



Professionele Bachelor Toegepaste Informatica



## Hypervisors voor een datacenter

Hendrik Bijmens

Promotoren:

De heer Denzel van Vegchel  
Mevrouw Marie Ruppel  
De heer Bram Heyns

Open Line Consultancy B.V.  
Open Line Consultancy B.V.  
Hogeschool PXL Hasselt



---

**Bachelorpaper Academiejaar 2018-2019**





Professionele Bachelor Toegepaste Informatica



## Hypervisors voor een datacenter

Hendrik Bijmens

Promotoren:

De heer Denzel van Vegchel  
Mevrouw Marie Ruppel  
De heer Bram Heyns

Open Line Consultancy B.V.  
Open Line Consultancy B.V.  
Hogeschool PXL Hasselt

---

Bachelorpaper Academiejaar 2018-2019



## Dankwoord

Een van de redenen dat deze stageperiode tot een goed einde is gekomen is de ondersteuning die ik zowel van uit de PXL als Open Line heb gekregen. Ik zou dan ook graag kort enkele mensen hiervoor bedanken.

Als eerste wil ik al mijn collega's bij Open Line bedanken voor de fijne werksfeer en de goede begeleiding. Ondanks het feit dat ik niet in een vast team zat was iedereen altijd zeer bereid om op eventuele vragen te antwoorden, of me verder te helpen indien ik ergens vast zat.

De heer Denzel van Vegchel stond in voor de technische ondersteuning in verband met de stageopdracht en het onderzoek. Ook zijn hulp met het opzetten van de testomgeving en het voorzien van licenties was cruciaal voor de goede afloop van het onderzoek.

Graag zou ik ook mevrouw Kim Nievergeld en mevrouw Marie Ruppel willen bedanken voor de algemene begeleiding van de stage. Zij waren altijd bereid om de paper na te lezen en stonden altijd klaar met een antwoord wanneer ik vragen had.

Tot slot zou ik graag de PXL, in het bijzonder mijn hogeschoolpromotor Bram Heyns, willen bedanken voor de goede begeleiding en feedback op de paper.

## Abstract

De tijd dat voor elke server die in een datacenter draait een *dedicated* fysieke server is voorzien, is voorbij. Dit is tegenwoordig niet meer haalbaar aangezien dit zowel op logistiek vlak, -het kunnen plaatsen van de servers-, als op economisch vlak, -de hoge kost voor stroom en koeling-, zeer moeilijk wordt. De oplossing hiervoor is virtualisatie. Door deze servers allemaal virtueel te laten draaien en te verspreiden over meerdere fysieke host-machines, wordt de totale plaats die de servers innemen aanzienlijk verminderd en kunnen dus meer servers in een datacenter draaien. Dit is een aanzienlijke verbetering op het gebied van stroomverbruik en koeling omdat de fysieke machines efficiënter worden benut.

Binnen de datacentra van Open Line worden vooral vSphere 5/6 en in beperkte maten Hyper-V 2012/2016 gebruikt. Om toekomstgericht te kijken, wordt in dit onderzoek nagegaan of het interessant is om ook andere hypervisors te implementeren. Hiervoor is een vergelijkend onderzoek uitgevoerd tussen de drie volgende hypervisors: Microsoft Windows Server Hyper-V 2019, VMware vSphere 6.7 en Red Hat Virtualization 4.2. Het gaat hier zowel over een literatuurstudie aangevuld door enkele beknopte interviews met werknemers van verschillende takken van het bedrijf, als om een praktisch onderzoek op een testomgeving (gelijkaardig aan de huidige productieomgeving).

Om de hardware in het datacenter zo efficiënt mogelijk te benutten is het uiteindelijk de bedoeling om zo veel mogelijk Virtual Machines (VM's) te laten draaien op zo weinig mogelijk hardware. Om deze reden wordt onderzocht wat de overhead is van de verschillende hypervisors. Ook wordt gekeken of de hypervisors goed samenwerken met de bestaande hardware in het datacenter. Dit is getest aan de hand van een stresstest die voor minstens drie dagen uitgevoerd werd om te kijken of alle hypervisors stabiel draaien. Hiernaast wordt aan de hand van benchmarks de performance van verschillende soorten VM's (verschillende operating systems (OS)) getest om te kijken of de hypervisors moeite hebben met het draaien van bepaalde OS. Ten slotte is een prijsanalyse gemaakt om te kijken wat de verschillen in kost zijn tussen de hypervisors.

Na het uitvoeren van het onderzoek ben ik tot de conclusie gekomen dat het zeker interessant is om naar de toekomst toe over te schakelen naar VMware ESXI 6.7 en Hyper-V 2019. Om RHV 4.2 aan te raden voor gebruik in de productieomgeving is echter verder onderzoek nodig.

## Inhoudsopgave

### Inhoudsopgave

Dankwoord .....	ii
Abstract .....	iii
Inhoudsopgave .....	iv
Lijst van gebruikte figuren .....	vii
Lijst van gebruikte tabellen .....	ix
Lijst van gebruikte afkortingen .....	x
Verklarende woordenlijst .....	xi
Inleiding .....	1
I. Stageverslag .....	2
1 Plan van aanpak .....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
1.1 Bedrijfsvoorstelling: Open Line B.V. ....	2
1.2 Motivering .....	3
1.3 Probleemstelling .....	3
1.4 Doelstelling .....	3
1.5 Randvoorwaarden .....	4
1.6 12 weken planning .....	5
2 (Hoofdstuk) .....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
2.1 (Hoofdstuk) .....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
2.1.1 (Hoofdstuk) .....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
II. Onderzoekstopic .....	6
1 Bespreking hypervisors .....	6
1.1 Hypervisor types .....	8
1.2 Microsoft Hyper-V .....	9
1.3 VMware vSphere .....	10
1.4 Red Hat Virtualisation .....	11
2 Testplatform .....	12
2.1 Datacenter omgeving .....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
2.2 Opstelling testomgeving .....	13
2.3 Bespreking UCS/UCSm .....	15
3 Overhead .....	19
3.1 Korte intro .....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
3.2 Hyper-V .....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
3.3 vSphere .....	19

3.4	Red Hat Virtualization .....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
3.5	Vergelijking .....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
4	Stabiliteit .....	20
4.1	Korte intro .....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
4.2	Bespreking gebruikte benchmark/stresstest .....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
4.3	Resultaten Hyper-V .....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
4.4	Resultaten vSphere .....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
4.5	Resultaten Red Hat Virtualization .....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
4.6	Vergelijking .....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
5	Performance/benchmarks.....	21
5.1	Korte intro .....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
5.2	Hyper-V.....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
5.2.1	Windows server performance.....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
5.2.2	Ubuntu server performance.....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
5.2.3	RHEL server performance.....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
5.3	vSphere.....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
5.3.1	Windows server performance.....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
5.3.2	Ubuntu server performance.....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
5.3.3	RHEL server performance.....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
5.4	Red Hat Virtualization .....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
5.4.1	Windows server performance.....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
5.4.2	Ubuntu server performance.....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
5.4.3	RHEL server performance.....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
5.5	Vergelijking .....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
6	Prijsanalyse.....	22
6.1	Prijzen Hyper-V .....	22
6.1.1	Windows Server 2019 Standard .....	23
6.1.2	Windows Server 2019 Datacenter.....	23
6.1.3	Microsoft Hyper-V Server 2019.....	23
6.1.4	Windows Server 2019 Essentials.....	24
6.1.5	Vergelijking Hyper-V.....	24
6.2	Prijzen VMware .....	35
6.3	Prijzen Red Hat Virtualization.....	39
6.4	Vergelijking .....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
7	Hoofdstuk .....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
7.1	Hoofdstuk .....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>

7.1.1	Hoofdstuk .....	<b>Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.</b>
	Conclusie .....	43
	Bibliografie .....	45
	Bijlagen .....	46



## Lijst van gebruikte figuren

Figuur 1: Logo Open Line [15] .....	2
Figuur 2: Types Hypervisor .....	8
Figuur 3: Microsoft Hyper-V Logo [16] .....	9
Figuur 4: VMware vSphere Logo [16] .....	10
Figuur 5: REV Logo [17] .....	11
Figuur 6: Foto testopstelling.....	12
Figuur 7: schema testopstelling .....	13
Figuur 8: schema testopstelling 2.....	14
Figuur 9: Schema UCS platform [12] .....	15
Figuur 10: Hyper-V prijzen: dual 8-core CPU server (0 - 15 Windows Server VM's).....	25
Figuur 11: Hyper-V prijzen: dual 8-core CPU server (0 - 15 RHEL VM's).....	26
Figuur 12: Hyper-V prijzen: dual 16-core CPU server (0 - 26 Windows Server VM's).....	27
Figuur 13: Hyper-V prijzen: dual 16-core CPU server (0 - 26 RHEL VM's).....	28
Figuur 14: Hyper-V prijzen: dual 28-core CPU server (0 - 15 Windows Server VM's).....	29
Figuur 15: Hyper-V prijzen: dual 28-core CPU server (30 - 50 Windows Server VM's).....	30
Figuur 16: Hyper-V prijzen: dual 28-core CPU server (0 - 20 RHEL VM's).....	31
Figuur 17: Hyper-V prijzen: dual 32-core CPU server (0 - 15 Windows Server VM's).....	32
Figuur 18: Hyper-V prijzen: dual 32-core CPU server (30 - 52 Windows Server VM's).....	33
Figuur 19: Hyper-V prijzen: dual 32-core CPU server (0 - 25 RHEL VM's).....	34
Figuur 20: Prijzen voor vSphere host met Windows Server VM's.....	36
Figuur 21: Prijzen voor vSphere host met RHEL VM's.....	37
Figuur 22: Bekabeling Avamar backup servers .....	43
Figuur 23: Hyper-V prijzen voor server met twee 8 core CPU's Line Graph (0 - 25 VM's).....	4
Figuur 24: Hyper-V prijzen voor server met twee 8 core CPU's Line Graph (25 - 50 VM's).....	5
Figuur 25: Hyper-V prijzen voor server met twee 8 core CPU's Bar Graph (0 - 25 VM's).....	6
Figuur 26: Hyper-V prijzen voor server met twee 8 core CPU's Bar Graph (25 - 50 VM's).....	7
Figuur 27: Hyper-V prijzen voor server met twee 16 core CPU's Line Graph (0 - 25 VM's).....	10
Figuur 28: Hyper-V prijzen voor server met twee 16 core CPU's Line Graph (25 - 50 VM's).....	11
Figuur 29: Hyper-V prijzen voor server met twee 16 core CPU's Bar Graph (0 - 25 VM's).....	12
Figuur 30: Hyper-V prijzen voor server met twee 16 core CPU's Bar Graph (25 - 50 VM's).....	13
Figuur 31: Hyper-V prijzen voor server met twee 28 core CPU's Line Graph (0 - 25 VM's).....	16
Figuur 32: Hyper-V prijzen voor server met twee 28 core CPU's Line Graph (25 - 50 VM's).....	17
Figuur 33: Hyper-V prijzen voor server met twee 28 core CPU's Bar Graph (0 - 25 VM's).....	18
Figuur 34: Hyper-V prijzen voor server met twee 28 core CPU's Bar Graph (25 - 50 VM's).....	19
Figuur 35: Hyper-V prijzen voor server met twee 32 core CPU's Line Graph (0 - 25 VM's).....	22
Figuur 36: Hyper-V prijzen voor server met twee 32 core CPU's Line Graph (25 - 50 VM's).....	23
Figuur 37: Hyper-V prijzen voor server met twee 32 core CPU's Bar Graph (0 - 25 VM's).....	24
Figuur 38: Hyper-V prijzen voor server met twee 32 core CPU's Bar Graph (25 - 50 VM's).....	25
Figuur 39: : Prijzen ESXI host met Windows Server VM's .....	1
Figuur 40: Prijzen ESXI host met RHEL VM's .....	2
Figuur 41: Prijzen RHV host met RHEL VM's .....	2
Figuur 42: Prijzen RHV host met Windows Server VM's .....	3
Figuur 43: CPU benchmark - Windows VM - Hyper-V.....	1
Figuur 44: RAM benchmark - Windows VM - Hyper-V.....	1
Figuur 45: HDD benchmark - Windows VM - Hyper-V .....	1
Figuur 46: CPU benchmark - Windows VM - ESXI .....	1

Figuur 47: RAM benchmark - Windows VM - ESXI .....	1
Figuur 48: HDD benchmark - Windows VM - ESXI.....	1
Figuur 49: CPU benchmark - CentOS VM - Hyper-V - 1 thread .....	1
Figuur 50: CPU benchmark - CentOS VM - Hyper-V - 8 threads.....	2
Figuur 51: RAM benchmark - CentOS VM - Hyper-V - 1 thread .....	3
Figuur 52: RAM benchmark - CentOS VM - Hyper-V - 8 threads.....	3
Figuur 53: HDD benchmark - CentOS VM - Hyper-V - 1 thread.....	4
Figuur 54: HDD benchmark - CentOS VM - Hyper-V - 8 threads .....	5
Figuur 55: CPU benchmark - CentOS VM - ESXI - 1 thread.....	6
Figuur 56: CPU benchmark - CentOS VM - ESXI - 8 threads .....	7
Figuur 57: RAM benchmark - CentOS VM - ESXI - 1 thread.....	8
Figuur 58: RAM benchmark - CentOS VM - ESXI - 8 threads .....	8
Figuur 59: HDD benchmark - CentOS VM - ESXI - 1 thread .....	9
Figuur 60: HDD benchmark - CentOS VM - ESXI - 8 threads .....	10

## Lijst van gebruikte tabellen

Tabel 1: lijst van gebruikte afkortingen.....	x
Tabel 2: Verklarende woordenlijst .....	xi
Tabel 3: Overhead resultaten.....	19
Tabel 4: Licenties Windows Server [13] .....	22
Tabel 5: Prijzen Windows Server Standaard [14] .....	23
Tabel 6: Prijzen Windows Server Datacenter [14] .....	23
Tabel 7: Prijzen Windows Server 2019 Essentials [14] .....	24
Tabel 8: Prijzen VMware vSphere Standard [5] .....	35
Tabel 9: Prijzen VMware vSphere Enterprise Plus [5] .....	35
Tabel 10: Prijzen RHV .....	39
Tabel 11: Prijzen RHEL .....	39
Tabel 12: Prijzen RHEL for Virtual Datacenters .....	39
Tabel 13: Hyper-V prijzen voor server met twee 8 core CPU's (16 cores totaal).....	1
Tabel 14: Hyper-V prijzen voor server met twee 16 core CPU's (32 cores totaal).....	8
Tabel 15: Hyper-V prijzen voor server met twee 28 core CPU's (56 cores totaal).....	14
Tabel 16: Hyper-V prijzen voor server met twee 32 core CPU's (64 cores totaal).....	20
Tabel 17: Prijzen ESXI host met Windows Server VM's.....	1
Tabel 18: Prijzen ESXI host met RHEL VM's.....	2
Tabel 19: Prijzen RHV host met RHEL VM's.....	1
Tabel 20: Prijzen RHV host met Windows Server VM's.....	1

## Lijst van gebruikte afkortingen

Tabel 1: lijst van gebruikte afkortingen

SLA	Service Level Agreement
VM	Virtual Machine
OS	Operating System of Besturingssysteem
GUI	graphical user interface
RHV	Red Hat Virtualization
RHVM	Red Hat Virtualization Manager
KVM	Kernel-based Virtual Machine
I/O	Input/Output
CPU	Central Processing Unit
RHEL	Red Hat Enterprise Linux
UCS	Unified Computing System
UCSm	Unified Computing System manager
FI	Fabric Interconnect
FEX	Fabric Extender
RU	Rack Unit
PCB	Printed Circuit Board
PSU	Power Supply Unit
GPU	Graphical Processing Unit
VIC	Virtual Interface Cards
vNIC	Virtual Network Interface Card
vHBA	Virtual Host Bus Adapter
VM-FEX	Virtual Machine Fabric Extender
HDD	hard disk drive
SSD	Solid State Drive
RAM	Random-access memory
SATA	Serial AT Attachment
DIMM	Dual inline memory module
CLI	Command Line Interface

## Verklarende woordenlijst

Tabel 2: Verklarende woordenlijst

Service Level Agreement	Afspraken tussen een leverancier en een klant over de verplichtingen/rechten van de klant/leverancier in verband met de geleverde producten of diensten.
Virtual Machine	Een besturingssysteem of applicatie die via een hypervisor virtueel op een hardware host draait.
Overhead	De system resources die door een bovenliggend programma/os gebruikt worden.
Hypervisor	Een software laag tussen de hardware en het besturingssysteem die het mogelijk maakt om meerdere besturingssystemen te draaien op dezelfde hardware.
High availability	Zonder een single point of failure kan infrastructuur bij een grote fout niet down gaan en is deze dus "high available".
Redundancy	Zorgen dat een service of apparaat altijd beschikbaar is door het zodanig inbouwen van back-ups dat mocht een component falen, een ander het kan overnemen en zo functionaliteit kan garanderen.
ISO	Een virtuele exacte kopie van optische media zoals een cd, dvd, ...
Kernel	De kernel is de kern van een besturingssysteem en vertaalt input/output (I/O) requests van software naar data-processing instructions die de central processing unit (CPU) begrijpt.
Blade	Een kleine modulaire server, ontworpen om zo veel mogelijk servers op een zo klein mogelijke oppervlakte te kunnen plaatsen.
NX-OS	Een door Cisco ontwikkeld networking OS.
Port Density	Het aantal fysieke poorten aanwezig op een apparaat.
Rack Unit	Een standaard maatgeving die in een server rack gebruikt wordt om aan te geven hoeveel plaats iets inneemt in de hoogte. Een RU komt overeen met 1.75 inch of 4.445 cm.
Backplane	Een backbone dat verschillende printed circuit boards (PCB's) of apparaten met elkaar verbindt.
Hyperthreading	Een feature van Intel CPU's dat ervoor zorgt dat een fysieke CPU kern wordt getoond als twee logische CPU kernen. Hoewel dit nog steeds niet even snel is als twee fysieke kernen, kan met deze feature een performance gain van ongeveer 30% gehaald worden.
Unified Ports	Dit zijn poorten op de 6200 serie FI's die ofwel Ethernet, ofwel Fibre Channel traffic kunnen dragen.
CPU-socket	De connector op het moederbord waarin de CPU geïnstalleerd is.
Minimum System Requirements	Het minimum aan systeem resources dat beschikbaar moet zijn om de functionaliteit van een toepassing te garanderen.
Role (server)	Een set software waarmee de server waarop ze zijn geïnstalleerd een specifieke rol kan spelen voor andere verbonden servers/gebruikers.

## Inleiding

Binnen Open Line worden in hun datacentra vooral vSphere 6/5 en in beperkte maten Hyper-V 2016 gebruikt. In dit onderzoek wordt nagegaan of het naar de toekomst toe interessant is om ook andere hypervisors te implementeren. Hiervoor zal een vergelijkend onderzoek worden uitgevoerd tussen Microsoft Windows Server Hyper-V 2019, VMware vSphere 6.7 en Red Hat Virtualization 4.2. Het gaat hier zowel over een theoretisch onderzoek, als een praktisch onderzoek op een testomgeving (gelijkaardig aan de huidige productieomgeving).

Om kosten te drukken en hardware zo efficiënt mogelijk te benutten is het uiteindelijk de bedoeling om zo veel mogelijk Virtual Machines (VM's) te laten draaien op zo weinig mogelijk hardware. Om deze reden zal onderzocht worden wat de overhead is van de verschillende hypervisors. Ook is het belangrijk dat de hypervisors goed samenwerken met de bestaande infrastructuur in het datacenter. Dit wordt getest door het uitvoeren van een stresstest gedurende minimum drie dagen. Hiernaast wordt aan de hand van enkele benchmarks de performantie van verschillende soorten VM's getest om te kijken hoe de hypervisors omgaan met bepaalde operating systems (OS)/toepassingen. Tot slot zal een prijsanalyse worden gemaakt om te kijken wat de verschillen in kost zijn tussen de hypervisors.

## I. Voorstelling Stageopdracht

In dit hoofdstuk worden het stagebedrijf en de stageopdracht voorgesteld.

### 1 Bedrijfsvoorstelling: Open Line B.V.

Open Line is een bedrijf, gespecialiseerd in het ontwerpen en beheren van ICT-infrastructuren en cloudoplossingen. Met iets meer dan 200 medewerkers is Open Line een gezonde, stabiele en groeiende organisatie met een groeiend klantenbestand en structurele



Figuur 1: Logo Open Line [15]

samenwerkingsverbanden met vooraanstaande ICT-organisaties. De visie van Open Line sluit nauw aan bij economische veranderingen. Hierop haakt de dienstverlening van het bedrijf in door een ICT-infrastructuur aan zijn klanten aan te bieden waarmee altijd en overal, onafhankelijk van tijd of plaats, gewerkt kan worden.

Open Line biedt zijn diensten aan vanuit twee werkmaatschappijen, namelijk Open Line Consultancy en Open Line Managed Services.

#### *Open Line Consultancy*

Open Line Consultancy ontwerpt en implementeert ICT-infrastructuren, gebruikmakend van producten en diensten, ontwikkeld door marktleaders van hun respectievelijke gebied. Enkele voorbeelden hiervan zijn de volgende producten:

- **DELL EMC<sup>2</sup> storage [1]**
- **Cisco networking infrastructuur [2]**
- **Cisco Blades/servers (UCS managed) [2]**
- **Microsoft server/Hyper-V [3]**
- **Microsoft Azure [4]**
- **VMware [5]**
- **Citrix [6]**
- **AppSense [7]**

#### *Open Line Managed Services*

Open Line Managed Services beheert de ICT-infrastructuren op basis van een Service Level Agreement (SLA). In deze SLA staan de rechten en plichten van zowel de klant als de leverancier gedefinieerd. Dit gaat over bijvoorbeeld een minimum gegarandeerde prestatie of functionaliteit van de geleverde dienst. Voor het verlenen van deze diensten werkt Open Line samen met volgende partners:

- **Engie [8] voor alle datacenteraangelegenheden**
- **Eurofiber [9] voor high available glasvezelverbindingen naar de datacentra**
- **Kreuze [10] voor alles in verband met communicatie**

## 2 Motivering

De reden waarom ik voor Open Line gekozen heb als stagebedrijf is omdat bij het uitschrijven van de opdracht rekening gehouden werd met de interesses van de stagiair. Op die manier kan ik mij verdiepen in de technologieën die mij het meest interesseren.

Door het feit dat in de opdracht geëxperimenteerd kan worden op echte hardware, krijg ik de kans om met echte *production grade* hardware te werken. Het gaat hier om een ander systeem dan de iets of wat verouderde hardware die in de PXL beschikbaar is. Het lijkt me zeer interessant om het Cisco-platform te gebruiken en te kijken op welke manieren dit verschilt van de HP Blade infrastructuur van de PXL.

Ik heb via de PXL al enkele datacentra bezocht (onder andere het datacenter van Open Line in Maastricht), maar om effectief zelf in het datacenter te werken en te zien wat zich allemaal achter de schermen afspeelt, lijkt me een zeer leerrijke ervaring.

## 3 Probleemstelling

Binnen de datacentra van Open Line worden vooral vSphere 5/6 en in beperkte mate Hyper-V 2012/2016 gebruikt. Met het oog op een verhoging in prestaties van de VM's en een efficiëntere benutting van de beschikbare hosts in het datacenter, wordt gekeken of het naar de toekomst toe interessant is om van hypervisor over te schakelen. Zo kan een betere service aan de klanten geleverd worden en mogelijk de *operating cost* van het datacenter verlaagd worden.

## 4 Doelstelling

Het uiteindelijke doel van de stage is om Open Line zowel op het gebied van kostprijs als prestaties een advies te geven over de nieuwe hypervisors op de markt, met name: Microsoft Hyper-V 2019, VMware vSphere 6.7 en Red Hat Virtualisation 4.2.

In de eerste plaats wordt gekeken of alle hypervisors goed samenwerken met de beschikbare hardware in het datacenter. Dit gebeurt aan de hand van een stresstest die voor minstens drie dagen (indien mogelijk langer) zal lopen. Mochten grote problemen zich voordoen in verband met de stabiliteit van de hypervisors op de beschikbare hardware, zouden die naar boven moeten komen. Hiernaast wordt onderzocht wat de overhead van de verschillende hypervisors is. Dit is belangrijk omdat het uiteindelijk de bedoeling is om zo veel mogelijk VM's te draaien op zo weinig mogelijk hardware. Ook wordt de performance van verschillende soorten VM's per hypervisor getest om te kijken of sommige hypervisors beter/minder goed werken met bepaalde OS's/toepassingen. Tot slot wordt een prijsanalyse gemaakt om per hypervisor de verschillen in kost voor de verschillende licentievormen te bekijken.



## 5 Randvoorwaarden

### - **Beslissingen**

Beslissingen zullen in samenspraak met de stagiair, de bedrijfspromotor en/of stagebegeleider genomen worden.

### - **Beperkingen**

Het experimenteren mag enkel gebeuren op de voorziene testhardware. In geen enkel geval mag geëxperimenteerd worden op de productieomgeving. Hierdoor kan het zijn dat de testomgeving niet volledig gelijk is aan de productieomgeving: deze zou dus een beetje anders kunnen reageren. Ook zou het kunnen dat voor sommige hypervisors met een trialversie gewerkt moet worden. Hierdoor zou het kunnen dat bepaalde features ontbreken of dat de testperiode afloopt voordat de stage voorbij is.

### - **Locaties**

De stagiair moet in de mogelijkheid zijn om zelfstandig te kunnen reizen naar het kantoor Maastricht-Airport, Datacenter Maastricht-Airport en Datacenter Landgraaf.

### - **Kritische succesfactoren**

Een van de belangrijkste dingen is het opmaken van een goede planning met voldoende tijd om eventuele vertragingen op te vangen. Om tot een goed en bruikbaar resultaat te komen is het nodig om toegang te krijgen tot de nodige testhardware.

### - **Afspraken**

Elke dag zal acht uur gewerkt worden. Aankomen kan tussen 8 en 9 uur. Indien gevraagd moet de stagiair bereid zijn om zich naar het kantoor in Landgraaf te verplaatsen.

