

Bachelorthesis

Analyse der Wirtschaftlichkeit alternativer Virtualisierungssoftware im Vergleich zu VMware-Produkten

Vorgelegt am:

Von: Leonard Schreiber
Odermannstraße 13
04177 Leipzig

Studiengang: Wirtschaftsinformatik

Studienrichtung: Wirtschaftsinformatik

Seminargruppe: WI-21

Matrikelnummer: 4004571

Praxispartner: SoftwareONE Deutschland GmbH
Blochstraße 1
04329 Leipzig

Gutachter: Piessold, Falko (SoftwareONE Deutschland GmbH)
Dipl. Inf. Falk Puschmann (Staatliche Studienakademie
Glauchau)

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	VIII
0 Einleitung	1
0.1 Hintergrund und Relevanz des Themas in der Praxis.....	1
0.1.1 Bedeutung der Virtualisierung in modernen IT-Infrastrukturen	1
0.1.2 Marktstellung und Verbreitung von VMware	1
0.1.3 Notwendigkeit der Betrachtung alternativer Virtualisierungslösungen	2
0.2 Zielsetzung und Praktische Bedeutung der Arbeit	3
1 Grundlagen der Virtualisierung	4
1.1 Definition und Kernkonzepte der Virtualisierung	4
1.1.1 Definition Virtualisierung	4
1.1.2 Arten der Virtualisierung	4
1.1.2.1 Hardware-Virtualisierung	4
1.1.2.2 Software-Virtualisierung.....	9
1.1.2.3 Arbeitsspeicher-Virtualisierung	10
1.1.2.4 Netzwerk-Virtualisierung.....	11
1.1.3 Virtualisierungsmodelle und -techniken:	12
1.1.3.1 Hypervisor-basierte Virtualisierung	12
1.1.3.2 Container-basierte Virtualisierung.....	15
1.2 Überblick über VMware und seine Produkte.....	17
1.2.1 VMware vSphere	17
1.2.2 VMware vCenter	18
1.2.3 VMware vSAN	19
1.2.4 VMware NSX	19
1.2.5 VMware Site Recovery Manager (SRM).....	20
1.2.6 VMware Aria Suite (ehemals vRealize Suite)	20
1.2.7 VMware Tanzu.....	21

1.2.8	VMware Cloud Director	21	
1.2.9	VMware HCX	21	
2	Theoretische Vergleichsanalyse	23	
2.1	Methodik für die Wirtschaftlichkeitsanalyse	23	
2.2	Auswahlkriterien für alternative Virtualisierungssoftware	25	
2.3	Kriterien für die Bewertung	25	
2.3.1	Technische Faktoren	26	
2.3.1.1	Leistung und Skalierbarkeit	26	
2.3.1.2	Support Zeit	26	
2.3.1.3	Produktvielfalt	27	
2.3.1.4	Kompatibilität	27	
2.3.1.5	Sicherheit.....	28	
2.3.1.6	Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit.....	28	
2.3.2	Wirtschaftliche Faktoren	29	
2.3.2.1	Total cost of ownership (TCO)	29	
2.3.2.2	Annual Cost Savings	29	
2.3.2.3	Return on Investment (ROI).....	29	
2.3.2.4	Break-Even-Point.....	30	
2.3.3	Organisatorische Faktoren	30	
2.3.3.1	Benutzerfreundlichkeit und Schulung	30	
2.3.3.2	Anpassungsfähigkeit.....	31	
2.3.3.3	Zukunftssicherheit.....	31	
2.3.3.4	Referenzen und Erfolgsgeschichten	32	
2.4	Alternative Virtualisierungssoftwares	32	
2.4.1	Microsoft Hyper-V	32	
2.4.2	Proxmox VE.....	33	
2.4.3	Nutanix	33	
3	Simulation und Szenario-Analyse	35	
3.1	Aufbau von realitätsnahen Szenarien zur Bewertung der	Wirtschaftlichkeit.....	35
3.1.1	Szenarientwicklung und Fokus auf relevante Kostenfaktoren	35	
3.1.1.1	Kleinunternehmen.....	35	

3.1.1.2	Mittleres Unternehmen	36
3.1.1.3	Großunternehmen	37
3.1.2	Gewichtung der zu bewertenden Faktoren	38
3.2	Durchführung und Dokumentation der Wirtschaftlichkeitsberechnung	41
3.2.1	Kleinunternehmen.....	41
3.2.2	Mittleres Unternehmen	43
3.2.3	Großunternehmen	46
4	Bewertung der technischen, wirtschaftlichen und organisatorischen Faktoren.....	50
4.1	Technische und organisatorische Faktoren	50
4.2	Wirtschaftliche Faktoren	50
4.2.1	Kleinunternehmen.....	50
4.2.2	Mittleres Unternehmen	51
4.2.3	Großunternehmen	51
5	Evaluierung und Ergebnisdiskussion.....	52
5.1	Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse	52
5.2	Vergleich der Lösungen und Wirtschaftlichkeitskennzahlen	54
5.3	Praktische Implikationen und Empfehlungen	56
6	Fazit	58
6.1	Zusammenfassung der Schlüsselergebnisse	58
6.2	Anregungen für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten	58
	Quellenverzeichnis.....	60
	Anhangverzeichnis.....	62

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Globale Marktanteile der Top-Virtualisierungsplattformen	
	im Dezember 2023	2
Abbildung 2	Herangehensweise der binären Übersetzung.....	5
Abbildung 3	Herangehensweise der Paravirtualisierung	7
Abbildung 4	Herangehensweise der Hardwareunterstützten Virtualisierung...	8
Abbildung 5	Arbeitsspeicher-Virtualisierung in Servern	10
Abbildung 6	Architektur eines Typ-1-Hypervisors.....	13
Abbildung 7	Architektur eines Typ-2-Hypervisors.....	15
Abbildung 8	Architektur einer Container-Virtualisierung	17
Abbildung 9	Gartner Magic Quadrant der HCI-Softwarelösungen, stand	
	Oktober 2021	52

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Wirtschaftlichkeitsberechnung von VMware im Kleinunternehmen..	41
Tabelle 2	Wirtschaftlichkeitsberechnung von Hyper-V im Kleinunternehmen..	42
Tabelle 3	Wirtschaftlichkeitsberechnung von Proxmox VE im	
	Kleinunternehmen.....	43
Tabelle 4	Wirtschaftlichkeitsberechnung von VMware im mittleren	
	Unternehmen	44
Tabelle 5	Wirtschaftlichkeitsberechnung von Hyper-V im mittleren	
	Unternehmen	45
Tabelle 6	Wirtschaftlichkeitsberechnung von Proxmox VE im mittleren	
	Unternehmen	46
Tabelle 7	Wirtschaftlichkeitsberechnung von VMware im Großunternehmen..	47
Tabelle 8	Wirtschaftlichkeitsberechnung von Hyper-V im Großunternehmen..	48
Tabelle 9	Wirtschaftlichkeitsberechnung von Proxmox VE im	
	Großunternehmen	49
Tabelle 10	Bewertung technischer und organisatorischer Faktoren.....	50
Tabelle 11	Bewertung wirtschaftlicher Faktoren im Kleinunternehmen	50
Tabelle 12	Bewertung wirtschaftlicher Faktoren im mittleren Unternehmen.....	51
Tabelle 13	Bewertung wirtschaftlicher Faktoren im Großunternehmen.....	51

Abkürzungsverzeichnis

AHV	Acropolis Hypervisor
CAL	Client Access Licenses
CPU	Central Processing Unit
DRS	Distributed Resource Scheduler
FT	Fault Tolerance
HA	High Availability
HCI	Hyperkonvergente Infrastruktur
KVM	Kernel-based Virtual Machine
LXC	Linux Containers
NFV	Network Functions Virtualization
ROI	Return on Investment
SDN	Software-Defined Networking
SRM	Site Recovery Manager
TCO	Total cost of ownership
VM	Virtuelle Maschine
VMCB	Virtual Machine Control Blocks
VMCS	Virtual Machine Control Structures
VMM	Virtual Machine Monitor

0 Einleitung

0.1 Hintergrund und Relevanz des Themas in der Praxis

0.1.1 Bedeutung der Virtualisierung in modernen IT-Infrastrukturen

Virtualisierungstechnologien sind aus modernen IT-Infrastrukturen nicht mehr wegzudenken. Sie ermöglichen die effiziente Nutzung von Hardware-Ressourcen, indem mehrere virtuelle Maschinen (VMs) auf einem einzigen physischen Server betrieben werden. Dies führt zu einer besseren Auslastung der Hardware, einer höheren Flexibilität und einer einfacheren Verwaltung der IT-Ressourcen. Die schnelle Bereitstellung von IT-Diensten und die Implementierung von Disaster-Recovery-Lösungen sind weitere Vorteile, die für Unternehmen von entscheidender Bedeutung sind. Durch die Konsolidierung von Servern werden zudem Platzbedarf und Energiekosten reduziert, was zu erheblichen Kosteneinsparungen führt. Insgesamt steigern diese Technologien die betriebliche Agilität, senken die IT-Kosten und erhöhen die Flexibilität der IT-Infrastruktur.

0.1.2 Marktstellung und Verbreitung von VMware

VMware hat sich als der führende Anbieter von Virtualisierungslösungen etabliert und dominiert den Markt seit vielen Jahren. Mit einer breiten Palette von Produkten, die von der Servervirtualisierung bis hin zu Cloud-Management-Plattformen reichen, hat VMware in vielen Unternehmen weltweit Einzug gehalten. Die umfassenden Funktionen, die hohe Zuverlässigkeit und der erstklassige Support machen VMware zur bevorzugten Wahl für viele IT-Abteilungen.

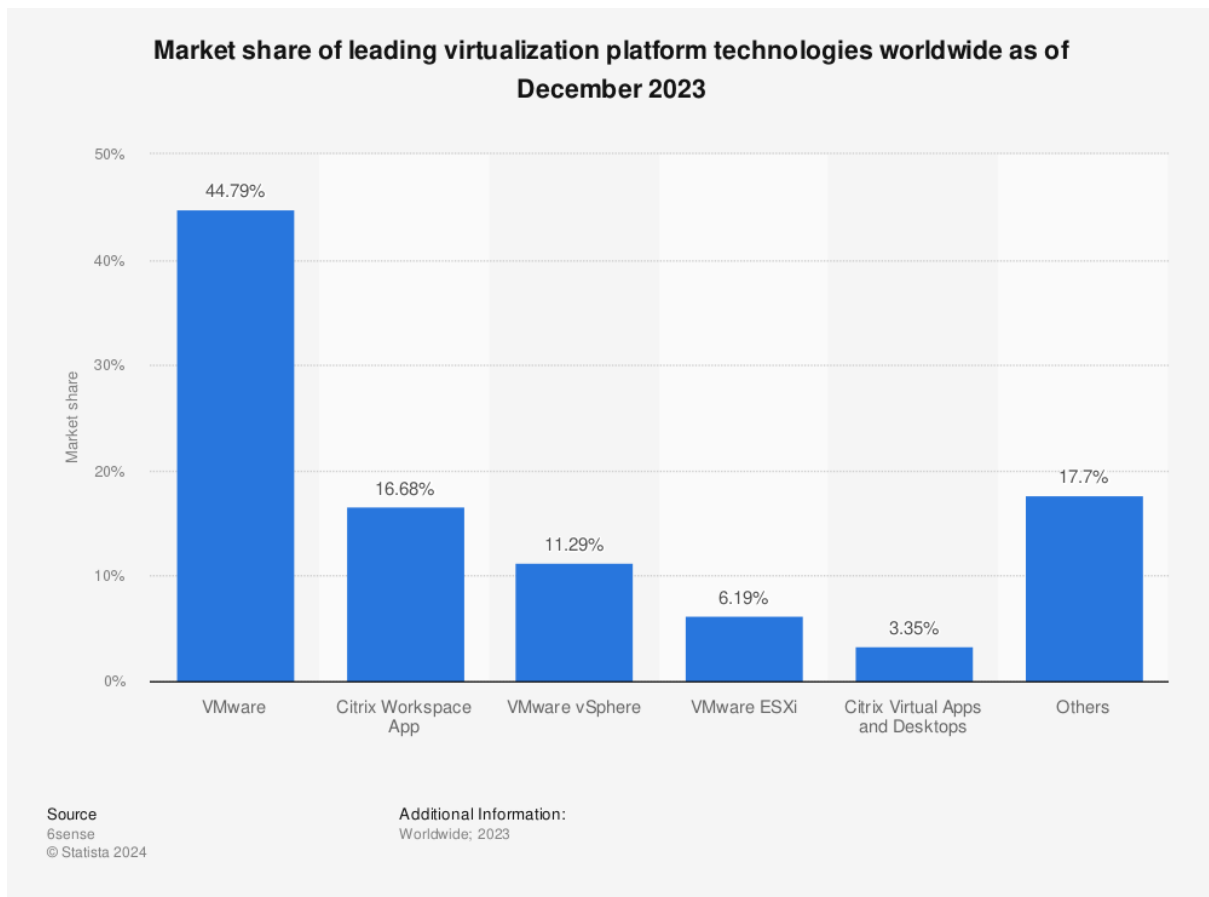


Abbildung 1 Globale Marktanteile der Top-Virtualisierungsplattformen im Dezember 2023
(online: VAILSHERY, 2023)

Laut einer aktuellen Marktanalyse hält VMware einen bedeutenden Marktanteil von 44,79%, was die weitreichende Akzeptanz und das Vertrauen in ihre Technologien unterstreicht. Dieser Marktanteil spiegelt die starke Position von VMware wider und zeigt, wie tief ihre Lösungen in der IT-Landschaft integriert sind.

0.1.3 Notwendigkeit der Betrachtung alternativer Virtualisierungslösungen

Trotz der starken Marktstellung von VMware gibt es zahlreiche Gründe, alternative Virtualisierungslösungen in Betracht zu ziehen. Ein wesentlicher Faktor sind die hohen Kosten, die mit dem Einsatz von VMware verbunden sind, insbesondere seit der Umstellung auf Abonnementmodelle und der Abschaffung unbefristeter Lizenzen. Unternehmen suchen daher nach kostengünstigeren Alternativen, die ähnliche Funktionalitäten bieten. Zudem spielen Open-Source-Lösungen eine immer größere Rolle, da sie häufig flexibler und anpassungsfähiger sind.

0.2 Zielsetzung und Praktische Bedeutung der Arbeit

Das Ziel dieser Untersuchung liegt in der Analyse der Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Virtualisierungslösungen im Vergleich zu VMware. Dabei werden zentrale Faktoren wie Investitions- und Betriebskosten, Performance, Benutzerfreundlichkeit sowie Supportoptionen systematisch bewertet. Diese Analyse soll eine fundierte Entscheidungsbasis für Unternehmen bieten, die eine Optimierung ihrer Virtualisierungsstrategie anstreben. Im Rahmen der Untersuchung werden die Vor- und Nachteile der verschiedenen Virtualisierungstechnologien detailliert herausgearbeitet, um eine objektive Bewertung zu ermöglichen.

Die praktische Bedeutung der Arbeit zeigt sich in der Bereitstellung fundierter Informationen und Analysen, die Unternehmen dabei unterstützen können, ihre IT-Kosten zu reduzieren und zugleich die Effizienz und Flexibilität ihrer IT-Infrastruktur zu steigern. Durch den Vergleich von VMware mit alternativen Virtualisierungslösungen werden potenzielle Einsparpotenziale sowie Optimierungsansätze aufgezeigt. Die erwarteten Ergebnisse umfassen spezifische Handlungsempfehlungen für die Auswahl geeigneter Virtualisierungslösungen, die sowohl ökonomische als auch technische Kriterien berücksichtigen. Diese Empfehlungen sollen Unternehmen in die Lage versetzen, fundierte Entscheidungen zu treffen, die sich positiv auf ihre kurz- und langfristigen IT-Strategien auswirken. Ziel der Arbeit ist es, praxisorientierte Ansätze zu identifizieren, die die Implementierung kosteneffizienter und leistungsfähiger Virtualisierungsstrategien ermöglichen.

1 Grundlagen der Virtualisierung

1.1 Definition und Kernkonzepte der Virtualisierung

1.1.1 Definition Virtualisierung

Virtualisierung ist eine Technik in der Informatik, die es ermöglicht, die physische Hardware eines Computersystems in mehrere virtuelle Umgebungen zu unterteilen. Diese virtuellen Umgebungen können unabhängig voneinander arbeiten und verschiedene Betriebssysteme oder Anwendungen ausführen. Dies wird durch die Implementierung einer zusätzlichen Softwareschicht erreicht, die als Virtual Machine Monitor (VMM) oder Hypervisor bezeichnet wird. Diese Schicht sitzt zwischen der physischen Hardware und den Betriebssystemen oder Anwendungen und vermittelt zwischen diesen.

Virtualisierung abstrahiert Computerressourcen, sodass diese wie physische Ressourcen genutzt werden können. Dadurch entfallen die Einschränkungen, die durch die physische Implementierung oder den Standort der zugrunde liegenden Ressourcen entstehen könnten. Virtualisierung erstellt virtuelle Versionen spezifischer Ressourcen wie Betriebssysteme, Computersysteme, Speichergeräte und Netzwerkressourcen, die ohne physische Begrenzungen genutzt werden können.¹

Der Kern der Virtualisierung liegt in der Abbildung der Schnittstelle und der sichtbaren Ressourcen eines realen Systems auf ein virtuelles System. Diese Abbildung erfolgt durch einen Isomorphismus, der den Zustand des virtuellen Gastsystems auf den des realen Hosts überträgt. Jede Operation im virtuellen System entspricht einer äquivalenten Operation im realen System. Dies erzeugt die Illusion einer eigenständigen physischen Maschine, obwohl nur eine einzige physische Hardwareplattform vorhanden ist.²

1.1.2 Arten der Virtualisierung

1.1.2.1 Hardware-Virtualisierung

Bei der Hardware-Virtualisierung wird eine Zwischenschicht, der sogenannte Hypervisor, zwischen der physischen Hardware und den Betriebssystemen eingefügt. Der Hypervisor übernimmt die Verwaltung der Ressourcen der physischen Maschine, einschließlich Central Processing Unit (CPU), Speicher und Netzwerkschnittstellen, und weist diese den VMs zu. Auf diese Weise können auf einem einzigen physischen Server mehrere VMs betrieben werden, die jeweils ihr eigenes Betriebssystem und eigene Anwendungen ausführen.

