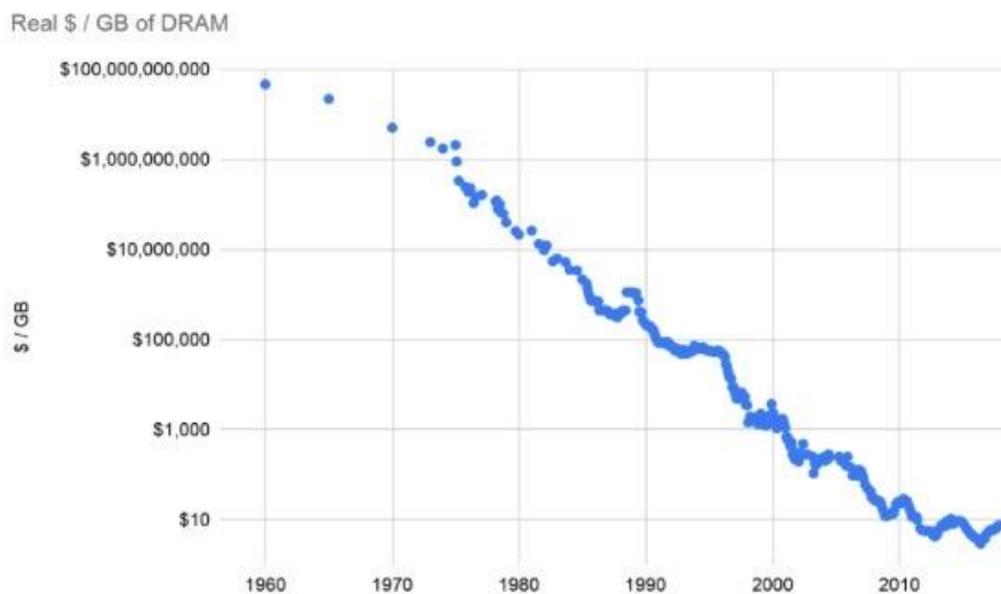


Abbildung 2: Price per gigabyte of DRAM from 1957 to 2018 from John McCallum's dataset, which we converted to 2020 dollars using the Consumer Price Index (McCallum 2020)

Erst nachdem die Rechner in der Lage waren, wesentlich mehr Ressourcen bereitzustellen, als sie selbst benötigen, war es möglich, diese Hardware-Ressourcen auf virtuell erschaffene Arbeitsumgebungen zu verteilen. (HostEurope 2021)

In der Praxis werden heutzutage viele IT-Komponenten virtualisiert, vor allem Server, Datenspeicher, Programme sowie Applikationen, aber auch komplette Netzwerke und Desktops. Dadurch wird eine bessere Ausnutzung der Ressourcen gewährleistet, was vorteilhaft ist, da zwischen statischer und dynamischer Ressourcenzuordnung gewählt werden kann. (HPE 2024) Durch diese Möglichkeit erreichen wir eine hohe Verfügbarkeit (HA), die besonders im Serverbereich wichtig ist, da diese ständig zur Verfügung für bestimmte Dienste stehen sollten. Auf der anderen Seite erreichen wir durch dynamische Zuordnung eine effiziente Auslastung der Infrastruktur, der basierend auf der Echtzeitnachfrage zusätzliche Ressourcen nach vorher festgelegten Regeln zugewiesen werden. (FasterCapital 2024)

„In its essence, virtualization deals with extending or replacing an existing interface so as to mimic the behavior of another system.“ (Tanenbaum und van Steen 2006)  
Nach dieser Definition versteht sich der Grundsatz, dass das Verhalten eines Systems auf Grundlage einer vorhandenen Schnittstelle nachgebildet wird. Die wichtigsten Varianten davon sind:

- Rechner-Virtualisierung: Virtualisierung eines physischen Rechners, d.h. beim nachgebildeten System handelt es sich um Hardwarekomponenten, insbesondere CPU und Hauptspeicher;
- Betriebssystem-Virtualisierung: Bereitstellung einer Ausführungsumgebung, die der eines Betriebssystems entspricht;
- Anwendungs-Virtualisierung: Bereitstellung einer Ausführungsumgebung für eine bestimmte Anwendung;
- Netz-Virtualisierung: Bereitstellung eines Kommunikationsnetzes mit bestimmten Eigenschaften (Topologie, Latenzen). (Reiser, Rakotondravony und Köstler 2017)

## 2.2 Überblick der Hypervisor-Typen

„Unter einem Hypervisor wird ein Programm verstanden, das eine virtuelle Betriebsumgebung für andere Programme bereitstellt, (Fox 1998). Die zentrale Komponente der Virtualisierung sind die Hypervisoren, die auch als Virtual Machine Monitors (VMMs) genannt sind. (Red Hat2 2024) Ihre Funktionalität besteht darin, dass sie es ermöglichen, gleichzeitig mehrere virtuelle Maschinen sowie unterschiedliche Betriebssysteme auf einem einzelnen physischen Computer auszuführen. Sie spielen in der heutigen IT-Welt eine enorme Rolle, da sie die Ressourcennutzung vorangetrieben und optimiert haben, wodurch gleichzeitig die Flexibilität und Effizienz der Infrastruktur steigern ohne zusätzliche Hardwarekosten zu verursachen. (StudySmarter 2024)

In der nachfolgenden Abbildung werden die verschiedenen Typen von Hypervisoren bildlich dargestellt.

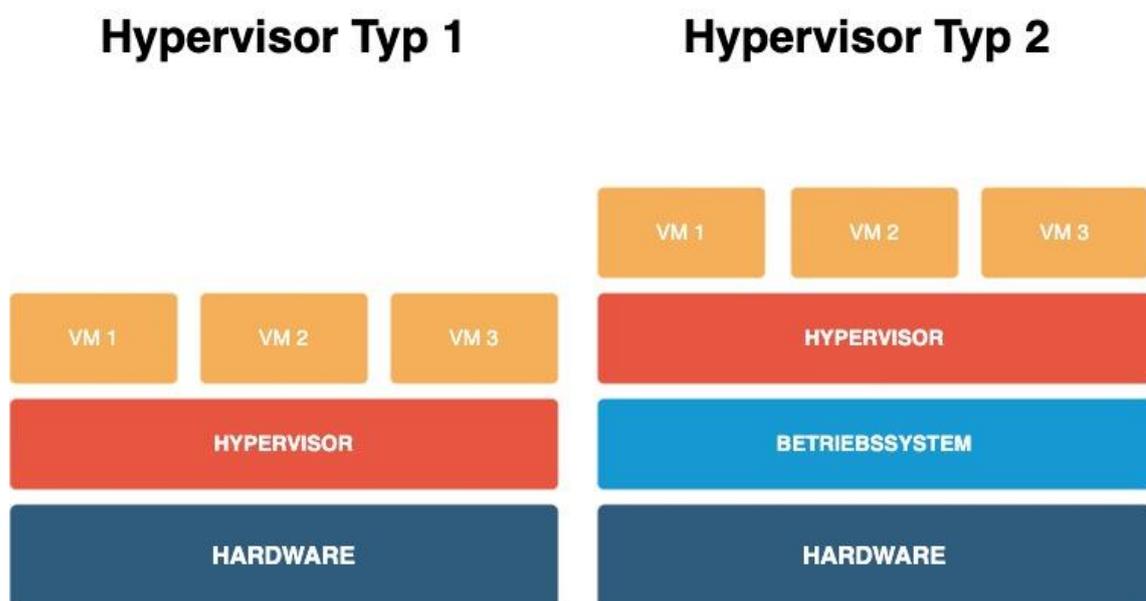


Abbildung 3: Hypervisor Typ 1 und Hypervisor Typ 2 (Quelle: Eigene Darstellung)

Wie aus der Abbildung ersichtlich, gibt es derzeit nur zwei Haupttypen von Hypervisoren, die sich in wenigen Aspekten unterscheiden. Der Hypervisor Typ 1 wird auch Bare-

Metal-Hypervisor genannt, während der Hypervisor Typ 2 auch als Hosted-Hypervisor bezeichnet wird. (Amazon 2023)

### 2.2.1 Hypervisor Typ 1 (Bare-Metal-Hypervisor)

- **Ursprung:** Die Ursprünge der Bare-Metal-Hypervisoren datieren bis in die 1960er Jahre zurück, als IBM den CP - 40-Hypervisor für das System/360 Mainframe-Rechner entwickelte. (Wissenschaft 2024) Moderne Hypervisoren haben dieses Konzept weiterentwickelt und sich auf die Hardwarevirtualisierung spezialisiert. (AlleAktien 2024)
- **Evolution:** Dieser Hypervisor-Typ hat sich im Laufe der Zeit stark weiterentwickelt und ist heutzutage in Rechenzentren weit verbreitet. (Amazon 2023) Zu den Vorreitern gehören unter anderem VMware ESXi, Microsoft Hyper - V und Xen. (Ohlbach 2017)
- **Anwendungen:** Bare-Metal-Hypervisoren werden am häufigsten in einem Unternehmensrechenzentrum oder anderen serverbasierten Umgebungen angetroffen. (Red Hat2 2024)
- **Vorteile:** Höhere Leistung und Effizienz, geringe Latenz sowie schnellere Reaktionszeit. (IONOS 2 2024)
- **Nachteile:** Da diese Hypervisoren direkt auf der Hardware installiert werden, sind komplexere Konfigurationen erforderlich und es wird eine höhere Expertise bei der Wartung benötigt. Zudem sind solche Hypervisoren weniger für die Einrichtung in Testumgebungen geeignet. (Amazon 2023)

## 2.2.2 Hypervisor Typ 2 (Hosted-Hypervisor)

- **Ursprung:** Die Typ-2-Hypervisoren kamen auf dem Markt gute 40 Jahre später als die Typ-1-Hypervisoren und wurden entwickelt, um auf bestehenden Betriebssystemen zu arbeiten. Eine der frühesten Implementierungen war die VMware Workstation. (Pujar 2022)
- **Evolution:** Typ-2-Hypervisoren haben sich weiterentwickelt und bieten standardmäßig grafische Benutzeroberfläche oder ein Dashboard für die Einrichtung und Verwaltung der virtuellen Maschinen. (IONOS 2 2024)
- **Anwendungen:** Typ-2-Hypervisoren werden häufig in Entwicklungsumgebungen sowie von Einzelnutzern genutzt, um parallele Betriebssysteme zu betreiben. (Amazon 2023)
- **Vorteile:** Einfachere Konfiguration durch die Verwendung von vorkonfigurierten Abbilddateien, geeignet für Desktop- und Entwicklungsumgebungen sowie geringere Kosten und Hardwareanforderungen. (Amazon 2023)

## 2.3 Hyper-V und Proxmox: Einführung und Unterschiede

Wie in den oberen Abschnitten bereits erläutert, werden hier die Hypervisoren Hyper-V von Microsoft sowie Proxmox näher vorgestellt und die Unterschiede zwischen ihnen aufgezeigt.

### 2.3.1 Hyper-V

Der Unterschied zwischen den beiden Virtualisierungsplattformen liegt in ihrer Herkunft. Hyper-V gehört der Firma Microsoft und wurde erstmals 2008 eingeführt. In der Abbildung 4 sind die Unterschiede der Ersten Version V1 sowie der R2 Version ersichtlich. (Softpedia 2007)

Hyper-V wird als fester Bestandteil mit dem Windows Server 2008 ausgeliefert und ist in höheren Editionen verfügbar. (Microsoft 2024) Ab Windows 8 ist Hyper-V auch in den Pro- und Enterprise-Editionen enthalten. (Tierling 2013)

## Hyper-V Server V1 vs. R2

	Microsoft Hyper-V Server 2008 V1	Microsoft Hyper-V Server 2008 R2
Physical Processor Support	Up to 4 processors	Up to 8 processors
Logical Processor Support	Up to 16 logical processors	Up to 64 logical processors
Physical Memory Support	Up to 32 GB	Up to 1 TB
Virtual Machine Memory Support	Up to 32 GB total (e.g. 31 1 GB VMs or 5 6 GB VMs)	64 GB of memory per VM
Live Migration	No	Yes
High Availability	No	Yes
Management Options	Free Hyper-V Manager MMC SCVMM	Free Hyper-V Manager MMC SCVMM R2

**Abbildung 4: Hyper-V Server V1 vs R2 (Softpedia 2007)**

Aus der obigen Abbildung sind neben den Unterschieden zwischen den beiden Versionen auch die rasante Entwicklung erkennbar. Die Anzahl der physischen Prozessoren wurde in der R2-Version von anfangs 4 auf 8 verdoppelt. Die Unterstützung für logische Prozessoren wurde sogar vervierfacht. Beim Arbeitsspeicher sehen wir einen deutlichen Sprung von 32 GB auf bis zu 1 TB. Zudem wurden Funktionen wie die Live-Migration und die Unterstützung für hohe Verfügbarkeit integriert. (Softpedia 2007)

Es ist auch möglich, den Hypervisor Hyper-V in den Versionen Windows 10 Enterprise, Pro oder Education zu installieren, um virtuelle Maschinen zu betreiben. Bei der Windows 10 Home-Version ist die Installation jedoch nicht möglich. (Microsoft4 2024)

In der Server-Technologie besteht die Möglichkeit, den Hypervisor als Standalone-Lösung oder als eine der Rollen in Windows Server zu installieren. Neben der Rollen-Möglichkeit hat die Server-Version als Microsoft Hyper-V Server ihre letzte Version im Jahr 2019 erhalten und ist seitdem nicht mehr als eigenständiger Server erhältlich. (Park Place Technologies 2024)

### 2.3.2 Proxmox

Drei Jahre bevor Microsoft seinen Hypervisor veröffentlicht, im Jahr 2005 wird die Proxmox Server Solutions GmbH gegründet und bringt als erstes Produkt den Proxmox Mail Gateway auf den Markt. Drei Jahre später, parallel zu Microsoft, veröffentlichen sie ihre Virtualisierungsplattform, das Proxmox Virtual Environment (VE), als ihre erste Open-Source-Server-Virtualisierungsplattform. Diese Lösung ist die erste, die auf einer einzigen Plattform sowohl LXC- (Linux-Container-basierte) Virtualisierung als auch KVM-Hypervisor bereitstellt und über eine Weboberfläche bedienbar ist. (Proxmox1 2024)

Ein Unterschied zu Hyper-V besteht darin, dass es sich bei Proxmox um ein Open-Source-Produkt handelt. (Layer7 2024) Dies bedeutet, dass der Quellcode frei verfügbar ist und Änderungen ohne vorherige Zustimmung des Quellautors vorgenommen werden können. Der Quellcode von der Software ist über das öffentliche Code-Repository (Git) frei verfügbar (Proxmox). Die Open Source-Natur des Produkts ermöglicht vollen Zugriff auf den Quellcode und Anpassungen, wodurch Zuverlässigkeit und Sicherheit erhöht werden. Proxmox VE ist einfach zu bedienen und flexibel integrierbar, unterstützt eine Vielzahl von Speicher- und Netzwerkoptionen und lässt sich problemlos in bestehende IT-Infrastrukturen einfügen. (PegasusIT 2024)

Die Software selbst basiert auf einem Linux-Kernel und unterstützt eine breite Palette von Hardware-Konfigurationen – von preiswerter Commodity-Hardware bis hin zu hochleistungsfähigen Multiprozessor-Servern. Ebenso senkt die Open-Source-Software

die Kosten und vermeidet Abhängigkeiten von einem einzelnen (proprietären) Hersteller für die Infrastruktur. (Proxmox1 2024)

Die Veröffentlichung der ersten Version erfolgt im Jahre 2008 und hat den Weg für die ständige Entwicklung der Virtualisierungssoftware gemeinsam mit der Community eröffnet und ist auch heute ständig auf dem Markt präsent. (Proxmox1 2024) Mit der ersten Version wurde auch eine einfache web-basierte Benutzeroberfläche zur Verwaltung von OpenVZ(im Linux eine Virtualisierungslösung auf Kernel-Ebene, keine Vollvirtualisierung ist möglich) und KVM (hier wird auch der Kernel virtualisiert, Vollvirtualisierung ist möglich) vorgestellt. Diese blieb in dieser Form bis 2016 erhalten und erhielt erst dann ein Update. (Proxmox5 2016) Schon im Jahr 2018 war die Software in 19 Sprachen übersetzt und mit über 200.000 installierten Hosts in 142 Ländern vertreten. Die Firma Proxmox Server Solutions bietet technischen Kunden-Support auf Abonnementbasis an. Im Jahr 2018 betreuten sie weltweit über 11.000 Kunden. (Proxmox2 2018)

Angefangen mit dem Mail Gateway, um die Nutzung von GNU/Linux-Software einfach und effizient zu ermöglichen, hat sich Proxmox im Laufe der Zeit mit seinen Produkten im Bereich der Virtualisierung als ernstzunehmender Konkurrent gegenüber Konkurrenz. Neben den beiden aufgeführten Produkten haben sie im Jahr 2020 den Proxmox Backup Server in der Betaversion veröffentlicht, der heutzutage vielseitig gemeinsam mit der Proxmox VE Software genutzt wird. (Proxmox1 2024)