In plaats van de individuele rapporten vermeld in de OneNote file, wordt het eindwerk aangevuld. De nieuw geschreven tekst wordt in het blauw geschreven tot deze door de hogeschoolpromotor is nagekeken.

Zelf heeft de stagiair zich als doel gesteld om een goede, haalbare planning op te stellen en deze zo goed mogelijk na te komen.

## 6 12 weken planning

WEEK	TO DO
WEEK 1	<ul style="list-style-type: none"><li>- Zoek uit welke hardware gebruikt wordt.</li><li>- Research hardware</li><li>- Zoek topics om hypervisors op te testen.</li></ul>
WEEK 2	<ul style="list-style-type: none"><li>- Research UCS-omgeving</li><li>- Zet testserver in UCS op</li></ul>
WEEK 3	<ul style="list-style-type: none"><li>- Kostenanalyse hypervisors maken</li><li>- Zoek methodes/<i>tools</i> om testen mee uit te voeren</li></ul>
WEEK 4	<ul style="list-style-type: none"><li>- Projectomschrijving opstellen (technical version)</li><li>- Run testen</li><li>- Analyseer testgegevens</li></ul>
WEEK 5	<ul style="list-style-type: none"><li>- Projectomschrijving opstellen (language version)</li><li>- Run testen</li><li>- Analyseer testgegevens</li></ul>
WEEK 6	TBD
WEEK 7	<ul style="list-style-type: none"><li>- Projectomschrijving verbeteren (final version)</li><li>- Opstellen eindwerk (language version)</li></ul>
WEEK 8	TBD
WEEK 9	<ul style="list-style-type: none"><li>- Do 02/05: Terugkomdag</li><li>- Do 09/05: samenvatting PXL talentenkrant (taak zes Epos)</li><li>- Opstellen eindwerk (technical version)</li></ul>
WEEK 10	TBD
WEEK 11	<ul style="list-style-type: none"><li>- Eindwerk schrijven</li><li>- Ppt juryexamen maken</li></ul>
WEEK 12	<ul style="list-style-type: none"><li>- Eindwerk verbeteren</li><li>- Ppt juryexamen verbeteren</li><li>- Samenvatting talentenkrant verbeteren</li></ul>

## II. Onderzoekstopic

In dit hoofdstuk wordt het onderzoek zelf besproken. Om te beginnen volgt een verslag van de afgenomen interviews. Daarna zullen de te onderzoeken hypervisors besproken worden, gevolgd door een voorstelling van de testomgeving. Hierna worden de verschillende manieren waarop de hypervisors vergeleken worden besproken en tot slot volgt nog een algemene conclusie.

## 1 Interviews

In dit hoofdstuk worden kort enkele interviews die ik bij enkele collega's heb afgenomen samengevat.

### 1.1 Interview werking datacenter - Denzel van Vegchel

Na aan te komen in het datacenter van Landgraaf kreeg ik van Denzel een rondleiding doorheen het volledige datacenter. Hierbij heeft hij uitgelegd welke ondersteunende apparatuur nodig is voor de werking van een datacenter, gaande van de koelingsinstallatie tot de blusinstallatie. Ook heeft Denzel uitgelegd welke specifieke hardware Open Line voornamelijk gebruikt binnen de datacentra zoals bijvoorbeeld Cisco UCS Blades / Rack servers of DELL EMC storage. Ook werd kort uitgelegd dat Open Line gebruik maakt van een twin datacenter concept om zo de service naar de klanten toe te kunnen garanderen.

### 1.2 Interview werking UCS - Gabriele van Zanten

Nadat ik in verband met enkele vragen over het UCS-systeem werd doorverwezen naar Gabriele heeft hij mij een korte introductie gegeven over hoe het UCS-systeem binnen Open Line gemanaged wordt. Ook heeft hij mij doorverwezen naar enkele interne handleidingen over de te volgen richtlijnen in verband met onder andere Hyper-V.

## 2 Bespreking hypervisors

Om te beginnen is het belangrijk om te weten wat een hypervisor is en wat de verschillende types hypervisors zijn. Hieronder wordt eerst een algemeen overzicht gegeven, waarna dieper wordt ingegaan op elk van de drie onderzochte hypervisors.

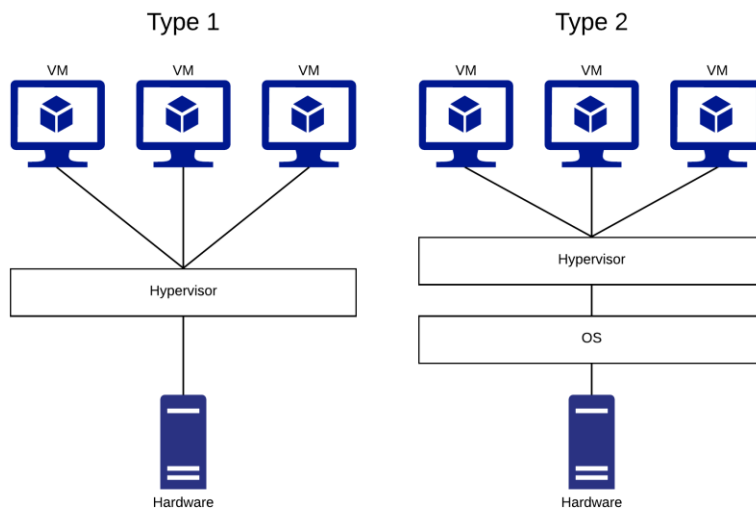
### 2.1 Hypervisor types

Een hypervisor is een laag tussen de hardware van de host en de virtuele toepassingen die erop draaien. Een hypervisor kan geclassificeerd worden als een type 1 of een type 2, waarbij de "locatie" van de hypervisorlaag bepaalt om welk type hypervisor het gaat. In Figuur 2 wordt dit geïllustreerd.

Als het om een type 1 -hypervisor gaat, zit deze rechtstreeks tussen de hardware van de host en de VM's die erop draaien. Deze hypervisor *managet* zelf rechtstreeks de hardware en fungeert zo als een soort besturingssysteem voor de hardware. Om deze reden staan type 1 -hypervisors bekend als *native* of *bare-metal* hypervisors. In tegenstelling tot type 1-hypervisors draaien type 2 -hypervisors niet rechtstreeks op de hosthardware, maar als toepassing in het besturingssysteem van de host. Hierdoor staan type 2 -hypervisors bekend als *hosted* hypervisors.

Een voordeel van type 1 -hypervisors is dat ze over het algemeen sneller zijn dan type 2- hypervisors omdat deze rechtstreeks aan de hardware kunnen en niet eerst door een ander OS uit moeten. Dit is onmiddellijk ook het nadeel van type 1 -hypervisors. Aangezien bij type 1 geen besturingssysteem op de hardware draait, kan de hostmachine enkel gebruikt worden als host en kan hiernaast geen of maar beperkte andere toepassingen draaien.

Bron: [11]



Figuur 2: Hypervisor Types

## 2.2 Microsoft Hyper-V

Hyper-V is een type 1 hypervisor, ontwikkeld door Microsoft en gemaakt om te draaien op hun Windows-serverplatformen. Deze kan op twee manieren geïnstalleerd worden.



Figuur 3: Microsoft Hyper-V Logo [16]

Ten eerste kan de Hyper-V *role* net zoals elke andere *role* in een standaardversie van Windows -server geïnstalleerd worden. Het gaat hier zowel om de Microsoft Windows server 2019 core als de versie met de Graphical User Interface (GUI) (Microsoft Windows Server 2019 Desktop Experience). Indien ervoor wordt gekozen om Windows Server Core te gebruiken, is de Hyper-V GUI echter niet op de host beschikbaar. De Hyper-V GUI kan wel gebruikt worden door *remote* op de host in te loggen met een client die wel een GUI heeft.

De tweede manier is het gebruik van de *dedicated* Hyper-V Server. Dit is een *stripped down* versie van Windows Server Core met Hyper-V erop geïnstalleerd. Deze versie heeft in tegenstelling tot de standaardversie van Windows server Core niet de mogelijkheid om extra Roles & Features te installeren en is dus enkel bedoeld om als Hyper-V host te fungeren.

Een “voordeel” dat Hyper-V heeft ten opzichte van andere type 1 -hypervisors is dat, indien deze als *role* is geïnstalleerd, het Windows Server -besturingssysteem toch nog beschikbaar is voor de gebruiker. Naast Hyper-V kunnen dus nog andere toepassingen draaien op de host server; dit wordt echter sterk afgeraden aangezien dit de performantie van de VM's kan beïnvloeden.

## 2.3 VMware vSphere

vSphere is een type 1 -hypervisor, ontwikkeld door VMware en is momenteel met een vrij grote marge de marktleider op het gebied van virtualisatie.



Figuur 4: VMware vSphere Logo [16]

In tegenstelling tot Hyper-V kan vSphere, net als de meerderheid van andere type 1 -hypervisors, enkel als *dedicated* vSphere-server worden geïnstalleerd via de door VMware voorziene ISO en dus niet in een Windows- of Linux- omgeving. In het verleden gebruikte ESX een Linux- kernel om initieel op te starten en andere componenten in te laden, maar hier werd van afgestapt met de overgang van ESX naar ESXi (na ESX version 4.1).

Eén van de grote *selling points* van vSphere zijn de verschillende tools voor het managen van de vSphere -omgeving. Enkele voorbeelden hiervan zijn vCenter Server en vSphere Client.

### *vCenter Server*

vCenter Server is een centrale managementtool voor het managen van één of meerdere ESX, ESXi en GSX servers, alsook de VM's die erop draaien. Eén van de beste functionaliteiten van vCenter is vMotion. Dit is een zeer nuttige feature die het toelaat om zonder downtime VM's van de ene host naar de andere te migreren, de *storage* van een VM van de ene *storage* naar een andere te migreren (svMotion) of beide tegelijk te migreren (enhanced vMotion).

### *vSphere Client*

Via de vSphere Client kan rechtstreeks een verbinding met de vCenter -server of een individuele ESXi-host gemaakt worden. Als geconnecteerd wordt op een vCenter systeem, worden alle opties getoond die beschikbaar zijn voor de achterliggende vSphere -omgeving. Indien rechtstreeks geconnecteerd wordt op een vSphere host zelf, worden enkel de opties voor single-hostmanagement weergegeven.

## 2.4 Red Hat Virtualisation

Red Hat Virtualization (RHV) is zoals de naam doet vermoeden ontwikkeld door Red Hat Inc. RHV draait op KVM (Kernel-based Virtual Machine). Dit wil zeggen dat de Linux -kernel zelf wordt gebruikt als hypervisor.



Figuur 5: REV Logo [17]

Hierdoor is RHV in tegenstelling tot de vorige twee hypervisors moeilijk te classificeren als een type 1- of type 2- hypervisor, aangezien de KVM -kernelmodule de Linux -kernel verandert in een *bare metal* hypervisor, terwijl het Linux -besturingssysteem wel gewoon voor alle andere toepassingen beschikbaar blijft zoals het ervoor was. Hierbij kan de kernel hypervisor geclassificeerd worden als een type 1- hypervisor aangezien deze rechtstreeks op de kernel draait. Het geheel daarentegen lijkt eerder op een type 2 -hypervisor aangezien het op Linux draait en het host OS nog steeds functioneert als voorheen.

Net als bij Hyper-V is het voor RHV mogelijk om de hypervisor te installeren als een *dedicated* host server. Ook hier gaat het om een *stripped down* versie van -in dit geval- Red Hat Enterprise Linux (RHEL) met enkel de packages om als host te werken. Hier kunnen, indien nodig, uiteraard nog wel extra packages naast geïnstalleerd worden, hoewel het sterk wordt afgeraden om op de VM- host nog andere toepassingen te draaien. Dit zou de functionaliteit van de VM's op de host kunnen beïnvloeden.

Om RHV te managen is de Red Hat Virtualization Manager (RHVM) ontwikkeld, gebaseerd op de Cockpit- tool. Van hieruit kan alles beheerd worden, gaande van het beheren van de datacentra tot het aanmaken of migreren van VM's.



### 3 Testplatform

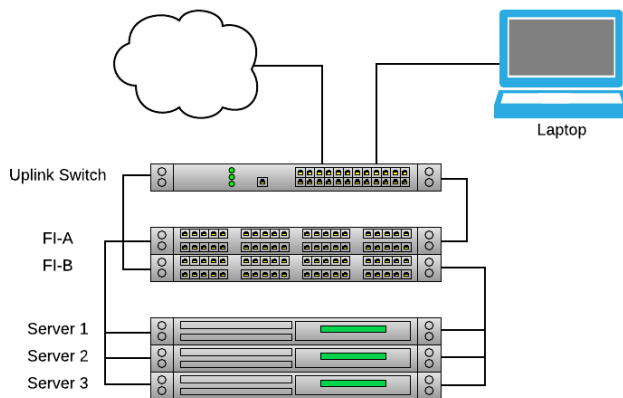
Binnen de datacentra van Open Line wordt gebruikgemaakt van een variatie aan verschillende types servers/netwerkinfrastructuur. De grote meerderheid hiervan zijn echter UCS *managed* Cisco rack servers/Blades, Cisco -netwerkinfrastructuur en DELL/EMC<sup>2</sup> *Storage*. De testopstelling (zie Figuur 6: Foto testopstelling) zal zich dan ook beperken tot deze lijn van producten.



Figuur 6: Foto testopstelling

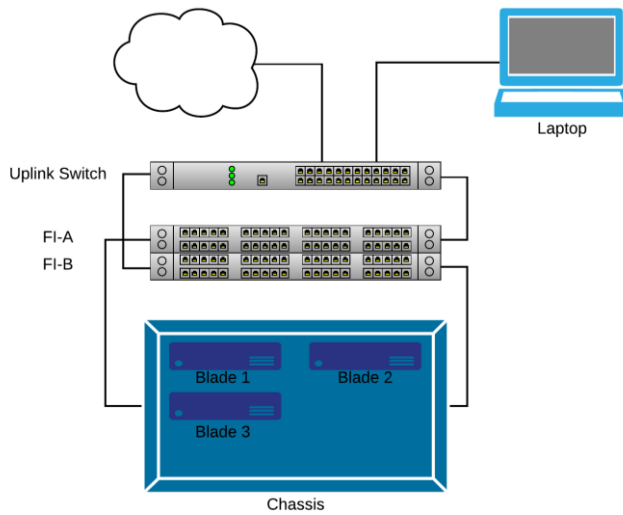
### 3.1 Opstelling testomgeving

De testomgeving zal bestaan uit drie delen: drie UCS *managed rack servers*, twee *Fabric interconnects* (FI's) en een Cisco -switch zoals weergegeven in Figuur 7: schema testopstelling. De *rack servers* zijn alle drie Cisco HX220c M4. Deze zijn elk voorzien van twee Intel® Xeon® E5-2630v3 CPU's met acht kernen en *hyperthreading*, wat een totaal van zestien logische kernen geeft. De CPU's hebben ook beide een kloksnelheid van 2.40 GHz en een maximumpiekkloksnelheid van 3.20 GHz. De servers zijn elk voorzien van acht Dual in-line memory modules (DIMM's) UCS-MR-1X322RU-A Random-access memory (RAM), wat resulteert in een totaal van 256 GB aan RAM. In tegenstelling tot de live omgeving zal echter geen DELL EMC<sup>2</sup> *remote storage* gebruikt worden, aangezien deze hardware op het moment van de stage niet beschikbaar is. Elke server is in plaats hiervan voorzien van local Solid State Drive (SSD) *storage*. Het gaat hier om een Intel Enterprise Value 6G Serial AT Attachment (SATA) SSD van 120 GB, een Intel Enterprise performance 6G SATA SSD van 480 GB en zes HGST 10k RPM harddiskdrives (HDD's) van 1.2TB per stuk. De twee FI's zijn beide een Cisco UCS 6248UP. Dit is een FI met standaard 32 unified ports. Dit kan worden uitgebreid tot 48 unified ports in totaal via het beschikbare expansion slot. Deze FI ondersteunt 1/10 Gigabit Ethernet, Fibre Channel over Ethernet (FCoE) en zowel 4/2/1 als 8/4/2 Fibre Channel. De gebruikte switch is een Cisco Catalyst 3750-E series.



Figuur 7: schema testopstelling

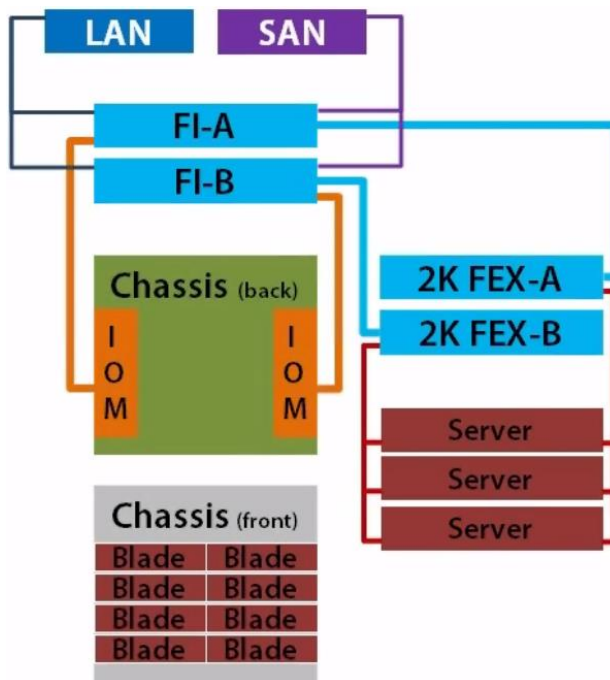
Na enkele testen en verder onderzoek bleek echter dat deze testopstelling niet geschikt was voor het uit te voeren onderzoek. Het HX220C M4 platform is enkel ontwikkeld om als vSphere node te fungeren en heeft daarom geen support/drivers voor Windows of Linux. Om deze reden is gezocht naar een andere testopstelling. Uiteindelijk werd besloten om enkele blades die in het datacenter van Landgraaf uitgebouwd waren te hergebruiken. Deze konden ingestoken worden in het blade chassis van de testomgeving in de staging ruimte in het hoofdkantoor. De huidige testopstelling bestaat uit een Cisco UCS 5108 Blade Chassis met drie Cisco UCS B22 M3 blades. Elk van de blades heeft dual Intel® Xeon® E5-2407 v2 CPU's met een kloksnelheid van 2.40 GHz, 96GB DDR3 RAM en twee 300GB HDD's als local storage. Officieel wordt Windows Server2019 door de M3 generatie van blades niet ondersteund, maar na testen bleek dat dit wel volledig werkte.



*Figuur 8: schema testopstelling 2*

### 3.2 Bespreking UCS/UCSm

Het Cisco Unified Computing System (UCS) is een systeem dat het managen van de gehele datacenter-infrastructuur een stuk makkelijker maakt, omdat de verschillende componenten vanuit een centrale plaats beheerd kunnen worden, namelijk de Unified Computing System manager (UCSm). Om een goed idee te krijgen over hoe flexibel dit systeem is, is wel enige basiskennis nodig over de componenten waaruit het UCS-systeem is opgebouwd en hoe deze samenwerken.



Figuur 9: Schema UCS platform [12]

### *Fabric Interconnect (FI)*

De Fabric Interconnect (FI) is de basis van elk UCS-systeem. FI's worden voor *redundancy* altijd per twee geïnstalleerd (dus niet apart, per drie, per vier, ...). Zij zijn enigszins het centrale punt van waar de gehele omgeving gemanaged wordt. Daarnaast zorgen ze ook voor de netwerkconnectiviteit tussen bijvoorbeeld een Blade -chassis en de rest van het Ethernetnetwerk. Op de FI's draait dus zowel NX-OS als de UCSm.

### *Fabric Extender (FEX)*

Fabric Extenders zijn uitbreidingen voor het *Fiber Channel* netwerk. Zij fungeren als extra poorten voor de bovenliggende *parent switch*. Een FEX zelf kan geen switching doen en vertrouwt hiervoor ook volledig op de *parent switch*. Een FEX is dus een vrij "dom" apparaat met als hoofdfunctie de *port density* van de *parent switch* uit te breiden zonder het beheer van de omgeving complexer te maken. Hierdoor is de FEX ook makkelijk vervangbaar in het geval van een storing of defect, aangezien op de FEX zelf zo goed als geen configuraties zijn opgeslagen.

Aangezien de FEX een groot aantal apparaten op de *parent switch* aansluit via een beperkte hoeveelheid verbindingen, kan *overcommitting* wel een probleem vormen. Indien bijvoorbeeld zestien downstream- connecties worden aangesloten op de *parent switch* via vier upstream- connecties, wordt ge-overcommit met een factor van vier. In normale situaties is dit geen probleem, aangezien de kans dat alle zestien servers de volledige bandbreedte van hun connectie met de FEX zullen gebruiken extreem klein is. Mocht echter een situatie ontstaan waarbij de totaal verbruikte bandbreedte van de downstream -connecties de capaciteiten van de upstream -connecties overschrijdt, zal deze vertraging wel merkbaar zijn.

Binnen UCS worden Fabric Extenders vooral gebruikt in de Blade Chassis. In deze situatie staan ze ook bekend onder de naam I/O -modules. Een laatste belangrijk detail is dat een FEX enkel kan worden aangesloten per twee, vier of acht *uplinks*. Verbindingen van bijvoorbeeld drie *uplinks* komen dus nooit voor.

### *Blade servers*

Door de nood aan compactere en meer modulaire servers is het Bladesysteem ontwikkeld. De Blades zelf zijn eigenlijk geen functionerende server op zichzelf. Dit komt omdat zij zijn ontworpen om samen te werken met een Blade Chassis. Dit chassis voorziet via het backplane enkele basisfuncties voor de Blades zoals netwerk connectiviteit, koeling en het leveren van stroom.

Door deze zeer modulaire opbouw kan op een veel kleinere oppervlakte een grotere hoeveelheid servers geplaatst worden. In een Cisco UCS 5108 Blade Server Chassis passen bijvoorbeeld acht B200 Blade Servers. Aangezien dit Blade Chassis zes Rack Units (RU) hoog is kunnen dus op de plaats die zes één RU size servers innemen acht gelijkaardige blade servers geplaatst worden. Indien gewenst zijn ook krachtigere Blades beschikbaar die twee of vier slots in beslag nemen.

Een ander voordeel van dit modulair systeem is een betere redundancy. Het Blade Chassis is bijvoorbeeld voorzien van vier PSU's en acht dual fan units. Mochten bijvoorbeeld twee PSU's uitvallen, dan kan het chassis de blades via de twee resterende PSU's nog steeds van stroom voorzien. Ook zal door het feit dat resources zoals bijvoorbeeld de PSU's gedeeld worden het stroomverbruik een stuk lager liggen aangezien de hardware efficiënter benut wordt.

In tegenstelling tot klassieke Bladesystemen worden I/O modules gebruikt in plaats van standaard switch modules om de netwerk connectiviteit van het chassis te voorzien. Een I/O module kan zoals hierboven reeds aangegeven was een FEX zijn die aangesloten is op een losstaande set FI's. Indien gewenst kunnen de FI's echter rechtstreeks in het chassis gestoken worden. Dit is goedkoper voor kleinere setups waar maar één enkel chassis nodig is aangezien in dit geval geen twee full size FI's en twee FEX's voor het chassis aangekocht moeten worden. Op het gebied van schaalbaarheid naar de toekomst toe is dit echter minder ideaal.

### *Rack server*

Indien voor sommige situaties geen Bladesysteem nodig is of de Blades niet voldoen aan de minimum vereisten van de gebruiker (bijvoorbeeld de mogelijkheid om full size GPU's te installeren), heeft Cisco de C-Series van servers uitgebracht. Dit zijn rack-servers gaande van een RU hoge servers tot vier RU hoge servers voor bijvoorbeeld het inbouwen van GPU's. Net als de Blade servers kunnen deze via UCS beheerd worden waardoor ze ondanks dat het geen Blade servers zijn ze toch gemakkelijk samen met een al dan niet bestaande Bladeomgeving beheerd kunnen worden.

### *Mezzanine cards*

Een mezzanine card is een Printed Circuit Board (PCB) die bedoeld is om de connectiviteit of functionaliteit van een systeem uit te breiden. Simpelweg zijn dit dus addon-cards. Binnen het USC-systeem gaat het dan vooral om de Cisco UCS Virtual Interface Cards (VIC). Via deze VIC kunnen virtuele Network Interface Cards (vNIC) en Virtual Host Bus Adapters (vHBA) aangemaakt worden. Ook wordt de Cisco Virtual Machine Fabric Extender technologie (VM-FEX) ondersteund. Hiermee is het mogelijk om UCS Fabric Interconnect ports aan VM's te koppelen.

Bron: [12]

### 3.3 Conclusie UCS

Cisco UCS maakt het mogelijk om fysieke hardware en de servers die erop draaien vrijwel volledig van elkaar te scheiden. De volledige configuratie van een Blade of Rack server gebeurt via Service Profiles. Hierin wordt de volledige hardware configuratie van de server vastgelegd, gaande van de manier waarop de Blade zijn *storage* beheerd tot het aanmaken van vNIC's, over het toewijzen van virtuele MAC-adressen, tot het instellen van bios settings.

Als een nieuwe Rack of Blade server wordt ingebouwd kan een Service Profiel hieraan worden toegewezen. De server zal dan worden geconfigureerd volgens de instellingen van het Service Profiel. Mocht de server om een of andere reden down gehaald worden dan kan dit profiel toegewezen worden aan een andere server. Deze tweede server krijgt dan exact dezelfde instellingen (tot op MAC-adressen toe) en neemt dan de rol van de eerste server over. Op deze manier kunnen dus eigenlijk de Service Profiles zelf als de effectieve server worden gezien in plaats van de fysieke hardware zelf. Deze manier van werken met Service Profiles is de grootste kracht van het UCS-systeem en vergemakkelijkt aanzienlijk het beheer van de infrastructuur, zowel op server als op hardware niveau.

## 4 Overhead

De overhead van een hypervisor bepalen is geen simpele taak aangezien dit ook afhangt van de load waaronder de hypervisor zich bevindt. Om een initiële indruk te krijgen van de overhead wordt gekeken naar de resources die de hypervisor in gebruik neemt na een *clean install* zonder VM's.