¹ vgl. HUAWEI TECHNOLOGIES CO., 2023, S. 97 - 98

² vgl. SMITH; NAIR, 2005, S. 3 - 4

Es existieren verschiedene Ansätze zur Umsetzung dieser Virtualisierung, die jeweils spezifische Vor- und Nachteile aufweisen. Im Folgenden werden drei Haupttypen der Hardware-Virtualisierung detailliert erläutert:

1. Vollständige Virtualisierung (Full virtualization)

Die vollständige Virtualisierung ermöglicht die Simulation der Hardware-Architektur, sodass ein unverändertes Gastbetriebssystem in einer isolierten Umgebung betrieben werden kann. Die Virtualisierungsschicht abstrahiert die Daten von der zugrunde liegenden Hardware und trennt die Ausführung von Diensten und Anwendungen von der physischen Hardware. Das Gastbetriebssystem erkennt nicht, dass es sich in einer virtualisierten Umgebung befindet und sendet Befehle an vermeintliche Hardware, die vom Host simuliert wird. Der Hypervisor übersetzt sämtliche Betriebssystemaufrufe und trennt die VMs sowohl vom Host-Betriebssystem als auch voneinander, wodurch die Portabilität der VMs zwischen unterschiedlichen Hosts unabhängig von der zugrunde liegenden Hardware gewährleistet wird.³

Zusätzlich nutzt die vollständige Virtualisierung binäre Übersetzung und direkte Ausführungstechniken. Die binäre Übersetzung wandelt nicht-virtualisierbare Befehle des Gastbetriebssystems in neue Befehlssequenzen um. Gleichzeitig wird der Benutzerlevel-Code direkt auf dem Prozessor ausgeführt, was eine hohe Leistungsfähigkeit der virtualisierten Umgebung gewährleistet.⁴

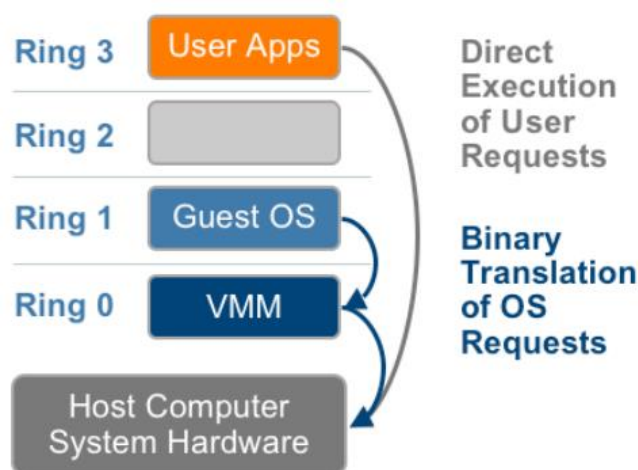


Abbildung 2 Herangehensweise der binären Übersetzung
(online: VMware, 2007, S. 4)

³ vgl. online: citrix (16.07.2024)

⁴ vgl. online: VMware, 2007, S. 4 (17.07.2024)

Abbildung 2 zeigt, wie Benutzeranwendungen (Ring 3) ihre Anweisungen direkt ausführen. Betriebssystemanfragen werden durch den Hypervisor mittels Binärübersetzung in Ring 0 verarbeitet, bevor sie die Hardware des Host-Computers erreichen.

Ein wesentlicher Vorteil der vollständigen Virtualisierung ist, dass keine Modifikationen am Gastbetriebssystem erforderlich sind. Dies gewährleistet hohe Isolation und Sicherheit, da der Hypervisor sensible und privilegierte Anweisungen dynamisch übersetzt und die Ergebnisse für zukünftige Verwendungen zwischenspeichert.⁵

2. Paravirtualisierung (Paravirtualization)

Paravirtualisierung bezeichnet die Modifikation des Quellcodes eines Betriebssystems, um eine effiziente Kommunikation mit dem VMM oder Hypervisor zu ermöglichen. Im Gegensatz zur vollständigen Virtualisierung, bei der das unmodifizierte Gastbetriebssystem keine Kenntnis von der Virtualisierung hat, wird bei der Paravirtualisierung der Betriebssystemkern so angepasst, dass er über sogenannte Hypercalls direkt mit dem Hypervisor interagieren kann. Hypercalls basieren auf Systemaufrufen, die es Anwendungen ermöglichen, Dienste vom Betriebssystem anzufordern und über diese Schnittstelle zwischen der Anwendung und dem Betriebssystem zu interagieren.⁶

Diese Anpassung erlaubt es dem Gastbetriebssystem, Informationen über andere Betriebssysteme auf derselben physischen Hardware zu erhalten, was eine effizientere Ressourcennutzung ermöglicht, ohne die gesamte Hardwareumgebung emulieren zu müssen. Zu den kritischen Kernel-Operationen, die über Hypercall-Schnittstellen abgewickelt werden, gehören die Speicherverwaltung, die Interrupt-Handhabung und die Zeitmessung.⁷

⁵ vgl. online: VMware, 2007, S. 4 (17.07.2024)

⁶ vgl. online: citrix (16.07.2024)

⁷ vgl. online: VMware, 2007, S. 5 (17.07.2024)

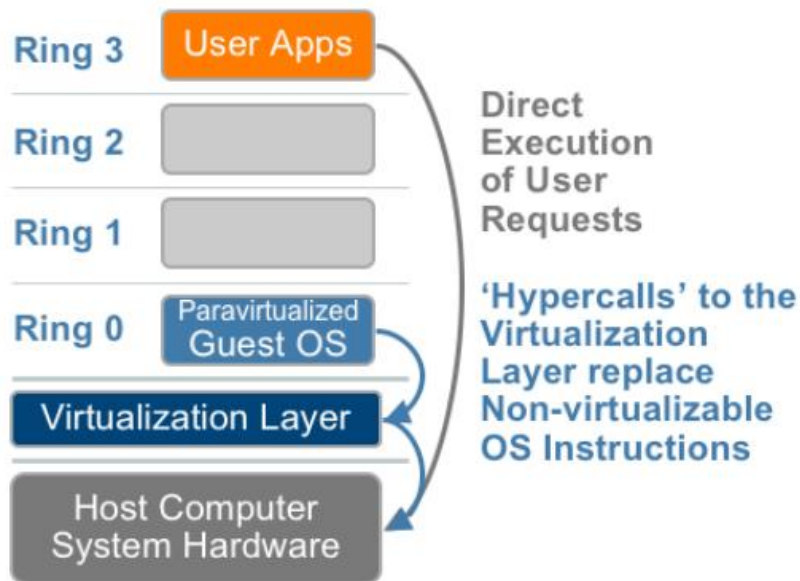


Abbildung 3 Herangehensweise der Paravirtualisierung
(online: VMware, 2007, S. 5)

Abbildung 2 illustriert die Paravirtualisierung, bei der Benutzeranwendungen (Ring 3) ihre Anweisungen direkt ausführen. Das paravirtualisierte Gastbetriebssystem (Ring 0) kommuniziert über Hypcalls direkt mit der Virtualisierungsschicht. Diese Hypcalls ersetzen nicht-virtualisierbare Betriebssystemanweisungen, wodurch die Virtualisierungsschicht direkt mit der Hardware des Host-Computers interagiert.

Der Hauptvorteil der Paravirtualisierung liegt im geringeren Virtualisierungs-Overhead, was die Leistungsfähigkeit und Effizienz der Virtualisierung steigert. Allerdings variiert der Leistungsgewinn je nach Arbeitslast erheblich. Da Paravirtualisierung unmodifizierte Betriebssysteme nicht unterstützt, ist ihre Kompatibilität eingeschränkt und sie kann erheblichen Support- und Wartungsaufwand verursachen.⁸

3. Hardwareunterstützte Virtualisierung (Hardware-assisted virtualization)

Hardware-assisted Virtualisierung nutzt spezifische CPU-Funktionen wie Intel VT-x und AMD-V, um die Effizienz und Leistung VMs signifikant zu steigern. Diese Technologien ermöglichen es den VMs, direkt auf die Hardware-Ressourcen des Host-Systems zuzugreifen, wodurch die typischen Leistungseinbußen, die bei softwarebasierten Virtualisierungsmethoden auftreten, reduziert werden.

Intel VT-x und AMD-V implementieren einen neuen CPU-Ausführungsmodus, der es dem Hypervisor erlaubt, in einem speziellen Root-Modus unterhalb von Ring 0 zu

⁸ vgl. online: VMware, 2007, S. 5 (17.07.2024)

operieren. In diesem Modus kann der Hypervisor direkt mit der Hardware interagieren und privilegierte Anweisungen effizient verwalten. Dies wird durch den Einsatz von speziellen Datenstrukturen wie Virtual Machine Control Structures (VMCS) bei Intel und Virtual Machine Control Blocks (VMCB) bei AMD erreicht, in denen der Zustand der VMs gespeichert wird.⁹

Durch diese Architektur wird die Notwendigkeit für Methoden wie die Binärübersetzung, die in der vollständigen Virtualisierung verwendet wird, um privilegierte Anweisungen zu emulieren, eliminiert. Stattdessen werden diese Anweisungen direkt an den Hypervisor weitergeleitet, der sie ohne zusätzlichen Software-Overhead verarbeiten kann. Der Hypervisor sorgt dabei für die korrekte Ausführung dieser Anweisungen und gewährleistet die Integrität des Host-Systems. Dies erfolgt häufig durch schnelle Kontextwechsel zwischen dem Gast- und dem Hypervisor-Modus, ein Prozess, der als „VM-Exit“ bezeichnet wird.¹⁰

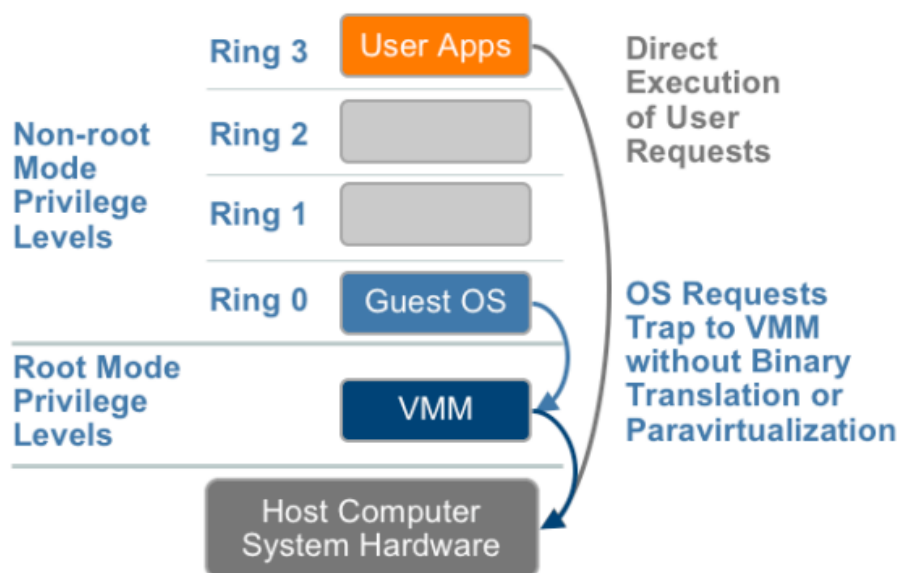


Abbildung 4 Herangehensweise der Hardwareunterstützten Virtualisierung
(online: VMware, 2007, S. 6)

Abbildung 3 visualisiert die hardwareunterstützte Virtualisierung, in der Benutzeranwendungen (Ring 3) ihre Anweisungen direkt auf der Hardware ausführen und Betriebssystemanfragen (Ring 0) ohne Binärübersetzung oder Paravirtualisierung direkt an den VMM weitergeleitet werden. Der VMM operiert in einem speziellen Root-

⁹ vgl. online: VMware, 2007, S. 6 (17.07.2024)

¹⁰ vgl. online: VMware, 2007, S. 6 (17.07.2024)

Modus unterhalb von Ring 0 und interagiert direkt mit der Hardware des Host-Computers

Durch den Einsatz von Hardware-assisted Virtualisierung wird somit eine höhere Effizienz und Leistung der VMs erreicht, da der Overhead, welcher durch Emulation entsteht, reduziert wird. Dies führt zu einer verbesserten Gesamtleistung des Systems und einer effizienteren Nutzung der Hardware-Ressourcen.

1.1.2.2 Software-Virtualisierung

Software-Virtualisierung ermöglicht es, Anwendungen oder Benutzerumgebungen unabhängig von der darunterliegenden Hardware auszuführen. Dies bedeutet, dass Software auf verschiedenen Geräten und Betriebssystemen laufen kann, ohne direkt auf diesen installiert zu sein. Zwei prominente Beispiele für Software-Virtualisierung sind die Anwendungsvirtualisierung und die Desktop-Virtualisierung.

Anwendungsvirtualisierung erlaubt es, Anwendungen so zu verpacken, dass sie in isolierten Umgebungen laufen. Dies bedeutet, dass eine Anwendung nicht direkt auf dem Host-Betriebssystem installiert werden muss, sondern in einer virtuellen Umgebung betrieben wird. Ein bekanntes Beispiel für diese Technologie ist Microsoft App-V. Diese Technologie bietet zahlreiche Vorteile, wie die Vereinfachung der Anwendungsbereitstellung, die Reduzierung von Konflikten zwischen Anwendungen und die Verbesserung der Sicherheit, da Anwendungen in isolierten Containern laufen.

Ein anschauliches Beispiel für die Anwendung dieser Technologie ist die Nutzung einer veralteten, aber für das Unternehmen unverzichtbaren Anwendung, die nicht mit dem neuesten Betriebssystem kompatibel ist. Durch die Verwendung von Anwendungsvirtualisierung kann diese Anwendung in einer virtuellen Umgebung betrieben werden, die die notwendige Kompatibilität bereitstellt. Dies ermöglicht dem Unternehmen, auf dem neuesten Stand der Technik zu bleiben, ohne auf wichtige Anwendungen verzichten zu müssen.

Desktop-Virtualisierung geht noch einen Schritt weiter und virtualisiert ganze Benutzerumgebungen. Anstatt dass jeder Mitarbeiter einen eigenen physischen PC benötigt, können Desktops als Dienst über das Netzwerk bereitgestellt werden. VMware Horizon ist ein Beispiel für eine solche Lösung. Diese Technologie ermöglicht es Benutzern, von überall auf ihre personalisierten Desktop-Umgebungen zuzugreifen, solange sie eine Internetverbindung haben.

Ein bedeutender Vorteil der Desktop-Virtualisierung ist die erhöhte Flexibilität und Mobilität der Mitarbeiter. In einer Welt, in der Homeoffice und Remote-Arbeit immer wichtiger werden, können Mitarbeiter mit Desktop-Virtualisierung problemlos von zu

Hause oder unterwegs arbeiten, ohne dass ihre Produktivität beeinträchtigt wird. Darüber hinaus wird die IT-Verwaltung vereinfacht, da Updates und Wartungsarbeiten zentralisiert werden können, was Zeit und Ressourcen spart.

1.1.2.3 Arbeitsspeicher-Virtualisierung

Aufgrund der häufigen Nutzung des Arbeitsspeichers in der Server-Virtualisierung ist die Arbeitsspeicher-Virtualisierung ebenso bedeutend wie die CPU-Virtualisierung. Arbeitsspeicher-Virtualisierung verwaltet den physischen Speicher einer Maschine einheitlich und teilt ihn in mehrere virtuelle Speicherbereiche auf, die von verschiedenen VMs genutzt werden können. Dies gewährleistet, dass jede VM über einen eigenen, unabhängigen Speicherbereich verfügt.¹¹

Der VMM übernimmt die Verwaltung des Speichers der physischen Maschine und teilt diesen entsprechend den Anforderungen der einzelnen VMs auf. Dabei gewährleistet der VMM, dass der Zugriff jeder VM auf den Speicher isoliert bleibt. Der physische Speicher einer Maschine stellt einen zusammenhängenden Adressraum dar, auf den Anwendungen oft zufällig zugreifen. Aus diesem Grund muss der VMM die Zuordnungsbeziehung zwischen den Speicheradressblöcken auf der physischen Maschine und den kontinuierlichen Speicherblöcken innerhalb der VMs aufrechterhalten, um einen kontinuierlichen und effizienten Speicherzugriff sicherzustellen.¹²

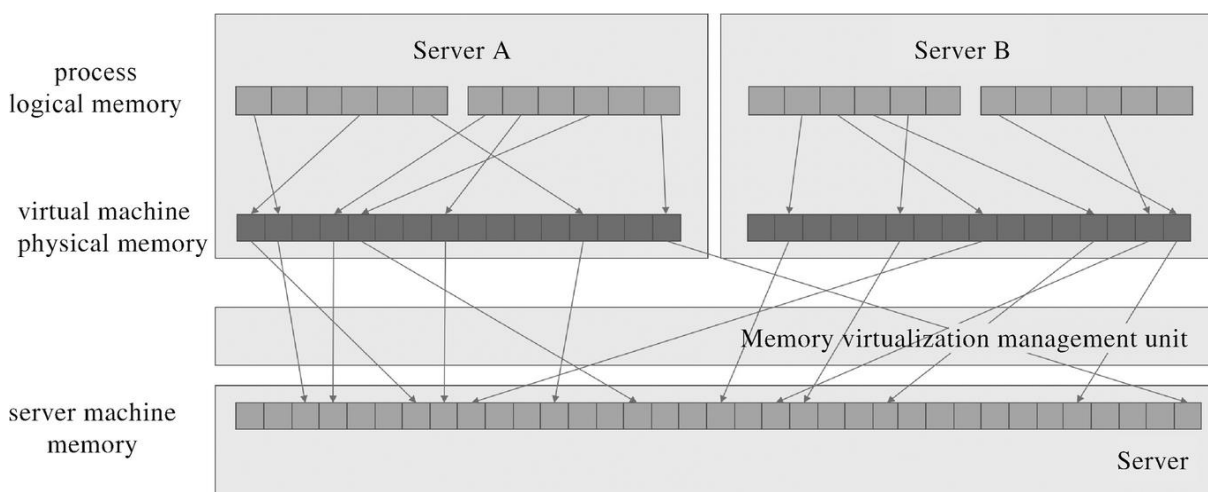


Abbildung 5 Arbeitsspeicher-Virtualisierung in Servern
(HUAWEI TECHNOLOGIES CO., 2023, S. 113)

¹¹ vgl. HUAWEI TECHNOLOGIES CO., 2023, S. 112

¹² vgl. HUAWEI TECHNOLOGIES CO., 2023, S. 112

Moderne Betriebssysteme nutzen komplexe Techniken wie Segmente, Seiten, Segmentseiten, mehrstufige Seitentabellen, Cache und virtuellen Speicher zur Speicherverwaltung. Der VMM muss diese Technologien unterstützen können, um ihre Gültigkeit und Leistungsfähigkeit auch in einer virtuellen Maschinenumgebung sicherzustellen.¹³

Zusammengefasst ermöglicht die Arbeitsspeicher-Virtualisierung eine effiziente Nutzung des physikalischen Speichers durch mehrere VMs, wobei jede VM einen isolierten und kontinuierlichen Speicherzugriff erhält.

1.1.2.4 Netzwerk-Virtualisierung

Die Netzwerk-Virtualisierung umfasst die Erstellung virtueller Versionen physischer Netzwerkressourcen, einschließlich Hardware, Software und Bandbreite. Dieser Prozess ermöglicht den Betrieb mehrerer virtueller Netzwerke auf einer einzigen physischen Netzwerk-Infrastruktur, wobei jedes Netzwerk isolierte und sichere Umgebungen erhält. Durch die Abstraktion der Komplexität des physischen Netzwerks gegenüber Endbenutzern und Anwendungen bietet die Netzwerk-Virtualisierung eine flexiblere und skalierbare Netzwerkverwaltung.