### 3. AKTUELLER FORSCHUNGSSTAND UND BISHERIGE ARBEITEN DER NUTZWERT- ANALYSE DER VIRTUALISIERUNGSPLATTFORMEN

Durch das Bedürfnis der IT-Experten und der IT-Welt nach effizienteren Lösungen kam die Virtualisierung der Hardware und später auch der Software als ein vorhersehbares Ereignis in der Geschichte des Computers. Die Virtualisierung von Servern, Speicher und Netzwerken bildet das Fundament für eine effiziente IT-Infrastruktur der Zukunft. (SDV Systeme 2024) Anfangs waren die Forschungen in den 1960er Jahren stark auf die Weiterentwicklung von Hardware und Software sowie die Erschaffung immer komplexerer Virtualisierungslösungen fokussiert. Ein Meilenstein war die Einführung von VMware in den späten 1990er Jahren, die die Server Virtualisierung auf breiter Basis populär machte. (Gara 2019)

Die ersten umfassenden Untersuchungen zur Virtualisierung kamen im Jahr 1974 von den Herren Popek und Goldberg, die eine systematische Untersuchung der Voraussetzungen durchführten, die ein System erfüllen muss, um die vorhandene Hardware virtualisieren zu können. Nach Popek und Goldberg muss ein Virtual-Machine-Monitor (VMM), der heute üblicherweise Hypervisor genannt wird, die folgenden drei Eigenschaften aufweisen:

- **Effizienz:** Alle unproblematischen Maschineninstruktionen werden direkt von der CPU ausgeführt, ohne Intervention durch das Control Programm.
- **Ressourcenkontrolle:** Das Control Programm hat stets die volle Kontrolle über Ressourcenzuteilungen. Ein Programm in einer virtuellen Maschine darf nicht die Möglichkeit haben, die ihm zur Verfügung stehenden Ressourcen eigenmächtig zu verändern.
- **Äquivalenz:** Die Ausführung eines Programms in einer virtuellen Maschine ist – bis auf zwei Ausnahmen – nicht von der direkten Ausführung auf der Hardware (ohne Control Program) zu unterscheiden. (Goldberg und Popek 1974)

Die Entwicklung und Untersuchung dieser Technologien begann in den 1960er Jahren mit der Einführung von Time-Sharing-Systemen, als Experiment von den MIT Universität, die es ermöglichten, die Rechenleistung eines Großrechners auf mehrere Benutzer gleichzeitig zu verteilen. Im Jahr 1964 erfolgte die Vorstellung einer Familie von Rechnern, die so leistungsfähig waren um die Computer Time Sharing Technologie zu ermöglichen. (IBM2 2024)

Da die Virtualisierung nicht nur in der Form von Hypervisoren besteht, war es spätestens mit dem Aufkommen von Docker zu erwarten, dass jemand eine wissenschaftliche Untersuchung dieser beiden Technologien durchführen würde. (Eder 2016) So wurden die Hypervisor- und die containerbasierte Virtualisierung gegenübergestellt. In der Arbeit "Hypervisor- vs Container-based Virtualization" von Michael Eder wurden explizit die Unterschiede zwischen der Hypervisor-basierten und der containerbasierten Virtualisierung analysiert. Bei der Hypervisor-basierten Virtualisierung wird die gesamte Hardware emuliert und das Betriebssystem vollständig isoliert, was die Ausführung mehrerer Betriebssysteme auf demselben physischen Server ermöglicht. Demgegenüber werden bei containerbasierter Virtualisierung keine zusätzlichen Betriebssysteme gestartet. Dies führt zu einer effizienteren Ressourcennutzung und verkürzt die Startzeit von Anwendungen erheblich. (IONOS3 2022)

In der Arbeit wurden auch die Vor- und Nachteile der beiden Ansätze untersucht. So bietet die Hypervisor-basierte Virtualisierung eine stärkere Isolierung, was zu einer höheren Ressourcennutzung und längeren Startzeiten führt. Die containerbasierte Virtualisierung hingegen ermöglicht eine effizientere Ressourcennutzung und schnellere Startzeiten, bietet jedoch eine geringere Isolierung. (Eder 2016) Sicherheitsaspekte wurden ebenfalls untersucht, wobei sich herausstellte, dass Hypervisoren aufgrund der Möglichkeit der vollständigen Isolation eine stärkere Sicherheit bieten. Bei den Anwendungsfällen zeigte sich, dass Hypervisoren besser für Entwicklungsumgebungen geeignet sind, während Container für moderne Cloud-native Anwendungen, die schnelle Skalierung und effiziente Ressourcennutzung erfordern, besser geeignet sind [Eigene Übersetzung]. (Eder 2016)

## **4. ANFORDERUNGEN VON WINDOWS SERVER 2019**

### **4.1 Systemanforderungen für Windows Server 2019**

Windows Server 2019 ist nach Linux das am häufigsten genutzte Server-Betriebssystem im Unternehmensbereich. (IONOS 2024) Um in Unternehmen die Windows Server 2019 Edition zu nutzen, stehen derzeit zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

1. Neuinstallation
2. Upgrade von einer früheren Windows Server Edition (Microsoft7 2023)

Für den reibungslosen Betrieb von Windows Server 2019 müssen bestimmte Systemanforderungen erfüllt werden. Hier werden sowohl die Mindestanforderungen als auch die empfohlenen Systemanforderungen für den Serverbetrieb erläutert. (Lizenzexperte 2024)

#### **Mindestanforderungen sind:**

- Prozessor: 1,4 GHz 64-bit-Prozessor
- RAM: 2 GB
- Festplattenspeicher: 32 GB
- Grafikkarte: DirectX 9 oder höher mit WDDM 1.0 Treiber
- Anzeige: 1024 x 768 Pixel oder höher
- Internetverbindung: Für Updates und Aktivierung (Lizenzexperte 2024)

#### **Empfohlene Systemanforderungen sind:**

- Prozessor: 3.1 GHz 64-Bit-Prozessor oder höher mit mindestens 4 Kernen
- RAM: 16 GB
- Festplattenspeicher: 160 GB oder mehr
- Grafikkarte: DirectX oder höher mit WDDM 1.2 Treiber
- Anzeige: 1920 x 1280 Pixel oder höher
- Internetverbindung: Für Updates und Aktivierung (Lizenzexperte 2024)

Um Windows Server 2019 zu installieren, stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung. Bei der Neuinstallation wird häufig ein Installationsmedium wie eine DVD oder ein USB-Stick verwendet, auf dem sich die Installationsdateien befinden. Zudem besteht die Möglichkeit, die Installation über das Netzwerk durchzuführen. (Lizenzexperte 2024)

## 4.2 Versionen und Editionen von Windows Server 2019

Die Firma Microsoft hat den Markt bis September 2023 mit den folgenden zwei Versionen in bestimmten Zeitintervallen bedient: (Microsoft6 2023)

**LTSC (Long-Term Servicing Channel) Version:** Diese Version erscheint alle zwei bis drei Jahre als Hauptversion von Microsoft Windows Server. Besonderheit dieser Version ist, dass sie die kumulierten Neuerungen der vorherigen Versionen enthält. (Microsoft6 2023)

**SAC (Semi-Annual Channel) Version:** Diese Version wird alle sechs Monate von Microsoft zur Verfügung gestellt. Jede Version enthält Neuerungen und trägt neben dem Namen die Bezeichnung wie 1709/1803/1809, wobei die ersten beiden Ziffern das Jahr kennzeichnen und die letzten beiden den Monat, in dem sie veröffentlicht wurde. (Microsoft6 2023)

Um Server zu aktualisieren, müssen sich Administratoren in Zukunft ausführlich Gedanken machen. SAC-Versionen können zu Long-Term-Servicing-Channel-Versionen (LTSC) aktualisiert werden, um damit den Support-Zeitraum zu verlängern. Allerdings können LTSC-Versionen nicht zu SAC-Versionen aktualisiert werden. Wichtig ist, dass nur LTSC-Versionen über langjährigen Support verfügen, und zwar fünf Jahre herkömmlicher Support und fünf Jahre erweiterter Support. (Joos, Microsoft Windows Server 2019, 1. Auflage 2019)

Ab September 2023 verfügt Windows Server über zwei primäre Release-Kanäle: den Langzeitwartungskanal (Long-Term Servicing Channel, LTSC) und den jährlichen Kanal

(Annual Channel, AC). Der Long-Term Servicing Channel bietet eine längerfristige Option, die sich auf Stabilität konzentriert, während der jährliche Kanal häufligere Versionen bietet. Der Windows Server Semi-Annual Channel (SAC) wurde am 9. August 2022 eingestellt. (Microsoft1 2024)

Microsoft Windows Server 2019 ist in drei Editionen erhältlich (Meutzner 2024):

**1. Essentials:**

Ideal für kleine Unternehmen mit geringen IT-Anforderungen. Die Installation ist entweder physisch oder virtuell möglich. Das Lizenzierungsmodell basiert auf der CPU-Basis, und es sind keine CALs erforderlich, da es auf 25 Benutzer / 50 Geräte limitiert ist. Es ist auf 64 GB Arbeitsspeicher sowie maximal 2 CPUs begrenzt. (Meutzner 2024)

**2. Standard:**

Geeignet für Unternehmen mit höheren IT-Anforderungen und geringem Virtualisierungsbedarf. Die Installation ist auf 2 virtuellen Maschinen oder 2 Hyper-V-Containern möglich. Das Lizenzierungsmodell ist Core-basiert, und CALs sind erforderlich. Der Arbeitsspeicher ist auf 24 TB begrenzt, und es sind unbegrenzte Kerne in der CPU möglich. (Meutzner 2024)

**3. Datacenter:**

Für Unternehmen mit hohen IT-Anforderungen und einer großen Anzahl an virtuellen Maschinen. In dieser Edition ist es erlaubt, unbegrenzt viele virtuelle Maschinen sowie Hyper-V-Container aufzusetzen. Wie in der Standard-Edition ist das Lizenzierungsmodell Core-basiert, CALs sind erforderlich, und es sind 24 TB Arbeitsspeicher sowie unbegrenzte Kerne möglich. (Meutzner 2024)

Eine Windows Server Client Access License (CAL, zu deutsch: Clientzugriffslizenz) ist eine Lizenz, die einem Nutzer oder Gerät das Recht gibt, von einem Server, auf dem das Windows-Server-Betriebssystem (OS) läuft, auf Dienste zuzugreifen, wie zum Beispiel Drucken oder Zugriff auf eine Dateifreigabe (File Share). (Holman 2024) Microsoft bietet Geräte-CALs und Nutzer-CALs an. Eine Nutzer-CAL muss für jeden Nutzer erworben werden, der auf den Server zugreift, um Dienste zu nutzen. Dies

ist eine häufigere Lizenzierungsvereinbarung und gewährt jedem Nutzer das Recht, von mehreren verschiedenen Geräten aus auf Serverdienste zuzugreifen. Eine Geräte-CAL muss für jedes Gerät erworben werden, das auf den Server zugreift, und eignet sich für Rechner, die von mehreren Nutzern verwendet werden, wie beispielsweise in einem Callcenter. (Holman 2024)

### 4.3 Serverrollen von Windows Server 2019

Ein Server ist ein leistungsstarker, zentraler Netzwerkrechner. Er stellt seine Ressourcen für andere Computer bereit. Über den Server werden funktionale und infrastrukturelle Netzdienste realisiert. Hier können Daten, auf die mehrere Personen zugreifen müssen, gespeichert werden. (ExtraComputer 2024)

Eine gut geplante und optimierte IT-Infrastruktur ist das Rückgrat jedes erfolgreichen Unternehmens. In der heutigen digitalen Ära, in der Technologie eine zentrale Rolle spielt, ist es entscheidend, dass Ihre IT-Systeme effizient, zuverlässig und skalierbar sind. (ADVITCONSULT 2024)

#### 4.3.1 Die wichtigsten Serverrollen von Windows Server 2019 (Aribas 2024)

**Active Directory Domain Services (AD DS):** Wird benötigt für die Verwaltung von Benutzern, Computern und anderen Geräten in einer Netzwerkdomeäne und dient als zentrale Authentifizierungs- und Autorisierungsstelle für Benutzer und Computer.

**DNS-Server:** Bereitstellung von Namensauflösungsdiensten, die IP-Adressen in verständliche Namen umwandeln.

**DHCP-Server:** Automatische Zuweisung von IP-Adressen an Geräte im Netzwerk, was den administrativen Aufwand für die Verwaltung von IP-Adressen reduziert.

**File and Storage Services:** Verwaltung und Bereitstellung von Dateifreigaben und Speicherlösungen.

**Windows Server Update Service (WSUS):** Verwaltung und Verteilung von Software-Updates innerhalb des Unternehmensnetzwerks.

**Webserver (IIS):** Bereitstellung von Webhosting-Diensten; ermöglicht das Hosten von Websites und Webanwendungen im Unternehmensnetzwerk.

**Print and Document Services:** Bereitstellung und Verwaltung von Druckern und Druckdiensten.

**Failover-Clustering:** Bereitstellung von Hochverfügbarkeit für Anwendungen und Dienste; minimiert Ausfallzeiten und sorgt für kontinuierliche Verfügbarkeit kritischer Unternehmensdienste und Anwendungen. (Aribas 2024)

Hier sind nur einige der Rollen aufgeführt, die Microsoft Windows Server 2019 bereitstellt. Welche Rollen der Server übernehmen wird, hängt von der jeweiligen Infrastruktur und den Aufgaben sowie Diensten ab, die im Netzwerk abgearbeitet und bereitgestellt werden sollen. Die Rollen Active Directory Domain Services, DNS-Server und DHCP-Server sind Komponenten für den Aufbau und Betrieb von einem domänenbasierten Netzwerk, um Dienste wie den Zugriff auf das Firmennetzwerk, die Freigabe von Speicher sowie die Nutzung eines gemeinsamen Druckerpools zu ermöglichen. (Microsoft9 2023)

## **5. RELEVANTE TECHNOLOGIEN UND KONZEPTE**

### **5.1 Spezifische Hardwareanforderungen für die Virtualisierung**

Ein Betriebssystem ist eine Software, die als Schnittstelle zwischen der Hardware eines Computers und den darauf ausgeführten Anwendungsprogrammen fungiert. Es ist das Herzstück eines jeden Computers und ermöglicht die Ausführung von Aufgaben und die Verwaltung von Ressourcen. (Isler 2024) Das Betriebssystem verwaltet Eingabe-/Ausgabevorgänge, indem es standardisierte Schnittstellen für Anwendungen zur Kommunikation mit Eingabe-/Ausgabegeräten wie Tastaturen, Mäusen, Druckern und Bildschirmen bereitstellt. Es wickelt auch die Datenübertragung zwischen diesen Geräten und der CPU/dem Speicher ab. Das Multitasking bezieht sich auf die Fähigkeit eines Betriebssystems, mehrere Programme gleichzeitig auszuführen, indem es die CPU-Zeit unter ihnen aufteilt oder es ihnen erlaubt, gleichzeitig auf verschiedenen Kernen zu laufen. (LENOVO 2024)

Ein Multi-User-Betriebssystem ist so konzipiert, dass es auf einem Server oder einem Netzwerk ausgeführt wird, das mehrere Benutzer und Aufgaben gleichzeitig unterstützt. Das bedeutet, dass sich mehrere Benutzer anmelden und lokal oder remote auf die Ressourcen und Anwendungen des Systems zugreifen können. Ein Multi-User-Betriebssystem verfügt in der Regel über eine komplexe und leistungsfähige Schnittstelle, wie z. B. eine Shell oder ein Terminal. Einige Beispiele für Multi-User-Betriebssysteme sind Unix, Linux (bei Verwendung als Serversystem) und Windows Server. (LinkedIn2 2024) Eine weitere Aufgabe des Betriebssystems ist die Prozessverwaltung, die sicherstellt, dass alle Programme reibungslos und ohne Unterbrechung ablaufen. Betriebssysteme bieten auch Sicherheitsfunktionen, die den Zugriff auf sensible Daten und Ressourcen kontrollieren. Letztendlich unterstützen sie auch Netzwerke, wodurch Benutzer und Anwendungen über verschiedene Geräte hinweg kommunizieren können. Insgesamt sind Betriebssysteme ein unverzichtbarer Bestandteil moderner Computersysteme, der die Grundlage für deren Funktionalität und Leistung bildet. (Simpleclub 2024)

Damit die Anwender trotz der gemeinsamen Nutzung eines Systems und derselben Anwendungen reibungslos arbeiten können wie auf einem Einzelrechner, sind zwei Voraussetzungen notwendig:

- Das laufende Betriebssystem benötigt die vollständige und alleinige Kontrolle über das System.
- Das System darf nicht beliebig von den Anwendungen aufgerufen oder modifiziert werden. (IT-Administrator 2012)