Voor de Hyper-V zal enkel de Windows Server 2019 Hyper-V versie besproken worden aangezien de Microsoft Hyper-V Server 2019 image wegens problemen i.v.m. security kwetsbaarheden nog steeds niet beschikbaar is. Voor Red Hat Virtualization wordt ook enkel gekeken naar de RHV installatie op een RHEL server.

### 4.1 Vergelijking overhead

Zoals af te lijden uit Tabel 3 zijn er enkele verschillen tussen de verschillende hypervisors. Als eerste valt het onmiddellijk op dat Hyper-V aanzienlijk meer HDD-ruimte inneemt dan ESXI of RHV. De hoofdreden hiervoor is de Windows Server installatie waarop Hyper-V draait. Hierbij gaat het over een volledige Windows Server installatie met GUI. In principe kan dit ook geïnstalleerd worden op een Windows Server zonder GUI, maar uit ervaring blijkt dat er dan mogelijk problemen ontstaan bij het troubleshooten van de omgeving.

Als gekeken wordt naar het RAM verbruik tussen de verschillende hypervisors valt het op dat RHV aanzienlijk meer RAM gebruikt dan de andere. Dit komt omdat de management VM die de omgeving beheert om deze server zelf draait. Deze VM heeft om functionaliteit te kunnen garanderen een hoeveelheid ram reeds gereserveerd. Een kleiner verschil is ook op te merken tussen Hyper-V en ESXI, waarbij Hyper-V iets meer verbruikt. Dit is ook toe te wijzen aan het feit dat het gebruik van een server met gui meer resources nodig heeft dan een server met enkel een Command Line Interface (CLI).

Als tot slot gekeken wordt naar het CPU verbruik valt het op dat dit bij elke hypervisor gelijk is. Dit is ook een normaal resultaat aangezien er nog geen VM's draaien op de hypervisors en deze dus nog niet belast worden.

Tabel 3: Overhead resultaten

	Disk	RAM	CPU
Hyper-V	22,7 Gb	3,7 Gb	1%
ESXI	2,82 Gb	2,39 Gb	1%
RHV	3,7 Gb	11,4 Gb	1%



## 5 Stabiliteit

Een van de belangrijkste vereisten van een hypervisor is dat hij stabiel is. In een productieomgeving is het onacceptabel dat de functionaliteit van de hypervisor verstoord wordt of de hypervisor down gaat. Om te testen of deze hypervisors effectief stabiel draaien werden twee VM's gecreëerd. Een Windows Server 2019 VM en een Linux CentOS 7 VM. CentOS is gebruikt in plaats van RHEL omdat deze twee besturingssystemen gelijkaardig genoeg zijn en om eventuele compatibiliteitsproblemen te voorkomen.

De testen zijn enkel uitgevoerd op Hyper-V en ESX. Hardware problemen zorgden ervoor dat de RHV host niet meer kon opstarten en wegens gebrek aan beschikbaar materiaal kon dit niet tijdig worden opgelost.

### 5.1 Gebruikte stresstests

Voor Windows is het programma "Heavyload" gebruikt. Binnen dit programma was er de mogelijkheid om zowel de CPU, het RAM-geheugen als de HDD te belasten. Er was ook een test voorzien voor de GPU, maar aangezien er geen GPU's in de testopstelling zitten heb ik deze test niet gebruikt. Voor CentOS is het programma "Stress" gebruikt. Ook hier was er de mogelijkheid om zowel de CPU, het RAM-geheugen als de HDD te belasten.

### 5.2 Conclusie stresstest

Bij het opstarten van de stress testen op de VM's was er initieel een klein verschil merkbaar tussen de Windows VM's. De Windows VM die op ESXI draaide begon bij het starten van de stresstest even merkbaar te vertragen, maar stabiliseerde na enkele seconden terug. Bij de CentOS test was er geen merkbaar verschil tussen de twee hypervisors. Aangezien de VM's gedurende de stresstest stabiel bleven draaien kan geconcludeerd worden dat zelfs op de verouderde hardware van de testomgeving de nieuwste versies van de geteste hypervisors nog stabiel kunnen draaien.

## 6 Performance/benchmarks

Om te kijken of er merkbare verschillen zijn op het gebied van de performantie van de VM's zijn enkele benchmarks uitgevoerd. Het betreft hier opnieuw een Windows Server 2019 en een CentOS 7 VM. De testen die zijn uitgevoerd hadden betrekking tot de prestatie van de CPU, de RAM en de HDD.

Voor de Windows Benchmarks is voor het testen van de CPU en de RAM het programma "UserBenchmark" gebruikt. Voor het testen van de HDD's werd gebruikt gemaakt van "CrystalDiskMark". Voor de CentOS VM's werd gebruik gemaakt van het programma "Sysbench".

Ook hier zijn, om dezelfde redenen als vermeld in hoofdstuk 5, de testen enkel uitgevoerd op VM's, draaiende op het Hyper-V en ESXI platform. De resultaten van de benchmarks worden in dit hoofdstuk kort besproken. De volledige resultaten zijn terug te vinden in Bijlagen E: Resultaten Benchmarks.

### 6.1 Bespreking benchmarks

Tussen de Windows Server VM's is op gebied van CPU-prestatie geen merkwaardig verschil gevonden. De waardes van de RAM testen geven aan dat de gemeten *latency* voor de Hyper-V VM lager is, terwijl de multi core throughput van de ESXI VM hoger is. Als gekeken wordt naar de score, scoort de ESXI VM in totaal iets beter dan de Hyper-V VM. Dit verschil is echter niet groot genoeg om een van de twee sterk af of aan te raden over de andere hypervisor. De resultaten van de HDD-benchmarks liggen vrij dicht bij elkaar. De onderlinge afwijking kan worden toegewezen aan het verschil in performantie van de gebruikte HDD's in de servers aangezien twee HDD's nooit volledig hetzelfde zijn.

Net als bij de Windows Server VM is er tussen de CentOS VM's geen merkbaar verschil in prestaties. Gelijkaardig aan de bemerkingen van de Windows VM's is ook de RAM van de ESXI VM iets sneller dan de RAM van de Hyper-V VM, maar ook hier is dit verschil niet groot genoeg om een van de hypervisors sterk aan of af te raden ten opzichte van de andere. De resultaten van de HDD benchmark geven ook aan dat tussen de CentOS VM's ook geen verschil merkbaar is.

### 6.1 Conclusie benchmarks

Uit de hierboven besproken resultaten kan geconcludeerd worden dat op het gebied van prestaties tussen de twee gebenchmarkte hypervisors geen groot verschil merkbaar is. Met het voor de VM gekozen besturingssysteem moet dus geen rekening worden gehouden bij het selecteren van de hypervisor om de VM op te draaien.

## 7 Prijsanalyse

Een niet onbelangrijk aspect van de hypervisors is hoeveel dit het bedrijf kost. De verschillende manieren van licentiëren zullen per hypervisor vergeleken worden voor vier verschillende server configuraties. Deze configuraties hebben allemaal dual CPU's, met respectievelijk acht kernen per CPU (gelijkaardig aan de testomgeving), zestien kernen per CPU (een mid-range server configuratie), 28 kernen per CPU (het huidige maximum aantal cores van de flagship Intel® Xeon® Platinum CPU serie) en naar de toekomst toe 32 kernen per CPU. Als de support optioneel is, zal deze extra kost niet mee opgenomen worden in het totaal. Ook zal worden gekeken naar de licentiekosten van de VM's die op de hypervisors zullen draaien, gaande van een "lege" host zonder VM's tot een host met 50 VM's. Voor de VM's die tijdens de vergelijking worden opgespind zullen enerzijds RHEL en Windows Server 2019 Essentials licentie gekocht worden aangezien deze niet per core gelicentieerd moeten worden, en anderzijds zullen Windows Server 2019 Standard licenties gekocht worden voor het geval de Essentials versie of RHEL niet volstaan.


### 7.1 Prijzen Hyper-V

Voor Hyper-V zijn drie verschillende opties elk met een uiteenlopende hoeveelheid features mogelijk. Het gaat hier om Windows Server 2019 Standard, Windows Server 2019 Datacenter en Microsoft Hyper-V Server 2019. Microsoft Hyper-V Server 2019 vereist geen licentie. Windows Server 2019 Standard en Windows Server 2019 Datacenter daarentegen worden wel gelicentieerd via een core based licentiemodel. Dit wil zeggen dat elke CPU-core van de server apart gelicentieerd moet worden. Hierbuiten worden ook enkele minimumvereisten opgelegd bij het licentiëren van een server:

- **Zoals eerder vermeld moeten alle fysieke CPU kernen apart gelicentieerd zijn.**
- **Per CPU moeten minstens acht core licenties worden afgenomen, zelfs al heeft de CPU minder dan acht kernen.**
- **Per server moeten minstens zestien core licenties worden afgenomen, zelfs al heeft de server minder dan zestien kernen in totaal.**

Licenties worden verkocht in pakketten van twee of zestien. In Tabel 4: Licenties Windows Server volgt een overzicht van hoeveel 2-core pack server licenties voor een aantal verschillende server configuraties gekocht moeten worden:

Tabel 4: Licenties Windows Server [13]

 Physical Cores per Processor	2	4	8	10	12	14	16	Processors per server
Number of 2-core packs needed	8	8	8	8	8	8	8	1 processor
	8	8	8	10	12	14	16	2 processors
	16	16	16	20	20	24	32	3 processors

Om de huidige prijs van de licenties te bepalen wordt gebruik gemaakt van de aangegeven Microsoft prijzen op <https://www.dsaict.nl/> [14]. Deze prijzen zijn allemaal excl. BTW.

### 7.1.1 Windows Server 2019 Standard

Windows Server 2019 Standard is zoals de naam doet vermoeden een vrij standaard versie van Windows Server. Deze licentie is bedoeld voor licht gevirtualiseerde omgevingen. Dit wordt duidelijk aangezien buiten de hostmachine met dezelfde licentie ook twee VM's gelicentieerd kunnen worden.

Als de Windows Server 2019 Standard licentie enkel voor VM's gebruikt wordt, is het nog steeds enkel mogelijk om slechts twee VM's te licentiëren, de licentie van de Hyper-V host kan dus niet gebruikt worden om een derde VM te licentiëren. In Tabel 5: Prijzen Windows Server Standaard volgt een overzicht van de huidige 6.1.1 Windows Server 2019 Standard prijzen.

Tabel 5: Prijzen Windows Server Standaard [14]

	2-core pack	16-core pack
Licentie Zonder Software Assurance	€132.00	€1,056.00
Licentie twee met jaar Software Assurance	€198.00	€1,584.00
Licentie met drie jaar Software Assurance (/jaar)	€77.00/jaar	€616.00/jaar

### 7.1.2 Windows Server 2019 Datacenter

Windows Server 2019 Datacenter is bedoeld om te gebruiken in zwaar gevirtualiseerde omgevingen. Windows Server 2019 Datacenter heeft een aanzienlijk hoger prijskaartje als Windows Server 2019 Standaard, maar dit komt ook met enkele voordelen. Het grootste voordeel is dat in tegenstelling tot Windows Server 2019 Standaard naast de Hyper-V host een onbeperkt aantal VM's op deze host kan licentiëren. Afhankelijk van de configuratie van de server en het aantal VM's dat op de server wordt gehost, kan een Windows Server 2019 Datacenter licentie door zijn hoge basiskost aanzienlijk duurder of aanzienlijk goedkoper zijn. In Tabel 6: Prijzen Windows Server Datacenter volgt een overzicht van de huidige Windows Server 2019 Datacenter prijzen.

Tabel 6: Prijzen Windows Server Datacenter [14]

	2-core pack	16-core pack
Licentie Zonder Software Assurance	€825.00	€6,600.00
Licentie met twee jaar Software Assurance	€1,237.00	€9,896.00
Licentie met drie jaar Software Assurance (/jaar)	€481.00/jaar	€3,848.00/jaar

### 7.1.3 Microsoft Hyper-V Server 2019

In tegenstelling tot Windows Server 2019 Standard en Windows Server 2019 Datacenter is Microsoft Hyper-V Server 2019 volledig gratis. Dit is een *stripped down* versie van Windows Server 2019 Core waarop enkel Hyper-V draait. Aangezien Microsoft Hyper-V Server 2019 enkel gemaakt is om als virtualisatie host te dienen is het niet mogelijk om hier andere roles en features op te installeren. Dit is ook de reden dat Microsoft Hyper-V Server niet de Windows naam draagt, aangezien het enkel bedoeld is als Hyper-V platform, niet als Windows server.

### 7.1.4 Windows Server 2019 Essentials

Omdat Windows Server 2019 Essentials niet per core gelicentieerd wordt, gebruiken we deze in de kostenberekening om VM's te licentiëren. Hierdoor maakt het niet uit hoeveel cores de VM toegewezen krijgt. In Tabel 7: Prijzen Windows Server 2019 Essentials volgt een overzicht van de huidige Windows Server 2019 Essentials prijzen:

Tabel 7: Prijzen Windows Server 2019 Essentials [14]

Licentie Zonder Software Assurance	€537.00
Licentie met twee jaar Software Assurance	€805.00
Licentie met drie jaar Software Assurance (/jaar)	€313.00/jaar

### 7.1.5 Vergelijking Hyper-V

Aangezien de kosten van Windows Server 2019 licenties gebonden zijn aan het aantal fysieke CPU's en CPU cores van de server, verschilt de meest voordelige manier van licentiëren van server tot server. Om deze reden worden de vier serverconfiguraties apart bekeken. Om de verschillende licentiemogelijkheden te vergelijken, zijn zeven verschillende combinaties om te licentiëren bekeken. Daarnaast wordt eveneens gekeken welk licentiemodel het goedkoopste is naargelang de hoeveelheid VM's die op de host draaien. De volledige tabellen en grafieken zijn terug te vinden in bijlage: "B. Prijsanalyse Hyper-V". Een meer gedetailleerde versie van alle tabellen en grafieken waar in dit hoofdstuk naar verwezen wordt staat in deze bijlagen.

Als alle grafieken naast elkaar gelegd worden, kunnen al onmiddellijk enkele dingen worden vastgesteld. Om te beginnen is het duidelijk dat voor hosts waar veel Windows Server 2019 VM's op draaien de Windows Server 2019 Datacenter licentie het meest voordelig is. Dit is het geval aangezien alle VM's gelicentieerd worden via de host licentie en dus geen aparte licenties voor de VM's moeten aangekocht worden. Het omgekeerde is echter waar wanneer de host enkel gebruikt wordt voor RHEL VM's aangezien de "gratis" licenties voor de Windows Server 2019 VM's in de prijs van de Windows Server 2019 Datacenter licentie verrekend zijn en de prijs uiteraard niet verlaagd wordt als deze niet gebruikt worden voor de VM's op de host. De combinatie van een Windows Server 2019 Datacenter host waar RHEL VM's op draaien, is niet mee opgenomen in de tabel of grafiek aangezien deze in vergelijking met de andere licentiecombinaties aanzienlijk duurder is in elke situatie. Hiernaast valt het onmiddellijk op dat, indien Windows Server 2019 Standard licenties gebruikt worden voor het licentiëren van de VM's, buiten de initiële kost van de host licentie geen enkel verschil is in prijs tussen de Windows Server 2019 Standard host en de Microsoft Hyper-V 2019 host.

Wanneer RHEL licenties of Windows Server 2019 Essentials licenties gebruikt worden voor het licentiëren van de VM's doet zich een gelijkaardige trend voor. De prijzen stijgen ook hier evenredig naarmate het aantal VM's toeneemt, maar in tegenstelling tot wanneer de Windows Server 2019 Standard licenties voor de VM's gebruikt worden blijft wel een prijsverschil bestaan. Bij het gebruik van de RHEL licenties voor de VM's is dit prijsverschil gelijk aan de kost van de initiële Windows Server 2019 Standard licentie voor de host. Bij het gebruik van de Windows Server 2019 Essentials licenties is dit verschil echter kleiner. Dit komt omdat bij het licentiëren van de eerste twee VM's nog gebruik gemaakt wordt van de twee licenties die "gratis" bij de licentie voor de host zitten aangezien de Standard edition hetzelfde is als de Essentials edition met de uitzondering dat de Standard iets meer features heeft.

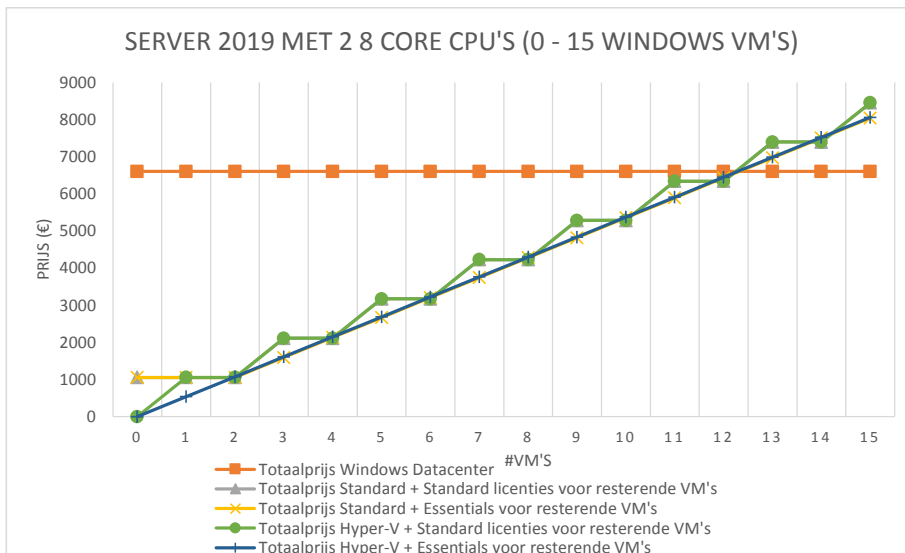
Tot slot valt het op dat over het algemeen Linux (RHEL) licenties goedkoper zijn dan hun Windows tegenhangers.

### 7.1.5.1 Server met twee 8-core CPU's (16 kernen in totaal)

Deze server configuratie komt exact overeen met de minimum licentie vereisten van Windows Server 2019, namelijk acht core licenties per CPU en zestien Core licenties per server. Dit wil zeggen dat bij configuraties met minder CPU's of bij het gebruik van CPU's met minder kernen de kost van de licenties niet meer zal dalen. De prijs voor deze configuratie kan dus beschouwd worden als minimumprijs.

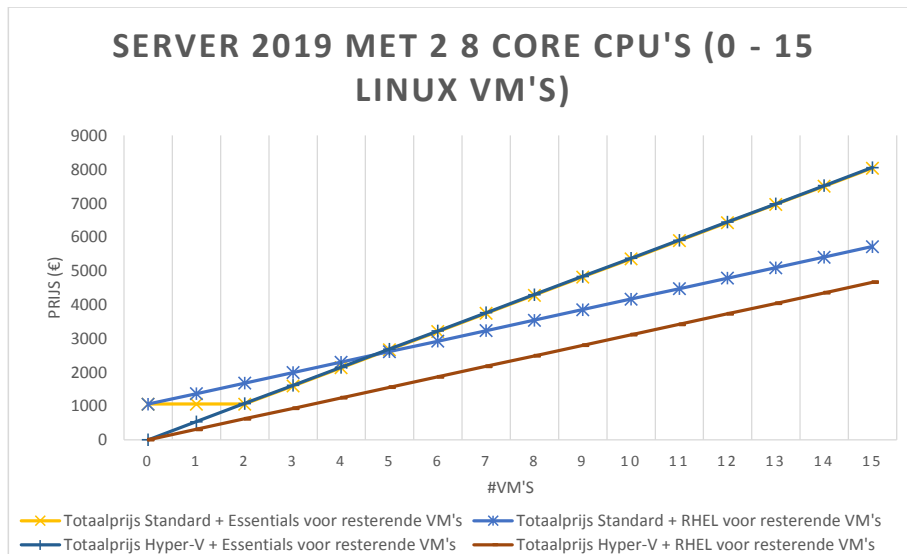
Aangezien deze server configuratie met zijn twee 8-core CPU's in totaal over zestien fysieke kernen beschikt, volstaat het om telkens één 16-pack van de licenties te kopen. Zoals blijkt uit Figuur 10 blijft bij het vergelijken van hosts voor Windows Server VM's dat Windows Server 2019 Datacenter initieel veruit de duurste is. Als het aantal VM's echter oploopt, wordt de Datacenter versie een stuk aantrekkelijker en vanaf het hosten van dertien of meer VM's is dit de goedkoopste oplossing.

De resterende licentiecombinaties kosten, op de initiële licentie kost van de host na, bijna even veel. Het enige verschil is dat Windows Server 2019 Standard licenties per twee worden aangekocht. Dit is in Figuur 10 ook te zien aan het zaagtand patroon van de lijn voor de Microsoft Hyper-V Server en Windows Server 2019 Standard hosts met Windows Server 2019 Standard licenties voor de VM's.



Figuur 10: Hyper-V prijzen: dual 8-core CPU server (0 - 15 Windows Server VM's)

Voor de Hosts die enkel RHEL VM's gaan draaien, is de prijsanalyse veel meer straight forward. Aangezien RHEL licenties per CPU-pair worden uitgeschreven, is het enige prijsverschil de initiële kost van de host licentie. De Windows Server 2019 host kost €1056 meer dan de Microsoft Hyper-V host (die gratis is) maar voor de rest is de kost per VM licentie gelijk dus stijgen de prijzen evenredig met elkaar zoals weergegeven in Figuur 11.

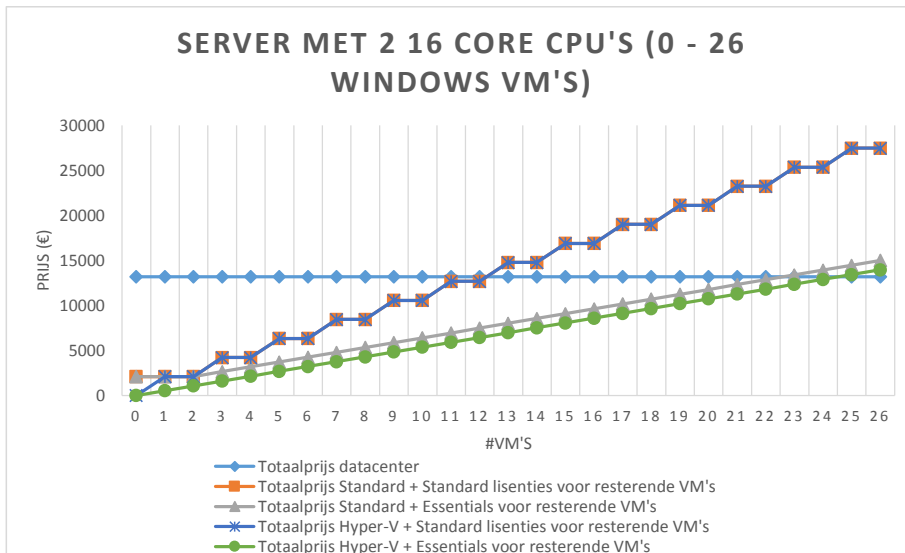


Figuur 11: Hyper-V prijzen: dual 8-core CPU server (0 - 15 RHEL VM's)

Opvallend is dat over het algemeen het licentiëren van VM's, het gebruik van RHEL licenties een stuk goedkoper is dan het gebruik van Windows Server 2019 Licenties. Dit echter enkel zolang de totaalprijs goedkoper is dan de Windows Server 2019 Datacenter Licentie zoals weergegeven in Figuur 11. Een kleine uitzondering hierop is een Windows Server 2019 Standard waar tot vier Windows Server VM's op draaien. Aangezien in de licentie van de host twee Windows Server 2019 Standard licenties voor VM's zijn inbegrepen, kunnen vervolgens twee Windows Server VM's "gratis" draaien. In Figuur 11 wordt dit voorgesteld door het horizontale stuk in het begin van de "totaalprijs Standard + Essentials voor de resterende VM's" lijn. (zie Figuur 23 in Bijlage B voor een algemeen vergelijkend overzicht).

### 7.1.5.2 Server met twee 16-core CPU's (32 kernen in totaal)

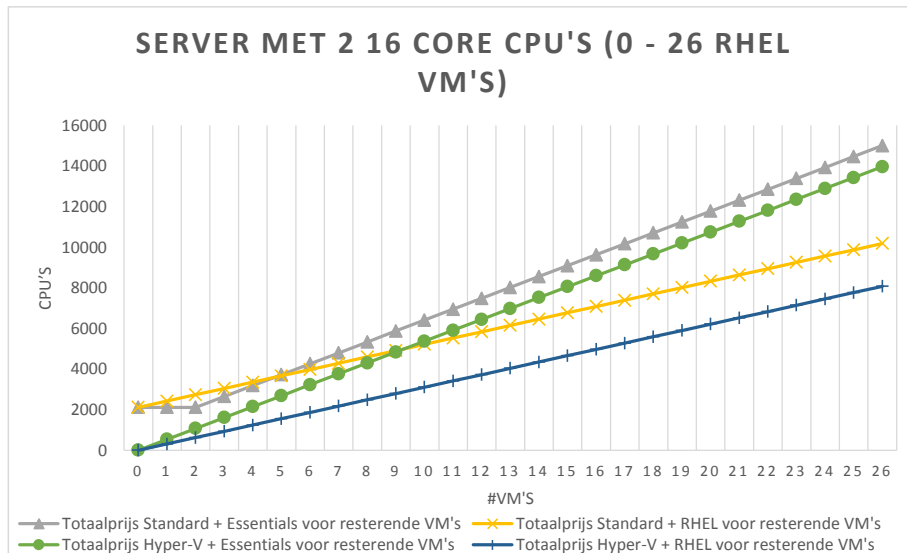
Aangezien deze server twee 16-core CPU's heeft en dus in totaal over 32 fysieke kernen beschikt, moeten telkens twee 16-core licentie packs gekocht worden. Het eerste dat opvalt in Figuur 12 is dat de prijzen veel minder overlappen dan bij de dual 8-core server configuratie. Windows Server 2019 Datacenter is nog steeds de duurste optie wanneer weinig VM's gehost worden en de goedkoopste optie wanneer veel VM's gehost worden. De break even punten van de verschillende licentiecombinaties liggen echter verder uit elkaar. Bij het gebruik van Windows Server 2019 Standard licenties voor VM's is het vanaf het hosten van dertien VM's voordeliger om van een Windows Server 2019 Standard of een Hyper-V licentie voor de host over te schakelen naar een Windows Server 2019 Datacenter licentie. Indien Windows Server 2019 Essentials licenties voor VM's gebruikt worden is het pas voordeliger om naar een Windows Server 2019 Datacenter licentie over te schakelen vanaf 23 VM's bij een Windows Server 2019 Standard host en vanaf 25 VM's bij een Hyper-V host. Het prijsverschil tussen het gebruik van Standard licenties en Essentials licenties voor de VM's is ook aanzienlijk groter geworden aangezien de totale prijs van de Standard licenties samen met het aantal fysieke CPU cores is verdubbeld terwijl de prijs van Essentials licentie hetzelfde blijft.