Netzwerk-Virtualisierung ermöglicht es, virtuelle Netzwerke unabhängig von der physischen Infrastruktur zu erstellen, zu ändern und zu verwalten. Dadurch können Ressourcen schnell bereitgestellt und nach Bedarf skaliert werden. Des Weiteren verringert sie den Bedarf an spezialisierter Hardware und ermöglicht die Nutzung von Standardhardware, was sowohl die Kapital- als auch die Betriebskosten senkt. Zusätzlich vereinfacht sie die Netzwerkverwaltung, was zu besseren Kontroll-, Überwachungs- und Fehlersuchmöglichkeiten führt.¹⁴

Die Netzwerk-Virtualisierung ist von zentraler Bedeutung für moderne Rechenzentren und Cloud-Umgebungen, da sie eine flexible und skalierbare Verwaltung von Rechen-, Speicher- und Netzwerkressourcen ermöglicht. In Multi-Tenant-Cloud-Umgebungen gewährleistet sie die Isolation und Sicherheit der Daten und Anwendungen jedes Mieters. Darüber hinaus verbessert sie auch die Notfallwiederherstellung durch eine schnelle Neukonfiguration und Migration bei Störungen. Zudem unterstützt sie moderne Netzwerkarchitekturen wie Software-Defined Networking (SDN) und Network Functions Virtualization (NFV), die eine programmierbare, agile und effiziente Netzwerkverwaltung erlauben.

¹³ vgl. HUAWEI TECHNOLOGIES CO., 2023, S. 112

¹⁴ vgl. ALSHAER, 2015, S. 2 - 6

1.1.3 Virtualisierungsmodelle und -techniken:

1.1.3.1 Hypervisor-basierte Virtualisierung

Hypervisoren sind eine grundlegende Technologie in der Virtualisierung, die es einem einzigen System ermöglicht, mehrere Betriebssysteme gleichzeitig auszuführen. Ein Hypervisor abstrahiert die zugrunde liegende physische Hardware und erstellt stattdessen virtuelle Komponenten. Diese virtuellen Komponenten werden auf die VMs aufgeteilt, wobei die VMs nicht erkennen, dass es sich um virtuelle und nicht um physische Hardware handelt. Hypervisoren lassen sich grundsätzlich in zwei Kategorien einteilen: Hypervisoren vom Typ 1 und Hypervisoren vom Typ 2.

- **Hypervisor Typ 1 (Bare-Metal Hypervisor)**

Hypervisoren des Typs 1, auch als Bare-Metal-Hypervisoren bekannt, laufen direkt auf der Hardware des Hostsystems ohne ein darunterliegendes Betriebssystem. Diese Architektur ermöglicht eine direkte Zuweisung der physischen Ressourcen an mehrere VMs, was zu hoher Performance und Effizienz führt. Aufgrund dieser Eigenschaften werden Typ-1-Hypervisoren häufig in Unternehmensumgebungen und Cloud-Rechenzentren eingesetzt.

Um den Einsatz von Typ-1-Hypervisoren zu verdeutlichen, betrachten wir ein Finanzunternehmen, das zahlreiche physische Server betreibt, auf denen jeweils mehrere VMs laufen. Diese VMs hosten kritische Anwendungen wie Datenbanken, Webserver und Transaktionssysteme. Jede VM ist spezifisch für bestimmte Aufgaben konzipiert und optimiert so die IT-Infrastruktur des Unternehmens. Die Virtualisierung ermöglicht eine effiziente Nutzung und flexible Anpassung der Ressourcen an die jeweiligen Anforderungen. Dieses Setup gewährleistet robuste und skalierbare Systeme, die hohe Verfügbarkeit und Sicherheit bieten. Typ-1-Hypervisoren tragen dazu bei, dass die Performance nahezu der eines physischen Systems entspricht, indem sie eine effiziente Ressourcenzuteilung ermöglichen, die sowohl hohe Auslastung als auch Vermeidung von Überlastung sicherstellt. Die strikte Trennung der einzelnen VMs erleichtert die Skalierung und bietet zusätzliche Sicherheit, da eine Sicherheitsverletzung in einer VM nicht zwangsläufig Auswirkungen auf die anderen VMs hat. Diese Vorteile gewährleisten eine optimale Nutzung der IT-Ressourcen und eine stabile, sichere Betriebsumgebung.

Das Management großer IT-Umgebungen erfordert spezifische Fachkenntnisse der Mitarbeiter, eine durchdachte Infrastruktur und den Einsatz von Tools, die das Management so effizient wie möglich gestalten. Diese Anforderungen führen naturgemäß zu Kosten, insbesondere für Lizenzen und Wartung. Allerdings sind diese

Investitionen oft durch die Vorteile, wie gesteigerte Effizienz und Performance, gerechtfertigt.

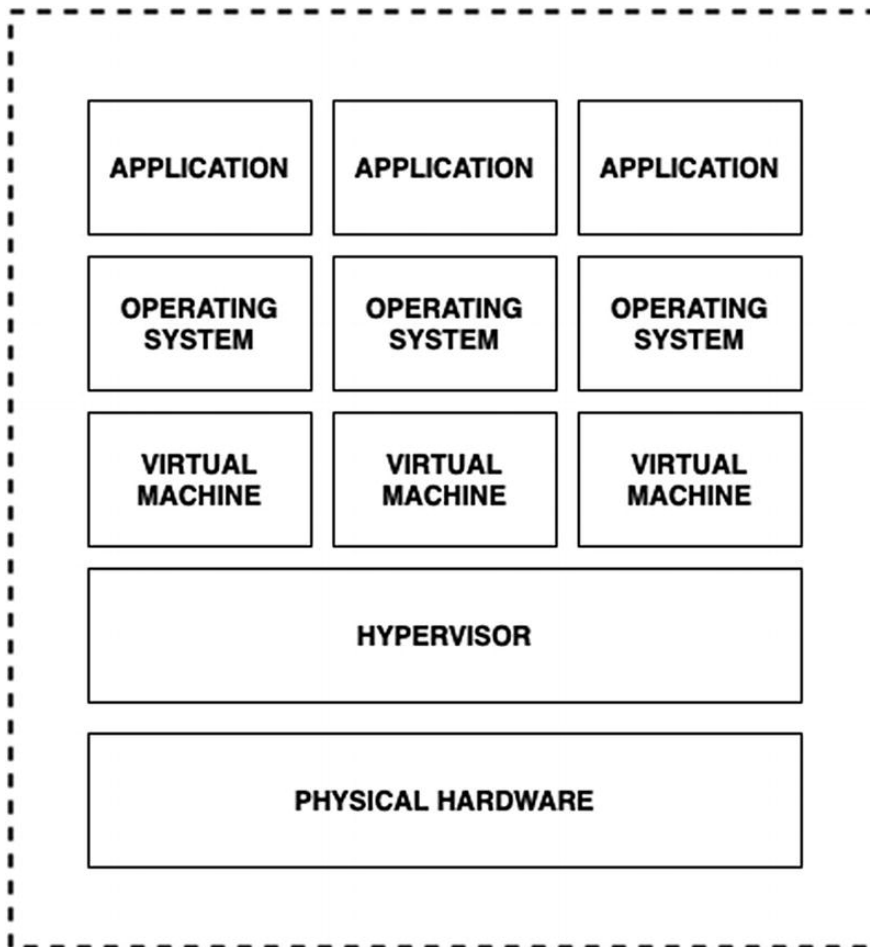


Abbildung 6 Architektur eines Typ-1-Hypervisors
(HOOGENDOORN, 2021, S. 5)

- **Hypervisor Typ 2 (Hosted Hypervisor)**

Hypervisor Typ 2 (Hosted Hypervisor) unterscheidet sich vom Typ 1 dadurch, dass er nicht direkt auf der Hardware läuft, sondern ein Betriebssystem benötigt, auf dem der Hypervisor ausgeführt wird. Typ-2-Hypervisoren werden in der Regel als Anwendungen auf dem Betriebssystem installiert. Dies vereinfacht ihre Einrichtung und Ausführung erheblich, da sie unabhängig vom zugrunde liegenden Betriebssystem funktionieren und lediglich Software benötigen, welche die Virtualisierte Umgebung starten und betreiben können. Aufgrund dieser Eigenschaften werden Typ-2-Hypervisoren bevorzugt eingesetzt, wenn Bequemlichkeit und einfache Handhabung im Vordergrund stehen, anstatt maximale Effizienz.

Zur Verdeutlichung kann man sich ein Softwareentwicklungsunternehmen vorstellen, in dem die Entwickler an ihren Arbeitsplätzen mehrere VMs erstellen, um Software auf verschiedenen Betriebssystemen und mit unterschiedlichen Konfigurationen zu testen.

Die Vorteile dieser Vorgehensweise lassen sich in mehreren Punkten zusammenfassen. Erstens bietet sie eine hohe Benutzerfreundlichkeit, da Entwickler schnell VMs in ihrer vertrauten Betriebssystemumgebung einrichten und verwalten können. Zweitens gewährleistet sie Flexibilität, da eine Vielzahl von Betriebssystemen unterstützt werden und es Entwicklern somit ermöglicht, ihre Anwendungen in unterschiedlichen Umgebungen zu testen. Drittens zeichnet sich diese Methode durch ihre Zugänglichkeit aus, da sie ideal für die Entwicklung und Tests geeignet ist. Entwickler können Produktionsumgebungen auf ihren lokalen Maschinen replizieren, was die Effizienz und Genauigkeit der Testprozesse erhöht.

Die Verwendung von Typ-2-Hypervisoren bringt mehrere Nachteile mit sich. Die zusätzliche Schicht des Host-Betriebssystems verursacht einen Performance-Overhead, was zu einer langsameren Leistung im Vergleich zu Typ-1-Hypervisoren führt. VMs auf einem Typ-2-Hypervisor konkurrieren um Ressourcen mit dem Host-Betriebssystem und anderen Anwendungen, was die Leistung bei hohen Arbeitslasten beeinträchtigen kann. Zudem sind Typ-2-Hypervisoren aufgrund ihrer Leistungsbegrenzungen und des Ressourcen-Overheads nicht für großflächige, produktionsreife Virtualisierungsumgebungen wie Unternehmensrechenzentren und Cloud-Infrastrukturen geeignet.

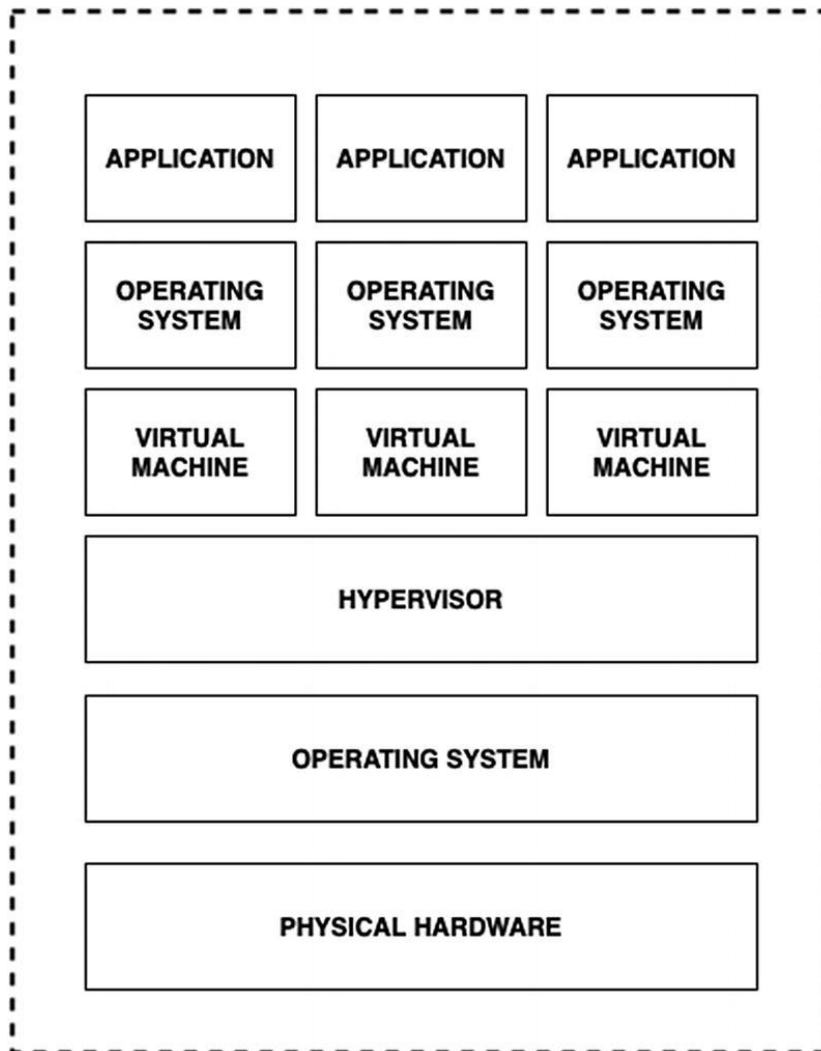


Abbildung 7 Architektur eines Typ-2-Hypervisors
(HOOGENDOORN, 2021, S. 6)

1.1.3.2 Container-basierte Virtualisierung

Container sind eine Virtualisierungstechnologie, die es ermöglicht, Softwareanwendungen und deren Abhängigkeiten in isolierten Umgebungen zu verpacken und auszuführen. Sie bieten eine effiziente Methode zur Paketierung und Bereitstellung von Anwendungen, die auf verschiedenen IT-Infrastrukturen standardisiert werden können.¹⁵

Container und VMs bieten beide Isolations- und Paketierungsfunktionen, unterscheiden sich jedoch signifikant in ihrer Architektur und Ressourcennutzung. VMs virtualisieren die Hardware und führen vollständige Betriebssysteme aus, was zu einem hohen Ressourcenverbrauch führt. Container hingegen virtualisieren das Betriebssystem selbst. Mehrere Container teilen denselben Betriebssystem-Kernel

¹⁵ vgl. online: rock the prototype (08.07.2024)

und beinhalten lediglich die spezifischen Anwendungsbinärdateien und -bibliotheken, was sie leichtgewichtig und schnell macht. Dadurch werden Redundanzen und Overhead reduziert, was Container besonders effizient für skalierbare Cloud-Anwendungen macht.¹⁶

Das Ziel der Containerisierung ist es, Software auf eine vorhersehbare und leicht zu verwaltende Weise in verschiedenen Betriebsumgebungen zu erstellen, zu verpacken und bereitzustellen. Container sind mittlerweile unverzichtbare Werkzeuge für DevOps-Teams, da sie den gesamten Workflow von der Entwicklung bis zum Betrieb erheblich verbessern und somit die Effizienz und Agilität erhöhen.¹⁷

Container weisen einige Nachteile auf. Sie können keine vollständigen Betriebssysteme ausführen und lassen sich nicht als einzelne Dateien abspeichern oder verschieben. Da Container denselben Betriebssystem-Kernel nutzen, kann ein Angriff auf einen Container theoretisch auch andere Container auf demselben Host gefährden. Zwar kommt dies selten vor, dennoch sind vertrauenswürdige Container-Images, regelmäßige Sicherheitsprüfungen, das Least-Privilege-Prinzip und restriktive Netzwerkrichtlinien wichtig. Zudem ist das Root-Dateisystem der Container kurzlebig, wodurch alle Änderungen beim Beenden des Containers verloren gehen.¹⁸

¹⁶ vgl. online: rock the prototype (08.07.2024)

¹⁷ vgl. online: rock the prototype (08.07.2024)

¹⁸ vgl. online: David Puzas, 2023 (09.07.2024)

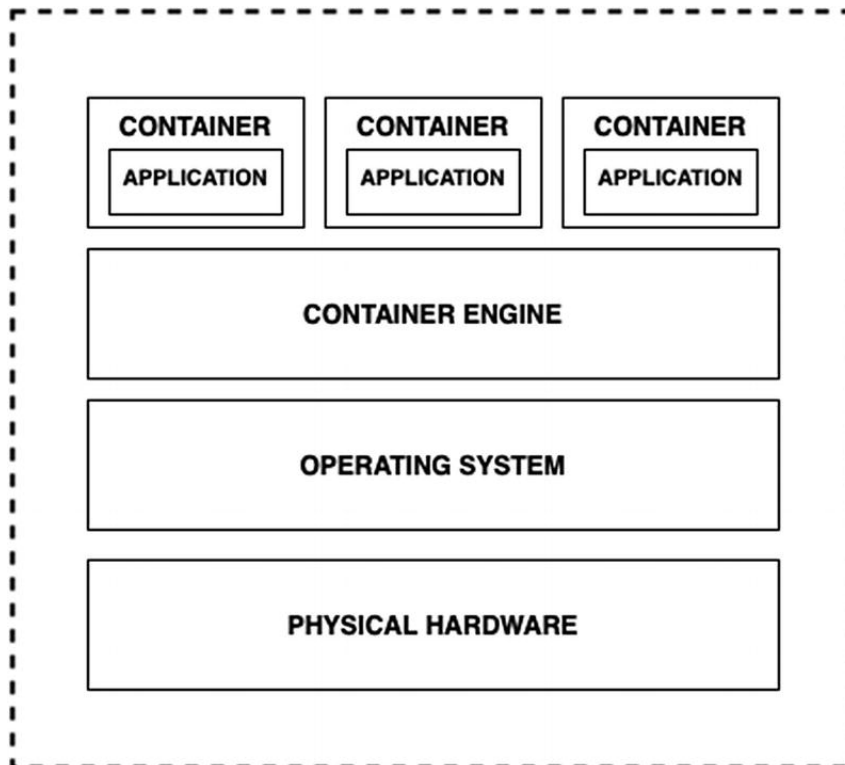


Abbildung 8 Architektur einer Container-Virtualisierung
(HOOGENDOORN, 2021, S. 7)

1.2 Überblick über VMware und seine Produkte

1.2.1 VMware vSphere

VMware vSphere ist eine führende Plattform zur Servervirtualisierung, die Unternehmen bei der Optimierung und Effizienzsteigerung ihrer IT-Infrastruktur unterstützt. Sie ermöglicht die Erstellung und Verwaltung mehrerer VMs auf einem einzigen physischen Server. Eine zentrale Funktion von vSphere ist die hohe Verfügbarkeit, die durch vSphere High Availability (HA) und vSphere Fault Tolerance (FT) gewährleistet wird. Diese Technologien ermöglichen die automatische Wiederherstellung von VMs und schützen kritische Anwendungen durch die Erstellung einer vollständigen Kopie der VM auf einem anderen Host.

vSphere bietet darüber hinaus Skalierbarkeit und hohe Leistung, indem es große VMs mit vielen virtuellen CPUs und großen Speichermengen unterstützt und die Ressourcennutzung durch den vSphere Distributed Resource Scheduler (DRS) optimal auf die verschiedenen Server verteilt. Management und Automatisierung sind weitere zentrale Funktionen, die durch den vCenter Server und den vSphere Update Manager bereitgestellt werden. Diese Werkzeuge ermöglichen eine zentrale Verwaltung und automatische Patching-Prozesse.