Mitte der 1980er Jahre wurden in x86-Prozessoren zwei grundlegende Funktionen eingeführt, damit das Betriebssystem die Anwendungen mittels Hardwareunterstützung isolieren kann. Diese Funktionen sind das Privilege Level und eine Speicherverwaltungseinheit im Prozessor, die Memory Management Unit (MMU). Das Privilege Level sorgt dafür, dass bestimmte CPU-Instruktionen nur in einem besonderen Modus ausgeführt werden dürfen. (IT-Administrator 2012)

Die MMU ist für die Unterteilung des physikalischen Speichers in kleine Einheiten (Pages) zuständig und sorgt auch für die Übersetzung der physikalischen Adressen in virtuelle Adressen, da die Anwendungen einen zusammenhängenden Speicher benötigen, der aus den Pages zusammengesetzt wird. (IT-Administrator 2012)

Von den vier Privilege-Levels werden heute nur zwei benötigt: Level 0, der sicherste Level, in dem das Betriebssystem läuft, und Level 3, der nicht privilegierte Level für die Anwenderprogramme. Genau hier liegt das Problem bei der Virtualisierung: Es ist nicht möglich, Level 0 so aufzuteilen, dass sich mehrere Betriebssysteme nicht gegenseitig beeinflussen können. (IT-Administrator 2012)

Die Prozessorhersteller AMD und Intel haben als Lösung einen neuen Privilege-Ring geschaffen, der als Ring-1 bezeichnet wird. Er erlaubt das Einrichten mehrerer Ring-0-Instanzen und regelt den Zugriff auf bestimmte Funktionen der MMU. Somit können Betriebssysteme im Ring-0 laufen, ohne modifiziert zu werden, und werden vom Ring-1 koordiniert. (IT-Administrator 2012)

AMD brachte 2005 den Prozessor Pacifica heraus, der heute als Secure Virtual Machine (SVM) bezeichnet wird. Intel veröffentlichte im gleichen Jahr den Vanderpool, der heute VT genannt wird. Diese Vanderpool-Technologie unterstützt die Partitionierung der Hardware, was zu mehr Performance und Betriebssicherheit führt. (Vilsbeck 2005)

Eine weitere wichtige Voraussetzung für die Virtualisierung ist die Technik SLAT (Second Level Address Translation), die zur Reduzierung des Overheads in Hypervisor-Prozessoren, zur Verbesserung der Leistung von virtuellen Maschinen und zur Verbesserung der Speicherverwaltung eines Hypervisors dient. (Mada 2024) Mit dieser Technik wird ein spezieller Zwischenspeicher zugefügt, der Übersetzungspuffer (Translation Lookaside Buffer, TLB) der kürzlich erfolgte Übersetzungen zwischen virtuellem Speicher und physischen Adressen aufnimmt, um sie schneller wieder verfügbar zu machen. (ComputerWeekly 2020)

Bei der SLAT von einer virtuellen in eine physische Adresse überprüft der Hypervisor, ob ein entsprechendes Adress-Mapping im Cache vorliegt oder ob der Prozessor eine Adressenkonvertierung vornehmen muss. Die Hardware im Prozessor (beziehungsweise in der Memory Management Unit/MMU) übernimmt die Verwaltung der Speicheradressen virtueller Maschinen (VMs). Das verringert nicht nur die CPU-Auslastung, sondern schottet im Prinzip auch die vom Hypervisor vergebenen Speicherbereiche virtueller Maschinen stärker voneinander ab als eine reine Software-Lösung (Vahldiek 2020). Die SLAT-Technologie ist eine sehr wichtige Komponente und Bestandteil vieler Virtualisierungsplattformen wie Hyper-V, VMware, Citrix, KVM und Xen. (Mada 2024)

## **5.2 Hyper-V: Features und Funktionalitäten**

Für den Betrieb von Hyper-V sind folgende Anforderungen zu erfüllen:

- 64-Bit-Prozessor mit SLAT-Technologie
- Erweiterungen für den VM-Überwachungsmodus
- Mindestens 4 GB Arbeitsspeicher (Microsoft11 2024)

Im BIOS oder UEFI aktivierte Virtualisierungsunterstützung: Intel Virtualization Technology (Intel VT) oder AMD Virtualization (AMD-V) (ComputerWoche3 2008) sowie die auf der Hardware erzwungene Datenausführungsverhinderung (DEP) müssen verfügbar und aktiviert sein. (Microsoft11 2024)

Microsoft Hyper-V ist ein Hardwarevirtualisierungsprodukt, mit dem eine Softwareversion eines Computers, der als virtueller Computer bezeichnet wird, erstellt und ausgeführt werden kann. Dieser virtuelle Computer verhält sich wie ein normaler Rechner mit einem Betriebssystem, auf dem Programme ausgeführt werden können. In Microsoft Hyper-V wird jeder virtuelle Computer in einem eigenen isolierten Bereich ausgeführt, was bedeutet, dass mehrere virtuelle Computer gleichzeitig auf derselben Hardware laufen können. Dadurch hat der Absturz einer virtuellen Maschine kaum Auswirkungen auf die Infrastruktur und andere virtuelle Maschinen. (Microsoft12 2024)

Die erste Version von Microsoft Hyper-V erschien im Jahr 2008 mit Windows Server 2008 und blieb ohne Änderungen in Windows Server 2012 sowie Windows 8 verfügbar. (Tierling 2013) In Microsoft Windows Server 2022 Hyper-V ist immer noch vorhanden, nur als Windows Server Rolle, aber nicht als Hyper-V Server. (Kahrman 2021)

Hyper-V ist ebenfalls integraler Bestandteil der Pro- und Enterprise-Editionen von Windows 8, Windows 8.1, Windows 10, einschließlich der Education-Version, sowie Windows 11. Hyper-V kann in Systemsteuerung: Windows-Features aktiviert oder deaktiviert und mit zwei Optionen angezeigt werden. (Microsoft13 2024) Ein großer Vorteil ist die Funktion, die mit dem Service Pack 1 für Windows Server 2008 R2 eingeführt wurde, der dynamische Speicher. Dieses Feature erlaubt, das der Arbeitsspeicher als freigegebene Ressource behandelt und zwischen den virtuellen Maschinen verteilt werden kann. (Gerlach 2014)

Eine sehr nützliche Funktion der Virtualisierung in Hyper-V ist die geschachtelte Virtualisierung, bei der es möglich ist, den Hyper-V Manager auf einer virtuellen Maschine auszuführen. (Microsoft2 2023)

Diese Funktion ist besonders nützlich für:

- Ausführen von Anwendungen oder Emulatoren

- Testen von Software-Releases auf VMs
- Reduzieren der Bereitstellungszeiten in Trainingsumgebungen
- Nutzung der Hyper-V Isolation für Container (Microsoft2 2023)

### 5.2.1 Unterschiede zwischen Hyper-V auf Windows und auf Windows Server:

Nur im Windows Server verfügbare Hyper-V Features (Microsoft3 2023):

- Live-Migration virtueller Maschinen von einem Host zum anderen
- Hyper-V-Replikat
- Virtueller Fibre Channel
- SR-IOV-Netzwerke
- Gemeinsame Nutzung von VHDX (Microsoft3 2023)

Nur in Windows 10 verfügbare Hyper-V Features:

- Schnelles Erstellen und VM-Katalog
- Standardnetzwerk (NAT-Switch) (Microsoft3 2023)

Programme, die spezifische Hardwareanforderungen haben, funktionieren oft nicht gut auf virtuellen Computern. Zum Beispiel sind Spiele oder Anwendungen, die GPUs für die Verarbeitung benötigen, möglicherweise nicht geeignet. Ebenso können Anwendungen, die hochpräzise Zeitgeber mit einer Genauigkeit von weniger als 10 Millisekunden benötigen (wie latenzempfindliche Anwendungen zum Mischen von Livemusik), Probleme haben, wenn sie auf virtuellen Maschinen ausgeführt werden. (Microsoft3 2023)

Auch bei Anwendungen, die auf Hyper-V angewiesen sind und hohe Anforderungen an Latenz und Präzision stellen, können Probleme auftreten. Dies liegt daran, dass bei virtualisierten Umgebungen das Host-Betriebssystem sowie die Gastbetriebssysteme über der Hyper-V-Schicht laufen. Obwohl das Host-Betriebssystem direkten Zugriff auf die Hardware hat, kann es bei Anwendungen mit speziellen Hardwareanforderungen zu Schwierigkeiten kommen, wenn diese im Gastbetriebssystem ausgeführt werden. Daher ist es oft besser, solche Anwendungen direkt auf dem Host-Betriebssystem zu betreiben, um eine optimale Leistung zu gewährleisten. (Microsoft3 2023)

## 5.3 PROXMOX: Features und Funktionalitäten

Proxmox Virtual Environment (Proxmox VE) ist eine Open-Source-Plattform zur Virtualisierung, die sowohl die KVM (Kernel-based Virtual Machine) als auch die LXC (Linux Container) Technologie unterstützt. Das System basiert auf einer minimalen Debian/GNU-Linux Umgebung. (Proxmox4 2024)

Die Proxmox VE ist sehr skalierbar. Die Plattform kann nur mit einem Knoten oder mit einer großen Anzahl von Cluster-Knoten betrieben werden. Die web-basierte Verwaltungsoberfläche von Proxmox VE gibt einen perfekten Überblick über alle VMs, Container und über dem gesamten Cluster. Im Unterschied zu vielen anderen Virtualisierungslösungen muss kein zusätzlicher oder komplexer Management-Server installiert werden. (Proxmox4 2024)

Empfohlene Hardware für den Server Betrieb ist (Proxmox3 2024):

- 64-bit Intel oder AMD Prozessor mit VT/V CPU Flag
- Mind. 2 GB Arbeitsspeicher für Betriebssystem und VE-Dienste
- Für jeden Gast zusätzlicher Arbeitsspeicher
- Schneller und redundanter Storage, SSD Disks empfohlen
- OS-Storage: RAID mit Batterie-gestützten RAID-Controller (BBU) (Abbildung 5), oder non-RAID mit ZFS und SSD Cache
- VM-Storage: RAID mit Batterie-gestützten RAID-Controller (BBU), oder non-RAID für ZFS
- Redundante Gbit NICs (Proxmox3 2024)



Abbildung 5: RAID-Controller mit BBU-Unit (Haehnlein-IT 2024)

In der oberen Abbildung sehen wir einen RAID-Controller, der für die Speicherverwaltung zuständig ist. Eine Besonderheit dieses Controllers ist, dass er mit einem extern angeschlossenen Akku ausgestattet ist, der den Controller bei einem Stromausfall für eine gewisse Zeit mit Strom versorgt. Dadurch wird sichergestellt, dass Daten, die im Zwischenspeicher gespeichert sind, nicht verloren gehen, falls der Controller nicht mit Strom versorgt wird. So können bei großen Datenbanken zwischen den protokollierten Schreibvorgängen und den Inhalten der aktiven Datenbank keine Inkonsistenzen entstehen. (STARLINE 2024)

Die Management-Konsole ist über gängige Webbrowser erreichbar. Das zentrale Management erfolgt über die webbasierte Verwaltungsoberfläche, die es erlaubt, den gesamten Cluster von jedem beliebigen Cluster-Knoten aus zu verwalten. Fortgeschrittene Benutzer können es auch über die Kommandozeile verwalten. Ebenso

ist die Verwaltung über mobile Geräte möglich, entweder über eine App, mit der Cluster, Nodes, Container und VMs verwaltet werden können, oder über die Weboberfläche auf mobilen Geräten. Mithilfe von JSON können Management-Tools von Drittanbietern schnell und einfach integriert werden. (Proxmox6 2024)

Proxmox VE verwendet ein eigenes datenbankgestütztes Dateisystem zur Speicherung von Konfigurationsdateien, das sogenannte Proxmox Cluster File System (pmxcfs). Pmxcfs ermöglicht es, die Konfiguration von Tausenden virtuellen Maschinen zu speichern. Diese Dateien werden mittels Corosync in Echtzeit auf allen Cluster-Knoten repliziert. Das genannte Produkt ist die einzige Plattform auf dem Markt mit diesem pmxcfs Cluster-Dateisystem. (Proxmox4 2024)

Zudem besitzt es das Feature der Live/Online-Migration, das Administratoren ermöglicht, virtuelle Maschinen von einem Host zu einem anderen zu verschieben, um Wartungsarbeiten oder Updates durchzuführen, ohne den laufenden Betrieb zu unterbrechen. (Proxmox4 2024)

Die Authentifizierung in bietet eine rollenbasierte Benutzer- und Rechteverwaltung, bei der granulare Zugriffsrechte für alle Objekte vergeben werden können. (Proxmox4 2024)

Mit HA-Cluster ist es möglich, einen hochverfügbaren und ausfallsicheren virtuellen Server aufzusetzen und zu betreiben, was besonders vorteilhaft für kritische Infrastrukturen ist. Der HA-Manager wird vorinstalliert geliefert und wird automatisch aktiv, wenn Knoten oder virtuelle Maschinen ausfallen. (Proxmox4 2024)

## **5.4 Spezifische Leistungskriterien für Virtualisierungsplattformen**

In der heutigen Geschäftswelt spielt die IT eine zentrale Rolle. Unternehmen stehen vor der Herausforderung, ihre IT-Infrastruktur effizient und kostengünstig zu gestalten. Eine Lösung, die sich in den letzten Jahren bewährt hat, ist die Server Virtualisierung. Diese Technologie ermöglicht es, mehrere virtuelle Server auf einer einzigen physischen Maschine zu betreiben. Dadurch können Unternehmen ihre Ressourcen besser nutzen und die Flexibilität ihrer IT-Systeme erhöhen. (Dehne 2024)

Nachfolgend werden die wichtigsten Kriterien für die Bewertung und Auswahl der Virtualisierungsplattform aufgeführt:

- 1. Leistung und Skalierbarkeit** – Die Fähigkeit die Arbeitslast durch die Geschäftsanforderungen nahezu in Echtzeit zu erfüllen, ohne die Servicequalität zu beeinträchtigen. (Oracle 2023)
- 2. Netzwerkeistung** - Funktionen wie VLANs (Virtual Local Area Networks sind virtuelle lokale Netzwerke) und Network Virtualization steigern die Effizienz und Sicherheit des eigenen Netzwerks durch die Segmentierung. VLAN ermöglichen die Unterteilung von Unternehmensbereichen und es werden physisch getrennte Netze ohne zusätzliche Hardware implementiert. (Hölzer 2024)
- 3. Speicherleistung** – Drei primäre Optionen für Datenspeichersysteme im Unternehmen sind Direct-Attached Storage (DAS), Network-Attached Storage (NAS) und Storage Area Networks (SANs). (Purestorage 2021)
- 4. Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit** - Eine der wichtigsten Funktionen ist die Hochverfügbarkeit der Systeme. In einem Failover-Cluster verbessern die geclusterten Server gemeinsam die Verfügbarkeit und Skalierbarkeit von Anwendungen und Diensten. Die Server arbeiten zusammen, um durch den Failover-Prozess entweder eine kontinuierliche Verfügbarkeit oder zumindest eine hohe Verfügbarkeit (HA) zu gewährleisten. Failover-Cluster bestehen entweder aus physischen Servern oder virtuellen Maschinen (VMs). (ComputerWeekly1 2023)
- 5. Sicherheitsfunktionen** - Virtualisierungsumgebungen stellen in vielen IT-Infrastrukturen wichtige Funktionen bereit. Dabei kann es sich unter anderem um virtuelle Desktops, Datenbanken oder auch Web-Server handeln. Diese Installationen sind oft unverzichtbar für die tägliche Arbeit, umso wichtiger, dass ihre Sicherheit gewährleistet ist. (Guettich und Schmitz 2019)
- 6. Verwaltung und Automatisierung** - Zentralisiertes Management mit dem Administrator:innen von einer zentralen Konsole aus alle virtuellen Maschinen im Server überwachen und verwalten können, was die Komplexität reduziert. (Basys Brinova 2024)

Automatisierung mit der viele Routineaufgaben im Zusammenhang mit der Bereitstellung und dem Management von Servern können automatisiert werden, was Zeit spart, und Fehler reduziert. (Basys Brinova 2024)

**Kompatibilität und Integration** - Für heutige Infrastrukturen ist es unerlässlich, dass die Hypervisoren auf beliebigen Betriebssystemen oder direkt auf der Hardware installiert werden können. (Red Hat3 2018) Ebenso sehr wichtig ist die breite Unterstützung für Betriebssysteme, Hardware, Anwendungen und Integration in die bestehende Infrastruktur. (Anania 2024)

## **6. METHODE DER NUTZWERTANALYSE FÜR DIE VIRTUALISIERUNGSPLATTFORMEN**

### **6.1 Erläuterung der Nutzwertanalyse**

In dieser Bachelorarbeit werden die beiden Plattformen für die Virtualisierung mithilfe einer Nutzwertanalyse verglichen, um die Forschungsfrage zu beantworten und die von Verfasser aufgestellte Hypothese zu überprüfen. Die Nutzwertanalyse ist eine Methode, die im Entscheidungsprozess eingesetzt werden kann und mit dieser Methode werden die verschiedenen Alternativen anhand der wichtigsten Kriterien bewertet. Im Gegensatz zu herkömmlichen Investitionsrechnungen werden hier auch schwer messbare Kriterien berücksichtigt (Steubel 2024).