Figuur 12: Hyper-V prijzen: dual 16-core CPU server (0 - 26 Windows Server VM's)



Uit Figuur 13 is af te leiden dat ook bij deze server configuratie de prijzen evenredig met elkaar stijgen, met als enige verschil de kost van de host licentie.



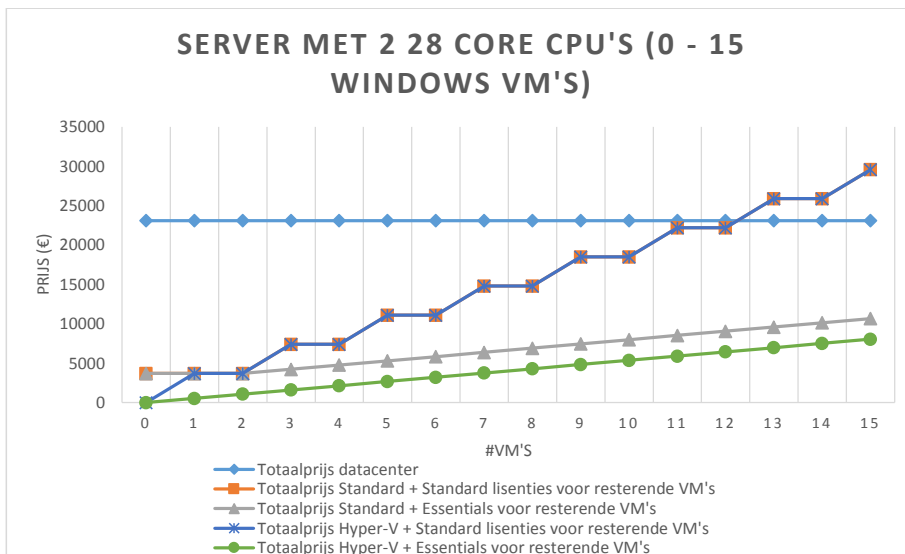
Figuur 13: Hyper-V prijzen: dual 16-core CPU server (0 - 26 RHEL VM's)

Ook hier valt het op dat het steeds duurder wordt om de host te laten draaien op een Windows Server 2019 Standaard licentie aangezien de grafieklijnen steeds verder uit elkaar gaan liggen.

### 7.1.5.3 Server met twee 28-core CPU's (56 kernen in totaal)

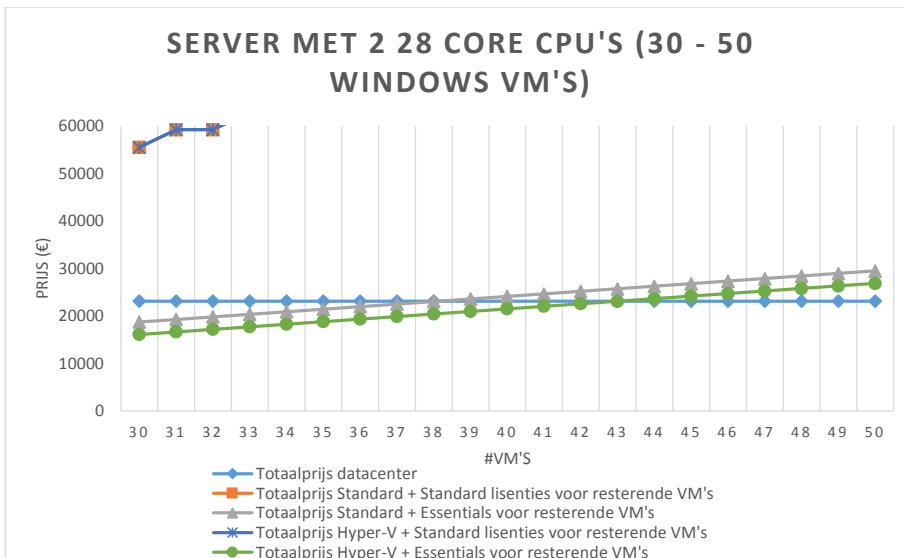
Bij een server configuratie met een totaal van 56 fysieke kernen kan niet zoals bij de vorige besproken configuraties een veelvoud van de 16-pack licenties gekocht worden. Om zonder een overschot aan licenties 56 kernen te kunnen licentiëren, moeten drie 16-pack en vier 2-pack licenties gekocht worden.

Aangezien de prijzen steeds verder uiteenlopen, zijn de grafieken voor de Windows Server licenties in twee gesplitst. Uit Figuur 14 blijkt dat het met deze server configuratie pas goedkoper is om van een Windows Server 2019 Standard licentie voor de host over te schakelen naar een Windows Server 2019 Datacenter licentie vanaf dertien VM's.



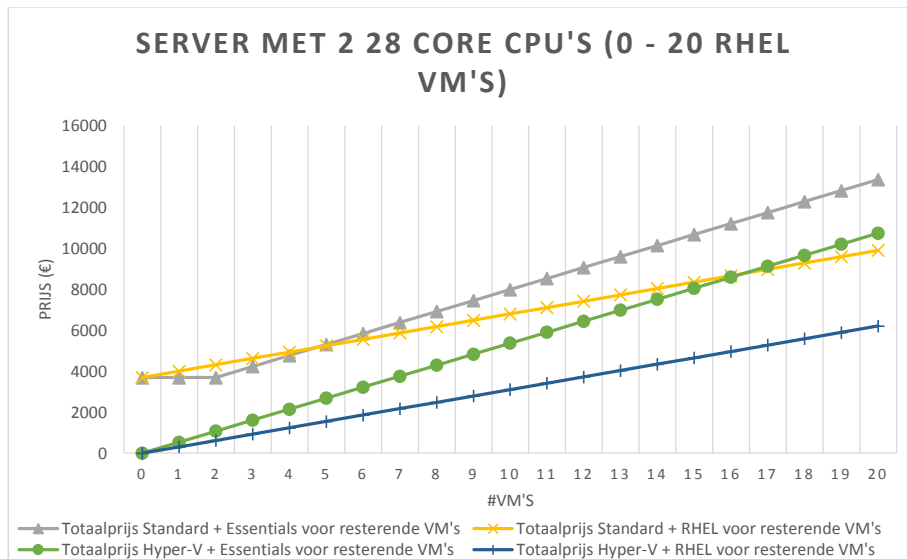
Figuur 14: Hyper-V prijzen: dual 28-core CPU server (0 - 15 Windows Server VM's)

Indien Windows Server 2019 Essentials licenties voor de VM's gebruikt worden schuift het break even point wederom op. Op Figuur 15 is af te lezen dat het bij het hosten van 39 VM's op een Windows Server 2019 Standard host voordeliger is om over te schakelen op een Windows Server 2019 Datacenter host. Indien de VM's op een Hyper-V host draaien, is het pas vanaf het hosten van 44VM's voordeliger om over te schakelen naar een Windows Server 2019 Datacenter host.



Figuur 15: Hyper-V prijzen: dual 28-core CPU server (30 - 50 Windows Server VM's)

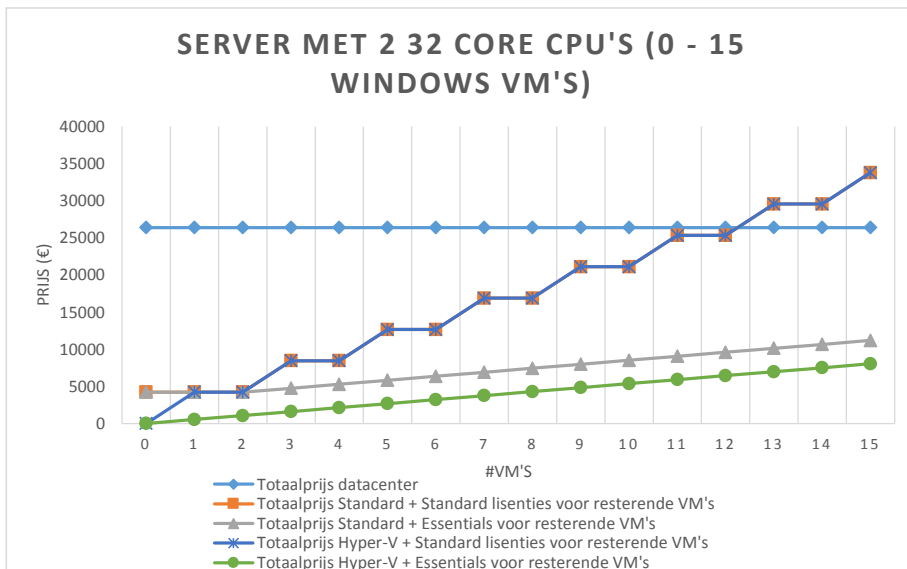
Het fundamentele verschil tussen Figuur 16 en de vorige twee server configuraties is opnieuw de gestegen basisprijs van de Windows Server 2019 Standard licentie van de host waardoor de grafische lijnen weer verder uit elkaar liggen.



Figuur 16: Hyper-V prijzen: dual 28-core CPU server (0 - 20 RHEL VM's)

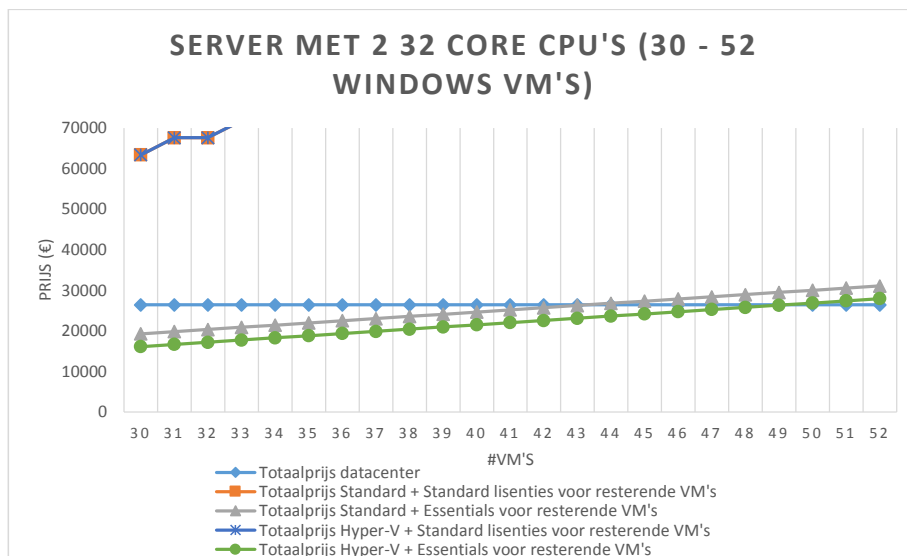
### 7.1.5.4 Server met twee 32-core CPU's (64 kernen in totaal)

Voor het licentiëren van een server met dual 32-core CPU's zijn vier 16-pack licenties nodig. Gelijkaardig aan de vorige drie server configuraties is het bij het gebruik van Windows Server 2019 Standard licenties voor de VM's vanaf het hosten van dertien VM's voordeliger om over te schakelen naar een Windows Server 2019 Datacenter licentie.



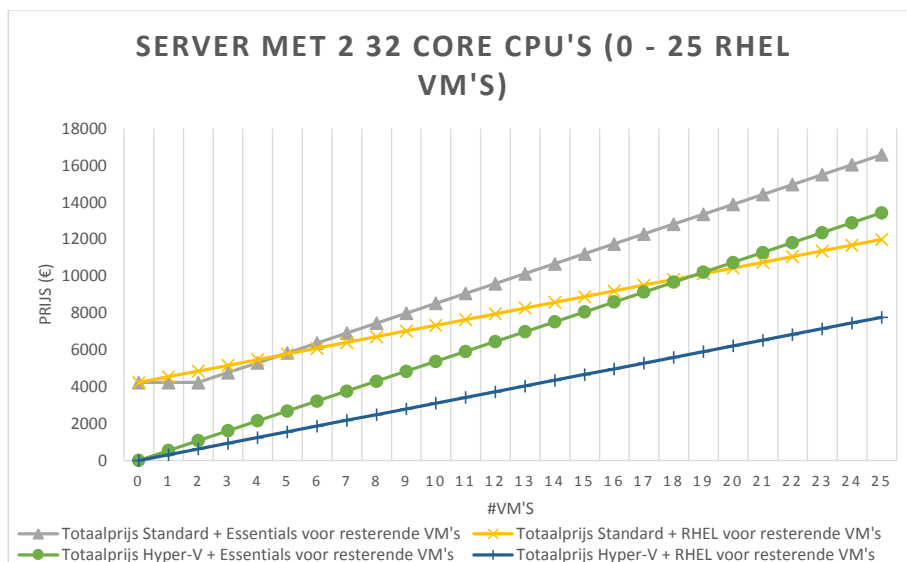
Figuur 17: Hyper-V prijzen: dual 32-core CPU server (0 - 15 Windows Server VM's)

Uit de resultaten van de vorige server configuraties bleek dat het aantal VM's dat gehost moest worden om voordeliger uit te komen met een Windows Server 2019 Datacenter licentie in plaats van een Windows Server 2019 Essentials licentie steeds groter werd. Uit Figuur 18 is af te leiden dat dit ook hier het geval is. Bij het gebruik van een Windows Server 2019 Standard host is het vanaf 44 VM's pas voordeliger om over te schakelen naar een Windows Server 2019 Datacenter licentie. Indien een Hyper-V host gebruikt wordt, is dit pas vanaf 50 VM's.



Figuur 18: Hyper-V prijzen: dual 32-core CPU server (30 - 52 Windows Server VM's)

Zoals weergegeven in Figuur 19 is het nog steeds goedkoper om RHEL licenties voor de VM's te gebruiken dan Windows licenties. Ook is het verschil in prijs tussen het hosten op een Windows Server 2019 Standard tegenover een Microsoft Hyper-V Server 2019 weer toegenomen.



Figuur 19: Hyper-V prijzen: dual 32-core CPU server (0 - 25 RHEL VM's)

### 7.1.1 Conclusie

Aangezien de licentiekosten van Windows licenties zo afhankelijk zijn van de hardware configuratie van de servers waaraan ze gekoppeld zijn is het moeilijk om een algemene "goedkoopste optie" aan te wijzen. Een trend die wel steeds terugkomt is dat indien men van plan is om grote hoeveelheden Windows Server VM's op de host te draaien een Windows Server 2019 Datacenter licentie telkens het goedkoopste is.

## 7.2 Prijzen VMware

In tegenstelling tot het licentiemodel van Microsoft is het bij VMware enkel nodig om servers per fysieke CPU te licentiëren. Elke fysieke CPU core moet dus niet apart gelicentieerd zijn. Ook moet per server geen minimum aan licenties worden afgenomen. Licenties voor vSphere worden per stuk verkocht, bundels zoals ze voorkomen bij Windows Server 2019 Standard of Datacenter licenties bestaan dus niet.

Voor het licentiëren van een vSphere host zijn drie opties mogelijk: VMware vSphere Standard, VMware vSphere Enterprise Plus en VMware vSphere Platinum. Deze versies verschillen hoofdzakelijk op het vlak van extra features en beperken niet noodzakelijk het aantal VM's dat gedraaid kan worden. In deze prijsanalyse wordt enkel gekeken naar de VMware vSphere Standard en de VMware vSphere Enterprise Plus licenties aangezien op de officiële site van VMware geen prijzen voor de VMware vSphere Platinum licentie vermeld zijn.

### 7.2.1 Prijzen vSphere

In Tabel 8 en Tabel 9 volgt een overzicht van de prijzen voor zowel de VMware vSphere Standard editie als de VMware vSphere Enterprise plus editie. Alle prijzen in de tabellen zijn per CPU. Net als bij de Windows Server licenties zal tijdens de prijsanalyse geen rekening worden gehouden met supportkosten, maar deze worden ook hier in onderstaande tabellen vermeld.

Tabel 8: Prijzen VMware vSphere Standard [5]

License Price	€967.50
1 Year Support & Subscription (Basic)	€265.52
1 Year Support & Subscription (Production)	€314.15

Tabel 9: Prijzen VMware vSphere Enterprise Plus [5]

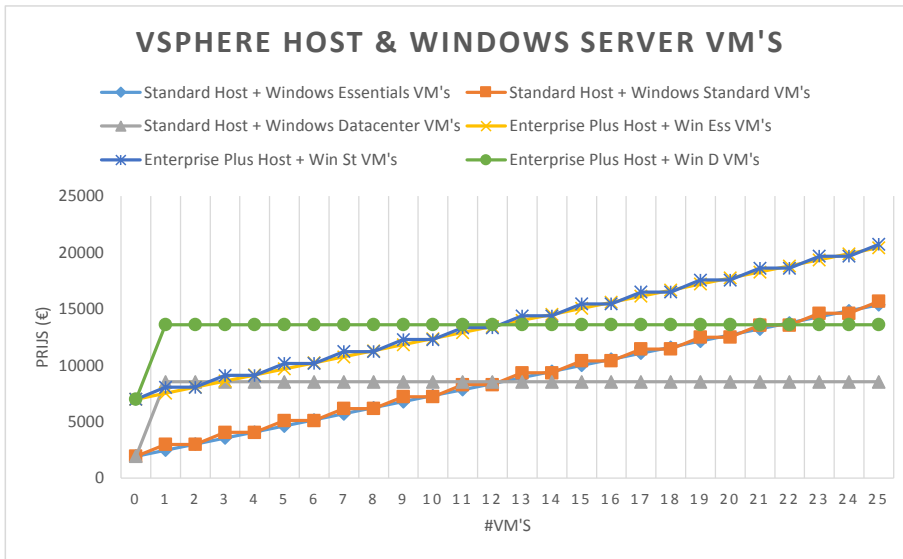
License Price	€3495.00
1 Year Support & Subscription (Basic)	€734.31
1 Year Support & Subscription (Production)	€874.37

Aangezien de prijzen in de tabellen per CPU zijn moeten deze verdubbeld worden voor dual server configuraties. Alsook moeten aparte CPU cores niet gelicentieerd worden, dus is het niet nodig om de vier server configuraties apart te bespreken zoals bij de Hyper-V prijs analyse nodig was. Hieronder wordt dieper op de prijzen van een vSphere host met Windows Server VM's en een vSphere host met RHEL VM's ingegaan.



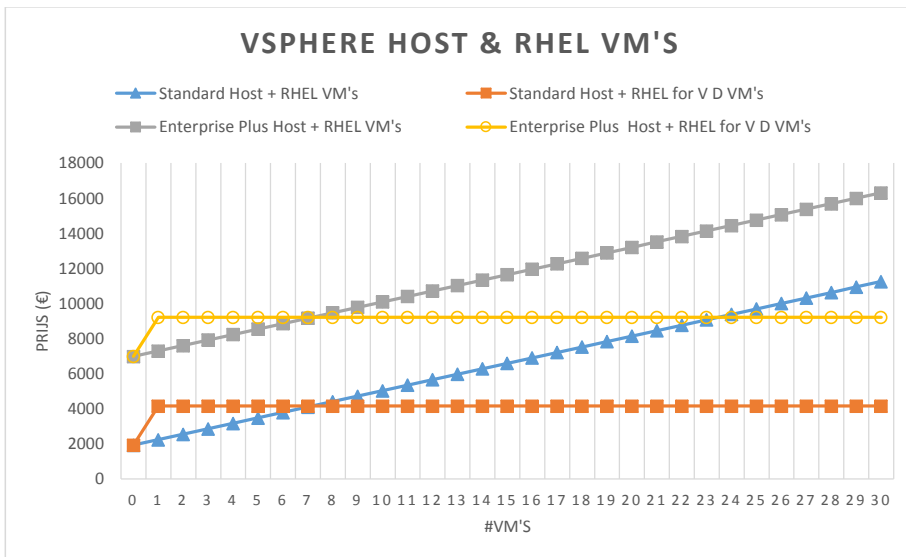
## 7.2.2 Vergelijking vSphere

Aangezien vSphere niet de mogelijkheid heeft om VM's "gratis" te licentiëren zoals dit met een Windows Server 2019 Datacenter host wel zou gaan heeft de licentie van de host geen invloed op de eventuele kosten van de licenties van de VM's. Om deze reden zal de totaalprijs van de twee hosts evenredig stijgen, met als enige verschil de initiële kost van de host licentie zelf.



Figuur 20: Prijzen voor vSphere host met Windows Server VM's

Net als bij de Windows Server 2019 VM licenties het geval was zal bij het gebruik van RHEL licenties voor de VM's de prijs evenredig stijgen met als enige verschil de initiële licentiekost van de vSphere host.



Figuur 21: Prijzen voor vSphere host met RHEL VM's

### 7.2.3 Conclusie VMware

In tegenstelling tot bij het licentiëren van een Windows host moet er bij VMware licenties geen rekening worden gehouden met het aantal CPU cores. Licenties moeten enkel per fysieke CPU aangekocht worden. Dit vereenvoudigt het licentiëringsproces aanzienlijk. Ook is het veel eenvoudiger om naar de toekomst toe de servers te upgraden aangezien bij het plaatsen van een nieuwe CPU met meer kernen geen extra licenties moeten worden aangekocht.

Bij de VMware licenties wordt het grootste verschil tussen de onderlinge licenties gemaakt door de hoeveelheid extra features die per licentiemodel beschikbaar zijn. In tegenstelling tot een Windows host kunnen VM's die op de host draaien echter niet de licentie van de host gebruiken.

### 7.3 Prijzen Red Hat Virtualization

Red Hat Virtualization licenties worden per CPU-pair gelicentieerd. Ook hier moeten geen aparte CPU cores gelicentieerd worden. Buiten het feit dat elke licentie geldig is voor een CPU-pair moet ook geen minimaal aantal licenties gekocht worden per server/CPU.

#### 7.3.1 Prijzen RHV

Voor het licentiëren van een RHV host is uiteraard een RHV-licentie nodig. Indien een *stand alone* RHV host gebruikt wordt is dit voldoende. Indien RHV op een RHEL server geïnstalleerd wordt moet uiteraard ook een RHEL licentie gekocht worden. Net zoals bij de Windows Server 2019 Datacenter licentie kunnen via een RHEL for Virtual Datacenters licentie ook alle RHEM VM's die op de host draaien gelicentieerd worden. Voor de verschillende licenties zijn verschillende prijspunten mogelijk. Het verschil tussen deze versies per licentie is de support die bij de licentie geleverd wordt.

In Tabel 10 volgt een overzicht van de prijzen van de RHV licentie. In Tabel 11 en Tabel 12 volgt een overzicht van de prijzen voor de verschillende RHEL licenties. De prijzen waren oorspronkelijk gegeven in USD, en zijn op 29/03/2019 van USD naar EUR omgerekend aan een *exchange rate* van 0.88969 EUR per 1 USD.

Tabel 10: Prijzen RHV

Business hour support	\$999/jaar ~ €888.80/jaar
24/7/365 support	\$1499/jaar ~ €1333.64/jaar

Tabel 11: Prijzen RHEL

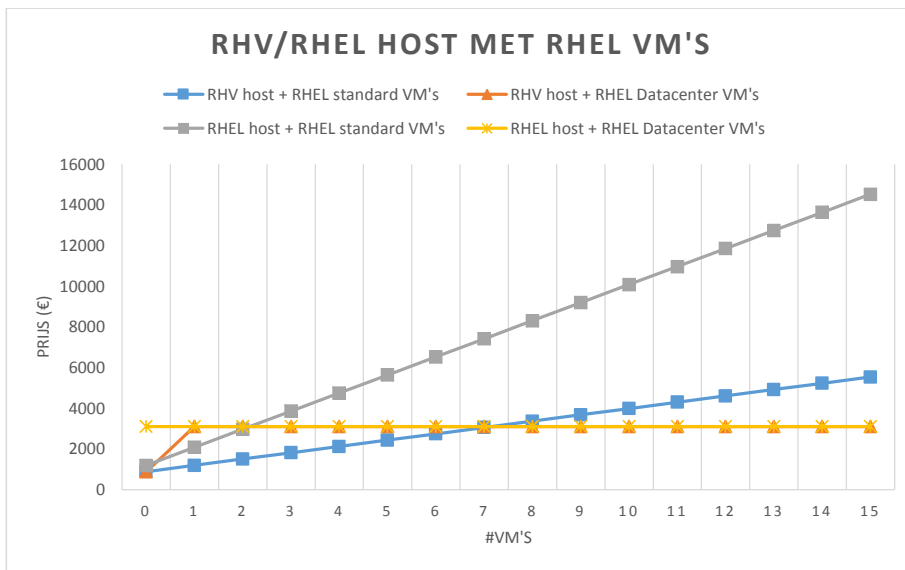
No support	\$349/jaar ~ €310.5/jaar
Business hour support	\$799/jaar ~ €710.86/jaar
24/7/365 support	\$1299/jaar ~ €1155.71/jaar

Tabel 12: Prijzen RHEL for Virtual Datacenters

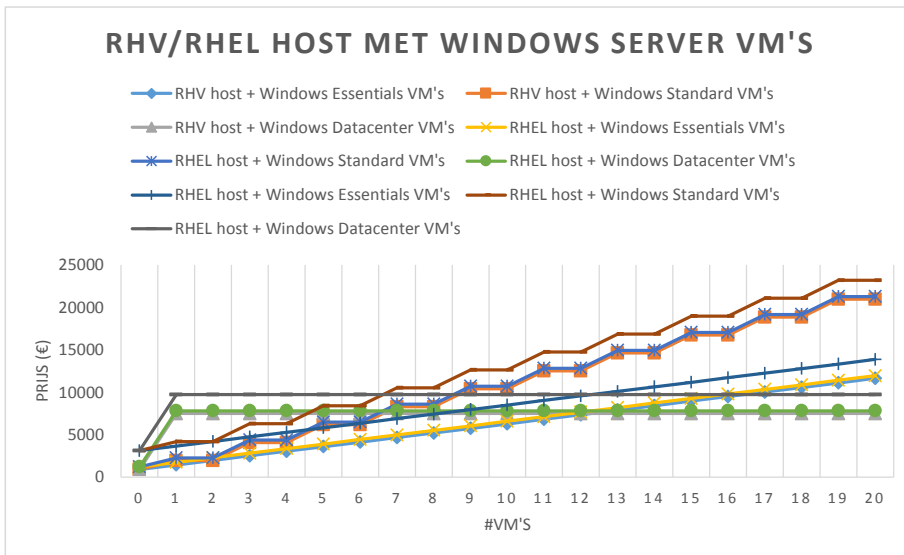
Business hour support	\$2499/jaar ~ €2223.33/jaar
24/7/365 support	\$3999/jaar ~ €3557.86/jaar

### 7.3.2 Vergelijking RHV

Zoals eerder vermeld is het mogelijk om een RHEL for Virtual Datacenters licentie te gebruiken voor zowel de host als de VM's die erop draaien, maar aangezien altijd een aparte licentie nodig is voor RHV, is dit iets minder voordelig dan de Windows Datacenter licentie. Indien enkel RHEL VM's gehost worden is het vanaf 8 VM's goedkoper om een datacenter licentie te gebruiken in plaats van aparte RHEL-licenties per VM.