Sicherheitsfunktionen sind ein integraler Bestandteil von vSphere. Die Plattform implementiert erweiterte Sicherheitsmaßnahmen, um die Integrität der virtuellen Infrastruktur zu gewährleisten. Insgesamt stellt VMware vSphere eine umfassende Lösung für die Virtualisierung und Verwaltung von Serverressourcen dar. Durch ihre hohe Verfügbarkeit, Leistungsfähigkeit, Sicherheit und Automatisierung bildet sie eine solide Grundlage für moderne IT-Infrastrukturen.

1.2.2 VMware vCenter

VMware vCenter stellt eine zentrale Verwaltungsplattform dar, die eine einheitliche Steuerung und Überwachung von VMware vSphere-Umgebungen ermöglicht. Zu den wichtigsten Funktionen von vCenter gehört die zentrale Verwaltung mehrerer ESXi-Hosts und VMs. Administratoren können die gesamte Infrastruktur über eine einzige Konsole verwalten, was für eine einfache Handhabung der virtuellen Umgebung sorgt.

Ein wesentliches Element von vCenter ist der vSphere Web Client, der eine benutzerfreundliche Oberfläche zur Verwaltung der virtuellen Infrastruktur bietet. Darüber hinaus unterstützt vCenter Funktionen wie vMotion, das die Live-Migration von VMs ohne Ausfallzeiten ermöglicht, sowie Storage vMotion, das ähnliche Migrationsfunktionen für Speichervolumen bietet.

vCenter ermöglicht auch die automatisierte Bereitstellung und Konfiguration von VMs mittels Vorlagen und Klonen, was die Skalierung und Verwaltung großer Infrastrukturen erleichtert. Darüber hinaus bietet es umfangreiche Überwachungs- und Reporting-Funktionen, die eine proaktive Verwaltung und Fehlerbehebung ermöglichen.

Ein weiteres zentrales Merkmal von vCenter ist die Integration von vSphere HA und DRS, die eine hohe Verfügbarkeit und optimale Ressourcennutzung gewährleisten. Diese Funktionen tragen dazu bei, die Betriebszeit und Effizienz der gesamten IT-Infrastruktur zu maximieren.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass VMware vCenter eine essenzielle Verwaltungsplattform für die virtuelle Infrastruktur von VMware darstellt. Durch ihre umfassenden Funktionen zur zentralen Steuerung, Optimierung und Überwachung von vSphere-Umgebungen nimmt sie eine Schlüsselrolle bei den VMware Produkten ein.

1.2.3 VMware vSAN

VMware vSAN ist eine softwaredefinierte Storage-Lösung, die direkt in den vSphere-Hypervisor integriert ist. Diese Lösung ermöglicht die Zusammenfügung lokaler Festplatten und Flash-Geräte zu einem gemeinsamen Speicherpool, der von allen Hosts innerhalb eines vSAN-Clusters genutzt werden kann. Diese Integration vereinfacht die Bereitstellung und Verwaltung, da keine separaten Storage-Arrays oder komplexe Konfigurationen erforderlich sind.

vSAN zeichnet sich durch hohe Leistung und Skalierbarkeit aus, indem es lokale SSDs und Festplatten kombiniert, um eine optimale Balance zwischen Latenz und Durchsatz zu erreichen. Die Lösung ist nahtlos in vSphere eingebunden und unterstützt sowohl All-Flash-Architekturen als auch hybride Konfigurationen. Funktionen wie Datenreplikation und Snapshots ermöglichen eine effiziente Datensicherung und Wiederherstellung ohne zusätzlichen Aufwand. Darüber hinaus kann die Speicherkapazität flexibel durch das Hinzufügen oder Entfernen von Festplatten angepasst werden, was einen minimalen Arbeitsaufwand erfordert.

Insgesamt stellt VMware vSAN eine flexible und effiziente Lösung für die Speicherung und Verwaltung von Daten in virtuellen Umgebungen dar.

1.2.4 VMware NSX

VMware NSX ist eine Netzwerkvirtualisierungs- und Sicherheitsplattform, die Netzwerke vollständig in Software definiert und verwaltet. Diese Lösung abstrahiert Netzwerkfunktionen von der zugrunde liegenden Hardware und bietet eine flexible, agile und skalierbare Netzwerkarchitektur. Ein zentrales Merkmal von NSX ist die Implementierung und Verwaltung von Netzwerkelementen wie Routern, Switches, Firewalls und Load Balancern in einer virtuellen Umgebung.

NSX ermöglicht eine Mikrosegmentierung des Netzwerks, was eine fein granulierte Sicherheitskontrolle und Isolation von Netzwerksegmenten zur Folge hat. Dadurch wird die Sicherheit erhöht, da jede Anwendung und jeder Workload individuell geschützt werden kann. Mithilfe verschiedener Überwachungs- und Analysefunktionen kann ein detaillierter Einblick in den Netzwerkverkehr und die Sicherheitslage geliefert werden.

Die Plattform unterstützt zudem die Automatisierung und Orchestrierung von Netzwerk- und Sicherheitsdiensten. Die Integration von physischen Netzwerken und Cloud-Umgebungen ist problemlos möglich, was eine nahtlose Verbindung und Verwaltung von Netzwerken über verschiedene Infrastrukturen hinweg ermöglicht.

1.2.5 VMware Site Recovery Manager (SRM)

VMware SRM ist eine Disaster-Recovery-Lösung, die darauf abzielt, die Wiederherstellung von IT-Umgebungen bei Ausfällen zu automatisieren und zu vereinfachen. Durch vordefinierte Wiederherstellungspläne ermöglicht SRM eine koordinierte und schnelle Wiederherstellung von VMs und Anwendungen an einem sekundären Standort, was Ausfallzeiten und Datenverluste minimiert. Diese Pläne können regelmäßig getestet werden, ohne den laufenden Betrieb zu unterbrechen.

SRM unterstützt die Datenreplikation zwischen primären und sekundären Standorten entweder durch native vSphere-Replikation oder durch Integration mit Speicherreplikationslösungen von Drittanbietern. Diese Flexibilität gestattet die Nutzung bestehender Speicherinfrastrukturen, während gleichzeitig die Wiederherstellung automatisiert wird.

1.2.6 VMware Aria Suite (ehemals vRealize Suite)

Die VMware Aria Suite ist eine umfassende Cloud-Management-Plattform, die Werkzeuge zur Automatisierung, Verwaltung und Analyse von Cloud-Umgebungen bereitstellt. Diese Suite ermöglicht es Unternehmen, ihre IT-Infrastrukturen effizienter zu betreiben und die Bereitstellung von IT-Services zu optimieren.

Mit VMware Aria Automation lassen sich wiederkehrende Aufgaben automatisieren und Self-Service-IT bereitstellen. Dies führt zu einer schnelleren Ressourcenbereitstellung und verringert die Fehlerquote durch manuelle Eingriffe.

Darüber hinaus umfasst die Suite Überwachungs- und Analysewerkzeuge wie VMware Aria Operations. Diese ermöglichen eine kontinuierliche Überwachung der IT-Infrastruktur, proaktive Problemerkennung und Leistungsoptimierung. Durch fortschrittliche Analysen und maschinelles Lernen bietet Aria Operations tiefgehende Einblicke in die Systemleistung und unterstützt die Vorhersage und Vermeidung von Engpässen.

Ein weiteres Element der Aria Suite ist das Log-Management. VMware Aria Operations for Logs stellt eine Plattform zur Erfassung, Verwaltung und Analyse von Log-Daten bereit. Dies unterstützt die schnelle Fehlerbehebung und erhöht die Transparenz in der gesamten IT-Umgebung.

1.2.7 VMware Tanzu

VMware Tanzu ist eine Plattform zur Verwaltung von containerisierten Anwendungen und Kubernetes-Clustern, die die Entwicklung, Bereitstellung und Verwaltung moderner Anwendungen vereinfacht und beschleunigt. Ein zentrales Merkmal von Tanzu ist die Unterstützung von Kubernetes, das sowohl in On-Premises-Umgebungen als auch in verschiedenen Public Clouds bereitgestellt und verwaltet werden kann. Dies ermöglicht eine flexible Nutzung in hybriden und Multi-Cloud-Umgebungen.

Die Integration mit vSphere erleichtert die Verwaltung von containerisierten Workloads neben traditionellen VMs, was eine einheitliche Plattform für alle Workloads bietet und den Übergang zu containerisierten Anwendungen vereinfacht.

1.2.8 VMware Cloud Director

VMware Cloud Director stellt eine spezialisierte Plattform für die Bereitstellung und Verwaltung von Cloud-Diensten dar, die primär auf die Anforderungen von Cloud-Service-Providern ausgerichtet ist. Die Plattform ermöglicht die Implementierung und Verwaltung von Multi-Tenant-Cloud-Infrastrukturen, wobei mehrere Kunden sicher und isoliert auf einer gemeinsamen Infrastruktur operieren können. Ein Merkmal von VMware Cloud Director ist die Fähigkeit, virtuelle Rechenzentren zu erstellen, die als isolierte Umgebungen für einzelne Kunden fungieren und entsprechend den spezifischen Anforderungen konfiguriert werden können.

Ein weiteres zentrales Element der Plattform sind die Self-Service-Funktionen, die es den Nutzern erlauben, ihre eigenen Ressourcen zu verwalten. Dies umfasst unter anderem die Bereitstellung VMs sowie die Konfiguration von Netzwerken. Zudem unterstützt VMware Cloud Director die Automatisierung und Orchestrierung von Cloud-Diensten.

Darüber hinaus spielen die Sicherheits- und Compliance-Verwaltung eine wesentliche Rolle. Durch Funktionen wie Mikrosegmentierung, rollenbasierte Zugriffssteuerung und Verschlüsselung wird die Sicherheit der Daten und Anwendungen in einer Multi-Tenant-Umgebung gewährleistet.

1.2.9 VMware HCX

VMware HCX (Hybrid Cloud Extension) ist eine Plattform, die die Migration und Replikation von Anwendungen und Daten zwischen Rechenzentren und Cloud-Umgebungen vereinfacht und automatisiert. Sie ermöglicht nahtlose und

unterbrechungsfreie Migrationen, wodurch Workloads ohne Ausfallzeiten verschoben werden können.

HCX stellt verschiedene Migrationsmethoden zur Verfügung, darunter Live-Migration, Bulk-Migration und Replikation, um Workloads entsprechend den spezifischen Anforderungen zu transferieren. Die Plattform unterstützt sowohl hybride als auch Multi-Cloud-Umgebungen, indem sie On-Premises-Rechenzentren mit Public Clouds verbindet. Darüber hinaus optimiert HCX die Netzwerkleistung durch WAN-Optimierung und Netzwerkerweiterung.

2 Theoretische Vergleichsanalyse

2.1 Methodik für die Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die Methodik zur Durchführung der Wirtschaftlichkeitsanalyse dieser Arbeit basiert auf einem strukturierten Bewertungsansatz, der eine umfassende Bewertung sowohl ökonomischer als auch technischer und organisatorischer Faktoren ermöglicht. Die Analyse zielt darauf ab, eine objektive und transparente Bewertung der verschiedenen Virtualisierungssoftwarelösungen durchzuführen, indem ein standardisiertes Punktesystem verwendet wird.

Bewertungsansatz

Der Bewertungsansatz sieht vor, die Virtualisierungssoftware anhand einer Reihe vordefinierter Kriterien zu bewerten, die in drei Hauptkategorien unterteilt sind: technische, wirtschaftliche und organisatorische Faktoren. Jede Kategorie umfasst spezifische Kriterien, welche in **Abschnitt 2.3** ausführlich beschrieben sind und wie folgt bewertet werden:

- 1 Punkt: Erfüllung des Kriteriums ist unzureichend.
- 2 Punkte: Erfüllung des Kriteriums ist zufriedenstellend.
- 3 Punkte: Erfüllung des Kriteriums ist hervorragend.

Diese Punkteskala erlaubt eine differenzierte Bewertung der Softwarelösungen und ermöglicht es, die Gesamtleistung der Softwarelösungen quantitativ zu erfassen. Durch diese methodische Herangehensweise kann eine objektive Vergleichbarkeit der verschiedenen Virtualisierungsprodukte gewährleistet werden.

Gewichtung der Kriterien

Um den unterschiedlichen Prioritäten und Anforderungen der Unternehmen Rechnung zu tragen, können die erzielten Punkte mit einem Gewichtungsfaktor multipliziert werden. Diese Gewichtung ermöglicht eine Anpassung der Bewertung an die spezifischen Bedürfnisse und Schwerpunkte des jeweiligen Unternehmens. Die Gewichtung der Faktoren wird in dieser Arbeit dazu genutzt, verschiedene Unternehmensgrößen widerzuspiegeln und deren Spezielle Anforderungen möglichst gut zu berücksichtigen.

Verschiedene Unternehmensgröße

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse wird für drei verschiedene Unternehmen erstellt, um eine breite Anwendbarkeit sicherzustellen. Eingeteilt werden diese wie folgt:

- **Kleinunternehmen:** Geringe Anzahl von Servern, niedrige bis moderate Virtualisierungsanforderungen.
- **Mittlere Unternehmen:** Mittlere Anzahl von Servern, moderate bis hohe Virtualisierungsanforderungen.
- **Großunternehmen:** Hohe Anzahl von Servern, sehr hohe Virtualisierungsanforderungen.

Ein entscheidender Faktor bei der Analyse unterschiedlicher Unternehmenstypen ist die variierende Größe der Server-Infrastrukturen. Insbesondere kleinere Unternehmen könnten durch Änderungen in der Lizenzierungsstruktur von VMware vor Herausforderungen stehen. Diese Firmen nutzen möglicherweise nur einen kleinen Teil des gesamten Produktangebots von VMware und müssen durch die Einführung von lediglich zwei Abonnementmodellen, die Zugang zu allen Produkten bieten, potenziell höhere Ausgaben in Kauf nehmen. Dies führt dazu, dass Unternehmen auch für ungenutzte Produkte zahlen müssen, was die Gesamtkosten für ihre virtuelle Umgebung erhöht.

Genaue Details zur Infrastruktur der zu bewertenden Unternehmen werden zusammen mit der Gewichtung der Faktoren im **Abschnitt 2.5** aufgezeigt.

Bewertung der wirtschaftlichen Faktoren

Durch die Möglichkeit verschieden hoher Kosten, werden die wirtschaftlichen Faktoren für jeden Unternehmenstyp separat ermittelt, basierend auf den spezifischen Produkten, die voraussichtlich benötigt werden. Diese Berechnung erfolgt im direkten Vergleich mit VMware unter identischen Konfigurationsbedingungen.

Diese Bewertungsmethode ermöglicht eine präzise und differenzierte Analyse der Kostenstruktur für verschiedene Unternehmensgrößen und -typen. Während die wirtschaftlichen Faktoren individuell berechnet und bewertet werden, bleiben die Bewertungskriterien der anderen Faktor-Kategorien unverändert. Lediglich die Gewichtung dieser Kategorien wird angepasst, um den spezifischen Anforderungen und Prioritäten der unterschiedlichen Unternehmensgrößen gerecht zu werden.

Disclaimer

Es ist wichtig anzumerken, dass nicht alle Faktoren rein objektiv bewertet werden können. Einige Kriterien, wie beispielsweise die Benutzerfreundlichkeit, enthalten eine subjektive Komponente, da die Bewertung stark von den individuellen Erfahrungen und Präferenzen der Nutzer abhängt. Ebenso kann die Zukunftssicherheit der Virtualisierungssoftware nur begrenzt prognostiziert werden, da zukünftige technologische Entwicklungen und Veränderungen nicht mit absoluter Sicherheit vorhergesagt werden können. Daher sind die Bewertungen dieser Faktoren als Annäherungen zu verstehen, die auf den derzeit verfügbaren Informationen und Einschätzungen beruhen.

2.2 Auswahlkriterien für alternative Virtualisierungssoftware

2.3 Kriterien für die Bewertung

Für eine fundierte und objektive Bewertung der Virtualisierungssoftware ist es unerlässlich, die Bewertungskriterien im Voraus festzulegen. Dies verhindert eine voreingenommene Beurteilung und gewährleistet, dass die Analyse transparent und unparteiisch erfolgt. Durch die frühzeitige Festlegung der Kriterien können alle Softwarelösungen einheitlich und vergleichbar bewertet werden.

Die Kriterien wurden in drei Kategorien unterteilt: technische, wirtschaftliche und organisatorische Faktoren. Jedes Kriterium trägt dazu bei, ein vollständiges Bild der jeweiligen Virtualisierungssoftware zu zeichnen und ihre Stärken und Schwächen im Vergleich zu anderen Lösungen aufzuzeigen. Diese Kategorisierung spiegelt die verschiedenen Perspektiven wider, die Unternehmen bei der Auswahl einer Virtualisierungssoftware berücksichtigen müssen. Technische Faktoren, wie Leistung und Skalierbarkeit, sind entscheidend für die tägliche Nutzung und den Betrieb. Wirtschaftliche Faktoren, wie Total cost of ownership (TCO) und Return on Investment (ROI), beeinflussen die finanzielle Rentabilität der Software. Organisatorische Faktoren, wie Benutzerfreundlichkeit und Zukunftssicherheit, betreffen die langfristige Integration und Nutzung der Software im Unternehmen.

Diese differenzierte Betrachtung ist von Bedeutung, da Unternehmen nicht nur wirtschaftliche Aspekte berücksichtigen, sondern auch sicherstellen müssen, dass die Software den spezifischen Anforderungen ihrer IT-Infrastruktur und Geschäftsprozesse entspricht. Nur durch eine ganzheitliche Bewertung, die alle relevanten Kriterien einbezieht, kann eine fundierte Entscheidung getroffen werden, die sowohl wirtschaftlich als auch operativ sinnvoll ist.

Die nachfolgende detaillierte Analyse der einzelnen Kriterien schafft eine klare Bewertungsgrundlage, die es ermöglicht, die verschiedenen Virtualisierungssoftwarelösungen umfassend zu vergleichen und die bestmögliche Entscheidung für das Unternehmen zu treffen.

2.3.1 Technische Faktoren

2.3.1.1 Leistung und Skalierbarkeit

Die Leistung und Skalierbarkeit einer Virtualisierungssoftware sind wesentliche Kriterien, da sie die Fähigkeit des Systems bestimmen, hohe Lasten effizient zu bewältigen und das Wachstum des Unternehmens zu unterstützen. Eine leistungsstarke Software kann mehrere VMs simultan betreiben, ohne die Gesamtleistung zu beeinträchtigen. Dies ist besonders relevant in Umgebungen mit intensiven Arbeitslasten, wie beispielsweise bei Datenbanken oder Anwendungsservern. Die Skalierbarkeit bezieht sich auf die Fähigkeit, Ressourcen dynamisch zuzuweisen und zu erweitern, um zukünftige Anforderungen zu erfüllen. Ohne diese Eigenschaften könnten Engpässe auftreten, die das Unternehmenswachstum behindern.