Da IT-Infrastrukturen heutzutage in vielfältigen und oft komplexen Ausführungen gestaltet werden können, ist es von Vorteil, wenn solche Entscheidungen auf vorherigen Analysen basieren. Durch die in dieser Arbeit auf Basis der Studie vordefinierten Kriterien und Gewichtungen haben zukünftige Entscheidungsträger die Möglichkeit, diese individuell an die Bedürfnisse des Unternehmens anzupassen und für künftige Entscheidungen heranzuziehen. Auf diese Weise lassen sich aus den Ergebnissen dieser Arbeit schnell Schlüsse ziehen, welche der beiden Plattformen optimal für den Einsatz von Windows Server 2019 ist, insbesondere wenn sich die Kriterien überschneiden.

Laut Bitkom Research hat jedes vierte Unternehmen (25 %) das Tempo bei der Digitalisierung von Geschäftsprozessen erhöht. Mehr als jedes dritte Unternehmen (39 %) berichtet, dass sich seit dem Ausbruch der Corona-Pandemie der Umgang der Mitarbeiter mit digitalen Technologien positiv verändert hat. Mittlerweile sehen 85 % der deutschen Unternehmen die Digitalisierung positiv, was einem Anstieg von 7 Prozentpunkten im Vergleich zum Vorjahr entspricht. Zum ersten Mal überhaupt lehnt kein einziges Unternehmen die Digitalisierung pauschal ab (Staudacher 2020).

In dieser Arbeit werden Kriterien aus einer Studie herausgegriffen und anhand dieser die beiden Virtualisierungsplattformen verglichen und bewertet. Es handelt sich um die Studie *Das Business fordert mehr Flexibilität | IT-Trends 2024* (Capgemini 2024) der Firma Capgemini, die im Jahr 2023 von 5. September bis zum 25. Oktober durchgeführt wurde.

Welche Ziele verfolgen Sie mit Verbesserungen in der IT 2024?

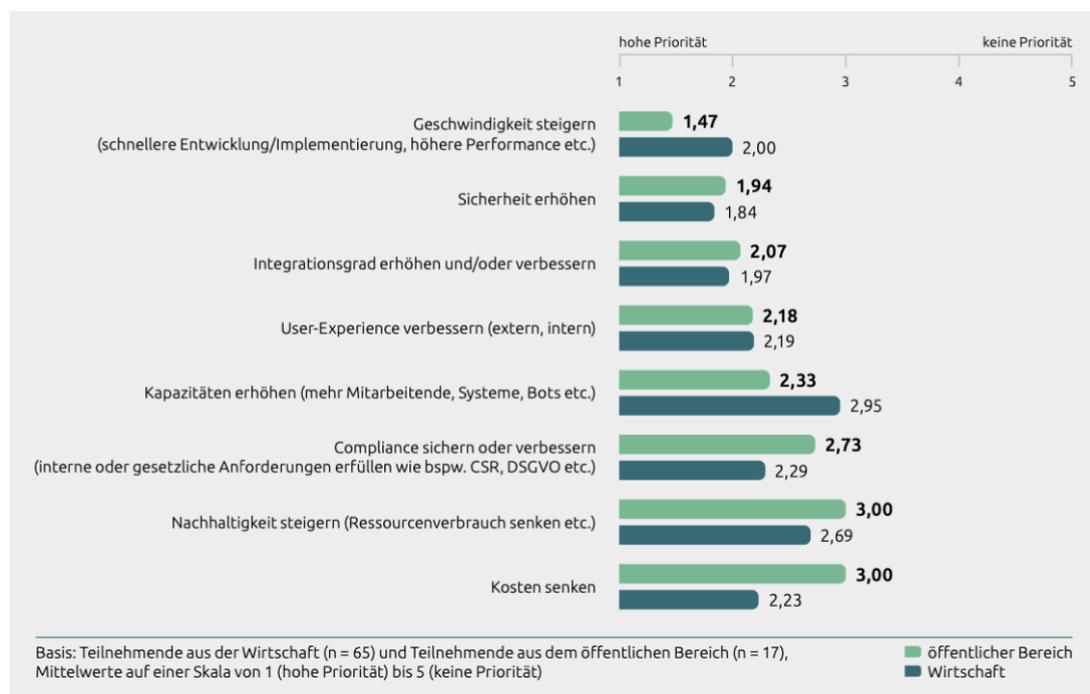


Abbildung 6: Das Business fordert mehr Flexibilität | IT-Trends 2024 (Capgemini 2024)

In Abbildung 6 sind die Ergebnisse einer Befragung von 82 Unternehmen aus der freien Wirtschaft sowie dem öffentlichen Sektor dargestellt. Die Unternehmen wurden nach ihren Prioritäten für das Jahr 2024 befragt, darunter Aspekte wie

Geschwindigkeitssteigerung, Erhöhung der Sicherheit und weitere priorisierte Themen. Das Bewertungssystem basierte auf einer Punktevergabe, wobei die kleinste Punktzahl die höchste Priorität und die größte Punktzahl die niedrigste Priorität für die Unternehmen darstellte. Aus den Ergebnissen dieser Umfrage werden im weiteren Verlauf fünf zentrale Kriterien ausgewählt, anhand derer zwei Virtualisierungsplattformen miteinander verglichen werden.

## **6.2 Kriterien festlegen**

In der Studie wurden 65 Unternehmen aus der freien Wirtschaft und 17 aus dem öffentlichen Sektor befragt, welche Ziele sie mit Verbesserungen in der IT im Jahr 2024 verfolgen. Es ist zu beachten, dass sich diese Ziele im Laufe der Zeit ändern können und sich diese Arbeit ausschließlich auf die in der Befragung definierten Ziele konzentriert. Zu den befragten Zielen gehören unter anderem die Steigerung der Geschwindigkeit, die Erhöhung der Sicherheit, die Verbesserung des Integrationsgrades, die Verbesserung der User Experience (intern sowie extern), die Kapazitätserhöhung, die Sicherstellung oder Verbesserung der Compliance, die Steigerung der Nachhaltigkeit sowie die Senkung der Kosten. (Capgemini 2024)

Da eine Bewertung aller Kriterien den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, werden nur ausgewählte Kriterien untersucht. Verglichen wurden die Leistung (Geschwindigkeitssteigerung), Sicherheit, Skalierbarkeit (Kapazitätserhöhung), Kostensenkung sowie die Steigerung der Nachhaltigkeit.

Im nächsten Schritt werden die Umfrageergebnisse zusammengefasst und der Durchschnitt für beide Sektoren (öffentlicher und privatwirtschaftlicher) für die folgenden fünf Kriterien berechnet. Auf Basis dieser Berechnung, des Durchschnitts der Punkte aus der Wirtschaft und dem öffentlichen Bereich, ergibt sich, wie in Abbildung 7 dargestellt, die Reihung der wichtigsten Kriterien für die Unternehmen. Je weniger Punkte ein Kriterium erhalten hat, desto höher ist seine Priorität für die Unternehmen. Daraus lässt sich ableiten, dass die Steigerung der Geschwindigkeit, im weiteren Verlauf als „Leistung“ bezeichnet, die höchste Priorität hat, gefolgt von der Erhöhung der Sicherheit und weiteren Kriterien.

<b>Kriterium</b>	<b>Punkte öffentlicher Bereich</b>	<b>Punkte Wirtschaft</b>	<b>Summe</b>	<b>Platz</b>
Geschwindigkeit steigern - Leistung	1,47	2,00	1,74	1
Sicherheit erhöhen	1,94	1,84	1,89	2
Kapazitäten erhöhen - Skalierbarkeit	2,33	2,95	2,64	4
Nachhaltigkeit steigern	3,00	2,69	2,85	5
Kosten senken	3,00	2,23	2,62	3

Tabelle 2: Reihung der Kriterien nach Priorität (Quelle: Eigene Darstellung)

Wie in Tabelle 2 ersichtlich, wurden die Punkte aus der IT-Studie für den öffentlichen Sektor sowie für Unternehmen aus der freien Wirtschaft addiert. Daraus ergab sich eine Summe, die es ermöglicht, die Kriterien nach ihrer Wichtigkeit zu reihen – nach dem Prinzip: Je weniger Punkte, desto höher ist die Priorität.

Die Kriterien werden jetzt mithilfe des AHP (Analytischer Hierarchieprozess) verglichen. Der analytische Hierarchieprozess ist eine Methode, die an Entscheidungsprobleme mit mehreren Kriterien angepasst ist, bei denen mehrere Lösungen eine Reihe von Kriterien erfüllen. Der Ansatz der Methode besteht darin, das Problem zu vereinfachen, indem es in ein hierarchisches System zerlegt wird. Thomas Saaty hat diese Methode in den 70er Jahren entwickelt. (XLSTAT 2024)

Nachdem die Platzierung wie in der Tabelle 2, basierend auf den in der Umfrage erzielten Punkten vorgenommen wurde, können die Kriterien mithilfe der AHP-Methode, abgebildet in der Tabelle 3, analysiert werden, um eine entsprechende Gewichtung der einzelnen Kriterien festzulegen. Die Punktevergabe erfolgt dabei nach dem System, ob ein Kriterium von den beiden Sektoren wichtiger als ein anderes bewertet wurde. Wenn ein Kriterium wichtiger als ein andere ist, bekommt er 2 Punkte, ansonsten gibt es nur 1 Punkt. In konkreten Fall heißt es das die Steigerung der Geschwindigkeit, in späteren

Verlauf der Arbeit die Leistung, die höchste Priorität hat und als wichtigstes Kriterium betrachtet von beiden Sektoren wird, und somit gegenüber allen anderen Kriterien die 2 Punkte bekommt, was am Ende 8 Punkte dieses Kriterium bringt. Mit dem gleichen Verlauf werden weitere vier Kriterien miteinander verglichen und anhand Priorität entweder mit 2 oder einen Punkt bewertet. In der Summe ergibt sich zum Schluss 30 Punkte insgesamt für alle 5 Kriterien.

<b>Kriterien</b>	Leistung	Sicherheit	Skalierbarkeit	Nachhaltigkeit	Kosten	<b>SUMME</b>	<b>Gewichtungsfaktor (%)</b>
Geschwindigkeit steigern-Leistung		2	2	2	2	<b>8</b>	26,7%
Sicherheit	1		2	2	2	<b>7</b>	23,3%
Skalierbarkeit (Kapazität Erhöhung)	1	1		2	1	<b>5</b>	16,7%
Nachhaltigkeit	1	1	1		1	<b>4</b>	13,3%
Kosten	1	1	2	2		<b>6</b>	20,0%
<b>SUMME</b>						<b>30</b>	100,00 %

Tabelle 3: AHP-Gewichtung der Kriterien (Quelle: Eigene Darstellung)

Im nächsten Schritt wird die Gewichtung der einzelnen Kriterien anhand der folgenden Formel berechnet:

$$\text{Gewichtung} = (\text{Erreichte Punkte} / \text{Gesamtzahl der Punkte}) * 100$$

Für das Kriterium „Leistung“ ergibt sich folgendes Ergebnis:

$$\text{Leistung} = (8 / 30) * 100 = 26,7 \% \text{ (gerundet).}$$

Die Gewichtungen der anderen Kriterien werden ebenfalls mit derselben Formel berechnet.

### **6.2.1 Leistung – 26,7 %**

Die Leistung ist ein entscheidender Faktor bei der Auswahl der Virtualisierungsplattform, da sie die Effizienz und Zuverlässigkeit der virtuellen Maschinen direkt beeinflusst. CPU-Ressourcen sollten optimal verteilt werden, um die Plattform effizient zu betreiben. Funktionen wie CPU-Pinning, das spezifischen virtuellen Maschinen bestimmte CPU-Kerne zuweist (LinkedIn 2024), sowie CPU-Overcommitment, das mehr virtuelle als physische CPUs zulässt (Google Cloud 2024), verbessern die Leistung erheblich. Die Speicherverwaltung ist ebenfalls wichtig, um Techniken wie Memory Overcommitment (ITUONLINE 2024) und Memory Ballooning (Ontrack 2024) zu unterstützen, damit der Speicher effizient genutzt werden kann. Die NUMA (Non-Uniform Memory Access) Technologie ermöglicht es, den Speicher lokal in einem Cluster von Mikroprozessoren zu teilen (Awati 2023). Eine Plattform sollte zudem hohen Netzwerkdurchsatz bieten, um die Datenübertragung zwischen virtuellen Maschinen und Netzwerken zu optimieren. Funktionen wie virtuelle Switches und NIC-Teaming (WindowsOSHUB 2023) sowie SR-IOV (VMWARE 2019) maximieren die Netzwerkleistung. Geringe Latenz ist entscheidend, insbesondere für zeitkritische Anwendungen, wobei RDMA (Martin 2016) die Latenz reduzieren kann. Technologien wie VLANs (Fischer 2024) und Quality of Service (Paloaltonetwork 2024) sorgen dafür, dass kritische Anwendungen die benötigten Netzwerkressourcen erhalten.

### **6.2.2 Sicherheit – 23,3 %**

Die Sicherheit der Virtualisierung spielt eine zentrale Rolle in der Sicherheitsstrategie eines jeden Unternehmens, da in einer zunehmend virtualisierten Welt die Sicherheitsmaßnahmen auf allen Ebenen umgesetzt werden müssen (Hagel 2024). Zu den wichtigen Zugriffskontrollmechanismen gehört die rollenbasierte Zugriffskontrolle (RBAC), bei dem Benutzer basierend auf ihren Rollen auf bestimmte Ressourcen zugreifen dürfen (Crowdstrike 2023). Ergänzt wird dies durch die Multi-Faktor-Authentifizierung (MFA), bei dem Benutzer mehrere Verifizierungsfaktoren angeben müssen, um den Zugang zu erhalten (ONELOGIN 2024). Für den Schutz von Daten ist die Verschlüsselung während der Migration entscheidend (FasterCapital1 2024),

während VPNs die IP-Adresse verschleiern und den Datenverkehr zwischen Gerät und Server anonymisieren (Proofpoint 2024).

Darüber hinaus ist die Einhaltung von Sicherheitsstandards wie ISO 27001, NIST und GDPR essenziell, um bewährte Praktiken zu gewährleisten (Guschlbauer 2024). Die Firewalls und Intrusion Detection Systeme (IDS) überwachen den Netzwerkverkehr auf Anzeichen von Cyberangriffen (Buckbee 2023). Regelmäßige Sicherheitsupdates sind ebenfalls notwendig, um Schwachstellen zu beheben, wobei automatisierte Updates diese Aufgabe vereinfachen und die Systeme aktuell halten (IBM4 2024) (BSI1 2024).

### **6.2.3 Skalierbarkeit – 16,7 %**

Um die Virtualisierungsplattform optimal nutzen zu können, ist auch eine effektive Skalierbarkeit entscheidend. Dies bedeutet, dass die Plattform in der Lage sein muss, steigende oder wechselnde Workloads zu bewältigen, ohne dabei an Qualität oder Effizienz zu verlieren (Linkedin1 2024). Eine hohe VM-Dichte kann dazu beitragen, Lizenzkosten und den Platzbedarf im Rechenzentrum zu reduzieren (Kirsch 2018). Die Plattform sollte in der Lage sein, Ressourcen flexibel zwischen physischen und virtuellen Umgebungen zu partitionieren, um den Anforderungen gerecht zu werden (Red Hat3 2018). Durch die Netzwerk Virtualisierung lassen sich Netzwerke schaffen, die nicht der zugrunde liegenden physischen Infrastruktur entsprechen müssen, (CHECK POINT 2024).

Die Fähigkeit zur Clusterbildung ermöglicht es, Hosts zu einem Cluster zu verbinden, was die gemeinsame Nutzung von Ressourcen und eine bessere Lastverteilung fördert. Verteilte Architekturen erlauben die Verwaltung von Ressourcen über mehrere Standorte hinweg (DataScientist 2023). Zudem sorgen integrierte Failover- und Redundanzfunktionen dafür, dass bei einem Host-Ausfall die VMs automatisch auf andere Hosts im Cluster verschoben werden, um Ausfallzeiten zu minimieren (Klauke Enterprises 2023). Diese Faktoren sind entscheidend für eine reibungslose und effiziente Skalierung der Plattform.