De licentiëring van de host heeft geen invloed op de licentiemogelijkheden of kosten van Windows VM's. Het enige grote verschil is ook hier weer de kost van een Windows Server 2019 Datacenter licentie ten opzichte van de Essentials en Standard versie van de Windows licentie.



### 7.3.3 Conclusie RHV

In vergelijking met het licentiëren van een Windows host en zelfs een ESXI host is het licentiemodel van RHV nog eenvoudiger. De hoofdreden hiervoor is dat per licentie twee CPU's gelicentieerd worden. Dit versimpelt verder eventuele toekomstige server upgrades. Een nadeel is echter wel dat altijd een RHV licentie gekocht moet worden, zelfs als RHV geïnstalleerd wordt op een reeds gelicentieerde RHEL host.

## 8 Werk datacenter

Buiten de researchopdracht moesten in het datacenter van Landgraaf ook nog enkele taken worden uitgevoerd waarvan in dit hoofdstuk enkele besproken worden.

### 8.1 Inbouwen UCS blades

De eerste dag van de stage moesten twaalf blade servers worden ingebouwd. Dit was vrij *straight forward* aangezien de chassis reeds bekabeld en in gebruik waren. Mede dankzij het UCS-systeem kwamen de blades onmiddellijk online en waren ze zodra ze door het chassis herkend waren klaar voor gebruik. Het was interessant om de sterkte van het UCS systeem in actie te zien.

### 8.2 Uitbouwen Huawei rack server

In een datacenter moeten niet enkel nieuwe servers worden ingebouwd, maar ook oude servers worden uitgebouwd wanneer deze vervangen of verkocht worden. Dit was ook een van de taken die uitgevoerd moest worden. De server kon na het uittrekken van de kabels makkelijk verwijderd worden uit het rack. Buiten het verwijderen van de server moesten ook de netwerkkabels van de server naar het patch paneel en van het patch paneel naar de switch verwijderd worden. Dankzij deze opdracht werd een goed overzicht verkregen over hoe de bekabeling van een datacenter werkt.

### 8.3 Bekabelen Avamar-backup servers

Bij het inbouwen van een rack server moet deze uiteraard ook bekabeld worden voor deze in gebruik kan worden genomen. Bij het bekabelen binnen het datacenter komt iets meer kijken dan gewoon de kabels insteken. Elke kabel, van voedingskabel tot glasvezel, heeft een serienummer. Van elke kabel die insteekt moet gelogd worden van welke poort op welk apparaat naar welke poort op welk apparaat deze gaat. Zo wordt een overzicht gehouden van de bekabeling van het datacenter en kan elke individuele kabel getraceerd worden. Buiten het noteren van waar alle kabels naartoe gaan is het uiteraard ook belangrijk dat deze kabels ordelijk gelegd worden.



*Figuur 22: Bekabeling Avamar backup servers*



## Conclusie

Na het uitgebreid onderzoeken en testen van de verschillende hypervisors ben ik tot enkele conclusies gekomen. Op het gebied van overhead zijn de enige uitschieters het disk verbruik van de Windows Server Hosts en het RAM gebruik van een RHV host. Dit lijkt op het eerste zicht een aanzienlijk nadeel, maar dit is echter niet waar als het op schaal van een datacenter bekeken wordt. Om te beginnen doet de +/-20Gb die een Windows host meer gebruikt in vergelijking met de andere twee opties niet ter zake. De manier waarop Open Line te werk gaat zorgt ervoor dat VM's altijd via een remote storage draaien. De lokale storage die op de server gebruikt wordt door het besturingssysteem van de host heeft dus geen invloed op de beschikbare opslag voor de VM's. Ook het ram gebruik van de RHV-server valt in perspectief te plaatsen. De reden voor dit aanzienlijk hogere verbruik is de RHVM VM die op deze host draait. Deze management VM kan echter meerdere hosts aansturen en is dus binnen een datacenter met meerdere hosts een eenmalige "kost" van systeem resources.

Als gekeken wordt naar de stabiliteit en performantie van de VM's op de verschillende hosts is ook geen merkbaar verschil boven water gekomen. Dit heeft uiteraard enkel betrekking op de hardware van de testomgeving. Als Open Line dus besluit om van de Cisco UCS-omgeving over te stappen naar een andere hardware omgeving gelden deze resultaten mogelijk niet meer.

De licentiekosten zijn echter een ander verhaal. Het is op gebied van eventuele licentiekosten uiteraard vaak goedkoper om binnen eenzelfde ecosysteem te blijven. Bijvoorbeeld het draaien van een Windows Server 2019 host met Windows Server 2019 VM's gelicentieerd via een Windows Server 2019 Datacenter licentie. Ook speelt de hardware configuratie van de server hosts een grote rol in welke hypervisor en welk licentiemodel het voordeligste is. Om deze reden is het dus niet mogelijk om een "goedkoopste" licentiemodel aan te halen. Factoren zoals de hierboven vernoemde hardware configuratie van de host, alsook het aantal te hosten VM's en de licentiekosten van de VM's hebben een zeer grote invloed op de totale kost. Voor een meer diepgaand overzicht, zie Bijlagen B: Prijsanalyse Hyper-V, Bijlagen C: Prijsanalyse VMware en Bijlagen D: Prijsanalyse RHV.

Tot slot wil ik graag nog één ding aanhalen in verband met het installeren en configureren van de verschillende hypervisors. Buiten alle boven vermelde punten is het ook belangrijk hoe eenvoudig de hypervisors zijn om te installeren en te onderhouden. Om deze reden kan ik RHV niet aanraden. Tijdens het installeren van de management VM voor de omgeving waren er meerdere problemen die na een aanzienlijke tijd te troubleshooten pas opgelost werden. Hierna bleek ook dat de RHV host die op een aparte blade was geïnstalleerd niet meer wilde booten. Dit zou ook een hardware probleem kunnen zijn, maar om dit met 100% zekerheid te kunnen vaststellen is verder onderzoek vereist.

Ook moet er rekening worden gehouden met de grote hoeveelheid ervaring die Open Line reeds heeft met de VMware ESXI en Hyper-V omgeving. Rekening houdend met alle bovenstaande argumenten is mijn advies om naar de toekomst toe zeker over te stappen naar VMware ESXI 6.7 en Hyper-V 2019. Zoals reeds vermeld is RHEL ook een interessante kandidaat, maar om op dit moment te adviseren om RHV in productie te gebruiken is verder onderzoek vereist.

## Bibliografie

- [1] „dellemc.com,” [Online]. Available: <https://www.dellemc.com/>. [Geopend 11 Maart 2019].
- [2] „cisco.com,” [Online]. Available: <https://www.cisco.com/>. [Geopend 11 Maart 2019].
- [3] „microsoft.com,” [Online]. Available: <https://www.microsoft.com/>. [Geopend 11 Maart 2019].
- [4] „azure.microsoft.com,” [Online]. Available: <https://azure.microsoft.com/nl-nl/>. [Geopend 11 Maart 2019].
- [5] „vmware.com,” [Online]. Available: <https://www.vmware.com/nl.html>. [Geopend 11 Maart 2019].
- [6] „<https://www.citrix.nl/>,” [Online]. Available: <https://www.citrix.nl/>. [Geopend 11 Maart 2019].
- [7] „ivanti.com,” [Online]. Available: <https://www.ivanti.com/>. [Geopend 11 Maart 2019].
- [8] „engie-services.nl,” [Online]. Available: <https://www.engie-services.nl/>. [Geopend 11 Maart 2019].
- [9] „eurofiber.nl,” [Online]. Available: <https://www.eurofiber.nl/>. [Geopend 11 Maart 2019].
- [10] „kreuze.nl,” [Online]. Available: <https://kreuze.nl/>. [Geopend 11 Maart 2019].
- [11] P. Christensson, „techterms.com,” 29 September 2018. [Online]. Available: <https://techterms.com/definition/hypervisor>. [Geopend Maart 2019].
- [12] J. Nash, „Implementing Cisco UCS: Installing and Configuring,” 13 December 2011. [Online]. Available: <https://www.pluralsight.com/>. [Geopend 27 Februari 2019].
- [13] „download.microsoft.com,” [Online]. Available: [https://download.microsoft.com/download/7/C/E/7CED6910-C7B2-4196-8C55-208EE0B427E2/Windows\\_Server\\_2019\\_licensing\\_datasheet\\_EN\\_US.pdf](https://download.microsoft.com/download/7/C/E/7CED6910-C7B2-4196-8C55-208EE0B427E2/Windows_Server_2019_licensing_datasheet_EN_US.pdf). [Geopend 19 Maart 2019].
- [14] „dsaict.nl,” [Online]. Available: <https://www.dsaict.nl/>. [Geopend 19 Maart 2019].
- [15] „openline.nl,” [Online]. Available: <https://openline.nl/>. [Geopend 25 Februari 2019].
- [16] „logospng.com,” [Online]. Available: <http://www.logospng.com/>. [Geopend 12 Maart 2019].
- [17] „cloudgyan.wordpress.com,” [Online]. Available: <https://cloudgyan.wordpress.com/>. [Geopend 13 Maart 2019].

## **Bijlagen**

- A. Wekelijkse rapportage**
- B. Prijsanalyse Hyper-V**
- C. Prijsanalyse VMware**
- D. Prijsanalyse RHV**
- E. Resultaten Benchmarks**

## A. Wekelijkse rapportage

Datum:	25/02/2019 - 03/03/2019
Geplande taken:	<ul style="list-style-type: none"><li>- Afwerken pluralsight course "Implementing Cisco UCS: Installing and Configuring" &amp; "Implementing Cisco UCS: Managing and Troubleshooting"</li><li>- Experimenteren gebruik testplatform</li><li>- Research: zoek meer vlakken om de hypervisors te vergelijken.</li></ul>
Stand van zaken:	<ul style="list-style-type: none"><li>- Goede kijk op de hardware die in het datacenter gebruikt wordt.</li><li>- Werkend testplatform beschikbaar.</li><li>- Al enkele aandachtspunten gevonden om hypervisors te vergelijken.</li></ul>
Problemen en knelpunten:	<ul style="list-style-type: none"><li>- Het was mij niet helemaal duidelijk wat de opdracht nu precies inhield.</li><li>- Het testplatform waar het praktisch onderzoek zal worden uitgevoerd was nog niet beschikbaar.</li></ul>
Oplossingen:	<ul style="list-style-type: none"><li>- Inplannen van een wekelijkse meeting met de stagebegeleider van Open Line om de voortgang van het project op te volgen, alsook om eventuele vragen over de opdracht te kunnen stellen.</li><li>- De testhardware is vanaf nu ook beschikbaar. Deze staat in het datacenter in Landgraaf.</li></ul>
Persoonlijke reflectie:	De eerste week was zeer interessant, maar door de onduidelijkheid over de opdracht is deze een beetje moeizaam van start gegaan, sinds woensdag heb ik echter een duidelijker beeld op de zaak en ben ik vlot van start kunnen gaan.
Planning volgende week:	Afwerken van de pluralsight courses, al eens proberen iets op het testplatform te installeren en verder onderzoek doen naar testmethodes om de hypervisors te vergelijken.

Datum:	04/03/2019 - 10/03/2019
Geplande taken:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eventueel ander/aangepast testplatform regelen. (Met remote storage)</li> <li>- Prijsanalyse maken tussen verschillende hypervisors.</li> <li>- <i>Tools/methodes</i> zoeken om testen uit te voeren</li> </ul>
Stand van zaken:	- Klaar om testen uit te werken en volgende week als de tests hardware in orde is te beginnen met testen.
Problemen en knelpunten:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Het beschikbare testplatform blijkt onvoldoende te zijn aangezien remote <i>storage</i> niet mogelijk is, dit is een probleem omdat in de live omgeving enkel met remote <i>storage</i> gewerkt wordt.</li> <li>- Een ander probleem met het huidige testplatform is dat de servers in Landgraaf staan, maar mocht ik vast zitten of problemen hebben is vaak niemand beschikbaar die mij advies zou kunnen geven, omdat deze mensen meestal in Maastricht zitten. Dit zorgt ook voor vertragingen.</li> <li>- Hiernaast is ook nog het probleem dat het huidige testplatform geen internettoegang heeft, nog niet opgelost.</li> <li>- Ik ben ook niet helemaal zeker dat het research gedeelte van de stage sterk genoeg gaat zijn.</li> </ul>
Oplossingen:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Een meeting met de bedrijfspromotor inplannen om de problemen van het testplatform te bespreken.</li> <li>- Mailen naar de hogeschoolpromotor om de onzekerheden i.v.m. het research deel te bespreken.</li> </ul>
Persoonlijke reflectie:	- Ik zou iets sneller om hulp moeten vragen als ik echt ergens op vast zit.
Planning volgende week:	- Zie 12 weken planning.

Datum:	11/03/2019 – 19/03/2019
Geplande taken:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eventueel ander/aangepast testplatform regelen. (Met remote storage)</li> <li>- Prijsanalyse maken tussen verschillende hypervisors.</li> <li>- Tools/methodes zoeken om testen uit te voeren.</li> <li>- Taalfeedback bedrijfspromotor verwerken.</li> </ul>
Stand van zaken:	- Klaar om testen uit te werken en volgende week als de testhardware in orde is, te beginnen met testen.
Problemen en knelpunten:	- Het huidige testplatform heeft nog geen internettoegang.
Oplossingen:	- De stagebegeleider ging een internet kabel naar de testopstelling leggen.
Persoonlijke reflectie:	- In de vorige twee weken heb ik een redelijke vooruitgang geboekt ondanks de afwezigheid door de studiereis, ik ga proberen dit vol te houden.
Planning volgende week:	- Zie 12 weken planning.

Datum:	26/03/2019 – 29/03/2019
Geplande taken:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tools/methodes zoeken om testen uit te voeren.</li> <li>- Test installs van de drie hypervisors doen om de laatste bugs eruit te halen.</li> <li>- Prijsanalyse maken tussen verschillende hypervisors.</li> <li>- Taalfeedback bedrijfspromotor verwerken.</li> </ul>
Stand van zaken:	- Prijsanalyse hyper-v af + aanzet voor de resterende 2 hypervisors.
Problemen en knelpunten:	- Het huidige testplatform heeft nog geen internettoegang.
Oplossingen:	- De stagebegeleider ging een internet kabel naar de testopstelling leggen.
Persoonlijke reflectie:	- In de vorige twee weken heb ik een redelijke vooruitgang geboekt ondanks de afwezigheid door de studiereis, ik ga proberen dit vol te houden.
Planning volgende week:	- Zie 12 weken planning.

Datum:	23/04/2019 – 26/04/2019
Geplande taken:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taalversie eindwerk verbeteren.</li> <li>- Testomgeving voorbereiden op benchmarks etc.</li> <li>- Prijsanalyse afwerken.</li> </ul>
Stand van zaken:	- Van het oorspronkelijke testplatform afgestapt en een vervangend platform aan het opzetten.
Problemen en knelpunten:	- Het testplatform bleek niet te voldoen aan de minimum vereisten voor de opdracht.
Oplossingen:	- Alternatieve setup met blades om op te testen.
Persoonlijke reflectie:	- Door de <i>setbacks</i> van de testomgeving heb ik al redelijk wat tijd voor het praktijk deel van de stage verloren, dit zal na de uren of in het weekend moeten worden ingehaald.
Planning volgende week:	- Zie 12 weken planning



## B. Prijsanalyse Hyper-V

Tabel 13: Hyper-V prijzen voor server met twee 8 core CPU's (16 cores totaal)

#VM's	Totaalprijs datacenter	Totaalprijs Standard + Standard licenties voor resterende VM's	Totaalprijs Standard + Essentials voor resterende VM's	Totaalprijs Standard + RHEL voor resterende VM's	Totaalprijs Hyper-V + Standard licenties voor resterende VM's	Totaalprijs Hyper-V + Essentials voor resterende VM's	Totaalprijs Hyper-V + RHEL voor resterende VM's
0	6600	1056	1056	1056	0	0	0
1	6600	1056	1056	1366,501	1056	537	310,501
2	6600	1056	1056	1677,002	1056	1074	621,002
3	6600	2112	1593	1987,503	2112	1611	931,503
4	6600	2112	2130	2298,004	2112	2148	1242,004
5	6600	3168	2667	2608,505	3168	2685	1552,505
6	6600	3168	3204	2919,006	3168	3222	1863,006
7	6600	4224	3741	3229,507	4224	3759	2173,507
8	6600	4224	4278	3540,008	4224	4296	2484,008
9	6600	5280	4815	3850,509	5280	4833	2794,509
10	6600	5280	5352	4161,01	5280	5370	3105,01
11	6600	6336	5889	4471,511	6336	5907	3415,511
12	6600	6336	6426	4782,012	6336	6444	3726,012
13	6600	7392	6963	5092,513	7392	6981	4036,513
14	6600	7392	7500	5403,014	7392	7518	4347,014
15	6600	8448	8037	5713,515	8448	8055	4657,515
16	6600	8448	8574	6024,016	8448	8592	4968,016
17	6600	9504	9111	6334,517	9504	9129	5278,517
18	6600	9504	9648	6645,018	9504	9666	5589,018
19	6600	10560	10185	6955,519	10560	10203	5899,519
20	6600	10560	10722	7266,02	10560	10740	6210,02
21	6600	11616	11259	7576,521	11616	11277	6520,521

Met opmerkingen [HB1]: Nota opmaak:

Afmetingen tabellen:

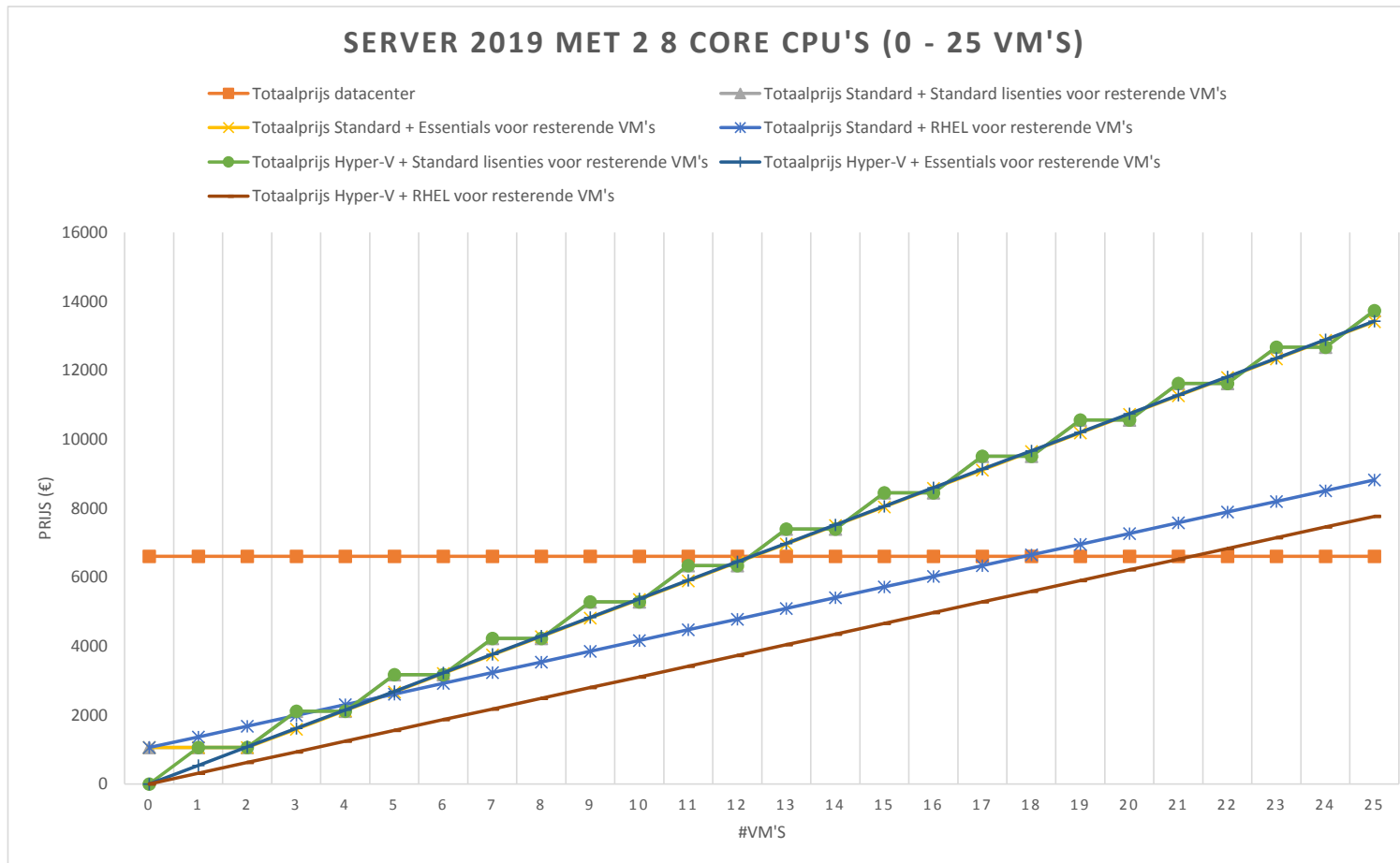
1.3 | 2.2 | 3.8 | 3.8 | 3.8 | 3.8 | 3.8 | 3.8

Afmetingen grafieken:

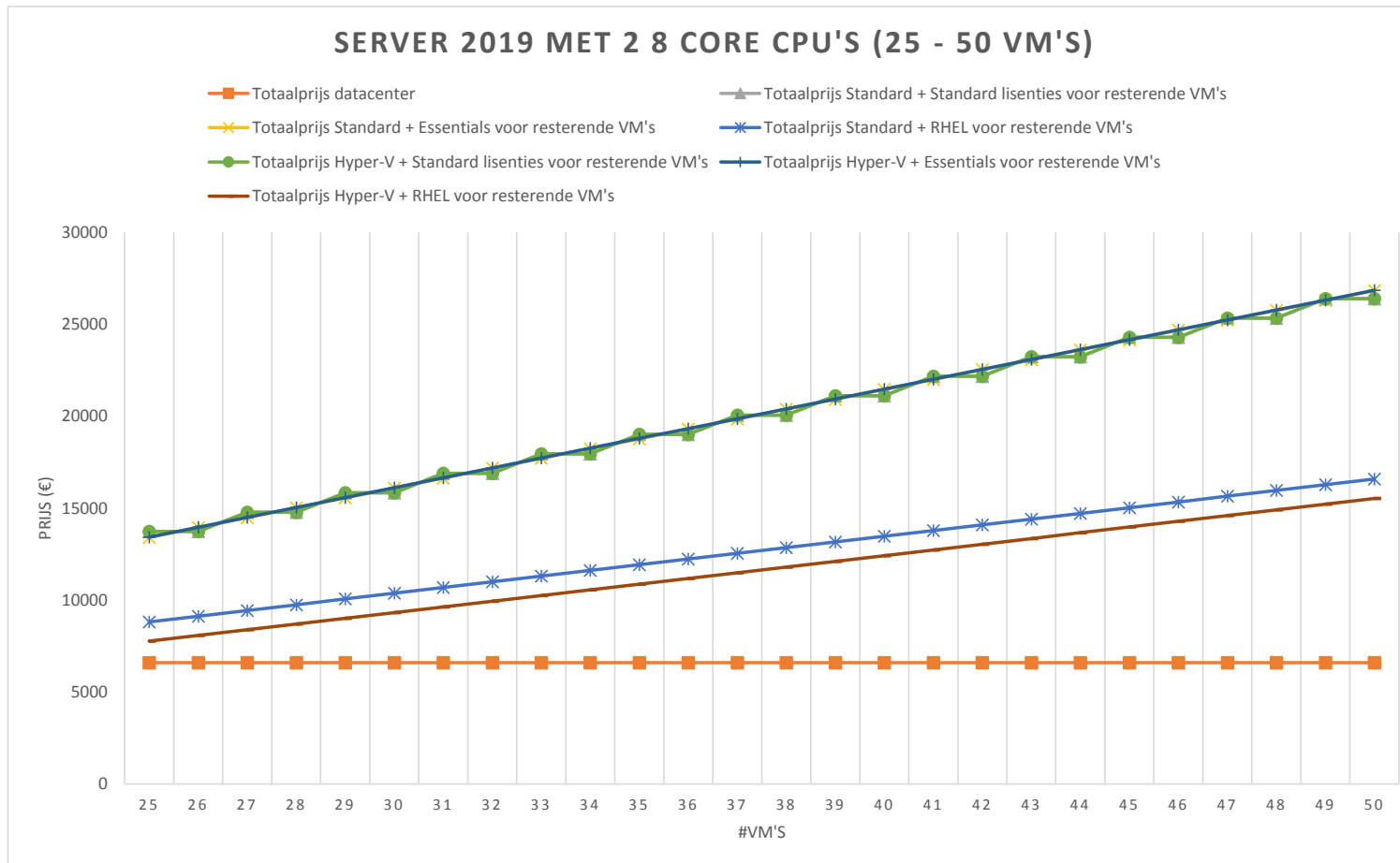
14.4 (15) / 24.6

<b>22</b>	6600	11616	11796	7887,022	11616	11814	6831,022
<b>23</b>	6600	12672	12333	8197,523	12672	12351	7141,523
<b>24</b>	6600	12672	12870	8508,024	12672	12888	7452,024
<b>25</b>	6600	13728	13407	8818,525	13728	13425	7762,525
<b>26</b>	6600	13728	13944	9129,026	13728	13962	8073,026
<b>27</b>	6600	14784	14481	9439,527	14784	14499	8383,527
<b>28</b>	6600	14784	15018	9750,028	14784	15036	8694,028
<b>29</b>	6600	15840	15555	10060,53	15840	15573	9004,529
<b>30</b>	6600	15840	16092	10371,03	15840	16110	9315,03
<b>31</b>	6600	16896	16629	10681,53	16896	16647	9625,531
<b>32</b>	6600	16896	17166	10992,03	16896	17184	9936,032
<b>33</b>	6600	17952	17703	11302,53	17952	17721	10246,53
<b>34</b>	6600	17952	18240	11613,03	17952	18258	10557,03
<b>35</b>	6600	19008	18777	11923,54	19008	18795	10867,54
<b>36</b>	6600	19008	19314	12234,04	19008	19332	11178,04
<b>37</b>	6600	20064	19851	12544,54	20064	19869	11488,54
<b>38</b>	6600	20064	20388	12855,04	20064	20406	11799,04
<b>39</b>	6600	21120	20925	13165,54	21120	20943	12109,54
<b>40</b>	6600	21120	21462	13476,04	21120	21480	12420,04
<b>41</b>	6600	22176	21999	13786,54	22176	22017	12730,54
<b>42</b>	6600	22176	22536	14097,04	22176	22554	13041,04
<b>43</b>	6600	23232	23073	14407,54	23232	23091	13351,54
<b>44</b>	6600	23232	23610	14718,04	23232	23628	13662,04
<b>45</b>	6600	24288	24147	15028,55	24288	24165	13972,55
<b>46</b>	6600	24288	24684	15339,05	24288	24702	14283,05
<b>47</b>	6600	25344	25221	15649,55	25344	25239	14593,55
<b>48</b>	6600	25344	25758	15960,05	25344	25776	14904,05
<b>49</b>	6600	26400	26295	16270,55	26400	26313	15214,55
<b>50</b>	6600	26400	26832	16581,05	26400	26850	15525,05