Punktevergabe:

- **1 Punkt:** Unterstützung von maximal 50 VMs gleichzeitig, erhebliche Leistungseinbußen bei hoher Last, keine dynamische Ressourcenzuweisung.
- **2 Punkte:** Unterstützung von bis zu 500 VMs gleichzeitig, moderate Leistungseinbußen unter hoher Last, grundlegende dynamische Ressourcenzuweisung.
- **3 Punkte:** Unterstützung von mehr als 500 VMs gleichzeitig, keine spürbaren Leistungseinbußen bei extremer Last, umfassende dynamische Ressourcenzuweisung.

2.3.1.2 Support Zeit

Ein umfassender und flexibler Support ist für den kontinuierlichen Betrieb in kritischen Umgebungen unerlässlich. Supportzeiten, die auf Werktage und bestimmte Stunden beschränkt sind, können das Risiko von Ausfallzeiten erhöhen, da Probleme außerhalb dieser Zeiten nicht sofort gelöst werden können. Dies ist besonders relevant für global tätige Unternehmen, die rund um die Uhr operieren. Ein guter Support umfasst schnelle Reaktionszeiten, qualitativ hochwertige technische Unterstützung und die Verfügbarkeit von Supportressourcen wie Wissensdatenbanken und Community-Foren.

Punktevergabe:

- **1 Punkt:** Kein offizieller Support oder lediglich Forenunterstützung.
- **2 Punkte:** Offizieller Support, aber nicht Rund-um-die-Uhr-Support (24/7)
- **3 Punkte:** Rund-um-die-Uhr-Support (24/7).

2.3.1.3 Produktvielfalt

Die Produktvielfalt einer Virtualisierungssoftware bezieht sich darauf, ob die Software alle notwendigen Funktionen und Werkzeuge bietet, die für den täglichen Betrieb und die Verwaltung der IT-Infrastruktur erforderlich sind. Dies umfasst grundlegende Virtualisierungsfunktionen sowie erweiterte Features wie integrierte Backup-Lösungen, Monitoring- und Management-Tools, Netzwerkvirtualisierung und Sicherheitsfunktionen. Eine breite Produktpalette ermöglicht es einem Unternehmen, alle seine Virtualisierungsanforderungen mit einer einzigen Lösung abzudecken, was die Komplexität der Verwaltung reduziert.

Punktevergabe:

- **1 Punkt:** Nur grundlegende Virtualisierungsfunktionen (z.B. Erstellen und Verwalten von VMs).
- **2 Punkte:** Zusätzliche Funktionen wie integrierte Backup-Lösungen und grundlegende Monitoring-Tools.
- **3 Punkte:** Umfangreiche Suite an Funktionen.

2.3.1.4 Kompatibilität

Die Kompatibilität der Virtualisierungssoftware mit den bestehenden IT-Systemen und Anwendungen ist ein kritischer Faktor, um eine nahtlose Integration und einen reibungslosen Betrieb zu gewährleisten. Die Software sollte eine breite Palette von Betriebssystemen, Hardwareplattformen, Netzwerkprotokollen und Softwareanwendungen unterstützen, um sicherzustellen, dass sie in die bestehende IT-Infrastruktur des Unternehmens integriert werden kann. Dies verhindert Integrationsprobleme und minimiert den Bedarf an umfangreichen Anpassungen, die zusätzliche Kosten und Aufwand verursachen könnten.

Punktevergabe:

- **1 Punkt:** Unterstützt nur eine begrenzte Anzahl von Betriebssystemen und Hardwareplattformen.
- **2 Punkte:** Unterstützt mehrere Betriebssysteme und Hardwareplattformen, akzeptable Unterstützung für Netzwerkprotokolle und Softwareanwendungen.

- **3 Punkte:** Unterstützt eine breite Palette von Betriebssystemen, Hardwareplattformen, Netzwerkprotokollen und Softwareanwendungen, nahtlose Integration in bestehende IT-Infrastrukturen.

2.3.1.5 Sicherheit

Sicherheitsmerkmale sind von zentraler Bedeutung, um die Daten und Systeme des Unternehmens vor internen und externen Bedrohungen zu schützen. Dies umfasst die Unterstützung von Verschlüsselungstechnologien, sichere Authentifizierungs- und Autorisierungsverfahren, regelmäßige Sicherheitsupdates und Patches sowie die Einhaltung relevanter Sicherheitsstandards und -vorschriften wie ISO 27001. Eine robuste Sicherheitsinfrastruktur ist entscheidend, um Datenverlust, Datenmissbrauch und andere Sicherheitsverletzungen zu verhindern und die Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit von Informationen sicherzustellen.

Punktevergabe:

- **1 Punkt:** Grundlegende Sicherheitsfunktionen, unregelmäßige Sicherheitsupdates, keine Verschlüsselung.
- **2 Punkte:** Erweiterte Sicherheitsfunktionen, regelmäßige Sicherheitsupdates, Unterstützung grundlegender Verschlüsselungstechnologien.
- **3 Punkte:** Umfassende Sicherheitsinfrastruktur, fortschrittliche Verschlüsselungstechnologien, sichere Authentifizierungs- und Autorisierungsverfahren, regelmäßige und schnelle Updates, Einhaltung relevanter Sicherheitsstandards und -vorschriften.

2.3.1.6 Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit

Hohe Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit sind essenziell für den kontinuierlichen Geschäftsbetrieb. Die Virtualisierungssoftware sollte Mechanismen zur Erhöhung der Systemverfügbarkeit bieten, wie Failover- und Redundanzfunktionen sowie Disaster-Recovery-Optionen. Eine zuverlässige Softwarelösung minimiert Ausfallzeiten und stellt sicher, dass die Unternehmensdienste auch bei Hardwareausfällen oder anderen Störungen verfügbar bleiben. Dies ist besonders wichtig für Unternehmen, die auf kontinuierlichen Zugang zu ihren IT-Systemen angewiesen sind, um geschäftskritische Anwendungen zu betreiben.

Punktevergabe:

- **1 Punkt:** Keine Redundanz- oder Failover-Funktionen, keine Disaster-Recovery-Optionen.

- **2 Punkte:** Eingeschränkte Redundanz- und Failover-Funktionen, grundlegende Disaster-Recovery-Optionen.
- **3 Punkte:** Umfangreiche Redundanz- und Failover-Funktionen, fortschrittliche Disaster-Recovery-Optionen, garantierte Verfügbarkeit.

2.3.2 Wirtschaftliche Faktoren

2.3.2.1 Total cost of ownership (TCO)

Die Gesamtkosten für den Besitz (TCO) umfassen alle direkten und indirekten Kosten, die mit der Implementierung und dem Betrieb der Virtualisierungssoftware verbunden sind. Dazu gehören nicht nur die Anschaffungskosten, sondern auch laufende Kosten wie Wartungsgebühren und Schulungskosten. Eine gründliche TCO-Analyse hilft, die langfristige Wirtschaftlichkeit der Software zu bewerten, indem sie alle potenziellen Kosten berücksichtigt und einen umfassenden Überblick über die finanziellen Auswirkungen der Softwareeinführung bietet.

Punktevergabe:

- **1 Punkt:** TCO ist deutlich höher als bei VMware.
- **2 Punkte:** TCO ist vergleichbar mit VMware.
- **3 Punkte:** TCO ist deutlich niedriger als bei VMware.

2.3.2.2 Annual Cost Savings

Diese Kennzahl vergleicht die jährlichen Einsparungen, die durch den Einsatz der neuen Software im Vergleich zur bestehenden Lösung erzielt werden. Sie ist wesentlich, um zu beurteilen, wie viel das Unternehmen jährlich durch den Wechsel einsparen kann und bietet eine solide Grundlage zur Bewertung der langfristigen Wirtschaftlichkeit der neuen Lösung.

Punktevergabe:

- **1 Punkt:** Teurer als VMware.
- **2 Punkte:** Vergleichbar mit VMware.
- **3 Punkte:** Günstiger als VMware.

2.3.2.3 Return on Investment (ROI)

Der ROI bewertet, wie schnell und in welchem Umfang sich die Investition in die Virtualisierungssoftware auszahlt. Ein hoher ROI bedeutet, dass die Software schnell Einsparungen oder zusätzliche Einnahmen generiert, die die anfänglichen

Investitionen übersteigen. Dies ist wichtig, um die finanziellen Vorteile der Software zu quantifizieren und ihre Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu anderen Optionen zu bewerten. Die Berechnung des ROI berücksichtigt Einsparungen durch erhöhte Effizienz, reduzierte Ausfallzeiten und verbesserte Ressourcennutzung sowie potenzielle Einnahmensteigerungen.

Punktevergabe:

- **1 Punkt:** Negativer oder sehr geringer positiver ROI (unter 10%).
- **2 Punkte:** Moderater ROI (10%-50%).
- **3 Punkte:** Hoher ROI (über 50%).

2.3.2.4 Break-Even-Point

Der Break-Even-Point bestimmt den Zeitpunkt, an dem die durch die neue Software erzielten Einsparungen die anfänglichen Investitionskosten vollständig decken. Diese Kennzahl ist hilfreich, um zu ermitteln, ab wann die Software wirtschaftlich rentabel wird, und ermöglicht eine fundierte Planung der Amortisation der Investition.

Punktevergabe:

- **1 Punkt:** Über 5 Jahre.
- **2 Punkte:** Zwischen 2 und 5 Jahren.
- **3 Punkte:** Unter 2 Jahren.

2.3.3 Organisatorische Faktoren

2.3.3.1 Benutzerfreundlichkeit und Schulung

Die Benutzerfreundlichkeit der Software beeinflusst direkt die Effizienz und Zufriedenheit der Nutzer. Eine intuitive Benutzeroberfläche erleichtert die Bedienung und reduziert die Lernkurve, wodurch die Einarbeitungszeit verkürzt und die Produktivität gesteigert wird. Ein wichtiger Aspekt hierbei ist, dass die Software dem Nutzer nicht bei der Bedienung hinderlich sein darf, sodass dieser sich keine Gedanken um die Nutzung machen muss und sich vollständig auf seine Aufgaben konzentrieren kann. Der Nutzer sollte stets die Kontrolle über die Software haben, nicht umgekehrt. Umfassende Schulungsressourcen, wie Schulungsvideos, Handbücher und Support-Foren, sind wichtig, um den Nutzern zu helfen, das volle Potenzial der Software auszuschöpfen. Dies trägt dazu bei, Fehler zu minimieren und sicherzustellen, dass die Nutzer die Software effektiv und effizient einsetzen können.

Punktevergabe:

- **1 Punkt:** Komplexe und schwer verständliche Benutzeroberfläche, keine oder sehr wenige Schulungsressourcen.
- **2 Punkte:** Akzeptable Benutzerfreundlichkeit, einige Schulungsressourcen, die Software ist größtenteils benutzerfreundlich, erfordert jedoch eine gewisse Eingewöhnungszeit.
- **3 Punkte:** Intuitive und leicht verständliche Benutzeroberfläche, umfassende Schulungsressourcen, die Software hindert die Nutzer nicht bei der Bedienung und ermöglicht es ihnen, sich vollständig auf ihre Aufgaben zu konzentrieren.

2.3.3.2 Anpassungsfähigkeit

Die Anpassungsfähigkeit der Software bezieht sich auf ihre Fähigkeit, sich an die spezifischen Bedürfnisse und Anforderungen des Unternehmens anzupassen. Dies umfasst die Möglichkeit, benutzerdefinierte Konfigurationen und Integrationen vorzunehmen, um die Software optimal in die bestehende IT-Infrastruktur zu integrieren. Ein mittelständisches Unternehmen, das schnell wächst und sich ständig ändernde Geschäftsanforderungen hat, benötigt eine Virtualisierungssoftware, die leicht konfigurierbar ist und sich an neue Prozesse anpassen lässt. Eine flexible Software kann besser an individuelle Geschäftsprozesse angepasst werden und somit die Effizienz und Effektivität erhöhen. Dies beinhaltet auch die Fähigkeit, die Software an veränderte Geschäftsanforderungen anzupassen, ohne umfangreiche Neuinvestitionen tätigen zu müssen.

Punktevergabe:

- **1 Punkt:** Geringe Anpassungsfähigkeit, kaum Möglichkeiten zur benutzerdefinierten Konfiguration oder Integration in bestehende IT-Infrastrukturen.
- **2 Punkte:** Moderat anpassungsfähig, bietet einige Möglichkeiten zur benutzerdefinierten Konfiguration und Integration, jedoch mit Einschränkungen.
- **3 Punkte:** Hohe Anpassungsfähigkeit, umfassende Möglichkeiten zur benutzerdefinierten Konfiguration und Integration in bestehende IT-Infrastrukturen, flexibel an veränderte Geschäftsanforderungen anpassbar.

2.3.3.3 Zukunftssicherheit

Die Zukunftssicherheit der Software stellt sicher, dass sie langfristig unterstützt und weiterentwickelt wird. Dies umfasst die Kompatibilität mit zukünftigen Technologien und Standards sowie die Bereitschaft des Anbieters, regelmäßig Updates und neue Funktionen bereitzustellen. Eine zukunftssichere Software schützt die Investition des

Unternehmens und stellt sicher, dass die Software auch in den kommenden Jahren relevant und nützlich bleibt. Dies ist besonders wichtig in einem sich schnell wandelnden technologischen Umfeld, in dem veraltete Software schnell zu einem Wettbewerbsnachteil werden kann.

Punktevergabe:

- **1 Punkt:** Keine oder seltene Updates, geringe Kompatibilität mit zukünftigen Technologien und Standards.
- **2 Punkte:** Regelmäßige Updates, akzeptable Kompatibilität mit zukünftigen Technologien und Standards, jedoch mit Einschränkungen.
- **3 Punkte:** Häufige und regelmäßige Updates, hohe Kompatibilität mit zukünftigen Technologien und Standards, fortlaufende Weiterentwicklung und Unterstützung durch den Anbieter.

2.3.3.4 Referenzen und Erfolgsgeschichten

Referenzen und Erfolgsgeschichten anderer Unternehmen, die die Software erfolgreich implementiert haben, sind wichtige Indikatoren für ihre Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit. Positive Erfahrungsberichte und Fallstudien können Vertrauen in die Software stärken und ihre Eignung für ähnliche Anwendungsfälle demonstrieren. Dies hilft, das Risiko bei der Implementierung zu minimieren und fundierte Entscheidungen zu treffen, indem es zeigt, wie die Software in der Praxis funktioniert und welche Vorteile sie anderen Unternehmen gebracht hat.

Punktevergabe:

- **1 Punkt:** Keine oder kaum Referenzen und Erfolgsgeschichten.
- **2 Punkte:** Einige positive Referenzen und Erfolgsgeschichten.
- **3 Punkte:** Viele positive Referenzen und Erfolgsgeschichten, weit verbreitete Nutzung durch andere Unternehmen.

2.4 Alternative Virtualisierungssoftwares

2.4.1 Microsoft Hyper-V

Microsoft Hyper-V stellt eine vielversprechende Alternative zu VMware ESXi dar, insbesondere für Unternehmen, die bereits intensiv Microsoft-Produkte nutzen. Die enge Integration von Hyper-V in die Windows-Server-Infrastruktur ermöglicht eine

effiziente Verwaltung und Nutzung von Windows-Server-Funktionen, was eine bedeutende Erleichterung für IT-Abteilungen darstellt.¹⁹

Hyper-V bietet eine Vielzahl von Funktionen, die mit denen von VMware ESXi vergleichbar sind, wie Clustering, Live-Migrationen und hohe Verfügbarkeit, ohne zusätzliche Lizenzkosten. Dies macht Hyper-V zu einer kosteneffektiven Virtualisierungslösung. In Bezug auf die Skalierbarkeit kann Hyper-V eine erhebliche Anzahl von VMs und Hosts verwalten, was es für Organisationen jeder Größe geeignet macht.²⁰

Microsoft stellt umfassende Unterstützung und Zertifizierungen für Hyper-V bereit, was die Verwaltung und den Betrieb dieser Virtualisierungsplattform erheblich vereinfacht. Diese Faktoren machen Hyper-V zu einer bedeutenden Option als Alternative zu VMware.

2.4.2 Proxmox VE

Proxmox VE stellt eine überzeugende Open-Source-Alternative zu VMware ESXi dar. Es kombiniert KVM (Kernel-based Virtual Machine) und LXC (Linux Containers) und bietet dadurch flexible Virtualisierungsoptionen. Die webbasierte Benutzeroberfläche ermöglicht eine intuitive Verwaltung der IT-Infrastruktur, was für große und kleine Unternehmen von Vorteil ist. Proxmox VE zeichnet sich durch seine Zukunftssicherheit und regelmäßige Updates aus, die durch eine große Open-Source-Community gewährleistet werden. Seit 2008 hat es sich als stabile und zuverlässige Lösung bewährt und etabliert.

Ein wesentlicher Vorteil von Proxmox VE sind die niedrigen Kosten, da es als Open-Source-Software kostenlos genutzt werden kann. Im Gegensatz zu VMware, das oft zusätzliche Lizenzgebühren für erweiterte Funktionen verlangt, bietet Proxmox VE viele dieser Funktionen standardmäßig ohne zusätzliche Kosten an. Kosten entstehen lediglich für optionale Support- und Serviceleistungen, was Proxmox VE zu einer äußerst kosteneffizienten Lösung macht.

2.4.3 Nutanix

Nutanix stellt eine leistungsfähige Alternative zu VMware dar, vor allem durch seine hyperkonvergente Infrastruktur (HCI), die Rechenleistung, Speicher und Netzwerk in einer einzigen, integrierten Plattform vereint. Diese Architektur vereinfacht die IT-Verwaltung erheblich, da keine separaten Speicher- oder Netzwerkressourcen

¹⁹ vgl. online: 2GT_Rich, 2024 (01.08.2024)

²⁰ vgl. online: 2GT_Rich, 2024 (01.08.2024)

erforderlich sind. Dabei handelt es sich um die benutzerfreundliche Management-Oberfläche Prism, die eine intuitive Verwaltung der gesamten Infrastruktur ermöglicht und umfassende Einblicke in alle IT-Ressourcen bietet. Diese Oberfläche erleichtert nicht nur den täglichen Betrieb, sondern auch die Implementierung und Skalierung neuer Workloads.²¹

Besonders hervorzuheben ist die Flexibilität von Nutanix bei der Wahl des Hypervisors. Neben dem eigenen AHV (Acropolis Hypervisor) unterstützt Nutanix auch VMware ESXi und Microsoft Hyper-V. Diese Multi-Hypervisor-Fähigkeit ermöglicht Unternehmen eine schrittweise Modernisierung ihrer Infrastruktur, ohne bestehende Systeme abrupt ersetzen zu müssen.²²

Nutanix zeichnet sich zudem durch seine hohe Leistung und Skalierbarkeit aus. Die Plattform ist darauf ausgelegt, unternehmenskritische Anwendungen mit hoher Verfügbarkeit und schneller Wiederherstellung zu unterstützen, was sie insbesondere für große Unternehmen und komplexe IT-Umgebungen attraktiv macht. Die Fähigkeit zur dynamischen Skalierung der Ressourcen trägt zur Effizienz und Zukunftssicherheit der Plattform bei.²³

Zusammenfassend bietet Nutanix durch seine hyperkonvergente Architektur, die Unterstützung mehrerer Hypervisoren, die benutzerfreundliche Verwaltung und die hohe Leistungsfähigkeit eine flexible und robuste Alternative zu VMware. Diese Eigenschaften machen Nutanix zu einer relevanten Option in der Wirtschaftlichkeitsanalyse dieser Arbeit.