### **6.2.4 Nachhaltigkeit – 13,3%**

Virtualisierung spielt eine entscheidende Rolle bei der Konsolidierung von Datencentern und hilft somit bei der Reduzierung des Hardwarebedarfs in den Datencentern. Die Virtualisierung hilft bei der Einsparung von Strom und Stellfläche in Datencentern,

wodurch die Gesamteffizienz verbessert und die Kohlenstoffemissionen, die durch das Wachstum der IT-Infrastruktur entstehen, verringert werden. (WMWARE1 2022)

In der heutigen, sich rasch entwickelnden digitalen Landschaft erkennen Unternehmen zunehmend die Bedeutung nachhaltiger Praktiken. Während Unternehmen bestrebt sind, ihre Umweltbelastung zu reduzieren, kann die Rolle der Virtualisierungstechnologie bei der Verbesserung der Nachhaltigkeit von IT-Diensten nicht unterschätzt werden. Virtualisierung bietet einen transformativen Ansatz, der die Ressourcennutzung optimiert, den Energieverbrauch minimiert und die allgemeine Betriebseffizienz verbessert. (ISMILETECHNOLOGIES 2023)

### **6.2.5 Kosten – 20%**

Durch die Virtualisierung können Unternehmen ihre Hardwarekosten erheblich senken, indem mehrere virtuelle Server auf einer einzigen physischen Maschine konsolidiert werden. Dies führt auch zu geringeren Strom- und Kühlkosten (Mightycare 2023). Bei den Lizenzgebühren unterscheiden sich die Modelle: Es gibt sowohl Einmalzahlungen als auch Abonnementmodelle. Microsoft lizenziert beispielsweise seine Datacenter- und Standard-Edition pro Kern/CAL und erfordert zusätzliche Lizenzen für bestimmte Funktionen (Microsoft14 2024) (SoftwareExpress 2022). Physische Server bleiben jedoch notwendig, um geplante virtuelle Maschinen zu verarbeiten, was weiterhin Anschaffungskosten verursacht (Grey 2024).

Technischer Support ist entscheidend, da Unternehmen oft nicht die Ressourcen haben, um Hardware- und Softwareprobleme eigenständig zu lösen. Die Kosten für Support variieren je nach Anbieter und Servicelevel (Bergler 2018). Auch regelmäßige Software-Updates sind erforderlich, um Sicherheitslücken zu schließen und das System vor Bedrohungen zu schützen (BSI 2024) (MYRA 2024).

## **7. BEWERTUNG DER VIRTUALISIERUNGSPLATTFORMEN**

Anhand der folgenden Tabelle 4 werden die einzelnen Kriterien bewertet und mit Punkten von 1 bis 5 versehen. Für jedes Kriterium werden spezifisch zugeschnittene Punkte vergeben, um eine differenzierte Bewertung zu gewährleisten. Diese Punkte

werden im späteren Verlauf mit der vordefinierten Gewichtung, die in Prozent angegeben ist, multipliziert. Anschließend erfolgt die Berechnung der Gesamtsumme der Punkte mittels einer Nutzwertanalyse. Diese Gesamtsumme dient der Beantwortung der Forschungsfrage und hilft dabei, die Hypothese entweder zu bestätigen oder zu widerlegen

Kriterien / Punkte	1	2	3	4	5
<b>Leistung</b>	Schlechte Leistung, häufige Systemausfälle und hohe Latenz.	Unzuverlässige Leistung, Probleme bei hoher Belastung.	Gute Leistung unter normalen Bedingungen, gelegentliche Engpässe.	Sehr gute Leistung, auch bei hoher Belastung, minimale Verzögerungen.	Hervorragende Leistung, selbst unter höchster Last und voller Auslastung.
<b>Sicherheit</b>	Sehr niedrige Sicherheitsmaßnahmen, anfällig für Bedrohungen.	Grundlegende Sicherheitsmaßnahmen vorhanden, jedoch unzureichend bei komplexen Bedrohungen.	Gute Sicherheitsmechanismen, regelmäßige Updates und Schutz.	Hohe Sicherheitsstandards, umfassender Schutz vor Bedrohungen.	Exzellente Sicherheitsmaßnahmen, umfassender Schutz vor allen Bedrohungen, stetige Überwachung und Anpassung.
<b>Skalierbarkeit</b>	Keine Skalierbarkeit, starre Infrastruktur.	Begrenzte Skalierbarkeit, Erweiterung nur durch manuelle Eingriffe möglich.	Skalierbare Lösungen vorhanden, jedoch mit Leistungseinbußen.	Sehr gute Skalierbarkeit, dynamische Ressourcenanpassung möglich.	Exzellente Skalierbarkeit, sofortige Anpassung an steigende Anforderungen ohne Leistungseinbußen.
<b>Nachhaltigkeit</b>	Sehr niedrige Nachhaltigkeitsmöglichkeiten.	Eingeschränkte Nachhaltigkeitsmöglichkeiten.	Angemessene Nachhaltigkeitsmöglichkeiten.	Hohe Nachhaltigkeitsmöglichkeiten.	Exzellente Nachhaltigkeitsmöglichkeiten.
<b>Kosten</b>	Sehr hohe Kosten, kaum Budgetoptimierungsmöglichkeiten.	Hohe Kosten, jedoch mit einigen Einsparmöglichkeiten.	Angemessene Kosten, teilweise optimiert durch Automatisierung.	Geringere Kosten durch effiziente Ressourcennutzung und Cloud-Lösungen.	Sehr kosteneffizient, maximale Einsparungen durch Skalierbarkeit und Automatisierung.

Tabelle 4: Kriterien Bewertungstabelle (Quelle: Eigene Darstellung)

## 7.1 Bewertung der Leistung

### Hyper – V – 4 Punkte

Hyper-V in Windows Server bietet eine virtuelle NUMA-Topologie (vNUMA), die standardmäßig so konfiguriert ist, dass sie der physischen NUMA-Topologie des Host-Computers entspricht, (Microsoft<sup>29</sup> 2024). Diese Architektur optimiert die Leistung virtueller Maschinen (VMs), indem sie die Speicherverwaltung effizient gestaltet. Ein Nachteil von NUMA ist jedoch, dass es kostenintensiv sein kann und dass es an Programmierstandards für komplexere Konfigurationen fehlt, was die Implementierung erschwert, (Awati 2023). Hyper-V bietet die Möglichkeit, dynamischen Arbeitsspeicher zu aktivieren, wodurch die Größe des Arbeitsspeichers einer VM automatisch angepasst werden kann, (Microsoft<sup>16</sup> 2023).

In Bezug auf den Netzwerkdurchsatz und die Latenz bietet Hyper-V fortschrittliche Netzwerkfunktionen wie VMQ (Virtual Machine Queue), die die Netzwerkleistung verbessert, sowie SR-IOV (Single Root I/O Virtualization), das mehrere Netzwerkadapter unterstützt (Microsoft17 2021) (Microsoft18 2022). Bei Leistungsproblemen von virtuellen Servern ist oft die langsame Netzwerkkommunikation die Ursache. Microsoft empfiehlt, für die Verwaltung des Hyper-V-Hosts einen eigenen Netzwerkadapter zu verwenden, um dieses Problem zu mindern (Joos, Computerwoche - Netzwerk-Praxis: Netzwerke in Hyper-V und vSphere aufbauen 2015).

**Punkteabzug erfolgt bei Hyper-V aufgrund der zunehmenden Komplexität bei der Verwendung der NUMA-Technologie.**

### **Proxmox VE – 4 Punkte**

Proxmox bietet hervorragende Unterstützung für CPU- und Speichermanagement, insbesondere durch KSM (Kernel Same-page Merging), das die VM-Dichte um bis zu 300 % erhöhen kann, ohne die Leistung zu beeinträchtigen (Proxmox9 2023). Darüber hinaus ermöglicht Memory Ballooning die dynamische Anpassung der Speichernutzung, indem ungenutzter Speicher während des Betriebs ausgelagert wird, (Proxmox9 2023). Allerdings gibt es derzeit noch keine Möglichkeit, den Ressourcenzugriff für einzelne Ressourcen-Pools einzuschränken, was eine Einschränkung im Vergleich zu anderen Plattformen darstellt, (Burns 2017).

Im Bereich Netzwerkdurchsatz und Latenz unterstützt Proxmox Software-Defined Networking (SDN), was die Erstellung virtueller Netzwerke und Zonen ermöglicht (Proxmox10 2024). Darüber hinaus bietet Proxmox SR-IOV (Single Root I/O Virtualization), mit dem einem Gerät mehrere virtuelle Funktionen (VF) zugewiesen werden können, wobei jede VF in einer separaten VM genutzt werden kann (Proxmox11 2023). Diese steigern die Flexibilität und Leistungsfähigkeit der Netzwerkarchitektur.

**Punkteabzug erfolgt aufgrund der fehlenden Möglichkeit, den Ressourcenzugriff für einzelne Ressourcen-Pools einzuschränken.**

## **7.2 Bewertung der Sicherheit**

### **Hyper – V – 5 Punkte**

Hyper-V bietet umfassende Zugriffskontrollmechanismen, insbesondere durch die Unterstützung von rollenbasierter Zugriffskontrolle (RBAC), um spezifische Rechte an Nicht-Administratoren zu vergeben. Es gibt zwei Hauptrollen für den Zugriff auf den Gatewaydienst des Windows Admin Centers: Gatewaybenutzer und Gatewayadministratoren. Active Directory oder lokale Computerkonten steuern den Zugriff auf den Gatewaydienst (Microsoft24 2023).

In Bezug auf Netzwerk- und Datenverschlüsselung bietet Hyper-V verschiedene Sicherheitsfunktionen. Secure Boot stellt sicher, dass vor dem Start des Betriebssystems keine Malware oder nicht autorisierte Software geladen wird. Darüber hinaus unterstützen Generation 2-VMs den Einsatz eines virtuellen TPM-Chips, mit dem BitLocker-Laufwerksverschlüsselung in der VM aktiviert werden kann. Mit einem TPM lassen sich auch der gespeicherte Status und die Livemigration von VMs verschlüsseln (Joos, VMs in Windows Server 2019/2022 schützen 2024). Eine weitere Sicherheitsoption ist das „Geschützte Netzwerk“, das in Clusterumgebungen sicherstellt, dass VMs immer eine Netzwerkverbindung haben. Sollte die Verbindung ausfallen, wird die VM sofort auf einen anderen Clusterknoten verschoben, um Ausfallzeiten zu minimieren (Joos, VMs in Windows Server 2019/2022 schützen 2024).

### **Proxmox VE – 4 Punkte**

Proxmox VE bietet eine detaillierte rollenbasierte Benutzer- und Rechteverwaltung, die es ermöglicht, granulare Zugriffsrechte für verschiedene Objekte wie virtuelle Maschinen, Speicher und Knoten zu vergeben. Dabei werden mehrere Authentifizierungsquellen unterstützt, darunter Linux PAM, der integrierte Proxmox VE Authentifizierungs-Server, LDAP, Microsoft Active Directory und OpenID Connect (Proxmox15 2024).

Für die Netzwerk- und Datenverschlüsselung verschlüsselt Proxmox jeglichen Datenaustausch zwischen Client und Server, um die Integrität zu gewährleisten. Diese Verschlüsselung erfolgt bereits auf der Client-Seite, was zu einer höheren Performance führt, (Proxmox 16 2024). Proxmox Virtual Environment 7.1 unterstützt außerdem neue Funktionen, wie den Support für Windows 11, inklusive der Implementierung von TPM 2.0, jedoch erst ab Version 7.1, was zusätzliche Sicherheit für virtuelle Maschinen bietet,

(LinuxNews 2021). Diese Funktionen sorgen für eine starke Sicherheitsarchitektur und verbessern den Schutz sensibler Daten im Proxmox-Umfeld.

**Punkteabzug erfolgt, da die Unterstützung für TPM 2.0 erst mit Proxmox VE 7.1 eingeführt wurde, deutlich später als bei der Windows-Variante, konkret seit Windows Server 2016 und Windows 10 mit Hyper-V ab Version 1607.**

## **7.3 Bewertung der Skalierbarkeit**

### **Hyper – V – 5 Punkte**

Hyper-V in Windows Server unterstützt bis zu 1024 virtuelle Maschinen pro Server, was es ideal für Umgebungen mit einer hohen Dichte an VMs macht. Zudem können bis zu 2048 virtuelle Prozessoren pro Server genutzt werden, was eine hohe Rechenleistung ermöglicht, (Microsoft19 2024).

Im Bereich der Clusterbildung und verteilten Architekturen bietet Hyper-V die Möglichkeit, Failover-Cluster mit mindestens zwei Knoten zu erstellen. Diese Cluster erhöhen die Ausfallsicherheit und Skalierbarkeit des Systems. Hyper-V unterstützt Cluster mit bis zu 64 Knoten, was eine flexible und skalierbare Infrastruktur für große Netzwerke und verteilte Architekturen schafft, (Microsoft20 2017). Diese Funktionen machen Hyper-V zu einer robusten Lösung für Unternehmen, die sowohl eine hohe Anzahl an virtuellen Maschinen als auch zuverlässige Ausfallsicherheit benötigen.

### **Proxmox VE – 4 Punkte**

Proxmox VE unterstützt eine hohe Anzahl an virtuellen Maschinen pro Host, jedoch gibt es keine spezifischen Angaben zur maximalen Anzahl von VMs. Die Kapazität hängt stark von den Konfigurationen der virtuellen Maschinen ab. Die maximale Anzahl virtueller Prozessoren pro Server beträgt 768, (NAKIVO 2024).

Proxmox VE bietet auch die Möglichkeit der Clusterbildung und nutzt die Corosync Cluster Engine für die Kommunikation zwischen den Knoten, (Proxmox12 2024). Das Cluster-Management in Proxmox ist komplex, aber essenziell für die effiziente Verwaltung von Clustern. Mit der richtigen Herangehensweise und den verfügbaren Tools kann die Verwaltung optimiert werden, was die Verfügbarkeit, Leistung und

Zuverlässigkeit des Clusters erheblich verbessert, (Berger 2023). Diese Funktionen machen Proxmox zu einer flexiblen und skalierbaren Lösung für virtuelle Umgebungen.

**Punkteabzug erfolgt in diesem Fall aufgrund der deutlich geringeren Anzahl maximal unterstützter virtueller Prozessoren pro Server im Vergleich zu Windows Hyper-V.**

## **7.4 Bewertung der Nachhaltigkeit**

### **Hyper – V – 5 Punkte**

Das Windows-Server-Betriebssystem unterstützt eine Reihe verschiedener Energiesparpläne und bietet Unternehmen damit die Flexibilität, den Plan zu wählen, der ihren Anforderungen am besten entspricht. Ausbalanciert - Windows Server verwendet standardmäßig den ausgewogenen Energiesparplan, der für die meisten Anwendungsfälle geeignet ist. Dieser Plan gleicht die Leistung eines virtuellen Servers mit seinem Energiebedarf aus. Dies geschieht durch Drosselung der CPU, so dass er den Anforderungen der Workloads entspricht. Höchstleistung - Windows Server verfügt auch über einen Plan für hohe Leistung. Dieser sperrt CPUs in ihrem höchsten unterstützten Leistungszustand und entsperrt alle CPU-Kerne. Dieser Modus eignet sich zwar für die Workloads einer Organisation mit der höchsten Last, benötigt aber auch mehr Energie als ausbalanciert. Energiesparmodus - Eine weitere Option ist die Verwendung des Energiesparmodus, der verhindert, dass CPUs über einen festgelegten Anteil ihrer maximalen Leistungsfähigkeit hinaus genutzt werden. (ComputerWeekly2 2020)

### **Proxmox VE – 2 Punkte**

Die Vorteile einer Virtualisierung liegen insbesondere in der Einsparung unterschiedlicher Ressourcen. Zum einen sparen Sie bei den Anschaffungskosten im Rahmen der Hardware und in Sachen Nachhaltigkeit ebenfalls nicht zu unterschätzende Energiekosten. Darüber hinaus können virtuelle Maschinen im Fall der Fälle wieder hergestellt werden. (IT-KOMPASS 2024)

Proxmox VE bietet leider keine extra Funktionen, im Gegensatz zu Hyper-V, die sich speziell auf die Ressourcenschonung und Energiespar Maßnahmen beschränken.

**Punkteabzug erfolgt in diesem Fall aufgrund fehlender Optionen, wie sie bei Hyper-V vorhanden sind, um die Nachhaltigkeit der Virtualisierung gezielt durch verschiedene Energiesparpläne zu verbessern. Virtualisierung bietet zwar bereits eine gewisse Nachhaltigkeit, dennoch werden hier nur 2 Punkte vergeben.**

## **7.5 Bewertung der Kosten**

### **Hyper – V – 3 Punkte**

Hyper-V kann als eigenständige Lösung ohne grafische Benutzeroberfläche heruntergeladen und installiert werden, ist jedoch auch in Windows 10 und Windows Server integriert, die kostenpflichtig sind, (Perception Point 2024). Bei einer Windows Server Datacenter-Lizenz sind bis zu 16 CPU-Kerne abgedeckt, und es können unbegrenzt viele virtuelle Maschinen (VMs) ohne zusätzliche Betriebssystemlizenzen auf dem Host betrieben werden. Alle Hauptfunktionen von Hyper-V, einschließlich der Live-Migration, sind in der Windows-Server-Lizenz enthalten, ohne zusätzliche Gebühren (Posey 2024).