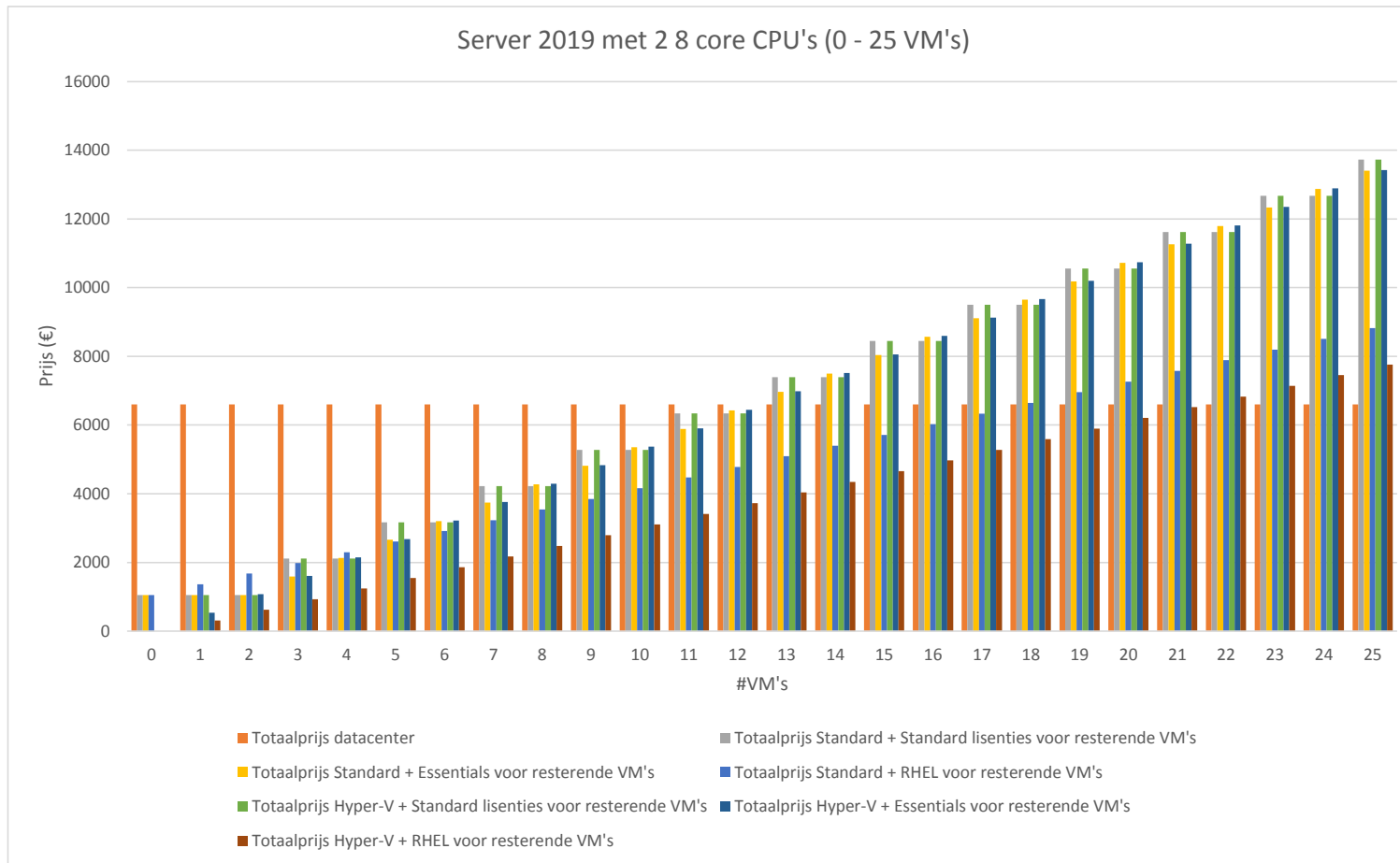




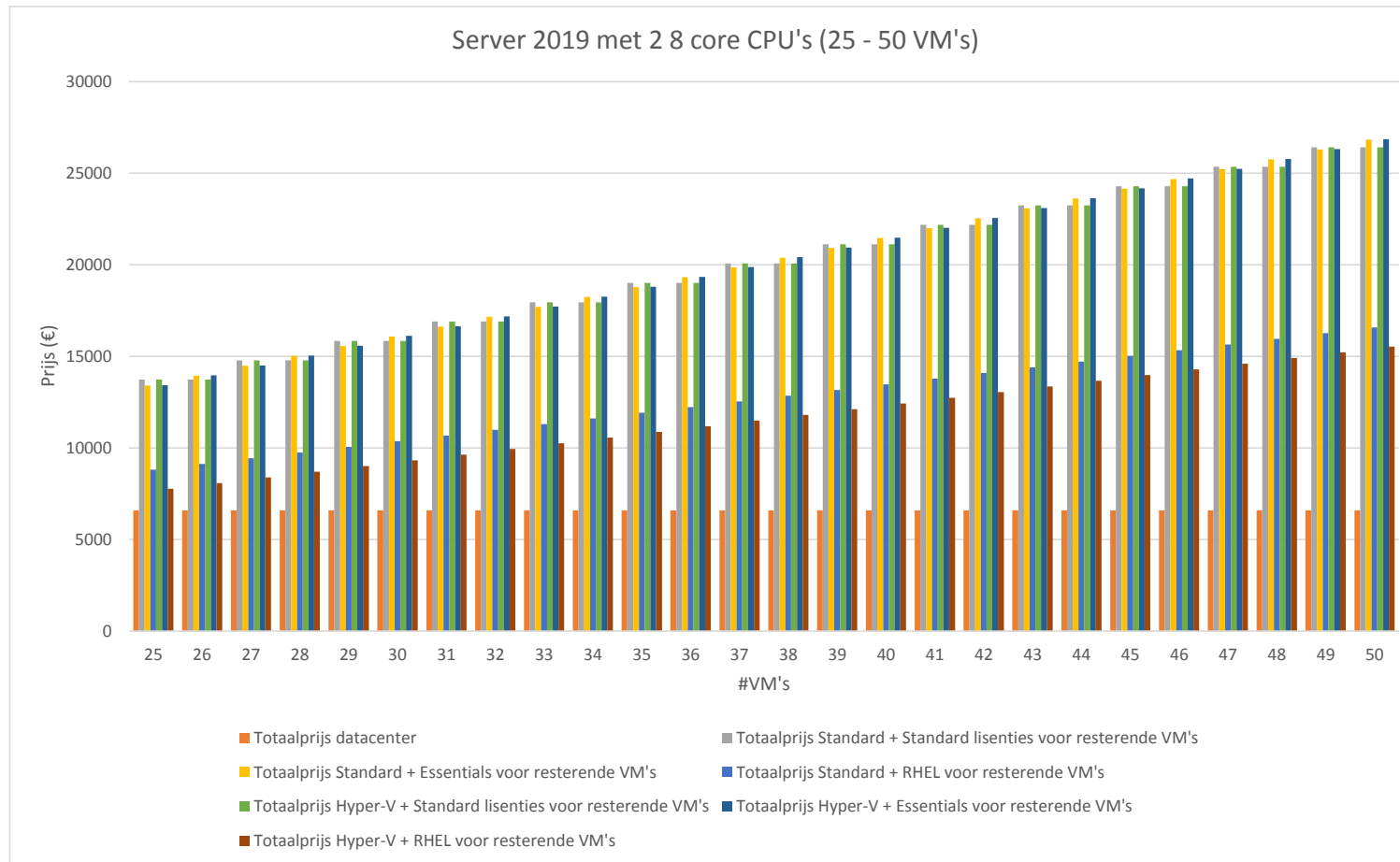
Figuur 23: Hyper-V prijzen voor server met twee 8 core CPU's Line Graph (0 - 25 VM's)



Figuur 24: Hyper-V prijzen voor server met twee 8 core CPU's Line Graph (25 - 50 VM's)



Figuur 25: Hyper-V prijzen voor server met twee 8 core CPU's Bar Graph (0 - 25 VM's)



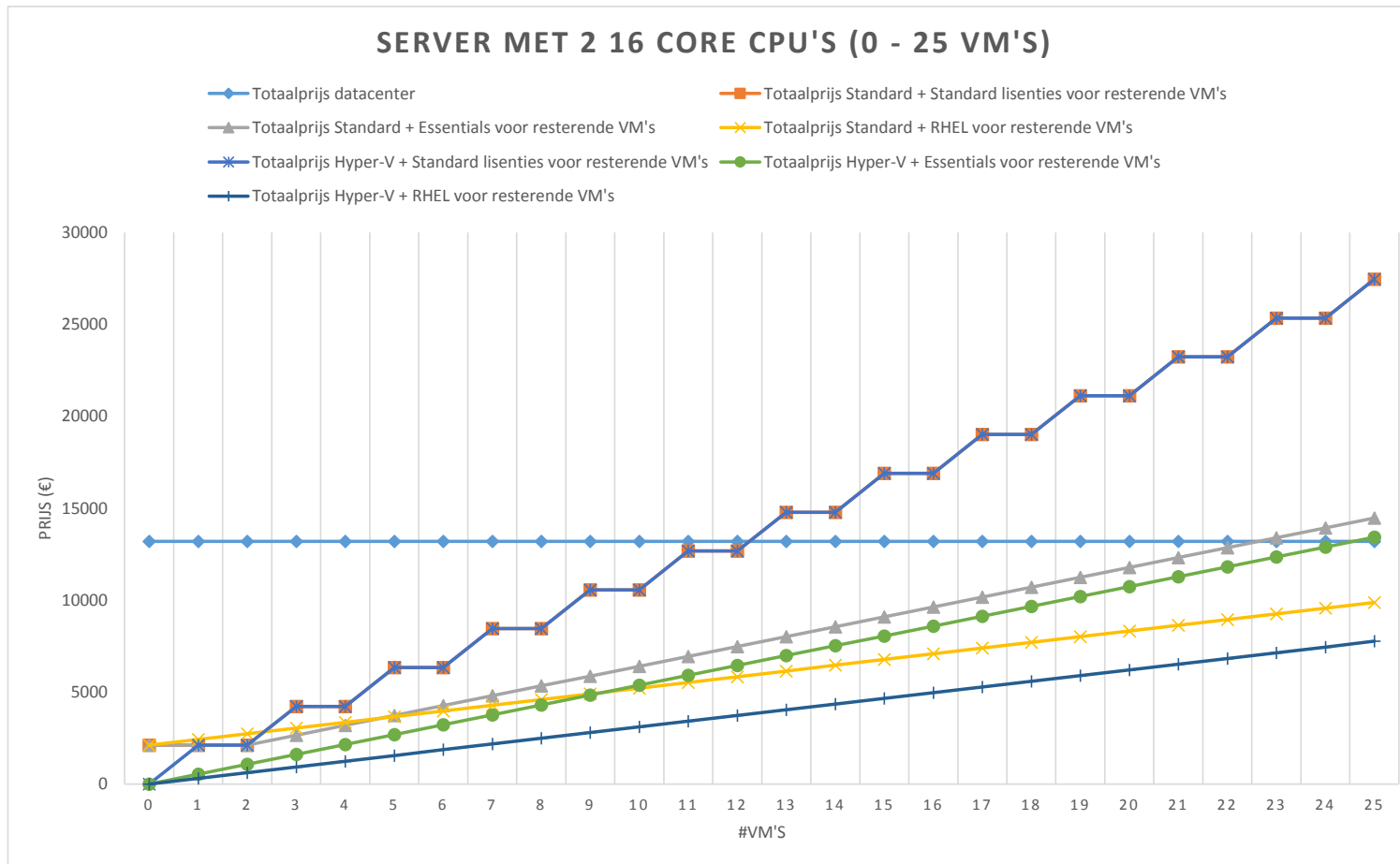
Figuur 26: Hyper-V prijzen voor server met twee 8 core CPU's Bar Graph (25 - 50 VM's)

Tabel 14: Hyper-V prijzen voor server met twee 16 core CPU's (32 cores totaal)

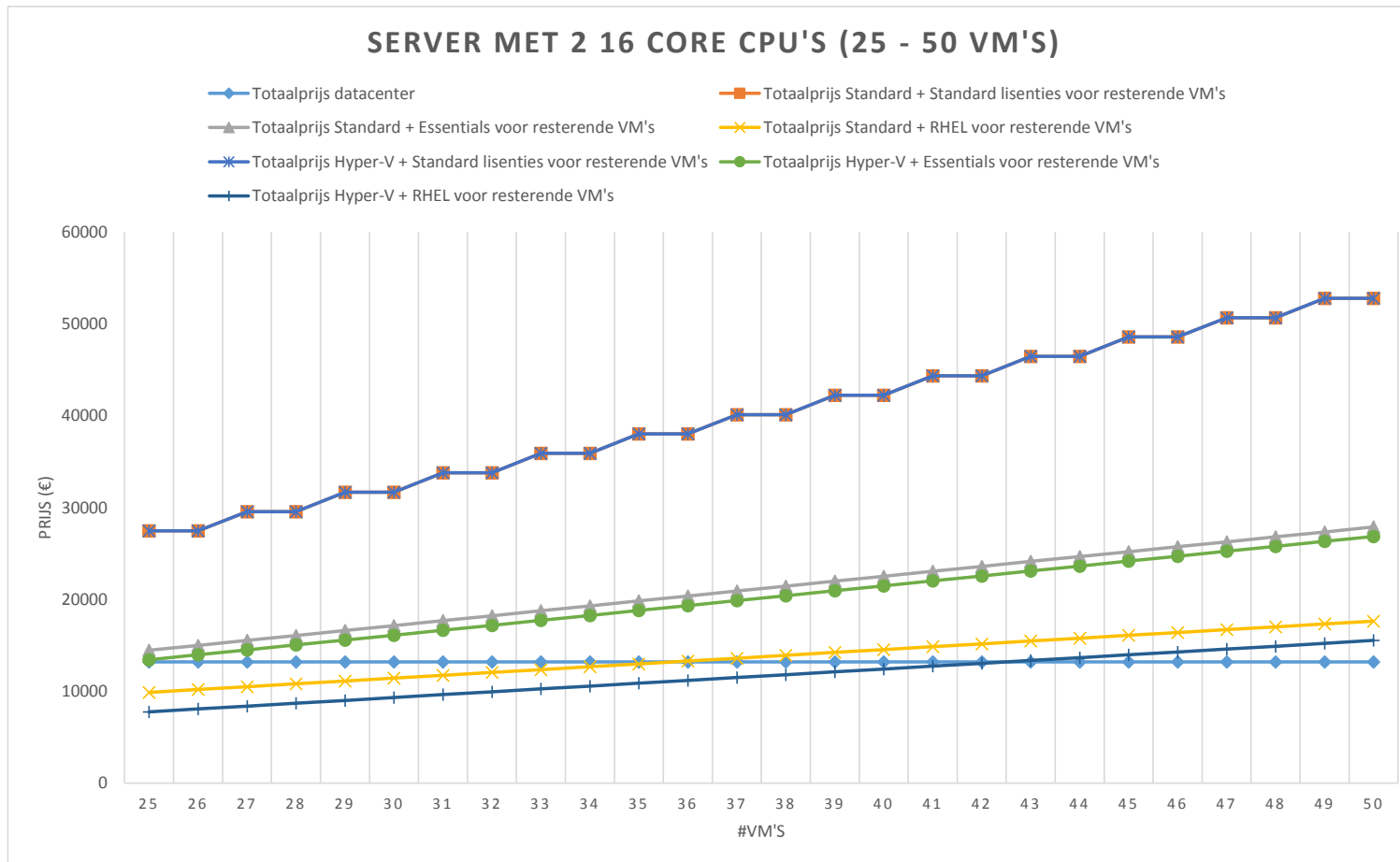
#VM's	Totaalprijs datacenter	Totaalprijs Standard + Standard licenties voor resterende VM's	Totaalprijs Standard + Essentials voor resterende VM's	Totaalprijs Standard + RHEL voor resterende VM's	Totaalprijs Hyper-V + Standard licenties voor resterende VM's	Totaalprijs Hyper-V + Essentials voor resterende VM's	Totaalprijs Hyper-V + RHEL voor resterende VM's
0	13200	2112	2112	2112	0	0	0
1	13200	2112	2112	2422,501	2112	537	310,501
2	13200	2112	2112	2733,002	2112	1074	621,002
3	13200	4224	2649	3043,503	4224	1611	931,503
4	13200	4224	3186	3354,004	4224	2148	1242,004
5	13200	6336	3723	3664,505	6336	2685	1552,505
6	13200	6336	4260	3975,006	6336	3222	1863,006
7	13200	8448	4797	4285,507	8448	3759	2173,507
8	13200	8448	5334	4596,008	8448	4296	2484,008
9	13200	10560	5871	4906,509	10560	4833	2794,509
10	13200	10560	6408	5217,01	10560	5370	3105,01
11	13200	12672	6945	5527,511	12672	5907	3415,511
12	13200	12672	7482	5838,012	12672	6444	3726,012
13	13200	14784	8019	6148,513	14784	6981	4036,513
14	13200	14784	8556	6459,014	14784	7518	4347,014
15	13200	16896	9093	6769,515	16896	8055	4657,515
16	13200	16896	9630	7080,016	16896	8592	4968,016
17	13200	19008	10167	7390,517	19008	9129	5278,517
18	13200	19008	10704	7701,018	19008	9666	5589,018
19	13200	21120	11241	8011,519	21120	10203	5899,519
20	13200	21120	11778	8322,02	21120	10740	6210,02
21	13200	23232	12315	8632,521	23232	11277	6520,521
22	13200	23232	12852	8943,022	23232	11814	6831,022
23	13200	25344	13389	9253,523	25344	12351	7141,523



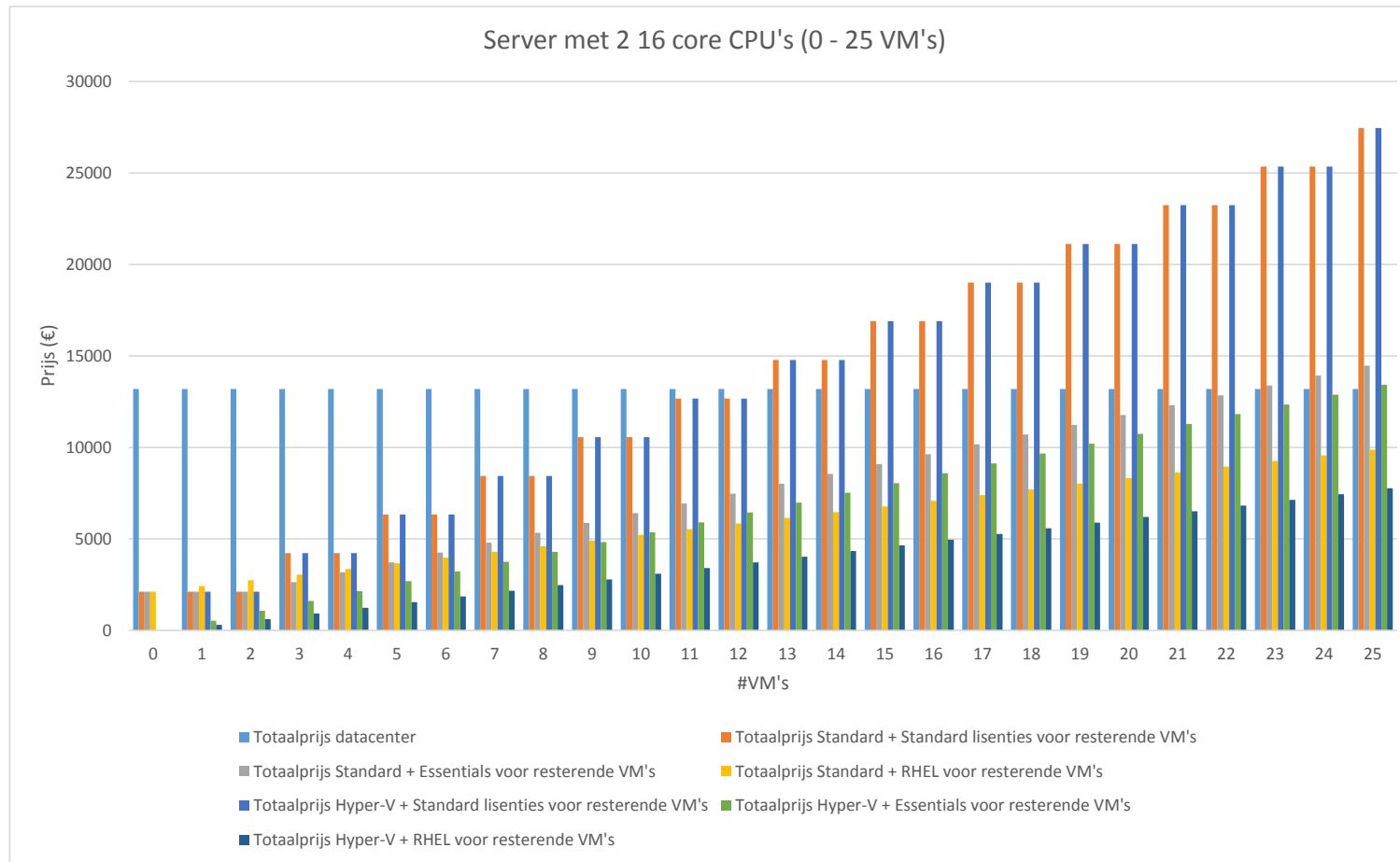
<b>24</b>	13200	25344	13926	9564,024	25344	12888	7452,024
<b>25</b>	13200	27456	14463	9874,525	27456	13425	7762,525
<b>26</b>	13200	27456	15000	10185,03	27456	13962	8073,026
<b>27</b>	13200	29568	15537	10495,53	29568	14499	8383,527
<b>28</b>	13200	29568	16074	10806,03	29568	15036	8694,028
<b>29</b>	13200	31680	16611	11116,53	31680	15573	9004,529
<b>30</b>	13200	31680	17148	11427,03	31680	16110	9315,03
<b>31</b>	13200	33792	17685	11737,53	33792	16647	9625,531
<b>32</b>	13200	33792	18222	12048,03	33792	17184	9936,032
<b>33</b>	13200	35904	18759	12358,53	35904	17721	10246,53
<b>34</b>	13200	35904	19296	12669,03	35904	18258	10557,03
<b>35</b>	13200	38016	19833	12979,54	38016	18795	10867,54
<b>36</b>	13200	38016	20370	13290,04	38016	19332	11178,04
<b>37</b>	13200	40128	20907	13600,54	40128	19869	11488,54
<b>38</b>	13200	40128	21444	13911,04	40128	20406	11799,04
<b>39</b>	13200	42240	21981	14221,54	42240	20943	12109,54
<b>40</b>	13200	42240	22518	14532,04	42240	21480	12420,04
<b>41</b>	13200	44352	23055	14842,54	44352	22017	12730,54
<b>42</b>	13200	44352	23592	15153,04	44352	22554	13041,04
<b>43</b>	13200	46464	24129	15463,54	46464	23091	13351,54
<b>44</b>	13200	46464	24666	15774,04	46464	23628	13662,04
<b>45</b>	13200	48576	25203	16084,55	48576	24165	13972,55
<b>46</b>	13200	48576	25740	16395,05	48576	24702	14283,05
<b>47</b>	13200	50688	26277	16705,55	50688	25239	14593,55
<b>48</b>	13200	50688	26814	17016,05	50688	25776	14904,05
<b>49</b>	13200	52800	27351	17326,55	52800	26313	15214,55
<b>50</b>	13200	52800	27888	17637,05	52800	26850	15525,05