Da konkrete Preisinformationen für Nutanix nicht verfügbar sind, ist eine Einbeziehung in die quantitative Wirtschaftlichkeitsanalyse in dieser Arbeit nicht möglich. Angesichts der bedeutenden Marktstellung von Nutanix im Bereich der Hyper-Converged Infrastructure (HCI) und seiner Reputation als innovativer Anbieter werden jedoch die technischen und organisatorischen Faktoren dieser Lösung dennoch untersucht. Diese qualitative Analyse ermöglicht eine fundierte Bewertung der Stärken und Schwächen von Nutanix im Vergleich zu anderen Virtualisierungslösungen und trägt dazu bei, die potenziellen Vorteile und Einsatzmöglichkeiten von Nutanix auch ohne genaue Preisangaben zu beleuchten.

²¹ vgl. online: Claudia Rothenhorst, 2024 (01.08.2024)

²² vgl. online: Claudia Rothenhorst, 2024 (01.08.2024)

²³ vgl. online: Claudia Rothenhorst, 2024 (01.08.2024)

3 Simulation und Szenario-Analyse

3.1 Aufbau von realitätsnahen Szenarien zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit

3.1.1 Szenarientwicklung und Fokus auf relevante Kostenfaktoren

Dieser Abschnitt beschreibt die Konstruktion von Szenarien zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Virtualisierungssoftware. Die ausgewählten Daten wurden so gestaltet, dass sie eine breite Palette von Unternehmensprofilen abdecken und dadurch eine fundierte Analyse ermöglichen. Ziel ist es, die spezifischen Anforderungen und Herausforderungen kleiner, mittlerer und großer Unternehmen möglichst realitätsnah zu modellieren.

Da keine Daten zum Vergleich der Energieeffizienz der untersuchten Virtualisierungssoftwarelösungen existieren und daher keine relevanten Unterschiede im Energieverbrauch erwartet werden, wird in dieser Analyse angenommen, dass die Strom- und Kühlungskosten konstant bleiben, genau wie die Mietkosten der Serverräume und Gehälter. Aus diesem Grund werden diese Kostenfaktoren nicht weiter berücksichtigt. Dies erlaubt es, die Analyse auf die variablen und entscheidungsrelevanten Kosten wie Lizenzgebühren, Wartungskosten und Implementierungskosten zu konzentrieren, die maßgeblich die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Softwarelösungen beeinflussen.

Im Folgenden werden die detaillierten Daten für die verschiedenen Unternehmensgrößen, die in der Analyse berücksichtigt werden, vorgestellt, wobei alle Preise Netto sind.

3.1.1.1 Kleinunternehmen

- 5 Server mit jeweils 1 Sockel
- CPUs mit je 16 Cores
- 40 Mitarbeiter
- Geringe support Anforderungen (Antwort bis nächsten Werktag)

VMware Lizenz: VMware vSphere Standard (VVS) 1 Jahr (50,00 € pro Core).²⁴

Die Wahl fiel auf die VMware vSphere Standard (VVS) Lizenz, da sie die kostengünstigste Option darstellt. Im Vergleich dazu wäre die vSphere Essentials Plus

²⁴ vgl. online: Enrico Köhle, 2024c (01.08.2024)

(VVEP) Lizenz eine Alternative, die jedoch für 3 Hosts und eine Laufzeit von einem Jahr 3.360,00 € kostet, somit teurer ist und im Vergleich weniger Funktionen bietet.²⁵

Hyper-V Lizenz: Microsoft Windows Server 2022 Standard (1.105,43 € pro 16 Cores und Host)²⁶, Device CAL (36,71 € pro Gerät)²⁷, User CAL (47,34 €)²⁸.

Die Microsoft Windows Server 2022 Standard enthält 2 Windows Server 2022 Lizenzen pro Host, für je zwei weitere Lizenzen kann eine weitere Microsoft Windows Server 2022 Standard Lizenz gekauft werden, hier wird aber angenommen, dass die Preise für die Lizenzen der VMs, für die Unternehmen gleichbleiben. CALs sind für jeden Nutzer und jedes Gerät notwendig, welches Dienste der Server nutzt. Die Preise sind Kaufpreise und können ohne weitere Kosten genutzt werden. Die Microsoft Windows Server 2022 Standard Edition enthält Lizenzen für den Betrieb von 2 Windows Server 2022 VMs pro Host. Für je zwei weitere VMs kann eine zusätzliche Lizenz der Windows Server 2022 Standard Edition erworben werden. Allerdings wird angenommen, dass die Lizenzkosten für die VMs für alle Unternehmen konstant bleiben, wenn nur die Virtualisierungssoftware gewechselt wird, weshalb diese Kosten nicht berücksichtigt werden. Client Access Licenses (CALs) sind erforderlich für jeden Benutzer und jedes Gerät, das auf die Serverdienste zugreift. Alle Lizenzen werden als Einmalkauf erworben und verursachen keine weiteren laufenden Kosten.²⁹

Proxmox VE Lizenz: Proxmox VE Basic 1 Jahr (340,00 € pro CPU).³⁰

Da die grundlegende Nutzung von Proxmox VE lizenzkostenfrei ist, fallen lediglich Kosten für den Support an. Bei der Basic-Version beträgt die Reaktionszeit auf Supportanfragen einen Werktag.³¹

Nutanix Lizenz: Kann aufgrund fehlender Preisinformationen nicht betrachtet werden, siehe **Abschnitt 2.4.3!**

3.1.1.2 Mittleres Unternehmen

- 25 Server mit jeweils 2 Sockel
- CPUs mit je 16 Cores
- 150 Mitarbeiter

²⁵ vgl. VMware by Broadcom, 2024, S. 1 - 13

²⁶ vgl. online: Stefan Barth (01.08.2024)

²⁷ vgl. online: Stefan Barth (01.08.2024)

²⁸ vgl. online: Stefan Barth (01.08.2024)

²⁹ vgl. online: Stefan Barth (01.08.2024)

³⁰ vgl. online: Proxmox (01.08.2024)

³¹ vgl. online: Proxmox (01.08.2024)

- Mittlere bis hohe support Anforderungen (Antwort nach wenigen Stunden, auch am Wochenende oder Feiertag)

VMware Lizenz: VMware vSphere Foundation (VVF) 1 Jahr (135,00 € pro Core).³²

Für das mittlere Unternehmen in diesem Beispiel bestehen bereits höhere Anforderungen, weshalb möglicherweise der Einsatz von Diensten wie Aria Operations in Betracht gezogen wird. Daher wurde die Entscheidung zugunsten der VVF-Version getroffen.

Hyper-V Lizenz: Microsoft Windows Server 2022 Standard (1.105,43 € pro 16 Cores und Host)³³, Device CAL (36,71 € pro Gerät)³⁴, User CAL (47,34 €)³⁵.

Auch hier werden alle Lizenzen als Einmalkauf erworben und verursachen keine weiteren laufenden Kosten.

Proxmox VE Lizenz: Proxmox VE Premium 1 Jahr (2040,00 € pro 2 CPUs).³⁶

Die Premium-Version von Proxmox VE bietet im Vergleich zur Basic-Version einen erweiterten Kundensupport, mit einer Reaktionszeit von bis zu 2 Stunden an Werktagen.³⁷

3.1.1.3 Großunternehmen

- 100 Server mit jeweils 2 Sockel
- CPUs mit je 32 Cores
- 1000 Mitarbeiter
- Sehr hohe Supportanforderungen (Antwort innerhalb einer Stunde, auch am Wochenende oder Feiertag)

VMware Lizenz: VMware Cloud Foundation (VCF) 1 Jahr (350,00 € pro Core).³⁸

VCF umfasst das vollständige Produktspektrum von VMware, was für große Unternehmen von erheblicher Bedeutung sein kann und die Verwaltung der virtuellen Umgebung erleichtert.³⁹

³² vgl. online: Enrico Köhle, 2024b (01.08.2024)

³³ vgl. online: Stefan Barth (01.08.2024)

³⁴ vgl. online: Stefan Barth (01.08.2024)

³⁵ vgl. online: Stefan Barth (01.08.2024)

³⁶ vgl. online: Proxmox (01.08.2024)

³⁷ vgl. online: Proxmox (01.08.2024)

³⁸ vgl. online: Enrico Köhle, 2024a (01.08.2024)

³⁹ vgl. online: Enrico Köhle, 2024a (01.08.2024)

Hyper-V Lizenz: Microsoft Windows Server 2022 Datacenter (6.367,78 € pro 16 Cores und Host)⁴⁰, Device CAL (36,71 € pro Gerät)⁴¹, User CAL (47,34 €)⁴².

Die Wahl fiel auf die Datacenter-Version von Windows Server 2022, da die Unternehmensgröße und die Serverkonfiguration es wahrscheinlich machen, dass mehrere Windows Server-Instanzen auf einem Host betrieben werden. Diese Version ermöglicht es, theoretisch unbegrenzt viele Windows Server 2022-Instanzen auf einem Host auszuführen, was zu erheblichen Kosteneinsparungen im Vergleich zur Lizenzierung mehrerer Standard-Versionen führt.⁴³

Proxmox VE Lizenz: Proxmox VE Premium 1 Jahr (2040,00 € pro 2 CPUs).⁴⁴

3.1.2 Gewichtung der zu bewertenden Faktoren

Die Gewichtung der Faktoren wurde auf Basis der spezifischen Anforderungen und Rahmenbedingungen für kleine, mittlere und große Unternehmen vorgenommen. Es ist zu beachten, dass die angegebenen Zahlen Schätzungen sind, die der jeweiligen Unternehmenssituation angepasst wurden. Sie sollen eine nachvollziehbare und fundierte Bewertung der Virtualisierungssoftware ermöglichen, können jedoch je nach Kontext variieren.

Kleinunternehmen

Technische Faktoren:

- Leistung und Skalierbarkeit: 1.2
- Supportzeit: 1.1
- Produktvielfalt: 0.8
- Kompatibilität: 1.4
- Sicherheit: 1.3
- Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit: 1.5

Wirtschaftliche Faktoren:

- TCO: 2.0
- ROI: 1.8
- Break-Even-Point: 1.6

⁴⁰ vgl. online: Stefan Barth (01.08.2024)

⁴¹ vgl. online: Stefan Barth (01.08.2024)

⁴² vgl. online: Stefan Barth (01.08.2024)

⁴³ vgl. online: Stefan Barth (01.08.2024)

⁴⁴ vgl. online: Proxmox (01.08.2024)

- Annual Cost Savings: 1.3

Organisatorische Faktoren:

- Benutzerfreundlichkeit und Schulung: 1.5
- Anpassungsfähigkeit: 1.2
- Zukunftssicherheit: 1.1
- Referenzen und Erfolgsgeschichten: 0.9

Begründung:

Kleine Unternehmen priorisieren in erster Linie wirtschaftliche Faktoren, da Kosteneffizienz von großer Bedeutung ist. Technische Aspekte wie Zuverlässigkeit und Kompatibilität spielen ebenfalls eine wesentliche Rolle, während organisatorische Faktoren wie Referenzen eine geringere Relevanz haben.

Mittleres Unternehmen

Technische Faktoren:

- Leistung und Skalierbarkeit: 1.5
- Supportzeit: 1.3
- Produktvielfalt: 1.2
- Kompatibilität: 1.5
- Sicherheit: 1.5
- Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit: 1.6

Wirtschaftliche Faktoren:

- TCO: 1.8
- ROI: 1.6
- Break-Even-Point: 1.5
- Annual Cost Savings: 1.4

Organisatorische Faktoren:

- Benutzerfreundlichkeit und Schulung: 1.4
- Anpassungsfähigkeit: 1.3
- Zukunftssicherheit: 1.2

- Referenzen und Erfolgsgeschichten: 1.0

Begründung:

Mittlere Unternehmen streben eine ausgewogene Berücksichtigung von technischen und wirtschaftlichen Faktoren an, wobei die Flexibilität und Skalierbarkeit der Lösungen besonders im Fokus stehen.

Großunternehmen

Technische Faktoren:

- Leistung und Skalierbarkeit: 1.8
- Supportzeit: 1.5
- Produktvielfalt: 1.4
- Kompatibilität: 1.6
- Sicherheit: 1.7
- Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit: 1.9

Wirtschaftliche Faktoren:

- TCO: 1.6
- ROI: 1.4
- Break-Even-Point: 1.3
- Annual Cost Savings: 1.5

Organisatorische Faktoren:

- Benutzerfreundlichkeit und Schulung: 1.3
- Anpassungsfähigkeit: 1.4
- Zukunftssicherheit: 1.5
- Referenzen und Erfolgsgeschichten: 1.1

Begründung:

Große Unternehmen legen verstärktes Augenmerk auf technische Aspekte wie Leistung, Sicherheit und Skalierbarkeit, um ihre komplexen IT-Infrastrukturen zu verwalten. Organisatorische Faktoren gewinnen hier an Bedeutung, da langfristige Planung und Zukunftssicherheit eine größere Rolle spielen.

3.2 Durchführung und Dokumentation der Wirtschaftlichkeitsberechnung

3.2.1 Kleinunternehmen

Der TCO wird über einen Zeitraum von fünf Jahren berechnet. Im Rahmen des Vergleichs mit VMware bedeutet dies, dass die anfänglichen Kosten sowie andere Lizenzkosten, die vor diesem Zeitraum für VMware entstanden sind, nicht in die Berechnung einfließen.

In dieser Analyse wurden keine Schulungskosten für VMware berücksichtigt, da davon ausgegangen wird, dass die IT-Mitarbeiter des Unternehmens bereits über fundierte Kenntnisse in der Nutzung der Virtualisierungsplattform verfügen. Zudem ist es realistisch anzunehmen, dass das Kleinunternehmen kein zusätzliches Budget für Schulungen aufwenden möchte, um die Kosten insgesamt gering zu halten.

	VMware
Lizenzkosten (1 Jahr)	50,00€ <i>pro Core</i>
Hosts	5
Cores pro CPU	16
Lizenzkosten pro Jahr	$50,00\text{€ pro Core} * 5 \text{ Hosts} * 16 \text{ Cores}$ $= 4.000,00\text{€}$
Wartungskosten (20% der Lizenzkosten pro Jahr)	$4.000,00\text{€} * 0,2 = 800,00\text{€}$
Annual Cost (Lizenzkosten pro Jahr + Wartungskosten)	$4.000,00\text{€} + 800,00\text{€} = 4.800,00\text{€}$
TCO (Annual Cost * 5 Jahre)	$4.800,00\text{€} * 5 \text{ Jahre} = \mathbf{24.000,00\text{€}}$

Tabelle 1 Wirtschaftlichkeitsberechnung von VMware im Kleinunternehmen

Da die Lizenzen für Microsoft Windows Server 2022 in dieser Analyse als Einmalkauf betrachtet wurden und somit keine jährlichen Lizenzkosten anfallen, erfolgt die Berechnung der Wartungskosten auf eine abweichende Weise. Hierfür werden 50% der ursprünglichen Lizenzkosten als Basis herangezogen, da dies den geschätzten jährlichen Kosten entspricht, wenn Windows Server 2022 im Abonnement lizenziert worden wäre. Anschließend werden 20% dieses Betrags als Wartungskosten berechnet.

	Hyper-V
Host Lizenzkosten	1.105,43€ <i>pro 16 Cores und Host</i>
Hosts	5
Cores pro CPU	16
Lizenzkosten aller Hosts	1.105,43€ * 5 <i>Hosts</i> = 5.527,15€
Device CAL	36,71€ <i>pro Gerät</i>
User CAL	47,34€ <i>pro User</i>
Mitarbeiter	40
CAL-Kosten	36,71€ * 40 + 47,34 € * 40 = 3.362,00€
Wartungskosten (20% der Lizenzkosten aller Hosts / 2)	$\left(\frac{5.527,15€}{2}\right) * 0.2 = 552,72€$
Annual Cost (= Wartungskosten)	552,72€
Investition (Lizenzkosten aller Hosts + CAL-Kosten)	5.527,15€ + 3.362,00€ = 8.889,15€
TCO (Investition + (Annual Cost * 5 Jahre))	8.889,15€ + (552,72€ * 5) = 11.652,75€
Annual Cost Savings (Annual Cost VMware - Annual Cost)	4.800,00€ – 552,72€ = 4.247,28€
ROI ((Annual Cost Saving / Investition) * 100)	$\left(\frac{4.247,28€}{8.889,15€}\right) * 100 \approx 47,8\%$
Break-Even-Point (Investition / Annual Cost Saving)	$\frac{8.889,15€}{4.247,28€} \approx 2.09 \text{ Jahre}$

Tabelle 2 Wirtschaftlichkeitsberechnung von Hyper-V im Kleinunternehmen

	Proxmox VE
Lizenzkosten (1 Jahr)	340,00€ <i>pro CPU</i>
Hosts	5
Socket pro Host	1
Lizenzkosten pro Jahr	$340,00€ * 5 \text{ Hosts} * 1 \text{ Socket}$ $= 1.700,00€$
Wartungskosten (20% der Lizenzkosten pro Jahr)	$1.700,00€ * 0.2 = 340,00€$
Annual Cost (Lizenzkosten pro Jahr + Wartungskosten)	$1.700,00€ + 340,00€ = 2.040,00€$
Investition	0,00€
TCO (Investition + (Annual Cost * 5 Jahre))	$2.040,00€ * 5 = \mathbf{10.200,00€}$
Annual Cost Savings (Annual Cost VMware - Annual Cost)	$4.800,00€ - 2.040,00€ = \mathbf{2.760,00€}$

Tabelle 3 Wirtschaftlichkeitsberechnung von Proxmox VE im Kleinunternehmen

Der ROI und der Break-Even-Point für Proxmox VE konnten nicht berechnet werden, da keine Investitionskosten anfallen. Dies ist jedoch positiv zu bewerten, da das Unternehmen sofort von Kosteneinsparungen profitiert, ohne eine langfristige Investitionsrendite oder die Amortisation der Kosten berücksichtigen zu müssen.

3.2.2 Mittleres Unternehmen

Für mittlere Unternehmen wurden einmalige Schulungskosten eingeplant, um das IT-Team angemessen auf die Implementierung der neuen Virtualisierungssoftware vorzubereiten.