In Bezug auf Hardwareanforderungen ist Hyper-V anspruchslos, wenn es als eigenständige Lösung betrieben wird. Jedoch steigen die Kosten mit dem Wachstum der Infrastruktur (Microsoft11 2024). Die Supportkosten können höher ausfallen, insbesondere bei Inanspruchnahme zusätzlicher Supportdienste von Microsoft oder Partnern. Microsoft bietet umfangreiche Dokumentation und Hilfe über die Plattformen Microsoft Learn und Microsoft Support an. Für umfassenden IT-Support gibt es Microsoft Unified Enterprise, dessen Kosten auf den jährlichen IT-Ausgaben basieren (Microsoft14 2024).

Updates und Patches sind in der Server-Lizenz enthalten, allerdings können zusätzliche Kosten anfallen, insbesondere wenn der Mainstream-Support für das Produkt endet, (Microsoft15 2024).

**Punkteabzug erfolgt hier, da bei den Server-Versionen sofort höhere Kosten anfallen, um den Betrieb sicherzustellen, und zusätzlich Lizenzen für Benutzer und Geräte (Client Access Licenses, CALs) erworben werden müssen. Ein weiterer Punkteabzug betrifft den Unified Support, dessen Kosten sich nach den jährlichen**

**IT-Ausgaben bei Microsoft richten, was zu zusätzlichen, schwer kalkulierbaren Kosten führen kann.**

### **Proxmox VE – 5 Punkte**

Proxmox Virtual Environment (VE) ist unter der Free Software-Lizenz GNU AGPL v3 lizenziert und kann kostenlos heruntergeladen, verwendet und weitergegeben werden, wodurch keine Lizenzgebühren anfallen, (PrimeLine Solutions 2024). Es unterstützt eine Vielzahl von Hardwaretypen, einschließlich Server, Desktops und Laptops, wobei die spezifischen Hardwareanforderungen von der Größe und Komplexität der Virtualisierungsumgebung abhängen (NMMN1 2024).

Optional kann professioneller Support kostenpflichtig erworben werden, ist aber nicht zwingend notwendig (Proxmox7 2024). Für Softwareupdates und Patches bietet Proxmox einen Community Subscription Plan an, der ab 110 € pro Jahr verfügbar ist. Dieser Plan ermöglicht den Zugriff auf das Enterprise-Repository und regelmäßige Updates für das Produkt (Proxmox8 2024). Die Kombination aus niedrigen Support- und Update-Kosten macht Proxmox zu einer kostengünstigen Lösung für Virtualisierungsumgebungen.

## **7. BEWERTUNG DER DATENERGEBNISSE**

In einer umfassenden Analyse, die nur die wesentlichen Aspekte umfasste und mehrere Bewertungsdimensionen berücksichtigt, wurden eine der wichtigsten Faktoren zur Auswahl der geeigneten Plattform untersucht. Hier wurden sowohl technische als auch betriebswirtschaftliche Kriterien berücksichtigt, um eine fundierte Entscheidung zu ermöglichen. Die Untersuchung orientierte sich an die wesentlichen Aspekte, jedoch ohne jeden Punkt bis ins Detail zu analysieren, da dies den Rahmen dieser Arbeit gesprengt hätte.

## 8.1 Hyper-V

Nr.	Bewertungskriterien	Gewichtung in %	Bewertung	Punkte
1.	Leistung	26,7%	4	1,068
2.	Sicherheit	23,3%	5	1,165
3.	Skalierbarkeit	16,7%	5	0,835
4.	Nachhaltigkeit	13,3%	5	0,665
5.	Kosten	20,0%	3	0,6
<b>Gesamt</b>		<b>100%</b>	<b>22</b>	<b>4,333</b>

Tabelle 5: Bewertung von Hyper-V

## 7.2 Proxmox VE

Nr.	Bewertungskriterien	Gewichtung in %	Bewertung	Punkte
1.	Leistung	26,7%	4	1,068
2.	Sicherheit	23,3%	4	0,932
3.	Skalierbarkeit	16,7%	4	0,668
4.	Nachhaltigkeit	13,3%	2	0,266
5.	Kosten	20,0%	5	1
<b>Gesamt</b>		<b>100%</b>	<b>19</b>	<b>3,93</b>

Tabelle 6: Bewertung von PROXMOX VE

# 8. INTERPRETATION DER TABELLENDATEN

## 9.1 Hyper-V

Hyper-V erzielt in den Bereichen Sicherheit, Skalierbarkeit und Nachhaltigkeit die höchsten Punktzahlen aufgrund der herausragenden Möglichkeiten, die es bietet. Im Bereich Sicherheit überzeugt Hyper-V durch fortschrittliche Features wie Secure Boot, das virtuelle TPM (vTPM) und die Unterstützung von BitLocker-Verschlüsselung

innerhalb von VMs. Diese Funktionen gewährleisten einen hohen Schutz gegen Malware und unautorisierte Zugriffe. Zudem bietet die rollenbasierte Zugriffskontrolle (RBAC) granulare Berechtigungen, was die Verwaltung der Sicherheit weiter vereinfacht.

In Bezug auf die Skalierbarkeit kann Hyper-V mit der Unterstützung von bis zu 1024 VMs pro Host und der Fähigkeit, bis zu 64 Knoten in einem Failover-Cluster zu integrieren, punkten. Diese Eigenschaften machen Hyper-V zu einer skalierbaren Lösung, die sowohl kleine als auch große virtuelle Umgebungen effizient unterstützen kann. Auch im Bereich Nachhaltigkeit erreicht Hyper-V Höchstwerte, da durch Energiesparpläne und optimierte Ressourcennutzung die Energieeffizienz in virtualisierten Umgebungen erheblich verbessert wird.

Ein kleiner Punktabzug erfolgt im Bereich Leistung aufgrund der Komplexität bei der Implementierung der NUMA-Technologie. Diese erfordert in bestimmten Architekturen ein sorgfältiges Management, was die Einrichtung in komplexen Umgebungen erschweren kann.

Die niedrigste Bewertung erhält Hyper-V im Bereich Kosten. Dies liegt an den Lizenzgebühren für die Server-Versionen sowie den zusätzlichen Kosten für Benutzer- und Geräte-Lizenzen (CALs). Darüber hinaus fehlt in der kostenlosen Core Edition von Hyper-V Server eine grafische Benutzeroberfläche, was den Einsatz für einige Benutzer weniger komfortabel macht.

Trotz dieser Abzüge gelingt es Hyper-V dennoch, insgesamt sehr gut abzuschneiden. Die hervorragenden Funktionen in den Bereichen Sicherheit, Skalierbarkeit und Nachhaltigkeit machen Hyper-V zu einer sehr leistungsfähigen Virtualisierungsplattform, die in vielen Szenarien optimal eingesetzt werden kann.

## **8.2 Proxmox VE**

Proxmox VE erhält in den Bereichen Leistung, Sicherheit und Skalierbarkeit Punkteabzüge, da bestimmte Funktionen fehlen. Bei der Leistung ist es die Möglichkeit, den Ressourcenzugriff für einzelne Ressourcen-Pools einzuschränken. Dies wirkt sich direkt auf die Leistung und die Möglichkeit zur Geschwindigkeitssteigerung aus, da eine granulare Ressourcenverteilung nicht optimal umgesetzt werden kann.

Im Bereich Sicherheit gibt es ebenfalls einen Punktabzug, da die Unterstützung für TPM 2.0, eine entscheidende Sicherheitsfunktion für moderne Rechner und virtuelle Maschinen, erst spät in Version 7.1 eingeführt wurde. Dies mindert die Sicherheit im Vergleich zu anderen Plattformen, die diese Funktion früher integriert haben.

Auch im Bereich Skalierbarkeit gibt es Punktabzüge, da Proxmox VE weniger virtuelle Prozessoren pro Server unterstützt als sein Konkurrent Microsoft Hyper-V. Dies schränkt die Skalierbarkeit in großen, leistungsintensiven Umgebungen ein.

Im Bereich Kosten erhält Proxmox VE jedoch die volle Punktzahl, da keine Lizenzgebühren anfallen und das Produkt Open Source ist, was es besonders kostengünstig für Unternehmen macht.

Obwohl Nachhaltigkeit ein grundlegender Vorteil der Virtualisierung ist, bietet Proxmox VE hier keine zusätzlichen Funktionen zur Verbesserung der Nachhaltigkeit, weshalb in diesem Bereich nur 2 Punkte vergeben werden. Trotz einiger Defizite bleibt Proxmox VE eine attraktive Virtualisierungslösung, insbesondere für kostenbewusste Unternehmen und Benutzer, die eine Open-Source-Lösung bevorzugen.

## **9. SCHLUSSFOLGERUNG**

### **10.1 Beantwortung der Forschungsfrage**

Nach einer umfassenden Analyse der beiden Virtualisierungsplattformen und dem Vergleich anhand vorher festgelegter Kriterien wird in dieser Arbeit eine klare Antwort auf die Forschungsfrage gegeben:

**Welche der beiden Virtualisierungsplattformen bietet im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse die optimale Lösung zur Virtualisierung von Windows Server 2019 für ein Unternehmen mit etwa 250 Mitarbeiter?**

1. Windows Hyper-V
2. Linux Proxmox

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Nutzwertanalyse der Virtualisierungsplattformen durchgeführt, die zu einem eindeutigen Ergebnis geführt hat.

Die Antwort auf die Forschungsfrage lautet:

**Windows Hyper-V ist im Sinne der Kosten-Nutzen-Analyse die optimale Lösung zur Virtualisierung von Windows Server 2019 für ein Unternehmen mit ca. 250 Mitarbeiter: innen.**

Die Beantwortung der Forschungsfrage erfolgte auf der Grundlage einer umfassenden, jedoch nicht in jedem Detail vertieften Analyse. In Bereichen, in denen eine tiefere Untersuchung den Rahmen dieser Arbeit gesprengt hätte, wurden nur die Schlüsseltechnologien hervorgehoben und miteinander verglichen. Dadurch wird gewährleistet, dass die wichtigsten Aspekte der Plattformen beurteilt und eine fundierte Entscheidung getroffen werden konnten.

Es ist an dieser Stelle zu erwähnen, dass die Untersuchungen und der Vergleich in einem Zeitraum stattgefunden haben, in dem sich die Technologien stetig weiterentwickeln und sich kontinuierlich an neue technologische Trends anpassen. Es ist möglich, dass in absehbarer Zukunft jemand anderes diese Fragestellung erneut untersucht und aufgrund veränderter Rahmenbedingungen zu einem anderen Ergebnis kommt. Dies liegt vor allem daran, dass wir heute einen erheblichen und schnellen Fortschritt in der IT-Industrie und den zugehörigen Technologien erleben.

## **10.2 Bewertung der Hypothese**

Nach den Untersuchungen und Analyse von mir vorausgewählten Kriterien stellt sich die Hypothese nach Präsentation der Ergebnisse als bestätigt. Microsoft Windows Hyper-V ist die bessere Lösung für die Virtualisierung von Microsoft Windows Server 2019 für ein Unternehmen mit ca. 250 Mitarbeiter:innen.

Wie in den beiden Tabellen in Abschnitt 8 dargestellt, ist ersichtlich, dass Windows Hyper-V die bessere Lösung darstellt, obwohl sein Konkurrent nur knapp dahinter liegt. Insgesamt wurden hier zwei sehr gute Virtualisierungsplattformen verglichen, die sich in vielerlei Hinsicht ähneln.

Obwohl sich die Plattformen ähnlich sind, sticht Microsoft Hyper-V als optimale Lösung aus diesem Vergleich da sie in erster Linie in mehreren Varianten vorhanden ist, sowohl als Standalone Lösung als auch integriertes Produkt in Windows Server sowie in

Windows Betriebssystemen in Form von Windows Features. Weiter ist die Integration in Microsoft Umfeld hervorragend da es um die gleiche Technologie und wie bei Microsoft Betriebssystemen und anderen Produkten handelt. Da hier die Virtualisierung von den Windows Server 2019 in Betracht gezogen wird, sind etliche Funktionen ausgiebig getestet und ein reibungsloser Betrieb ist mit richtigen Einstellungen gegeben.

Die Bekanntheit und die Verbreitung der Windows Betriebssysteme weltweit ist ebenso ein wichtiger Faktor bei der Auswahl, da sehr viele Administratoren schon vor der Ausbildung mit diesen Betriebssystemen durch sehr verbreitete Personal Computer in Berührung kamen.

## 10. Literaturverzeichnis

- ADVITCONSULT. 2024. *Advanced IT Consulting*. Zugriff am 22. August 2024. <https://advittconsult.com/dienstleistungen/it-infrastrukturplanung-und-optimierung/index.html>.
- AlleAktien. 2024. *Alle Aktien*. Zugriff am 22. August 2024. <https://www.alleaktien.com/lexikon/hardware-virtualisierung>.
- Amazon. 2023. *Was ist der Unterschied zwischen Hypervisoren vom Typ 1 und Typ 2?* Zugriff am 06. Juli 2024. <https://aws.amazon.com/de/compare/the-difference-between-type-1-and-type-2-hypervisors/>.
- Anania, Matthew. 2024. *VMware Alternatives: Comparing Hypervisors for Virtualization*. Zugriff am 23. August 2024. <https://www.veeam.com/blog/vmware-alternatives-business-guide.html>.
- Aribas, Emree. 2024. *Medium*. Zugriff am 18. August 2024. <https://medium.com/@emree.aribas/die-rollen-auf-windows-server-2019-68547550937f>.
- ATLASSIAN. 2024. *Workflow-Automatisierung: Wie sie funktioniert und welche Vorteile sie bietet*. Zugriff am 05. September 2024. <https://www.atlassian.com/de/agile/project-management/workflow-automation>.
- Awati, Rahul. 2023. *ComputerWeekly - NUMA (Non-Uniform Memory Access)*. Zugriff am 05. September 2024. <https://www.computerweekly.com/de/definition/NUMA-Non-Uniform-Memory-Access>.
- Basys Brinova. 2024. *Server-Virtualisierung: Wie Sie IT-Komplexität meistern und Kosten senken*. Zugriff am 23. August 2024. <https://basys-brinova.de/server-virtualisierung-wie-sie-it-komplexitaet-meistern-und-kosten-senken/>.
- Berger, Katharina. 2023. *WAS IST EIN PROXMOX CLUSTER?* Zugriff am 05. September 2024. <https://www.biteno.com/was-ist-ein-proxmox-cluster/>.
- Bergler, Dr. Andreas. 2018. *IT-BUSINESS-Was ist technischer Support?* Zugriff am 05. September 2024. <https://www.it-business.de/was-ist-technischer-support-a-727328/>.
- BSI. 2024. *BSI - Softwareupdates – ein Grundpfeiler der IT-Sicherheit*. Zugriff am 05. September 2024. [https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Verbraucherinnen-und-Verbraucher/Informationen-und-Empfehlungen/Cyber-Sicherheitsempfehlungen/Updates-Browser-Open-Source-Software/Wichtige-Softwareupdates/wichtige-softwareupdates\\_node.html](https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Verbraucherinnen-und-Verbraucher/Informationen-und-Empfehlungen/Cyber-Sicherheitsempfehlungen/Updates-Browser-Open-Source-Software/Wichtige-Softwareupdates/wichtige-softwareupdates_node.html).
- BSI1. 2024. *Softwareupdates – ein Grundpfeiler der IT-Sicherheit*. Zugriff am 05. September 2024. [https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Verbraucherinnen-und-Verbraucher/Informationen-und-Empfehlungen/Cyber-Sicherheitsempfehlungen/Updates-Browser-Open-Source-Software/Wichtige-Softwareupdates/wichtige-softwareupdates\\_node.html](https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Verbraucherinnen-und-Verbraucher/Informationen-und-Empfehlungen/Cyber-Sicherheitsempfehlungen/Updates-Browser-Open-Source-Software/Wichtige-Softwareupdates/wichtige-softwareupdates_node.html).

Verbraucher/Informationen-und-Empfehlungen/Cyber-Sicherheitsempfehlungen/Updates-Browser-Open-Source-Software/Wichtige-Softwareupdates/wichtige-softwareupdates\_node.html.