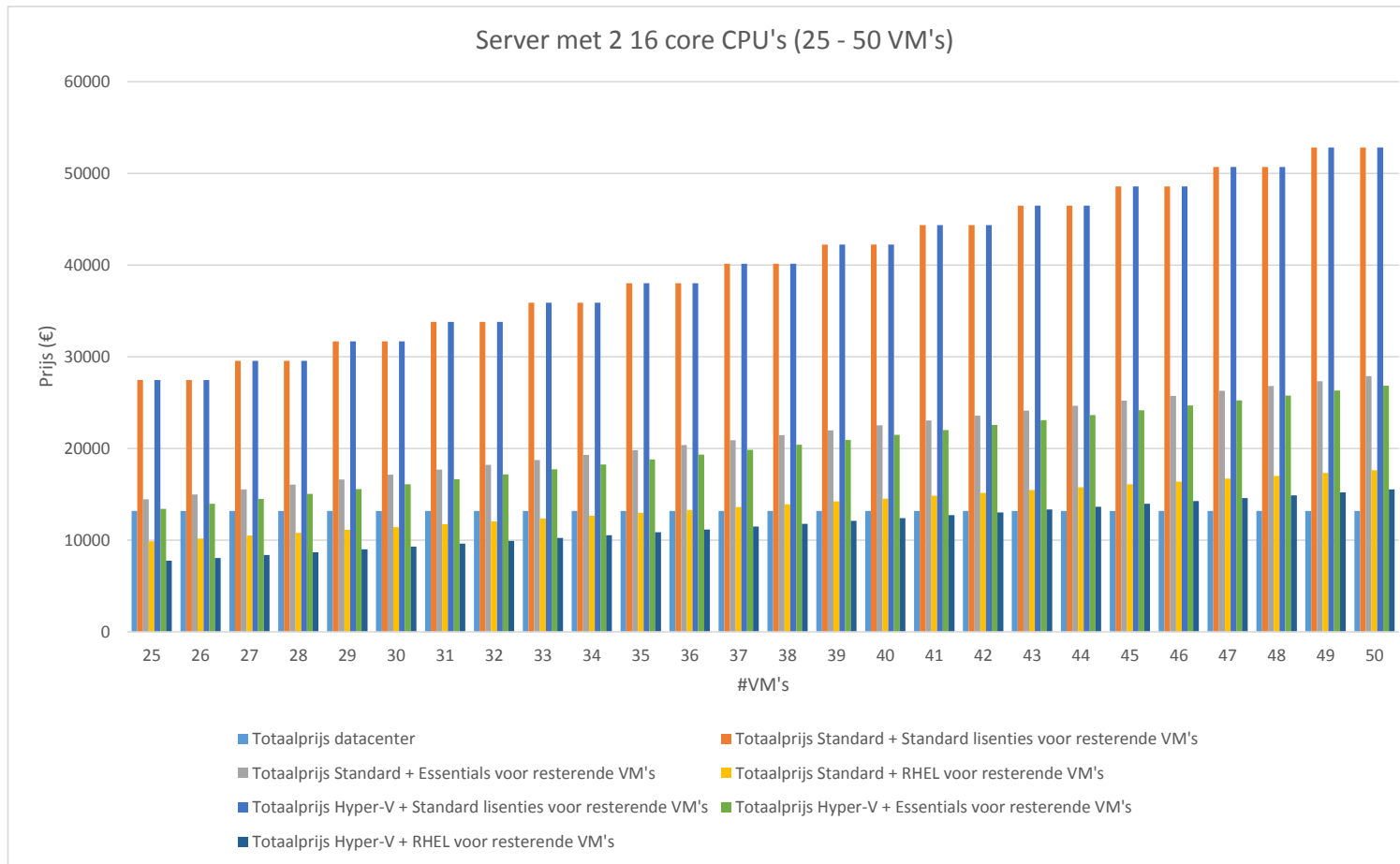
Figuur 27: Hyper-V prijzen voor server met twee 16 core CPU's Line Graph (0 - 25 VM's)



Figuur 28: Hyper-V prijzen voor server met twee 16 core CPU's Line Graph (25 - 50 VM's)



Figuur 29: Hyper-V prijzen voor server met twee 16 core CPU's Bar Graph (0 - 25 VM's)

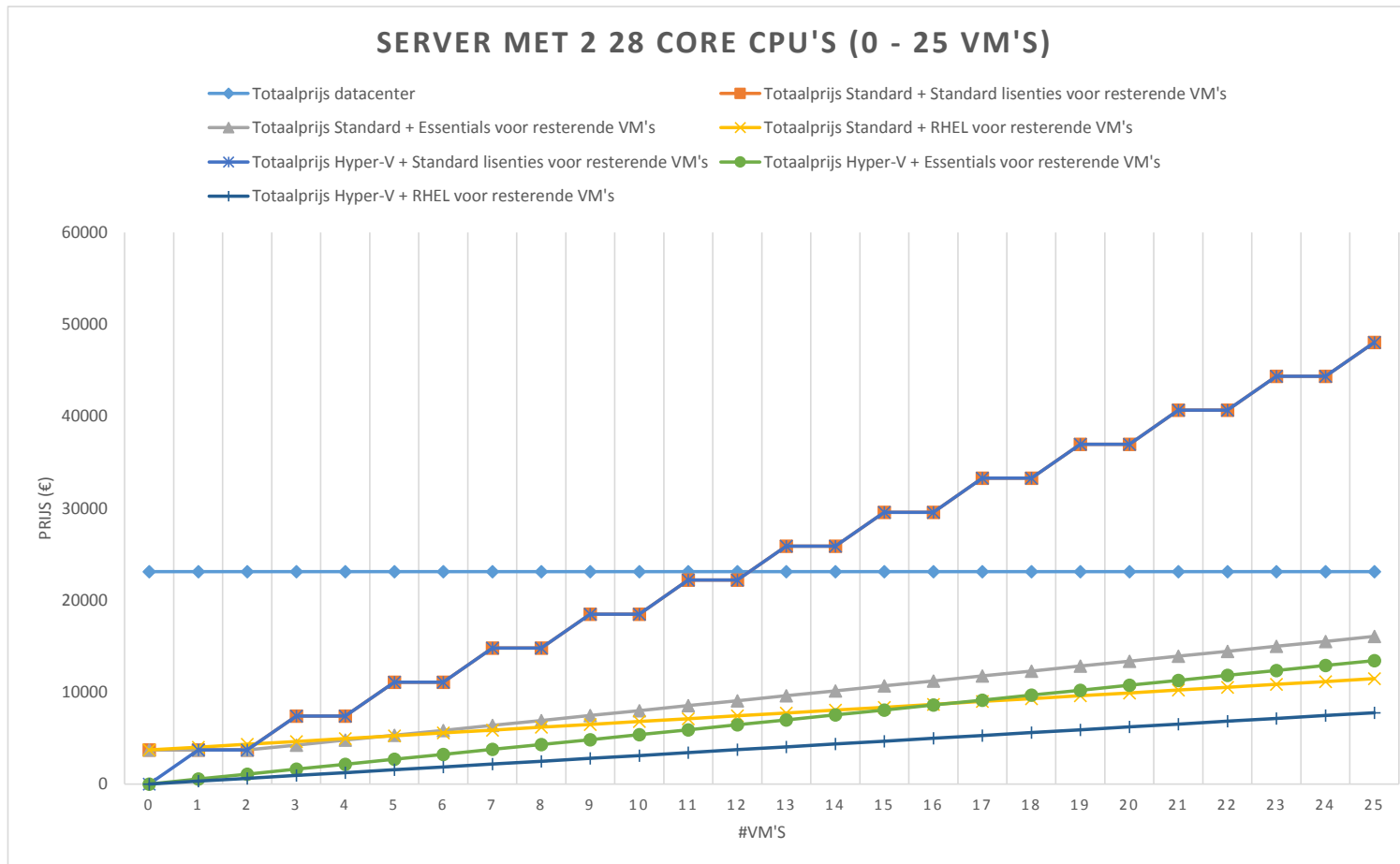


Figuur 30: Hyper-V prijzen voor server met twee 16 core CPU's Bar Graph (25 - 50 VM's)

Tabel 15: Hyper-V prijzen voor server met twee 28 core CPU's (56 cores totaal)

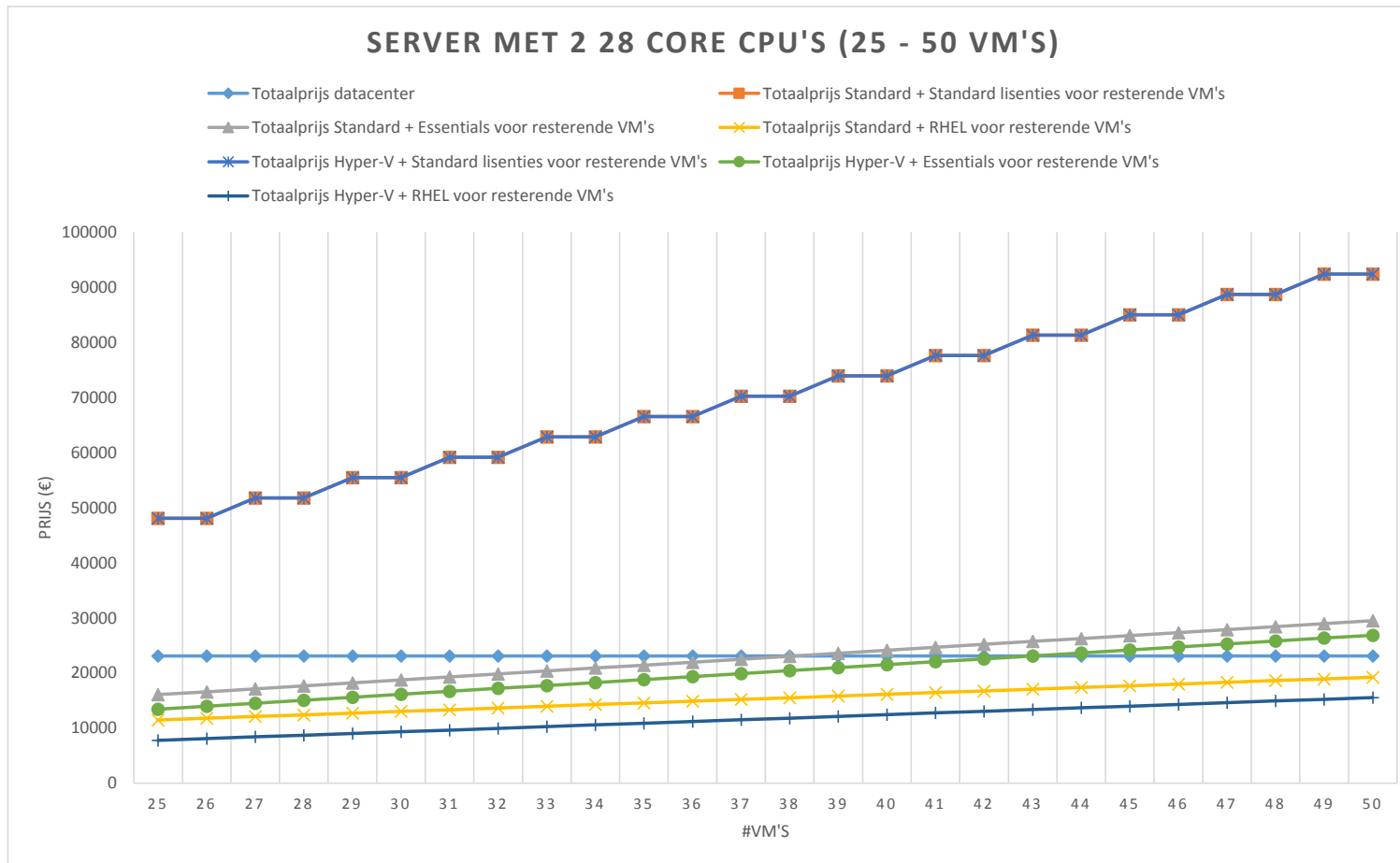
#VM's	Totaalprijs datacenter	Totaalprijs Standard + Standard licenties voor resterende VM's	Totaalprijs Standard + Essentials voor resterende VM's	Totaalprijs Standard + RHEL voor resterende VM's	Totaalprijs Hyper-V + Standard licenties voor resterende VM's	Totaalprijs Hyper-V + Essentials voor resterende VM's	Totaalprijs Hyper-V + RHEL voor resterende VM's
0	23100	3696	3696	3696	0	0	0
1	23100	3696	3696	4006,501	3696	537	310,501
2	23100	3696	3696	4317,002	3696	1074	621,002
3	23100	7392	4233	4627,503	7392	1611	931,503
4	23100	7392	4770	4938,004	7392	2148	1242,004
5	23100	11088	5307	5248,505	11088	2685	1552,505
6	23100	11088	5844	5559,006	11088	3222	1863,006
7	23100	14784	6381	5869,507	14784	3759	2173,507
8	23100	14784	6918	6180,008	14784	4296	2484,008
9	23100	18480	7455	6490,509	18480	4833	2794,509
10	23100	18480	7992	6801,01	18480	5370	3105,01
11	23100	22176	8529	7111,511	22176	5907	3415,511
12	23100	22176	9066	7422,012	22176	6444	3726,012
13	23100	25872	9603	7732,513	25872	6981	4036,513
14	23100	25872	10140	8043,014	25872	7518	4347,014
15	23100	29568	10677	8353,515	29568	8055	4657,515
16	23100	29568	11214	8664,016	29568	8592	4968,016
17	23100	33264	11751	8974,517	33264	9129	5278,517
18	23100	33264	12288	9285,018	33264	9666	5589,018
19	23100	36960	12825	9595,519	36960	10203	5899,519
20	23100	36960	13362	9906,02	36960	10740	6210,02
21	23100	40656	13899	10216,52	40656	11277	6520,521
22	23100	40656	14436	10527,02	40656	11814	6831,022
23	23100	44352	14973	10837,52	44352	12351	7141,523

<b>24</b>	23100	44352	15510	11148,02	44352	12888	7452,024
<b>25</b>	23100	48048	16047	11458,53	48048	13425	7762,525
<b>26</b>	23100	48048	16584	11769,03	48048	13962	8073,026
<b>27</b>	23100	51744	17121	12079,53	51744	14499	8383,527
<b>28</b>	23100	51744	17658	12390,03	51744	15036	8694,028
<b>29</b>	23100	55440	18195	12700,53	55440	15573	9004,529
<b>30</b>	23100	55440	18732	13011,03	55440	16110	9315,03
<b>31</b>	23100	59136	19269	13321,53	59136	16647	9625,531
<b>32</b>	23100	59136	19806	13632,03	59136	17184	9936,032
<b>33</b>	23100	62832	20343	13942,53	62832	17721	10246,53
<b>34</b>	23100	62832	20880	14253,03	62832	18258	10557,03
<b>35</b>	23100	66528	21417	14563,54	66528	18795	10867,54
<b>36</b>	23100	66528	21954	14874,04	66528	19332	11178,04
<b>37</b>	23100	70224	22491	15184,54	70224	19869	11488,54
<b>38</b>	23100	70224	23028	15495,04	70224	20406	11799,04
<b>39</b>	23100	73920	23565	15805,54	73920	20943	12109,54
<b>40</b>	23100	73920	24102	16116,04	73920	21480	12420,04
<b>41</b>	23100	77616	24639	16426,54	77616	22017	12730,54
<b>42</b>	23100	77616	25176	16737,04	77616	22554	13041,04
<b>43</b>	23100	81312	25713	17047,54	81312	23091	13351,54
<b>44</b>	23100	81312	26250	17358,04	81312	23628	13662,04
<b>45</b>	23100	85008	26787	17668,55	85008	24165	13972,55
<b>46</b>	23100	85008	27324	17979,05	85008	24702	14283,05
<b>47</b>	23100	88704	27861	18289,55	88704	25239	14593,55
<b>48</b>	23100	88704	28398	18600,05	88704	25776	14904,05
<b>49</b>	23100	92400	28935	18910,55	92400	26313	15214,55
<b>50</b>	23100	92400	29472	19221,05	92400	26850	15525,05

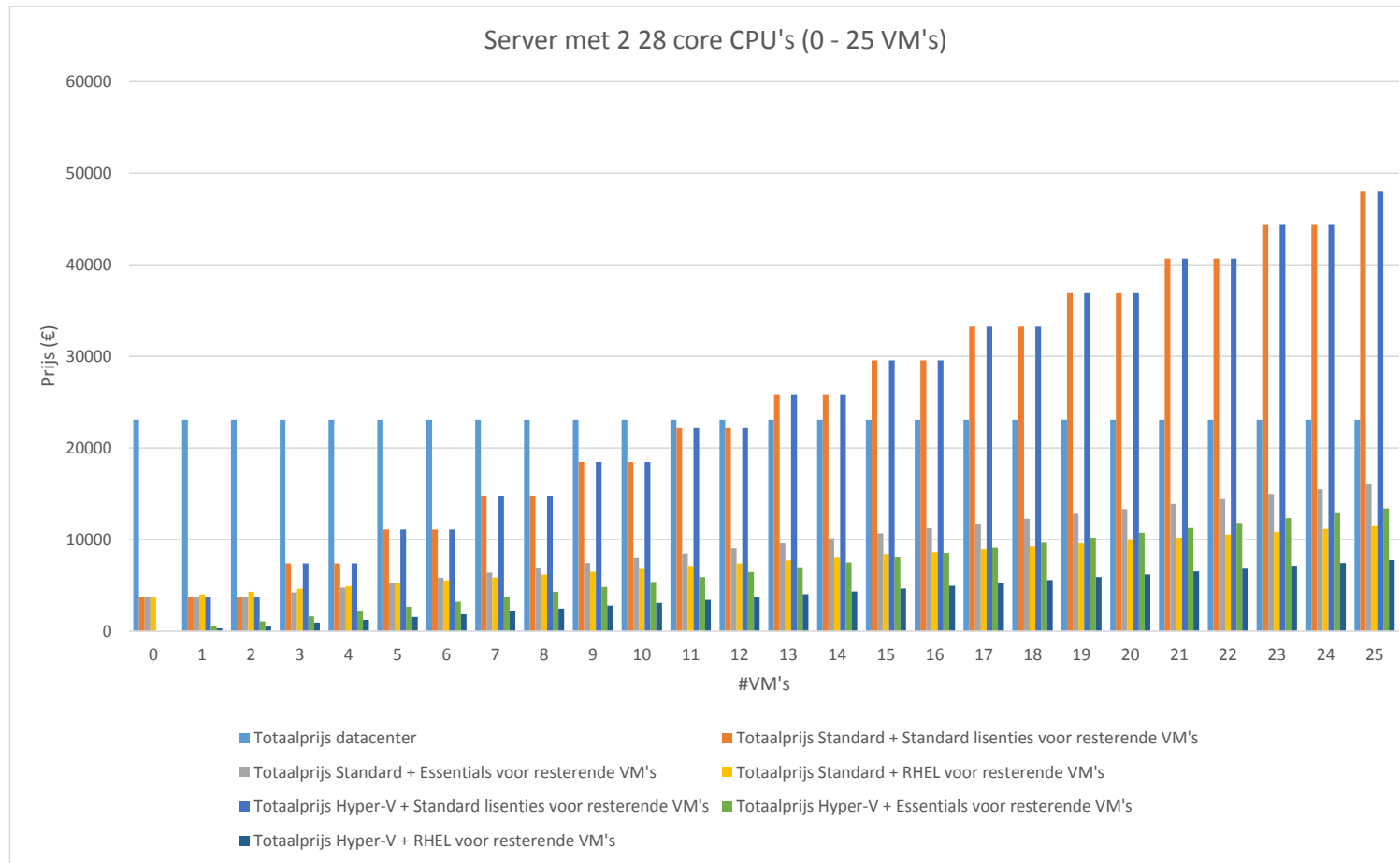


Figuur 31: Hyper-V prijzen voor server met twee 28 core CPU's Line Graph (0 - 25 VM's)

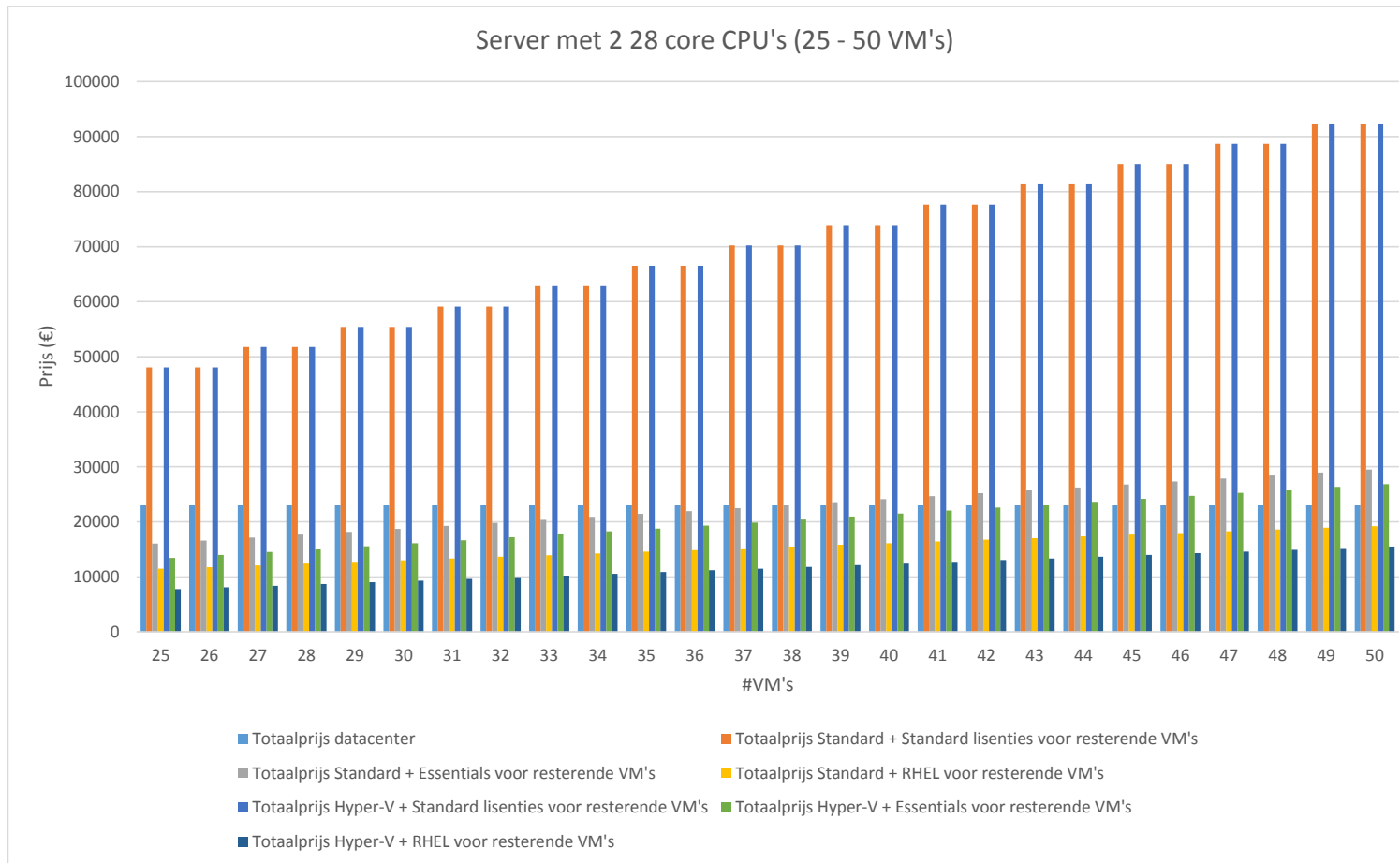




Figuur 32: Hyper-V prijzen voor server met twee 28 core CPU's Line Graph (25 - 50 VM's)



Figuur 33: Hyper-V prijzen voor server met twee 28 core CPU's Bar Graph (0 - 25 VM's)

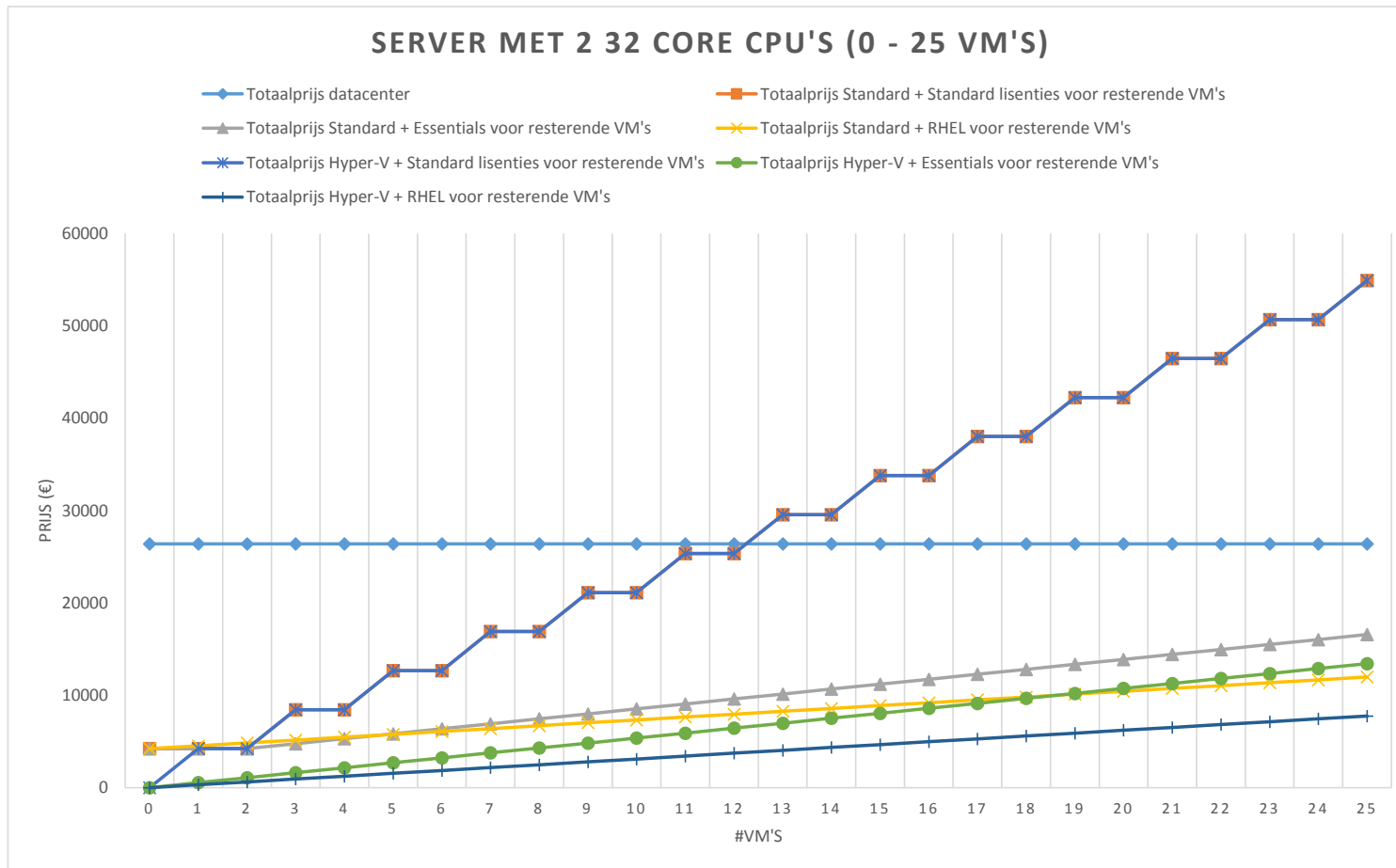


Figuur 34: Hyper-V prijzen voor server met twee 28 core CPU's Bar Graph (25 - 50 VM's)