	VMware
Lizenzkosten (1 Jahr)	135,00€ <i>pro Core</i>
Hosts	25
Socket pro Host	2
Cores pro CPU	16
Lizenzkosten pro Jahr	$135,00\text{€ pro Core} * 25 \text{ Hosts} * 2 \text{ Socket} * 16 \text{ Cores} = 108.000,00\text{€}$
Wartungskosten (20% der Lizenzkosten pro Jahr)	$108.000,00\text{€} * 0,2 = 21.600,00\text{€}$
Annual Cost (Lizenzkosten pro Jahr + Wartungskosten)	$108.000,00\text{€} + 21.600,00\text{€} = 129.600,00\text{€}$
TCO (Annual Cost * 5 Jahre)	$129.600,00\text{€} * 5 \text{ Jahre} = \mathbf{648.000,00\text{€}}$

Tabelle 4 Wirtschaftlichkeitsberechnung von VMware im mittleren Unternehmen

	Hyper-V
Host Lizenzkosten	1.105,43€ <i>pro 16 Cores und Host</i>
Hosts	25
Socket pro Host	2
Cores pro CPU	16
Lizenzkosten aller Hosts	$1.105,43€ * 25 \text{ Hosts} * 2 \text{ Socket}$ $= 55.271,50€$
Device CAL	36,71€ <i>pro Gerät</i>
User CAL	47,34€ <i>pro User</i>
Mitarbeiter	150
CAL-Kosten	$36,71€ * 150 + 47,34 € * 150$ $= 12.607,50€$
Wartungskosten (20% der Lizenzkosten aller Hosts / 2)	$\left(\frac{55.271,50€}{2}\right) * 0.2 = 5.527,15€$
Schulungskosten ⁴⁵	4.485,00€
Annual Cost (= Wartungskosten)	5.527,15€
Investition (Lizenzkosten aller Hosts + CAL-Kosten + Schulungskosten)	$55.271,50€ + 12.607,50€ + 4.485,00€$ $= 72.364,00€$
TCO (Investition + (Annual Cost * 5 Jahre))	$72.364,00€ + (5.527,15€ * 5)$ $= 99.999,75€$
Annual Cost Savings (Annual Cost VMware - Annual Cost)	$129.600,00€ - 5.527,15€$ $= 124.072,85€$
ROI ((Annual Cost Saving / Investition) * 100)	$\left(\frac{124.072,85€}{72.364,00€}\right) * 100 \approx 171,5\%$
Break-Even-Point (Investition / Annual Cost Saving)	$\frac{72.364,00€}{124.072,85€} \approx 0.58 \text{ Jahre}$

Tabelle 5 Wirtschaftlichkeitsberechnung von Hyper-V im mittleren Unternehmen

⁴⁵ vgl. online: IT-Schulungen (01.08.2024)

	Proxmox VE
Lizenzkosten (1 Jahr)	2040,00€ <i>pro 2 CPUs</i>
Hosts	25
Sockel pro Host	2
Lizenzkosten pro Jahr	2040,00€ * 25 <i>Hosts</i> = 51.000,00€
Wartungskosten (20% der Lizenzkosten pro Jahr)	51.000,00€ * 0.2 = 10.200,00€
Schulungskosten ⁴⁶	3.590,00€
Annual Cost (Lizenzkosten pro Jahr + Wartungskosten)	51.000,00€ + 10.200,00€ = 61.200,00€
Investition (= Schulungskosten)	3.590,00€
TCO (Investition + (Annual Cost * 5 Jahre))	3.590,00€ + (61.200,00€ * 5) = 309.590,00€
Annual Cost Savings (Annual Cost VMware - Annual Cost)	129.600,00€ – 61.200,00€ = 68.400,00€
ROI ((Annual Cost Saving / Investition) * 100)	$\left(\frac{68.400,00\text{€}}{3.590,00\text{€}}\right) * 100 \approx \mathbf{1.905,3\%}$
Break-Even-Point (Investition / Annual Cost Saving)	$\frac{3.590,00\text{€}}{68.400,00\text{€}} \approx \mathbf{0.05 \text{ Jahre}}$

Tabelle 6 Wirtschaftlichkeitsberechnung von Proxmox VE im mittleren Unternehmen

3.2.3 Großunternehmen

Bei Großunternehmen wurden im ersten Jahr zwei einmalige Schulungen sowie eine jährliche Schulung einkalkuliert, um die Mitarbeiter sowohl auf die Einführung als auch auf zukünftige Weiterentwicklungen der Software vorzubereiten.

⁴⁶ vgl. online: IT-Schulungen (01.08.2024)

	VMware
Lizenzkosten (1 Jahr)	350,00€ <i>pro Core</i>
Hosts	100
Socket pro Host	2
Cores pro CPU	32
Lizenzkosten pro Jahr	$350,00\text{€ pro Core} * 100 \text{ Hosts} * 2 \text{ Socket} * 32 \text{ Cores}$ = 2.240.000,00€
Wartungskosten (20% der Lizenzkosten pro Jahr)	$2.240.000,00\text{€} * 0,2 = 448.000,00\text{€}$
Annual Cost (Lizenzkosten pro Jahr + Wartungskosten)	$2.240.000,00\text{€} + 448.000,00\text{€}$ = 2.688.000,00€
TCO (Annual Cost * 5 Jahre)	$2.688.000,00\text{€} * 5 \text{ Jahre}$ = 13.440.000,00€

Tabelle 7 Wirtschaftlichkeitsberechnung von VMware im Großunternehmen

	Hyper-V
Host Lizenzkosten	6.367,78 € <i>pro 16 Cores und Host</i>
Hosts	100
Socket pro Host	2
Cores pro CPU	32
Lizenzkosten aller Hosts	$6.367,78 \text{ €} * 2 * 100 \text{ Hosts} * 2 \text{ Socket}$ $= 2.547.112,00\text{€}$
Device CAL	36,71€ <i>pro Gerät</i>
User CAL	47,34€ <i>pro User</i>
Mitarbeiter	1.000
CAL-Kosten	$36,71\text{€} * 1.000 + 47,34 \text{ €} * 1.000$ $= 84.050,00\text{€}$
Wartungskosten (20% der Lizenzkosten aller Hosts / 2)	$\left(\frac{2.547.112,00\text{€}}{2}\right) * 0.2 = 254.711,20\text{€}$
Schulungskosten ⁴⁷	4.485,00€
Annual Cost (= Wartungskosten + Schulungskosten)	$254.711,20\text{€} + 4.485,00\text{€} = 259.196,20\text{€}$
Investition (Lizenzkosten aller Hosts + CAL-Kosten + (Schulungskosten * 2))	$2.547.112,00\text{€} + 84.050,00\text{€}$ $+ (4.485,00\text{€} * 2)$ $= 2.640.132,00\text{€}$
TCO (Investition + (Annual Cost * 5 Jahre))	$2.640.132,00\text{€} + (259.196,20\text{€} * 5)$ $= \mathbf{3.936.113,00\text{€}}$
Annual Cost Savings (Annual Cost VMware - Annual Cost)	$2.688.000,00\text{€} - 259.196,20\text{€}$ $= \mathbf{2.428.803,80\text{€}}$
ROI ((Annual Cost Saving / Investition) * 100)	$\left(\frac{2.428.803,80\text{€}}{2.640.132,00\text{€}}\right) * 100 \approx \mathbf{92,0\%}$
Break-Even-Point (Investition / Annual Cost Saving)	$\frac{72.364,00\text{€}}{124.072,85\text{€}} \approx \mathbf{1.09 \text{ Jahre}}$

Tabelle 8 Wirtschaftlichkeitsberechnung von Hyper-V im Großunternehmen

⁴⁷ vgl. online: IT-Schulungen (01.08.2024)

	Proxmox VE
Lizenzkosten (1 Jahr)	2040,00€ <i>pro 2 CPUs</i>
Hosts	100
Sockel pro Host	2
Lizenzkosten pro Jahr	2040,00€ * 100 <i>Hosts</i> = 204.000,00€
Wartungskosten (20% der Lizenzkosten pro Jahr)	204.000,00€ * 0.2 = 40.800,00€
Schulungskosten ⁴⁸	3.590,00€
Annual Cost (Lizenzkosten pro Jahr + Wartungskosten + Schulungskosten)	204.000,00€ + 40.800,00€ + 3.590,00€ = 248.390,00€
Investition (Schulungskosten * 2)	7.180,00€
TCO (Investition + (Annual Cost * 5 Jahre))	7.180,00€ + (248.390,00€ * 5) = 3.249.130,00€
Annual Cost Savings (Annual Cost VMware - Annual Cost)	2.688.000,00€ – 248.390,00€ = 2.439.610,00€
ROI ((Annual Cost Saving / Investition) * 100)	$\left(\frac{2.439.610,00\text{€}}{7.180,00\text{€}}\right) * 100 \approx \mathbf{33.977,9\%}$
Break-Even-Point (Investition / Annual Cost Saving)	$\frac{7.180,00\text{€}}{2.439.610,00\text{€}} \approx \mathbf{0.003 \text{ Jahre}}$

Tabelle 9 Wirtschaftlichkeitsberechnung von Proxmox VE im Großunternehmen

⁴⁸ vgl. online: IT-Schulungen (01.08.2024)

4 Bewertung der technischen, wirtschaftlichen und organisatorischen Faktoren

4.1 Technische und organisatorische Faktoren

Faktoren	VMware	Hyper-V	Proxmox VE	Nutanix
Technisch				
Leistung & Skalierbarkeit	3	3	2	3
Support Zeit	3	2	2	3
Produktvielfalt	3	2	2	3
Kompatibilität	3	3	2	3
Sicherheit	3	3	2	3
Zuverlässigkeit & Verfügbarkeit	3	3	2	3
Organisatorisch				
Benutzerfreundlichkeit & Schulung	3	2	2	3
Anpassungsfähigkeit	3	3	2	3
Zukunftssicherheit	3	3	2	3
Referenzen & Erfolgsgeschichten	3	3	2	3

Tabelle 10 Bewertung technischer und organisatorischer Faktoren

4.2 Wirtschaftliche Faktoren

4.2.1 Kleinunternehmen

Faktoren	VMware	Hyper-V	Proxmox VE	Nutanix
Wirtschaftlich				
TCO	2	3	3	-
Annual Cost Savings	2	3	3	-
ROI	1	2	3	-
Break-Even-Point	1	2	3	-

Tabelle 11 Bewertung wirtschaftlicher Faktoren im Kleinunternehmen

4.2.2 Mittleres Unternehmen

Faktoren	VMware	Hyper-V	Proxmox VE	Nutanix
Wirtschaftlich				
TCO	2	3	3	-
Annual Cost Savings	2	3	3	-
ROI	1	3	3	-
Break-Even-Point	1	3	3	-

Tabelle 12 Bewertung wirtschaftlicher Faktoren im mittleren Unternehmen

4.2.3 Großunternehmen

Faktoren	VMware	Hyper-V	Proxmox VE	Nutanix
Wirtschaftlich				
TCO	2	3	3	-
Annual Cost Savings	2	3	3	-
ROI	1	3	3	-
Break-Even-Point	1	3	3	-

Tabelle 13 Bewertung wirtschaftlicher Faktoren im Großunternehmen

5 Evaluierung und Ergebnisdiskussion

5.1 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die wesentlichen Ergebnisse der durchgeführten Analyse zusammengefasst und interpretiert. Dabei wird ein Überblick gegeben, wie die einzelnen Virtualisierungssoftwarelösungen in den Kategorien technischer, wirtschaftlicher und organisatorischer Faktoren bewertet wurden. Der Fokus liegt darauf, die Stärken und Schwächen der Lösungen hervorzuheben und zu erläutern, welche Software in den jeweiligen Bereichen besonders überzeugt hat. Diese Zusammenfassung bildet die Grundlage für die anschließende vertiefte Diskussion der Unterschiede und Gemeinsamkeiten der untersuchten Lösungen.

Die Analyse zeigt, dass VMware und Nutanix in den technischen und organisatorischen Kategorien konstant hohe Bewertungen erzielten, was auf ihre umfassende Funktionalität und Zuverlässigkeit hinweist. Beide Lösungen überzeugen insbesondere durch ihre Leistungsfähigkeit und Skalierbarkeit sowie durch ihre hohe Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit, die für Großunternehmen von zentraler Bedeutung sind. Auch in den Bereichen Sicherheit und Kompatibilität schneiden VMware und Nutanix sehr gut ab, wodurch sie sich als robuste Lösungen für komplexe IT-Infrastrukturen erweisen.



Abbildung 9 Gartner Magic Quadrant der HCI-Softwarelösungen, stand Oktober 2021 (KUMARI, 2022)

Die Ergebnisse dieser Analyse stimmen mit der Marktpositionierung von Nutanix und VMware überein, wie sie im Gartner Magic Quadrant dargestellt wird. Das Diagramm verdeutlicht, dass Nutanix und VMware als führende Anbieter im Bereich Virtualisierungslösungen gelten, was ihre starke Performance in den technischen und organisatorischen Kategorien erklärt. Diese Positionierung zeigt, dass beide Unternehmen nicht nur umfassende und zuverlässige Lösungen anbieten, sondern auch eine klare Vision für die Weiterentwicklung ihrer Technologien haben. Dies deckt sich mit den Ergebnissen dieser Untersuchung und unterstreicht, dass Unternehmen, die auf Nutanix oder VMware setzen, eine fundierte und zukunftssichere Entscheidung treffen.

Hyper-V präsentiert sich ebenfalls als starke Alternative, insbesondere in wirtschaftlicher Hinsicht. Hier punktet Hyper-V mit einem attraktiven ROI und einem schnellen Break-Even-Point, was es für Unternehmen, die eine kosteneffiziente Lösung suchen, besonders interessant macht. Allerdings zeigt sich in der technischen Bewertung ein niedrigeres Niveau bei der Supportzeit und der Produktvielfalt, was es weniger flexibel für sehr spezifische oder anspruchsvolle Anwendungsfälle macht.

Proxmox VE zeichnet sich vor allem durch seine Kosteneffizienz aus, insbesondere durch die niedrigen TCO und die schnellen Einsparungen, die erzielt werden können. Allerdings weist Proxmox VE in den technischen Kategorien, insbesondere bei Leistung und Skalierbarkeit sowie bei der Zuverlässigkeit, Schwächen auf, was es für Unternehmen mit hohen Anforderungen in diesen Bereichen weniger geeignet macht.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass VMware und Nutanix in den technischen und organisatorischen Kategorien die besten Ergebnisse erzielen, während Hyper-V und Proxmox VE durch ihre wirtschaftliche Effizienz überzeugen. Die Wahl der optimalen Lösung hängt daher stark von den individuellen Anforderungen eines Unternehmens ab (Anhang 1 bis 3 enthalten die gewichteten Bewertungen der Faktoren). Großunternehmen könnten von den umfassenden technischen Fähigkeiten von VMware und Nutanix profitieren, während kleine und mittlere Unternehmen möglicherweise Hyper-V oder Proxmox VE bevorzugen, um die Kosten zu optimieren.

Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass keine universelle Lösung für alle Szenarien existiert und dass die Auswahl der Virtualisierungssoftware sorgfältig an die spezifischen Bedürfnisse und Prioritäten des Unternehmens angepasst werden sollte. Die folgende Diskussion wird diese Aspekte weiter vertiefen und den Kontext der gesetzten Ziele berücksichtigen.

5.2 Vergleich der Lösungen und Wirtschaftlichkeitskennzahlen

Dieser Abschnitt analysiert die Virtualisierungssoftwarelösungen im Hinblick auf ihre Wirtschaftlichkeitskennzahlen. Es wird untersucht, wie die verschiedenen Lösungen in Bezug auf TCO, Annual Cost Savings, ROI und den Break-Even-Point abschneiden. Ziel ist es, zu ermitteln, welche Softwarelösung sich als wirtschaftlichste Option darstellt und wie sie sich in unterschiedlichen Unternehmenskontexten bewährt. Durch den Vergleich dieser Kennzahlen wird verdeutlicht, welche langfristigen finanziellen Auswirkungen die Wahl der jeweiligen Software auf ein Unternehmen haben kann.

Kleinunternehmen

Für Kleinunternehmen erweisen sich Hyper-V und Proxmox VE als besonders wirtschaftlich. Der TCO für Hyper-V beläuft sich auf 11.652,75 €, was deutlich unter den 24.000,00 € von VMware liegt. Diese Differenz ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass die Lizenzen für Hyper-V einmalig erworben wurden und die jährlichen Kosten größtenteils auf die Wartung beschränkt sind. Der ROI von Hyper-V beträgt etwa 47,8 %, mit einem Break-Even-Point von rund 2,09 Jahren. Dies zeigt, dass sich die Investition in Hyper-V relativ schnell amortisiert, was für kleinere Unternehmen besonders vorteilhaft ist.

Proxmox VE weist den niedrigsten TCO von 10.200,00 € auf, was auf die fehlenden Investitionskosten und die günstigen Lizenzkosten für den Support zurückzuführen ist. Da keine anfänglichen Investitionen erforderlich waren, konnten weder ROI noch Break-Even-Point berechnet werden. Diese Tatsache ist jedoch positiv zu bewerten, da Proxmox VE von Beginn an Einsparungen ermöglicht, ohne dass das Unternehmen langfristige Investitionen berücksichtigen muss.

Mittlere Unternehmen

Für mittlere Unternehmen zeigt sich ein ähnliches Bild. Hyper-V überzeugt erneut durch seine wirtschaftliche Effizienz, wobei der TCO bei 99.999,75 € liegt, was deutlich unter den 648.000,00 € von VMware liegt. Der ROI für Hyper-V ist mit 171,5 % bemerkenswert hoch, was hauptsächlich auf die relativ niedrigen Lizenz- und Wartungskosten sowie den schnellen Break-Even-Point von etwa 0,58 Jahren zurückzuführen ist. Diese Kennzahlen machen Hyper-V zu einer äußerst attraktiven Option für mittlere Unternehmen, die eine schnelle Amortisation ihrer Investition anstreben.

Proxmox VE zeigt ebenfalls starke wirtschaftliche Ergebnisse mit einem TCO von 309.590,00 €. Obwohl dieser Wert höher ist als der von Hyper-V, ist der ROI mit etwa 1.905,3 % außergewöhnlich hoch, was auf die geringen Investitionskosten und die

moderaten laufenden Kosten zurückzuführen ist. Der Break-Even-Point von 0,05 Jahren verdeutlicht, dass Proxmox VE für mittlere Unternehmen eine äußerst kosteneffiziente Lösung darstellt.

Großunternehmen

Bei Großunternehmen werden die Unterschiede noch deutlicher. VMware weist mit einem TCO von 13.440.000,00 € die höchsten Kosten auf, was primär durch die hohen Lizenz- und Wartungskosten bedingt ist. Im Vergleich dazu schneidet Hyper-V mit einem TCO von 3.936.113,00 € deutlich besser ab, begünstigt durch niedrigere Lizenzkosten und moderate Wartungskosten. Der ROI für Hyper-V beträgt etwa 92,0 %, und der Break-Even-Point liegt bei rund 1,09 Jahren, was zeigt, dass sich die Investition in Hyper-V relativ schnell auszahlt.