- Buckbee, Michael. 2023. *VARONIS - IDS vs. IPS : Was ist der Unterschied ?* Zugriff am 05. September 2024. <https://www.varonis.com/de/blog/ids-vs-ips-was-ist-der-unterschied>.
- Burns, Stuart. 2017. *Computerweekly - Proxmox-Konfiguration: Ressourcen-Pools für effizientere virtuelle Umgebungen.* Zugriff am 05. September 2024. <https://www.computerweekly.com/de/tipp/Proxmox-Konfiguration-Ressourcen-Pools-fuer-effizientere-virtuelle-Umgebungen>.
- Capgemini. 2024. *Studie IT-Trends 2024.* Zugriff am 05. September 2024. In dieser Arbeit werden Kriterien aus einer Studie herausgegriffen und anhand dieser die beiden Virtualisierungsplattformen verglichen und bewertet. Es handelt sich um die Studie Das Business fordert mehr Flexibilität | IT-Trends 2024 (<https://www.capgemi>).
- CHECK POINT. 2024. *Was ist virtuelle Netzwerksicherheit?* Zugriff am 05. September 2024. <https://www.checkpoint.com/de/cyber-hub/cloud-security/what-is-cloud-security/what-is-virtual-network-security/>.
- ComputerWeekly. 2020. *Übersetzungspuffer (Translation Lookaside Buffer, TLB).* Zugriff am 23. August 2024. <https://www.computerweekly.com/de/definition/Uebersetzungspuffer-Translation-Lookaside-Buffer-TLB>.
- ComputerWeekly1. 2023. *Failover Cluster.* Zugriff am 23. August 2024. <https://www.computerweekly.com/de/definition/Failover-Cluster>.
- Computerwoche 1. 2024. *Techchannel.* Zugriff am 22. August 2024. <https://www.tecchannel.de/a/die-geschichte-der-pcs,2040744>.
- Computerwoche 2. 2007. „Erdbeben im Virtualisierungsmarkt.“ *Computerwoche* Nr. 34 Seite 5.
- ComputerWoche3. 2008. *Microsoft Hyper-V, Herausforderer in Sachen Virtualisierung.* Zugriff am 23. August 2024. <https://www.tecchannel.de/a/microsoft-hyper-v-herausforderer-in-sachen-virtualisierung,1771977,2>.
- Crowdstrike. 2023. *WAS IST ROLLENBASIERTE ZUGRIFFSKONTROLLE (RBAC)?* Zugriff am 05. September 2024. <https://www.crowdstrike.de/cybersecurity-101/identity-security/role-based-access-control-rbac/>.
- DataGuard. 2024. *Welche IT Systeme gibt es?* Zugriff am 22. August 2024. <https://www.dataguard.de/blog/welche-it-systeme-gibt-es/>.

- DataScientist. 2023. *Verteilte Architektur: Definition, ihre Beziehung zu Big Data*. Zugriff am 05. September 2024. <https://datascientest.com/de/verteilte-architektur-definition-ihre-beziehung-zu-big-data>.
- Dehne, Sven. 2024. *mae[x]ware Solutions*. Zugriff am 23. August 2024. <https://www.maexware-solutions.de/blog/server-virtualisierung-in-unternehmen-vor-und-nachteile>.
- Eder, Michael. 2016. *Hypervisor- vs. Container-based Virtualization*. Zugriff am 30. Juni 2024. [https://www.net.in.tum.de/fileadmin/TUM/NET/NET-2016-07-1/NET-2016-07-1\\_01.pdf](https://www.net.in.tum.de/fileadmin/TUM/NET/NET-2016-07-1/NET-2016-07-1_01.pdf).
- ExtraComputer. 2024. *Extra Computer*. Zugriff am 22. August 2024. <https://www.extracomputer.de/ratgeber/der-server-einfach-erklaert/>.
- FasterCapital. 2024. *Dynamische Ressourcenzuteilung*. Zugriff am 22. August 2024. <https://fastercapital.com/de/thema/dynamische-ressourcenzuteilung.html>.
- FasterCapital1. 2024. *Datenmigration Daten waehrend der Migration schuetzen Verlust verhindern*. Zugriff am 05. September 2024. <https://fastercapital.com/de/inhalt/Datenmigration--Daten-waehrend-der-Migration-schuetzen--Verlust-verhindern.html>.
- Fischer, Werner. 2024. *Thomas Krenn - VLAN Grundlagen*. Zugriff am 05. September 2024. [https://www.thomas-krenn.com/de/wiki/VLAN\\_Grundlagen](https://www.thomas-krenn.com/de/wiki/VLAN_Grundlagen).
- Fox, Dirk. 1998. „Sandbox-Modell.“ *Datenschutz und Datensicherheit*, 96.
- Gara, Antoine. 2019. *Forbes*. Zugriff am 18. August) 2024. <https://www.forbes.com/sites/antoinegara/2018/12/10/the-windy-road-behind-vmwares-15-year-road-to-corporate-greatness/>.
- Gerlach, Iris. 2014. *ESC*. Zugriff am 23. August 2024. <https://www.escde.net/blog/hyper-v-dynamischer-speicher>.
- Goldberg, Robert P., und Gerald J. Popek. 1974. „Formal requirements for virtualizable third generation architectures.“ In *Communications of the ACM*, 412-421.
- Google Cloud. 2024. *Google Cloud - CPU-Overcommit auf VMs für einzelne Mandanten*. Zugriff am 05. September 2024. <https://cloud.google.com/compute/docs/nodes/overcommitting-cpus-sole-tenant-vms?hl=de>.
- Grey, Raine. 2024. *ninjaOne - Was kostet Virtualisierung? IT-Systeme virtualisieren*. Zugriff am 05. September 2024. <https://www.ninjaone.com/de/blog/kosten-der-virtualisierung/>.

- Guettich, Dr. Goetz, und Peter Schmitz. 2019. *Security Insider*. Zugriff am 23. August 2024. <https://www.security-insider.de/datensicherheit-in-virtualisierungsumgebungen-a-887482/>.
- Guschlbauer, Erik. 2024. *BOC-Group - Alles, was Sie über Cybersecurity wissen müssen – NIS2, DORA, NIST CSF 2.0, ISO27001 und BSI IT-Grundschutz*. Zugriff am 05. September 2024. <https://www.boc-group.com/de/blog/grc/cybersecurity-vorschriften-und-standards/>.
- Hölzer, Dirk. 2024. *HTH-Computer*. Zugriff am 23. August 2024. <https://hth-computer.de/it-wissen/vlan/>.
- Haehnlein-IT. 2024. *HaehnleinIT*. Zugriff am 05. Juli 2024. <https://www.haehnlein-it.com/raid-controller/207/adaptec-7805-8-port-int-sata/sas-raid-controller-6g-pcie-x8-3.0-1024mb-1gb-bbu>.
- Hagel, Jens. 2024. *Hagel IT - DIE HOHE BEDEUTUNG DER SICHERHEIT VIRTUALISierter INFRASTRUKTUREN (UND 4 MÖGLICHKEITEN, SIE ZU VERBESSERN)*. Zugriff am 05. September 2024. <https://www.hagel-it.de/it-service/die-hohe-bedeutung-der-sicherheit-virtualisierter-infrastrukturen-und-4-moeglichkeiten-sie-zu-verbessern.html>.
- Hassell, Jonathan. 2016. *Computerweekly - Hyper-V als Server-Rolle oder kostenloses Einzelprodukt*. Zugriff am 05. September 2024. <https://www.computerweekly.com/de/tipp/Hyper-V-als-Server-Rolle-oder-kostenloses-Einzelprodukt>.
- Holman, Tayla. 2024. *ComputerWeekly.de*. Zugriff am 18. August 2024. <https://www.computerweekly.com/de/definition/Windows-Server-Client-Access-License-CAL>.
- HostEurope. 2021. *HostEurope*. Zugriff am 22. August 2024. <https://www.hosteurope.de/blog/virtualisierung-grundlagen-vorteile-einer-effizienten-ausnutzung-von-it-ressourcen/>.
- HPE. 2024. *Hewlett Packard Enterprise*. Zugriff am 22. August 2024. <https://www.hpe.com/de/de/what-is/virtualization.html>.
- IBM. 2024. *IBM*. Zugriff am 18. August 2024. <https://www.ibm.com/de-de/topics/virtualization>.
- IBM2. 2024. *Time-Sharing*. Zugriff am 22. August 2024. <https://www.ibm.com/history/time-sharing>.
- IBM4. 2024. *IBM-Was ist Patch-Management?* Zugriff am 05. September 2024. <https://www.ibm.com/de-de/topics/patch-management>.

- IONOS 2. 2024. *Hypervisor Typ 1 und 2: Das sind die Unterschiede*. Zugriff am 22. August 2024. <https://www.ionos.de/digitalguide/server/knowhow/hypervisor-typ-1-vs-2/>.
- IONOS. 2024. *Server-Betriebssysteme: Historie und aktuelle Situation*. Zugriff am 09. Juli 2024. <https://www.ionos.de/digitalguide/server/knowhow/server-betriebssysteme-im-wandel-der-zeit/>.
- IONOS3. 2022. *Server-Container: Virtualisierung der nächsten Generation*. Zugriff am 22. August 2024. <https://www.ionos.de/digitalguide/server/knowhow/server-container-virtualisierung-ohne-emulation/>.
- Isler, Karl. 2024. *Hagel IT Services*. Zugriff am 22. August 2024. <https://www.hagel-it.de/it-insights/was-ist-ein-betriebssystem-und-warum-ist-es-fuer-technikinteressierte-it-entscheider-so-wichtig.html>.
- IT-Administrator. 2012. *Hardware-Anforderungen von Virtualisierungslösungen*. Zugriff am 23. August 2024. <https://www.it-administrator.de/article-110947>.
- IT-Rakete. 2023. *IT-Rakete*. Zugriff am 22. August 2024. <https://it-rakete.de/server-virtualisierung-fur-kleinunternehmen/>.
- ITUONLINE. 2024. *What is Memory Overcommitment?* Zugriff am 05. September 2024. <https://www.ituonline.com/tech-definitions/what-is-memory-overcommitment/>.
- Joos, Thomas. 2015. *Computerwoche - Netzwerk-Praxis: Netzwerke in Hyper-V und vSphere aufbauen*. Zugriff am 05. September 2024. <https://www.computerwoche.de/article/2855790/netzwerke-in-hyper-v-und-vsphere-aufbauen.html>.
- Joos, Thomas. 2019. „Microsoft Windows Server 2019, 1. Auflage.“ In *SAC- und LTSC-Versionen*, von Joos Thomas, S. 35-36. Heidelberg: dpunkt.verlag GmbH.
- . 2024. *VMs in Windows Server 2019/2022 schützen*. Zugriff am 05. September 2024. <https://www.security-insider.de/7-security-tipps-fuer-hyper-v-vm-s-a-eafe7ac1429efd0acf04486a9c02859f/>.
- Kahrman, Jasmin. 2021. *Is This Really the End of Hyper-V Server?* Zugriff am 23. August 2024. <https://www.altaro.com/hyper-v/end-of-hyper-v-server/>.
- Kalman, Anat. 2005. *Deutschlandfunk*. Zugriff am 22. August 2024. <https://www.deutschlandfunk.de/produktionsverlagerung-ins-ausland-100.html>.
- Kirsch, Brian. 2018. *ComputerWeekly - Größe von VMware-Hosts zur Steuerung der VM-Dichte begrenzen*. Zugriff am 05. September 2024. <https://www.computerweekly.com/de/tipp/Groesse-von-VMware-Hosts-zur-Steuerung-der-VM-Dichte-begrenzen>.

- Klauke Enterprises. 2023. *Hochverfügbarkeit in Proxmox: Ein technischer Leitfaden*. Zugriff am 05. September 2024. <https://blog.klauke-enterprises.com/hochverfügbarkeit-in-proxmox-ein-technischer-leitfaden>.
- Layer7. 2024. *PROXMOX VIRTUALIZATION VS. VMWARE AND HYPER-V: BENEFITS AND COST SAVINGS*. Zugriff am 22. August 2024. <https://layer7-solutions.de/proxmox-virtualisierung-die-beste-alternative-zu-vmware-und-hyper-v/>.
- LENOVO. 2024. *Was ist ein Betriebssystem (OS)?* Zugriff am 22. August 2024. <https://www.lenovo.com/de/de/glossary/operating-system/?orgRef=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F>.
- LinkedIn. 2024. *LinkedIn - Was sind die Vor- und Nachteile der Verwendung von CPU-Affinität und Pinning für die Prozessplanung?* Zugriff am 05. September 2024. <https://de.linkedin.com/advice/1/what-advantages-disadvantages-using-cpu-affinity?lang=de>.
- LinkedIn1. 2024. *Wie können Sie sicherstellen, dass Ihre Virtualisierungsplattform effektiv skaliert werden kann?* Zugriff am 05. September 2024. <https://de.linkedin.com/advice/0/how-can-you-ensure-your-virtualization-platform-kjnre?lang=de>.
- LinkedIn2. 2024. *Was ist der Unterschied zwischen Single-User- und Multi-User-Betriebssystemen?* Zugriff am 22. August 2024. <https://de.linkedin.com/advice/3/what-difference-between-single-user-multi-user-z26fe?lang=de>.
- LinuxNews. 2021. *Proxmox VE 7.1 unterstützt Windows 11 und TPM 2.0*. Zugriff am 05. September 2024. <https://linuxnews.de/proxmox-ve-7-1-unterstuetzt-windows-11-und-tpm-2-0/>.
- Lizenzexperte. 2024. *Lizenzexperte*. 12. 02. Zugriff am 25. Juni 2024. <https://www.lizenzexperte.de/blogs/tech-blog/windows-server-2019-leitfaden-und-funktionen>.
- Mada. 2024. *Definitionen von Datei.wiki*. Zugriff am 01. Juli 2024. <https://datei.wiki/definition/second-level-address-translation-slat-ein-ueberblick/>.
- Martin, Dennis. 2016. *How do RDMA storage systems improve latency reduction?* Zugriff am 05. September 2024. <https://www.techtarget.com/searchstorage/answer/How-do-RDMA-storage-systems-reduce-latency>.
- McCallum, John C. 2020. *Trends in DRAM price per gigabyte*. Zugriff am 09. Juli 2024. <https://aiimpacts.org/trends-in-dram-price-per-gigabyte/#easy-footnote-bottom-6-2408>.

- Meshnet. 2024. *How to use Proxmox VE remotely over Meshnet*. Zugriff am 05. September 2024. <https://meshnet.nordvpn.com/how-to/remote-access/use-proxmox-remotely>.
- Meutzner 1, Willi. 2024. *Serverhero*. Zugriff am 22. August 2024. <https://serverhero.de/wissen/vergleich-hypervisor-vmware-hyper-v>.
- Meutzner, Willi. 2024. *Serverhero*. Zugriff am 18. August 2024. <https://serverhero.de/wissen/windows-server-2019-editionen#bulletpoint6>.
- Microsoft14. 2024. *Microsoft Lizenzierung*. Zugriff am 05. September 2024. <https://www.microsoft.com/de-de/licensing/product-licensing/windows-server>.
- Microsoft. 2023. *Microsoft Learn*. Zugriff am 15. Dezember 2023. <https://learn.microsoft.com/de-de/lifecycle/products/windows-server-2019>.
- Microsoft1. 2024. *Microsoft Learn*. Zugriff am 25. Juni 2024. <https://learn.microsoft.com/de-de/windows-server/get-started/windows-server-release-info>.
- Microsoft10. 2023. *Microsoft Learn*. Zugriff am 22. August 2024. <https://learn.microsoft.com/en-us/lifecycle/announcements/windows-server-2012-r2-end-of-support>.
- Microsoft11. 2024. *Microsoft Learn*. Zugriff am 23. August 2024. <https://learn.microsoft.com/de-de/windows-server/virtualization/hyper-v/system-requirements-for-hyper-v-on-windows>.
- Microsoft12. 2024. *Microsoft Learn*. Zugriff am 23. August 2024. <https://learn.microsoft.com/de-de/windows-server/virtualization/hyper-v/hyper-v-overview>.
- Microsoft13. 2024. *Microsoft Learn*. Zugriff am 23. August 2024. <https://learn.microsoft.com/de-de/virtualization/hyper-v-on-windows/reference/hyper-v-requirements>.
- Microsoft14. 2024. *Microsoft Unified Enterprise - Plandetails*. Zugriff am 05. September 2024. <https://www.microsoft.com/de-de/unifiedsupport/details>.
- Microsoft15. 2024. *Microsoft Learn - Häufig gestellte Fragen zum Lebenszyklus der erweiterten Sicherheitsupdates*. Zugriff am 05. September 2024. <https://learn.microsoft.com/de-de/lifecycle/faq/extended-security-updates>.
- Microsoft16. 2023. *Microsoft Learn - Hyper-V Arbeitsspeicherleistung*. Zugriff am 05. September 2024. <https://learn.microsoft.com/de-de/windows-server/administration/performance-tuning/role/hyper-v-server/memory-performance>.