Proxmox VE zeigt erneut eine bemerkenswerte wirtschaftliche Leistung mit einem TCO von 3.249.130,00 €. Der ROI für Proxmox VE ist mit etwa 33.977,9 % extrem hoch, was auf die minimalen Investitionskosten und die niedrigen laufenden Kosten zurückzuführen ist. Der Break-Even-Point von 0,003 Jahren verdeutlicht, dass Proxmox VE sofortige Einsparungen ermöglicht, was für Großunternehmen besonders attraktiv sein kann.

Zusammenfassung der wirtschaftlichen Erkenntnisse

Die Analyse zeigt, dass Hyper-V und Proxmox VE in allen Unternehmensgrößen wirtschaftlich sehr attraktive Optionen sind, insbesondere aufgrund der niedrigen TCO und der schnellen Amortisation der Investitionen. Im Vergleich dazu weist VMware in allen Szenarien die höchsten Kosten auf, was es für Unternehmen mit einem starken Fokus auf Kosteneffizienz weniger geeignet erscheinen lässt.

Es ist jedoch wichtig zu berücksichtigen, dass die tatsächlichen Annual Costs und der TCO von Hyper-V und Proxmox VE in der Praxis höher ausfallen könnten. In der Analyse der technischen und organisatorischen Faktoren wurde festgestellt, dass diese Lösungen nicht den vollständigen Funktionsumfang von VMware oder Nutanix bieten. Um diese fehlenden Funktionen zu kompensieren, könnten Drittanbieterprogramme erforderlich sein, die zusätzliche Kosten verursachen.

Zudem wurden in dieser Untersuchung keine zusätzlichen Kosten für vSAN in mittleren und großen Unternehmen berücksichtigt, da diese stark von der jeweiligen Konfiguration der Unternehmensinfrastruktur abhängen. Abhängig von der Nutzung könnten auch hier die Gesamtkosten erheblich steigen.

Diese Überlegungen verdeutlichen, dass die Wahl der optimalen Virtualisierungssoftware sorgfältig auf die spezifischen Bedürfnisse und Prioritäten des Unternehmens abgestimmt werden sollte. Während Hyper-V und Proxmox VE besonders für Unternehmen interessant sind, die eine schnelle Amortisation und niedrige Betriebskosten anstreben, könnten VMware und Nutanix trotz höherer Kosten aufgrund ihrer umfassenden Funktionalität in bestimmten Szenarien von Vorteil sein.

5.3 Praktische Implikationen und Empfehlungen

In diesem Abschnitt werden die praktischen Konsequenzen der analysierten Ergebnisse für Unternehmen dargelegt. Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse werden Empfehlungen formuliert, welche Virtualisierungssoftware für unterschiedliche Unternehmensgrößen und spezifische Anforderungen am besten geeignet ist. Dabei wird erörtert, wie Unternehmen ihre Prioritäten – etwa in Bezug auf technische Leistungsfähigkeit oder Kosteneffizienz – gewichten sollten, um fundierte Entscheidungen zu treffen.

Auf Grundlage der Analyseergebnisse lassen sich folgende Empfehlungen für Unternehmen unterschiedlicher Größe ableiten:

- **Kleinunternehmen** sollten Hyper-V und Proxmox VE in Erwägung ziehen, da diese Lösungen durch niedrige Betriebskosten und eine rasche Amortisation besonders kosteneffizient sind.
- **Mittlere Unternehmen** könnten von Hyper-V profitieren, da es eine ausgewogene Kombination aus Kosten und Funktionalität bietet. Diese Lösung ist besonders für Unternehmen geeignet, die eine schnelle Amortisation anstreben und gleichzeitig auf eine solide technische Basis Wert legen.
- **Großunternehmen** wird die Nutzung von VMware oder Nutanix empfohlen, da diese Plattformen trotz höherer Kosten durch ihre umfassenden Funktionen und Skalierbarkeit überzeugen. Dies ist besonders vorteilhaft für Unternehmen, die eine langfristige und zukunftssichere Lösung benötigen.

Bei der Implementierung von Hyper-V oder Proxmox VE sollten Unternehmen mögliche zusätzliche Kosten für Drittanbieterprogramme berücksichtigen, die erforderlich sein könnten, um fehlende Funktionen zu ergänzen. Dies ist besonders relevant, wenn spezifische Funktionalitäten benötigt werden, die in diesen Plattformen nicht nativ vorhanden sind.

Darüber hinaus sollte die langfristige Entwicklung der IT-Infrastruktur berücksichtigt werden. Lösungen wie VMware und Nutanix könnten sich aufgrund ihrer umfassenden Unterstützung und kontinuierlichen Weiterentwicklung durch den Anbieter als vorteilhaft erweisen, insbesondere in schnell wachsenden oder sehr großen Unternehmensumgebungen.

6 Fazit

6.1 Zusammenfassung der Schlüsselergebnisse

In dieser Arbeit wurde das Ziel erreicht, verschiedene Virtualisierungslösungen umfassend zu analysieren und miteinander zu vergleichen. Die Untersuchung zeigte, dass insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen kostengünstigere Alternativen zu VMware existieren. Hyper-V und Proxmox VE erwiesen sich als wirtschaftlich attraktive Optionen mit erheblichen Einsparpotenzialen. Gleichzeitig wurde jedoch deutlich, dass diese Lösungen nicht den vollständigen Funktionsumfang von VMware oder Nutanix bieten.

Die Analyse ergab, dass Hyper-V und Proxmox VE in technischer und organisatorischer Hinsicht zwar überzeugende Alternativen darstellen, jedoch nicht „out of the box“ die gleiche Bandbreite an Funktionen bieten wie VMware und Nutanix. Für spezifische Anforderungen könnten daher Drittanbieterprogramme erforderlich sein, um den Funktionsumfang zu erweitern. Unternehmen, die eine Virtualisierungslösung suchen, die von Anfang an alle notwendigen Funktionen integriert und einfach zu implementieren ist, sollten daher eher auf VMware oder Nutanix zurückgreifen. Diese Lösungen bieten eine umfassende Funktionalität und hohe Benutzerfreundlichkeit, erfordern jedoch auch eine höhere finanzielle Investition.

Die Arbeit hat nicht nur wirtschaftliche Aspekte untersucht, sondern auch technische und organisatorische Faktoren einbezogen, wodurch eine ganzheitliche Bewertung der verschiedenen Virtualisierungslösungen ermöglicht wurde. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass kostengünstigere Alternativen in bestimmten Szenarien vorteilhaft sein können.

Es wurde jedoch auch deutlich, dass eine noch detailliertere Analyse, etwa durch die Planung ganzer Infrastrukturen und die Berücksichtigung zusätzlicher technischer Parameter, den Rahmen dieser Arbeit gesprengt hätte. Dennoch liefert die vorliegende Untersuchung eine solide Grundlage für Unternehmen, die ihre Virtualisierungsstrategie optimieren und dabei sowohl wirtschaftliche als auch technische und organisatorische Aspekte berücksichtigen möchten.

6.2 Anregungen für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten

Basierend auf den Erkenntnissen dieser Arbeit ergeben sich mehrere Ansatzpunkte für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, die die Aussagekraft und Anwendbarkeit der Ergebnisse weiter vertiefen könnten. Eine detailliertere Untersuchung, die über den Rahmen dieser Arbeit hinausgeht, könnte beispielsweise

durch die Planung und Simulation ganzer IT-Infrastrukturen erfolgen, die mit alternativen Virtualisierungslösungen betrieben werden. Eine solche Analyse würde es ermöglichen, spezifische Konfigurationsszenarien zu berücksichtigen und deren Auswirkungen auf Betriebskosten und Performance der IT-Infrastruktur präziser zu bewerten.

Zudem könnte die wirtschaftliche Bewertung durch die Einbeziehung weiterer technischer und organisatorischer Parameter vertieft werden. Dies könnte eine Analyse von Skalierungsoptionen, Ausfallsicherheit und der langfristigen Zukunftssicherheit der Lösungen umfassen. Auch eine detaillierte Untersuchung der Lizenzierungsmodelle und deren Auswirkungen auf die Gesamtkosten über längere Zeiträume hinweg könnte wertvolle Erkenntnisse liefern.

Ein weiterer Aspekt, der in zukünftigen Arbeiten Berücksichtigung finden sollte, ist die genauere Untersuchung der Rolle von Drittanbieterprogrammen zur Erweiterung des Funktionsumfangs von Hyper-V und Proxmox VE. Die Analyse der Kosten und des Nutzens solcher Ergänzungen könnte dazu beitragen, ein vollständigeres Bild der Wirtschaftlichkeit dieser Alternativen zu zeichnen.

Des Weiteren wäre es sinnvoll, praktische Fallstudien in realen Unternehmensumgebungen durchzuführen, um die theoretischen Erkenntnisse zu validieren und praxisnahe Empfehlungen zu entwickeln. Solche Fallstudien könnten wertvolle Einblicke in die tatsächliche Implementierung und den Betrieb der untersuchten Virtualisierungslösungen bieten und die Ergebnisse dieser Arbeit durch praktische Erfahrungen ergänzen.

Durch diese Erweiterungen könnte die Aussagekraft und Relevanz künftiger Arbeiten erheblich gesteigert werden, was Unternehmen fundiertere Entscheidungsgrundlagen für die Auswahl der optimalen Virtualisierungssoftware bieten würde.

Quellenverzeichnis

2GT_RICH: Evaluating Hyper-V as an Alternative to VMware ESXi – 2GuysTek, 2024.

In: <https://2guystek.tv/evaluating-hyper-v-as-an-alternative-to-vmware-esxi/>
(01.08.2024)

ALSHAER, Hamada: An overview of network virtualization and cloud network as a service. In: International Journal of Network Management, Jg. 25, 2015, H. 1, S. 1 - 30.
DOI: 10.1002/nem.1882

CITRIX: What is hardware virtualization? In: <https://www.citrix.com/glossary/what-is-hardware-virtualization.html> (16.07.2024)

CLAUDIA ROTHENHORST: Nutanix vs VMware: Vergleich der Cloud-Lösungen – Biteno GmbH, 2024. In: <https://www.biteno.com/nutanix-vs-vmware/> (01.08.2024)

DAVID PUZAS: Virtualisierung und Containerisierung im Vergleich: Wo sind die Unterschiede?, 2023. In: <https://www.crowdstrike.de/cybersecurity-101/cloud-security/virtualization-vs-containerization/> (09.07.2024)

ENRICO KÖHLE: VMware Cloud Foundation (VCF) | Preise, Lizenzen, Pläne | Software-Express, 2024a. In: <https://www.software-express.de/hersteller/vmware/cloud-foundation/> (01.08.2024)

ENRICO KÖHLE: VMware vSphere Foundation (VVF) | Preise, Lizenzen, Pläne | Software-Express, 2024b. In: <https://www.software-express.de/hersteller/vmware/vsphere-foundation/> (01.08.2024)

ENRICO KÖHLE: VMware vSphere Standard (VVS) | Preise, Lizenzen, Pläne | Software-Express, 2024c. In: <https://www.software-express.de/hersteller/vmware/vsphere/standard/> (01.08.2024)

HOOGENDOORN, Iwan: Getting Started with NSX-T: Logical Routing and Switching – The Basic Principles of Building Software-Defined Network Architectures with VMware NSX-T: Springer eBook Collection. New York, 2021

HUAWEI TECHNOLOGIES CO., Ltd: Cloud Computing Technology. Singapore, 2023

IT-SCHULUNGEN: Proxmox VE - Installation und Administration. In: <https://www.it-schulungen.com/seminare/netzwerktechnik/proxmox/proxmox-ve-installation-und-administration.html> (01.08.2024)

IT-SCHULUNGEN: Windows Server: Hyper-V - Plattformimplementierung. In: <https://www.it-schulungen.com/seminare/netzwerktechnologien/hyper-v/windows-server-hyper-v-plattformimplementierung.html> (01.08.2024)

KUMARI, Priya: Top Players in the Hyperconverged Infrastructure Software Market for 2022, 22.09.2022. In: <https://hackernoon.com/top-players-in-the-hyperconverged-infrastructure-software-market-for-2022>

PROXMOX: Shopping Cart - Proxmox Server Solutions GmbH. In: <https://shop.proxmox.com/index.php?rp=/store/proxmox-ve-basic> (01.08.2024)

PROXMOX: Shopping Cart - Proxmox Server Solutions GmbH. In: <https://shop.proxmox.com/index.php?rp=/store/proxmox-ve-premium> (01.08.2024)

ROCK THE PROTOTYPE: Container-Technologie – Leichtgewichtige Methode zur Paketierung und Bereitstellung von Anwendungen. In: https://rock-the-prototype.com/it-infrastruktur/container/#Leichtgewichtige_Methode_zur_Paketierung_und_Bereitstellung_von_Anwendungen (08.07.2024)

SMITH, James E.; NAIR, Ravi: Virtual machines – Versatile platforms for systems and processes. San Francisco, CA, 2005

STEFAN BARTH: Windows Server 2022 CAL | Preise, Lizenzen, Pläne | Software-Express. In: <https://www.software-express.de/hersteller/microsoft/windows-server/cal/#windows-server-cals> (01.08.2024)

STEFAN BARTH: Windows Server 2022 Lizenzierung | Preise, Lizenzen, Pläne | Software-Express. In: <https://www.software-express.de/hersteller/microsoft/windows-server/lizenzierung/> (01.08.2024)

STEFAN BARTH: Windows Server Datacenter 2022 | Preise, Lizenzen, Pläne | Software-Express. In: <https://www.software-express.de/hersteller/microsoft/windows-server/datacenter-2022/> (01.08.2024)

STEFAN BARTH: Windows Server Standard 2022 | Preise, Lizenzen, Pläne | Software-Express. In: <https://www.software-express.de/hersteller/microsoft/windows-server/standard-2022/> (01.08.2024)

VAILSHERY, Lionel S.: Market share of leading virtualization platform technologies worldwide as of December 2023, 2023. In: <https://www.statista.com/statistics/1252355/top-virtualization-technologies-by-domain/> (03.07.2024)

VMWARE: Understanding Full Virtualization, Paravirtualization, and Hardware Assist, 2007. In: https://www.vmware.com/content/dam/digitalmarketing/vmware/en/pdf/techpaper/VMware_paravirtualization.pdf (17.07.2024)

VMWARE BY BROADCOM: vSphere Product Line Comparison, 2024

Anhangverzeichnis

- Anhang 1 Gewichtete Faktoren für das Kleinunternehmen
- Anhang 2 Gewichtete Faktoren für das mittlere Unternehmen
- Anhang 3 Gewichtete Faktoren für das Großunternehmen

Gewichtete Faktoren für das Kleinunternehmen

Faktoren	VMware	Hyper-V	Proxmox VE	Nutanix
Technisch				
Leistung & Skalierbarkeit	3,6	3,6	2,4	3,6
Support Zeit	3,3	2,2	2,2	3,3
Produktvielfalt	2,4	1,6	1,6	2,4
Kompatibilität	4,2	4,2	2,8	4,2
Sicherheit	3,9	3,9	2,6	3,9
Zuverlässigkeit & Verfügbarkeit	4,5	4,5	3,0	4,5
	21,9	20	14,6	21,9
Wirtschaftlich				
TCO	4,0	6,0	6,0	-
Annual Cost Savings	2,6	3,9	3,9	-
ROI	1,8	3,6	5,4	-
Break-Even-Point	1,6	3,2	4,8	-
	10	16,7	20,1	-
Organisatorisch				
Benutzerfreundlichkeit & Schulung	4,5	3,0	3,0	4,5
Anpassungsfähigkeit	3,6	3,6	2,4	3,6
Zukunftssicherheit	3,3	3,3	2,2	3,3
Referenzen & Erfolgsgeschichten	2,7	2,7	1,8	2,7
	14,1	12,6	9,4	14,1

Gewichtete Faktoren für das mittlere Unternehmen

Faktoren	VMware	Hyper-V	Proxmox VE	Nutanix
Technisch				
Leistung & Skalierbarkeit	4,5	4,5	3,0	4,5
Support Zeit	3,9	2,6	2,6	3,9
Produktvielfalt	3,6	2,4	2,4	3,6
Kompatibilität	4,5	4,5	3,0	4,5
Sicherheit	4,5	4,5	3,0	4,5
Zuverlässigkeit & Verfügbarkeit	4,8	4,8	3,2	4,8
	25,8	23,3	17,2	25,8
Wirtschaftlich				
TCO	3,6	5,4	5,4	-
Annual Cost Savings	2,8	4,2	4,2	-
ROI	1,6	4,8	4,8	-
Break-Even-Point	1,5	4,5	4,5	-
	9,5	18,9	18,9	-
Organisatorisch				
Benutzerfreundlichkeit & Schulung	4,2	2,8	2,8	4,2
Anpassungsfähigkeit	3,9	3,9	2,6	3,9
Zukunftssicherheit	3,6	3,6	2,4	3,6
Referenzen & Erfolgsgeschichten	3,0	3,0	2,0	3,0
	14,7	13,3	9,8	14,7

Gewichtete Faktoren für das Großunternehmen

Faktoren	VMware	Hyper-V	Proxmox VE	Nutanix
Technisch				
Leistung & Skalierbarkeit	5,4	5,4	3,6	5,4
Support Zeit	4,5	3,0	3,0	4,5
Produktvielfalt	4,2	2,8	2,8	4,2
Kompatibilität	4,8	4,8	3,2	4,8
Sicherheit	5,1	5,1	3,4	5,1
Zuverlässigkeit & Verfügbarkeit	5,7	5,7	3,8	5,7
	29,7	26,8	19,8	29,7
Wirtschaftlich				
TCO	3,2	4,8	4,8	-
Annual Cost Savings	3,0	4,5	4,5	-
ROI	1,4	4,2	4,2	-
Break-Even-Point	1,3	3,9	3,9	-
	8,9	17,4	17,4	-
Organisatorisch				
Benutzerfreundlichkeit & Schulung	3,9	2,6	2,6	3,9
Anpassungsfähigkeit	4,2	4,2	2,8	4,2
Zukunftssicherheit	4,5	4,5	3,0	4,5
Referenzen & Erfolgsgeschichten	3,3	3,3	2,2	3,3
	15,9	14,6	10,6	15,9

Ehrenwörtliche Erklärung

"Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich",

1. dass ich meine Bachelorthesis mit dem Thema

„Analyse der Wirtschaftlichkeit alternativer Virtualisierungssoftware im Vergleich zu VMware-Produkten „

ohne fremde Hilfe angefertigt habe,

2. dass ich die Übernahme wörtlicher Zitate aus der Literatur sowie die Verwendung der Gedanken anderer Autoren an den entsprechenden Stellen innerhalb der Arbeit gekennzeichnet habe und

3. dass ich meine Bachelorthesis bei keiner anderen Prüfung vorgelegt habe.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Ort, Datum

Unterschrift