- Microsoft17. 2021. *Microsoft Learn - Single Root I/O Virtualization (SR-IOV) Interface*. Zugriff am 05. September 2024. <https://learn.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/network/single-root-i-o-virtualization--sr-iov--interface>.
- Microsoft18. 2022. *Microsoft Learn - Virtual Machine Queue (VMQ) Overview*. Zugriff am 05. September 2024. <https://learn.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/network/virtual-machine-queue-architecture>.
- Microsoft19. 2024. *Microsoft Learn - Plan for Hyper-V scalability in Windows Server*. Zugriff am 05. September 2024. <https://learn.microsoft.com/en-us/windows-server/virtualization/hyper-v/plan/plan-hyper-v-scalability-in-windows-server?pivots=windows-server-2025#maximums-for-hyper-v-hosts>.
- Microsoft2. 2023. *Microsoft Learn*. Zugriff am 28. Juni 2024. <https://learn.microsoft.com/de-de/virtualization/hyper-v-on-windows/user-guide/nested-virtualization>.
- Microsoft20. 2017. *Microsoft Learn - Deploy a Hyper-V Cluster*. Zugriff am 05. September 2024. [https://learn.microsoft.com/de-de/previous-versions/windows/it-pro/windows-server-2012-r2-and-2012/jj863389\(v%3dws.11\)](https://learn.microsoft.com/de-de/previous-versions/windows/it-pro/windows-server-2012-r2-and-2012/jj863389(v%3dws.11)).
- Microsoft24. 2023. *Microsoft Learn - Konfigurieren der Benutzerzugriffssteuerung und von Berechtigungen*. Zugriff am 05. September 2024. <https://learn.microsoft.com/de-de/windows-server/manage/windows-admin-center/configure/user-access-control#role-based-access-control-rbac>.
- Microsoft29. 2024. *Microsoft Learn - Hyper-V Prozessorleistung*. Zugriff am 05. September 2024. <https://learn.microsoft.com/de-de/windows-server/administration/performance-tuning/role/hyper-v-server/processor-performance>.
- Microsoft3. 2023. *Microsoft Learn*. Zugriff am 28. Juni 2024. <https://learn.microsoft.com/de-de/virtualization/hyper-v-on-windows/about/>.
- Microsoft4. 2024. *Installieren von Hyper-V unter Windows*. Zugriff am 17. August 2024. <https://learn.microsoft.com/de-de/virtualization/hyper-v-on-windows/quick-start/enable-hyper-v>.
- Microsoft5. 2024. *Microsoft Learn*. 17. 04. Zugriff am 09. Juli 2024. <https://learn.microsoft.com/de-de/windows-server/get-started/upgrade-overview>.
- Microsoft6. 2023. *Microsoft Learn*. Zugriff am 09. Juli 2024. <https://learn.microsoft.com/de-de/windows-server/get-started/servicing-channels-comparison>.

- Microsoft7. 2023. *Microsoft Learn*. Zugriff am 22. August 2024. <https://learn.microsoft.com/de-de/windows-server/get-started/install-upgrade-migrate>.
- Microsoft8. 2024. *Microsoft Learn*. Zugriff am 22. August 2024. <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=20196>.
- Microsoft9. 2023. *Microsoft Learn*. Zugriff am 22. August 2024. <https://learn.microsoft.com/de-de/windows-server/networking/core-network-guide/core-network-guide>.
- Mightycare. 2023. *Server-Virtualisierung erklärt: Von Hypervisoren bis zur Ressourcennutzung*. Zugriff am 05. September 2024. <https://www.mightycare.de/server-virtualisierung-verstehen/>.
- Muth, Roland. 2022. *Fujitsu Vlog*. Zugriff am 22. August 2024. <https://blog.de.fujitsu.com/archiv/virtualisierung/>.
- MYRA. 2024. *MYRA - Was ist ein Patch?* Zugriff am 05. September 2024. <https://www.myrasecurity.com/de/knowledge-hub/patch/>.
- NAKIVO. 2024. *VMware ESXi vs Proxmox VE: A Full Comparison*. Zugriff am 05. September 2024. <https://www.nakivo.com/blog/proxmox-vs-esxi/>.
- n-komm. 2024. *n-komm*. Zugriff am 22. August 2024. <https://n-komm.de/virtualisierung-mit-proxmox-besser-als-vmware-2/>.
- NMMN1. 2024. *Alle technischen Anforderungen zur Nutzung von Proxmox VE*. Zugriff am 05. September 2024. <https://nmmn.com/alle-technischen-anforderungen-zur-nutzung-von-proxmox-ve/>.
- Ohlbach, Hans Jürgen. 2017. „Virtualisierung in Betriebssystemen (PDF).“ *LMU München*. Zugriff am 22. August 2024. <https://www.pms.ifi.lmu.de/NFModule/Betriebssysteme/Virtualisierung.pdf>.
- ONELOGIN. 2024. *Was ist Multi-Faktor-Authentifizierung (MFA) und wie funktioniert sie?* Zugriff am 05. September 2024. <https://www.onelogin.com/de-de/learn/what-is-mfa>.
- Ontrack. 2024. *Was bedeutet Memory-Ballooning?* Zugriff am 05. September. <https://www.ontrack.com/de-de/blog/memory-ballooning>.
- Oracle. 2023. *Oracle Docs*. Zugriff am 23. August 2024. <https://docs.oracle.com/de-de/iaas/Content/cloud-adoption-framework/era-scalability.htm>.
- Paloaltonetwork. 2024. *What is Quality of Service?* Zugriff am 05. September 2024. <https://www.paloaltonetworks.com/cyberpedia/what-is-quality-of-service-qos>.

- Park Place Technologies. 2024. *Hyper-V Server End Of Life List*. Zugriff am 22. August 2024. <https://www.parkplacetechologies.com/da/eosl/family/hyper-v-server/>.
- PegasusIT. 2024. *Proxmox-Pakete für den Betrieb Virtueller Maschinen*. Zugriff am 22. August 2024. <https://www.pegasus-gmbh.de/proxmox/>.
- Perception Point. 2024. *Hyper-V vs VMware: Compared on Features, Pricing and Security*. Zugriff am 05. September 2024. <https://perception-point.io/guides/virtual-browser/hyper-v-vs-vmware-compared-on-features-pricing-and-security/>.
- Posey, Brien. 2024. *ComputerWeekly - Microsoft Hyper-V und VMware vSphere im Vergleich*. Zugriff am 05. September 2024. <https://www.computerweekly.com/de/tipp/Die-wichtigsten-Unterschiede-zwischen-Hyper-V-und-VMware>.
- PrimeLine Solutions. 2024. *Proxmox*. Zugriff am 05. September 2024. <https://www.primeline-solutions.com/de/server/nach-einsatzzweck/virtualisierung/proxmox/>.
- Proofpoint. 2024. *Was ist VPN?* Zugriff am 05. September 2024. <https://www.proofpoint.com/de/threat-reference/vpn>.
- Proxmox 16. 2024. *Funktionen*. Zugriff am 05. September 2024. <https://www.proxmox.com/de/proxmox-backup-server/funktionen>.
- Proxmox. 2024. *PROXMOX*. Zugriff am 21. Juni 2024. <https://www.proxmox.com/de/ueber-uns/developers>.
- Proxmox1. 2024. *PROXMOX*. Zugriff am 21. Juni 2024. <https://www.proxmox.com/de/ueber-uns/unternehmen>.
- Proxmox10. 2024. *Software-Defined Network*. Zugriff am 05. September 2024. [https://pve.proxmox.com/wiki/Software-Defined\\_Network](https://pve.proxmox.com/wiki/Software-Defined_Network).
- Proxmox11. 2023. *PCI(e) Passthrough*. Zugriff am 05. September 2024. [https://pve.proxmox.com/wiki/PCI\(e\)\\_Passthrough](https://pve.proxmox.com/wiki/PCI(e)_Passthrough).
- Proxmox12. 2024. *Cluster Manager*. Zugriff am 05. September 2024. [https://pve.proxmox.com/wiki/Cluster\\_Manager](https://pve.proxmox.com/wiki/Cluster_Manager).
- Proxmox15. 2024. *Authentifizierung*. Zugriff am 05. September 2024. <https://www.proxmox.com/de/proxmox-virtual-environment/funktionen#nav-mod-scrollspy434-data3>.
- Proxmox2. 2018. *PROXMOX*. 16. April. Zugriff am 21. Juni 2024. <https://www.proxmox.com/de/ueber-uns/pressemitteilungen/proxmox-ve-ist-10>.

- Proxmox3. 2024. *www.pve.proxmox.com*. Zugriff am 01. Juli 2024.  
[https://pve.proxmox.com/pve-docs/pve-admin-guide.html#chapter\\_pvecm](https://pve.proxmox.com/pve-docs/pve-admin-guide.html#chapter_pvecm).
- Proxmox4. 2024. *Proxmox - Funktionen*. Zugriff am 28. Juli 2024.  
<https://www.proxmox.com/de/proxmox-virtual-environment/funktionen>.
- Proxmox5. 2016. *OpenVZ*. Zugriff am 22. August 2024.  
<https://pve.proxmox.com/wiki/OpenVZ>.
- Proxmox6. 2024. *Server Virtualization*. Zugriff am 23. August 2024.  
<https://www.proxmox.com/en/proxmox-virtual-environment/features>.
- Proxmox7. 2024. *Subscriptions*. Zugriff am 05. September 2024.  
<https://www.proxmox.com/en/proxmox-virtual-environment/pricing>.
- Proxmox8. 2024. *Subscription Agreement*. Zugriff am 05. September 2024.  
[https://www.proxmox.com/images/download/pve/agreements/Proxmox\\_VE-Subscription-Agreement\\_V4.3.pdf](https://www.proxmox.com/images/download/pve/agreements/Proxmox_VE-Subscription-Agreement_V4.3.pdf).
- Proxmox9. 2023. *Dynamic Memory Management*. Zugriff am 05. September 2024.  
[https://pve.proxmox.com/wiki/Dynamic\\_Memory\\_Management](https://pve.proxmox.com/wiki/Dynamic_Memory_Management).
- Pujar, Vikas. 2022. *Vikaspo.medium*. Zugriff am 22. August 2024.  
<https://vikaspo.medium.com/virtualization-hypervisors-and-mainframe-5dd8795f32fe>.
- Purestorage. 2021. *SAN vs. NAS vs. DAS: What's the Difference?*. Zugriff am 23. August 2024.  
<https://blog.purestorage.com/purely-educational/san-vs-nas-vs-das-whats-the-difference/>.
- Red Hat. 2022. *Red Hat*. Zugriff am 09. Juli 2024.  
<https://www.redhat.com/de/topics/virtualization/what-is-KVM>.
- Red Hat2. 2024. *Was ist ein Hypervisor*. Zugriff am 22. August 2024.  
<https://www.redhat.com/de/topics/virtualization/what-is-a-hypervisor>.
- Red Hat3. 2018. *Was ist Virtualisierung?* Zugriff am 23. August 2024.  
<https://www.redhat.com/de/topics/virtualization/what-is-virtualization>.
- Reiser, Hans P., Noëlle Rakotondravony, und Johannes Köstler. 2017. *Mikromodul 8001: Grundlagen von Virtualisierungs- technik und Cloud Computing*. Mikromodul 8001, Passau: Universität Passau.
- Schultz, Benedict. 2024. *Speicherguide*. Zugriff am 22. August 2024.  
<https://www.speicherguide.de/storage/it-infrastruktur-fuer-den-mittelstand-modern,-offen,-sicher-26303.html>.

- SDV Systeme. 2024. *Virtualisierung*. Zugriff am 22. August 2024. <https://www.sdv-systeme.de/it-loesungen-aus-hannover-hildesheim-braunschweig/virtualisierung/>.
- Simpleclub. 2024. *Grundlagen der Betriebssysteme*. Zugriff am 06. August 2024. <https://simpleclub.com/lessons/elektronikerin-grundlagen-betriebssysteme>.
- Softpedia. 2007. *Softpedia*. Zugriff am 20. Juni 2024. <https://news.softpedia.com/news/Windows-Server-2008-Hyper-V-Beta-73867.shtml>.
- SoftwareExpress. 2022. *Windows Server vCore Lizenzierung (neu)*. Zugriff am 05. September 2024. <https://www.software-express.de/blog/lizenzierung-nach-vm-fuer-windows-server-angekuendigt/>.
- STARLINE. 2024. *RAID-Systeme mit BBU oder SuperCap absichern*. Zugriff am 06. August 2024. <https://www.starline.de/magazin/technische-artikel/raid-systeme-mit-bbu-oder-supercap-absichern>.
- Staudacher, Melanie. 2020. *IT-BUSINESS*. Zugriff am 05. September 2024. <https://www.it-business.de/die-digitalisierung-ist-unendlich-a-988670/>.
- Stefani, Munoz. 2019. *TechTarget*. Zugriff am 06. August 2024. <https://www.techtarget.com/searchitoperations/feature/The-history-of-virtualization-and-its-mark-on-data-center-management>.
- Steubel, Philipp. 2024. *Asana*. Zugriff am 05. September 2024. <https://asana.com/de/resources/utility-analysis>.
- . 2024. *Die Nutzwertanalyse: Definition, Anwendung und Beispiele!* Zugriff am 05. September. <https://asana.com/de/resources/utility-analysis>.
- StudySmarter. 2024. *Virtuelle Maschinen*. Zugriff am 22. August 2024. <https://www.studysmarter.de/studium/informatik-studium/systemarchitektur/virtuelle-maschinen/>.
- Tanenbaum, Andrew S., und Maarten van Steen. 2006. *DISTRIBUTED SYSTEMS Principles and Paradigms*. 2. Auflage Bde. New Jersey, 07458: Pearson Education Inc. .
- The Red Hat Enterprise Linux Team. 2018. *Red Hat*. Zugriff am 07. August 2024. <https://www.redhat.com/ja/blog/red-hat-continues-lead-linux-server-market>.
- Tierling, Eric. 2013. *Was Windows 8 für den Business-Einsatz bietet*. Zugriff am 01. Juli 2024. <https://www.computerwoche.de/a/was-windows-8-fuer-den-business-einsatz-bietet,2526094>.
- Vahldiek, Axel. 2020. „Viele PCs in einem.“ *c't*, 04: 140.145.

- Vilsbeck, Christian. 2005. *Intel stellt Vanderpool vor*. 21. 05. Zugriff am 27. Juni 2024. <https://www.tecchannel.de/a/intel-stellt-vanderpool-vor,421583,2>.
- WindowsOSHUB. 2023. *How to Configure NIC Teaming on Windows Server 2019/2016 and Windows 10*. Zugriff am 05. September 2024. <https://woshub.com/configure-nic-teaming-windows/>.
- Wissenschaft. 2024. *Wissenschaft*. Zugriff am 22. August 2024. <https://www.wissenschaft.de/technik-digitales/virtualisierung-erklaert-die-wissenschaft-hinter-vps-und-ihre-rolle-in-big-data-und-machine-learning/>.
- VMWARE . 2019. *Single Root I/O Virtualization (SR-IOV)*. Zugriff am 05. September 2024. <https://docs.vmware.com/en/VMware-vSphere/7.0/com.vmware.vsphere.networking.doc/GUID-CC021803-30EA-444D-BCBE-618E0D836B9F.html> .
- XLSTAT. 2024. *ANALYTISCHER HIERARCHIEPROZESS (AHP)*. Zugriff am 05. September 2024. <https://www.xlstat.com/de/loesungen/eigenschaften/analytic-hierarchy-process>.

## 11.Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Unterstützte Upgradepfade basierend auf der derzeit verwendeten Version...4	
Tabelle 2: Reihung der Kriterien nach Priorität .....35	35
Tabelle 3: AHP Gewichtung der Kriterien.....36	36
Tabelle 4: Kriterien Bewertungstabelle.....40	40
Tabelle 5: Bewertung von Hyper-V.....45	45
Tabelle 6: Bewertung von PROXMOX VE.....45	45

## 12. Abkürzungsverzeichnis

AGPL	Affero General Public License
AHP	Analytischer Hierarchieprozess
BBU	Battery Backup Unit
BIOS	Basic Input/Output System
CAL	Client Access License
DEP	Data Execution Prevention
DRAM	Dynamic Random Access Memory
DVD	Digital Video Disc
GDPR	General Data Protection Regulation
GNU	GNU's Not Unix
HA	High Availability (Hohe Verfügbarkeit)
ISO	International Organization for Standardization
KVM	Kernel-based Virtual Machine
LXC	Linux container
MS-DOS	Microsoft Disk Operating System
NIC	Network Interface Card
NIST	National Institute of Standards and Technology
NUMA	Non-Uniform Memory Access
RAID	Redundant Array Independent Disk
RDMA	Remote Direct Memory Access
SR-IOV	Single Root Input/Output Virtualization
SSD	Solid State Drive
TLB	Translation Lookaside Buffer
UEFI	Unified Extensible Firmware Interface

USB	Universal Serial Bus
WDDM	Windows Display Driver Model
VHDX	Virtual Hard Disk v2(disk in a file)
VMM	Virtual Machine Monitor
ZFS	Zettabyte File System

## 13. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Worldwide Server Operating Environment Shipments/Subscriptions and Nonpaid Deployment Share by Operating Environment, 2017.....	6
Abbildung 2: Price per gigabyte of DRAM from 1957 to 2018 from John McCallum's dataset, which we converted to 2020 dollars using the Consumer Price Index.....	8
Abbildung 3: Hypervisor Typ 1 und Hypervisor Typ 2(Quelle: Eigene Darstellung).....	10
Abbildung 4: Microsoft Windows Server 2008 Hyper-V.....	13
Abbildung 5: RAID-Controller mit BBU-Unit.....	28
Abbildung 6: Das Business fordert mehr Flexibilität   IT-Trends 2024.....	33