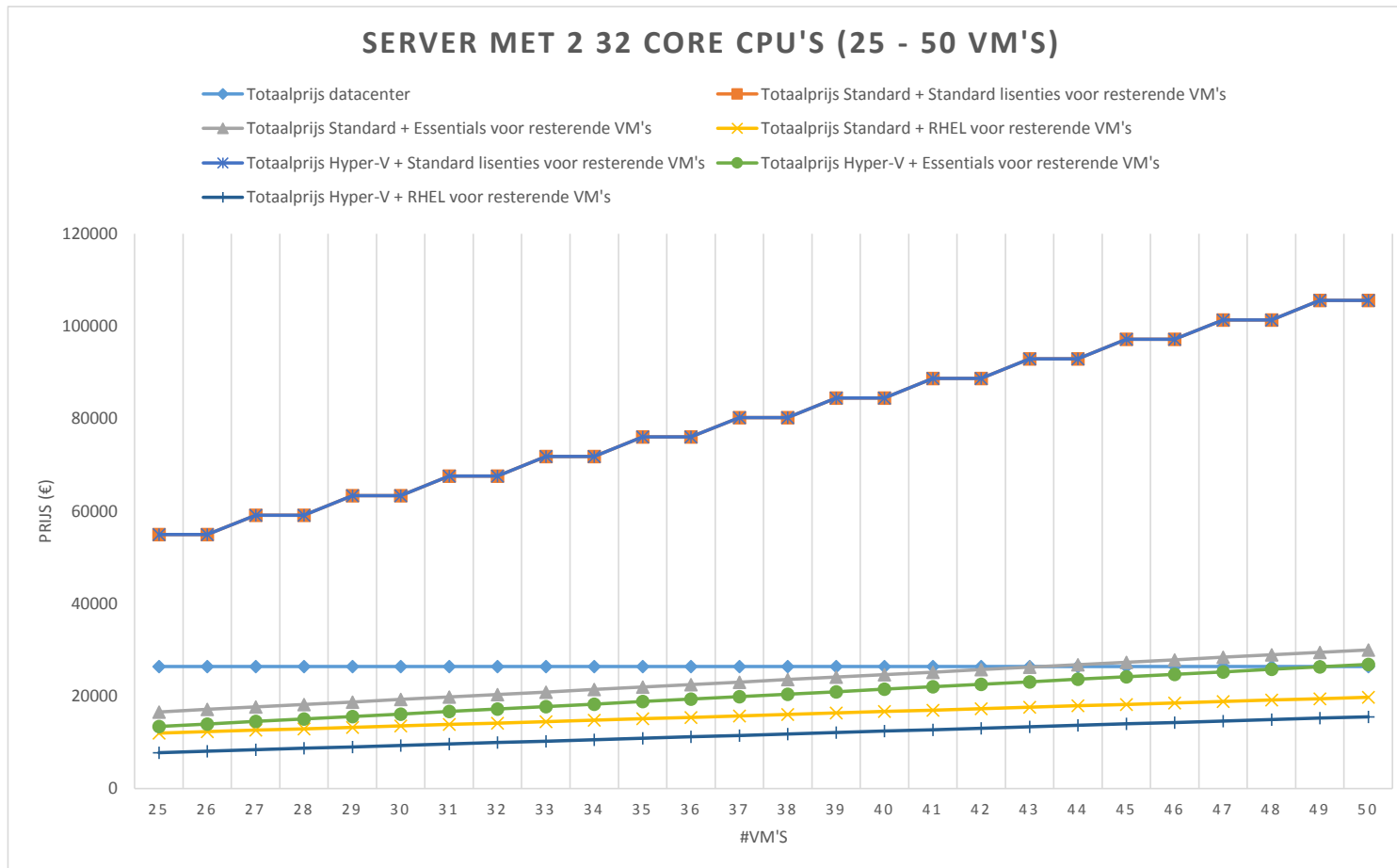
Tabel 16: Hyper-V prijzen voor server met twee 32 core CPU's (64 cores totaal)

#VM's	Totaalprijs datacenter	Totaalprijs Standard + Standard licenties voor resterende VM's	Totaalprijs Standard + Essentials voor resterende VM's	Totaalprijs Standard + RHEL voor resterende VM's	Totaalprijs Hyper-V + Standard licenties voor resterende VM's	Totaalprijs Hyper-V + Essentials voor resterende VM's	Totaalprijs Hyper-V + RHEL voor resterende VM's
0	26400	4224	4224	4224	0	0	0
1	26400	4224	4224	4534,501	4224	537	310,501
2	26400	4224	4224	4845,002	4224	1074	621,002
3	26400	8448	4761	5155,503	8448	1611	931,503
4	26400	8448	5298	5466,004	8448	2148	1242,004
5	26400	12672	5835	5776,505	12672	2685	1552,505
6	26400	12672	6372	6087,006	12672	3222	1863,006
7	26400	16896	6909	6397,507	16896	3759	2173,507
8	26400	16896	7446	6708,008	16896	4296	2484,008
9	26400	21120	7983	7018,509	21120	4833	2794,509
10	26400	21120	8520	7329,01	21120	5370	3105,01
11	26400	25344	9057	7639,511	25344	5907	3415,511
12	26400	25344	9594	7950,012	25344	6444	3726,012
13	26400	29568	10131	8260,513	29568	6981	4036,513
14	26400	29568	10668	8571,014	29568	7518	4347,014
15	26400	33792	11205	8881,515	33792	8055	4657,515
16	26400	33792	11742	9192,016	33792	8592	4968,016
17	26400	38016	12279	9502,517	38016	9129	5278,517
18	26400	38016	12816	9813,018	38016	9666	5589,018
19	26400	42240	13353	10123,52	42240	10203	5899,519
20	26400	42240	13890	10434,02	42240	10740	6210,02
21	26400	46464	14427	10744,52	46464	11277	6520,521
22	26400	46464	14964	11055,02	46464	11814	6831,022
23	26400	50688	15501	11365,52	50688	12351	7141,523

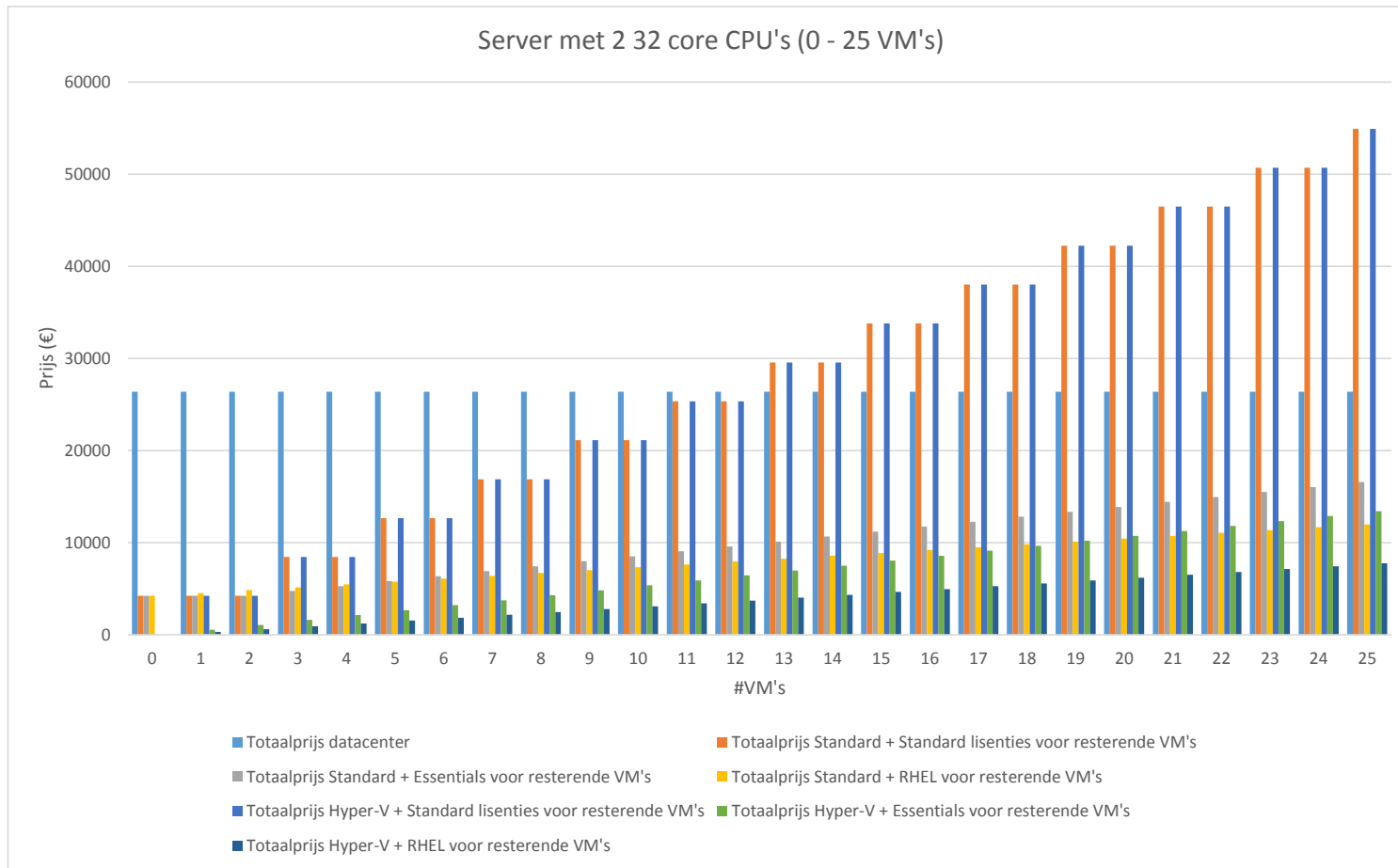
<b>24</b>	26400	50688	16038	11676,02	50688	12888	7452,024
<b>25</b>	26400	54912	16575	11986,53	54912	13425	7762,525
<b>26</b>	26400	54912	17112	12297,03	54912	13962	8073,026
<b>27</b>	26400	59136	17649	12607,53	59136	14499	8383,527
<b>28</b>	26400	59136	18186	12918,03	59136	15036	8694,028
<b>29</b>	26400	63360	18723	13228,53	63360	15573	9004,529
<b>30</b>	26400	63360	19260	13539,03	63360	16110	9315,03
<b>31</b>	26400	67584	19797	13849,53	67584	16647	9625,531
<b>32</b>	26400	67584	20334	14160,03	67584	17184	9936,032
<b>33</b>	26400	71808	20871	14470,53	71808	17721	10246,53
<b>34</b>	26400	71808	21408	14781,03	71808	18258	10557,03
<b>35</b>	26400	76032	21945	15091,54	76032	18795	10867,54
<b>36</b>	26400	76032	22482	15402,04	76032	19332	11178,04
<b>37</b>	26400	80256	23019	15712,54	80256	19869	11488,54
<b>38</b>	26400	80256	23556	16023,04	80256	20406	11799,04
<b>39</b>	26400	84480	24093	16333,54	84480	20943	12109,54
<b>40</b>	26400	84480	24630	16644,04	84480	21480	12420,04
<b>41</b>	26400	88704	25167	16954,54	88704	22017	12730,54
<b>42</b>	26400	88704	25704	17265,04	88704	22554	13041,04
<b>43</b>	26400	92928	26241	17575,54	92928	23091	13351,54
<b>44</b>	26400	92928	26778	17886,04	92928	23628	13662,04
<b>45</b>	26400	97152	27315	18196,55	97152	24165	13972,55
<b>46</b>	26400	97152	27852	18507,05	97152	24702	14283,05
<b>47</b>	26400	101376	28389	18817,55	101376	25239	14593,55
<b>48</b>	26400	101376	28926	19128,05	101376	25776	14904,05
<b>49</b>	26400	105600	29463	19438,55	105600	26313	15214,55
<b>50</b>	26400	105600	30000	19749,05	105600	26850	15525,05



Figuur 35: Hyper-V prijzen voor server met twee 32 core CPU's Line Graph (0 - 25 VM's)

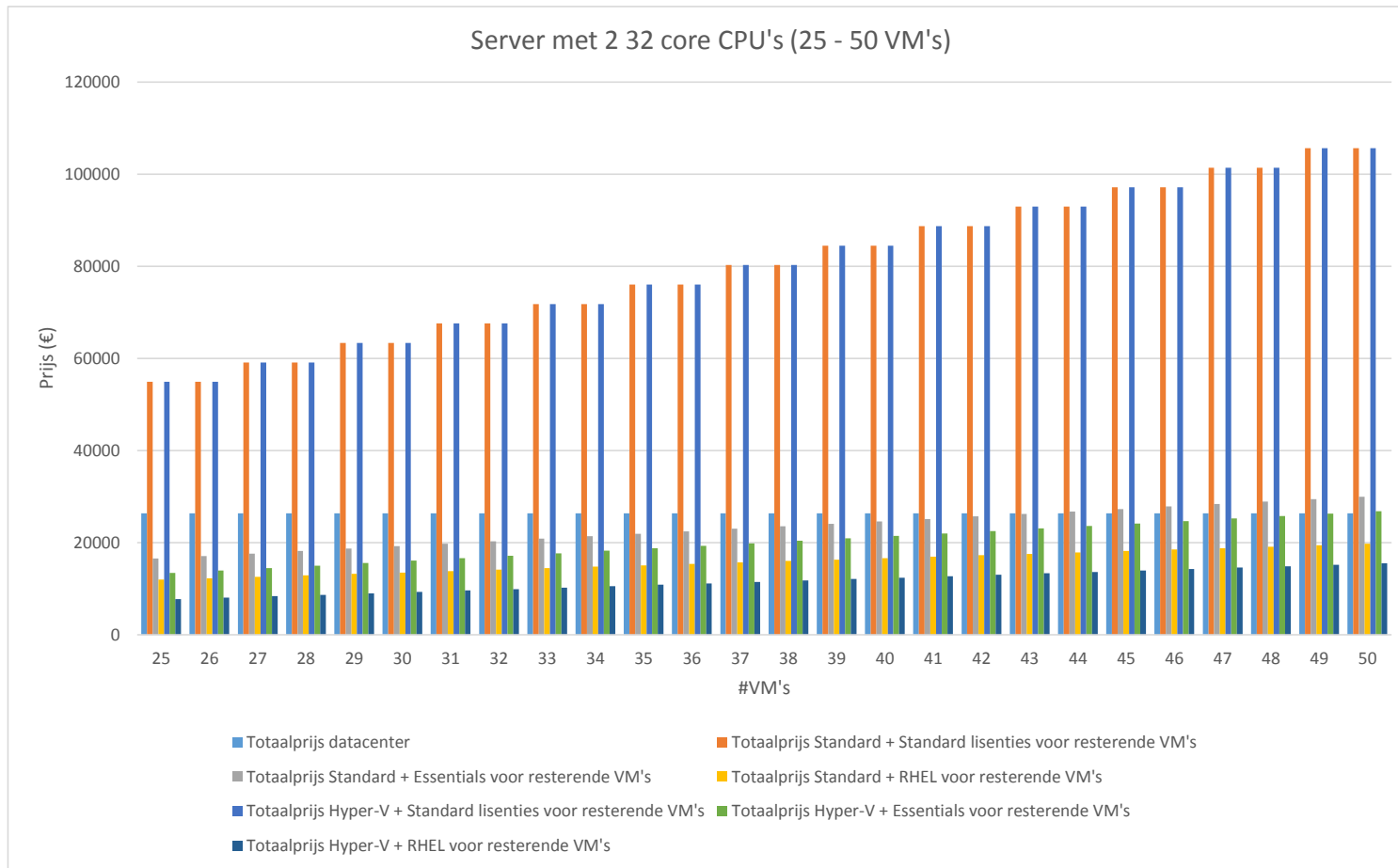


Figuur 36: Hyper-V prijzen voor server met twee 32 core CPU's Line Graph (25 - 50 VM's)



Figuur 37: Hyper-V prijzen voor server met twee 32 core CPU's Bar Graph (0 - 25 VM's)





Figuur 38: Hyper-V prijzen voor server met twee 32 core CPU's Bar Graph (25 - 50 VM's)

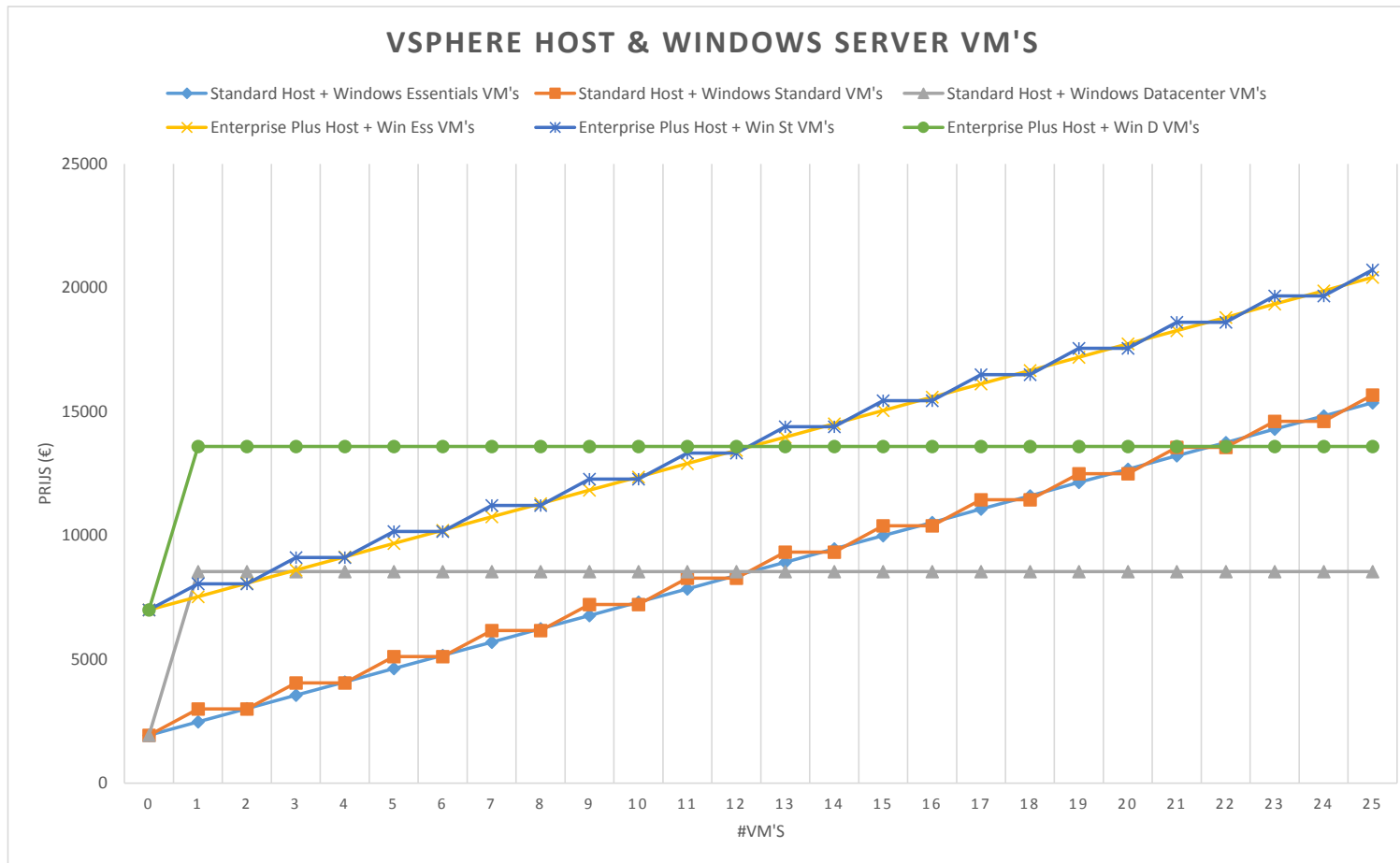
## C. Prijsanalyse VMware

Tabel 17: Prijzen ESXI host met Windows Server VM's

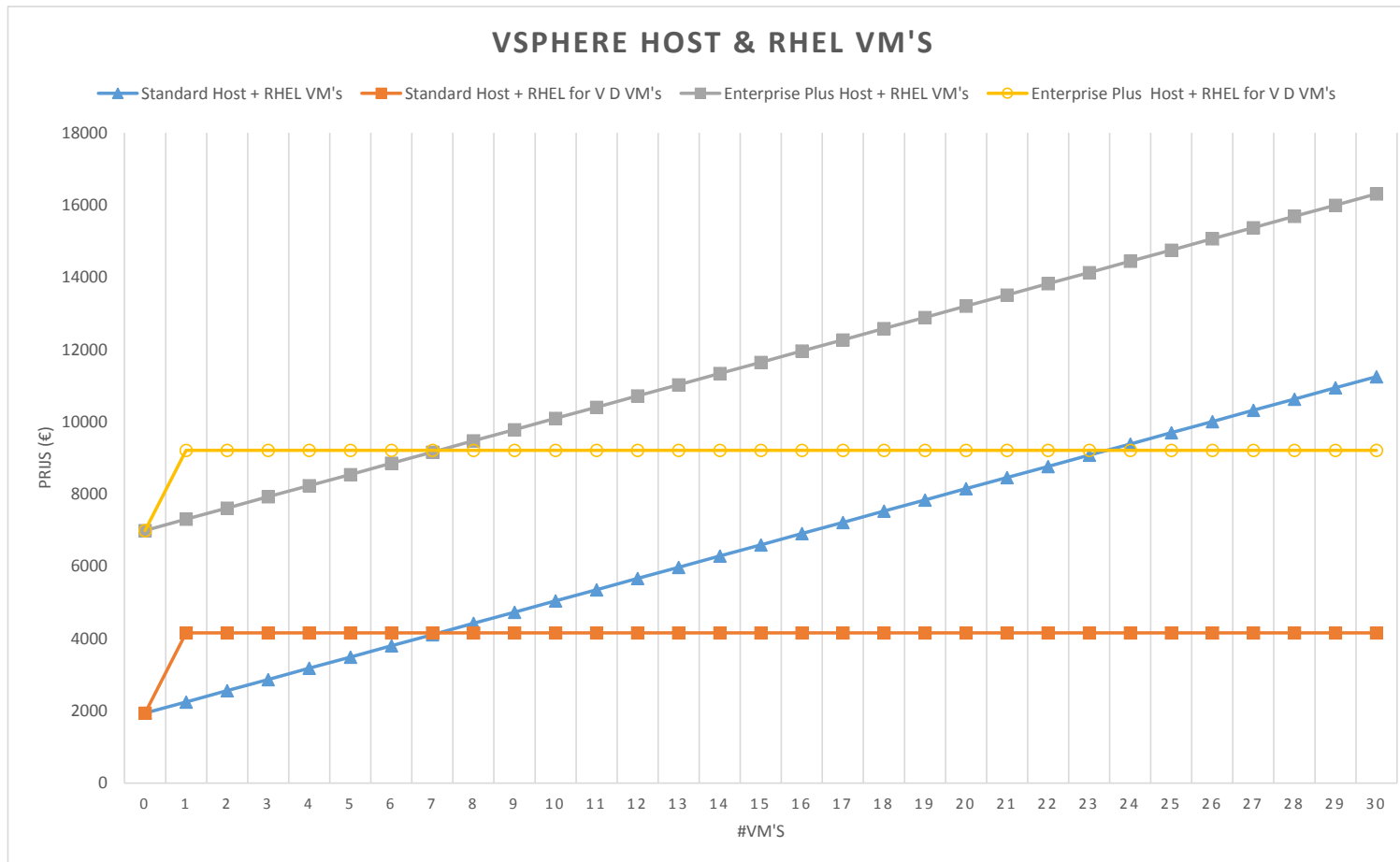
#VM's	Standard Host + Windows Essentials VM's	Standard Host + Windows Standard VM's	Standard Host + Windows Datacenter VM's	Enterprise Plus Host + Win Ess VM's	Enterprise Plus Host + Win St VM's	Enterprise Plus Host + Win D VM's
0	1935	1935	1935	6990	6990	6990
1	2472	2991	8535	7527	8046	13590
2	3009	2991	8535	8064	8046	13590
3	3546	4047	8535	8601	9102	13590
4	4083	4047	8535	9138	9102	13590
5	4620	5103	8535	9675	10158	13590
6	5157	5103	8535	10212	10158	13590
7	5694	6159	8535	10749	11214	13590
8	6231	6159	8535	11286	11214	13590
9	6768	7215	8535	11823	12270	13590
10	7305	7215	8535	12360	12270	13590
11	7842	8271	8535	12897	13326	13590
12	8379	8271	8535	13434	13326	13590
13	8916	9327	8535	13971	14382	13590
14	9453	9327	8535	14508	14382	13590
15	9990	10383	8535	15045	15438	13590
16	10527	10383	8535	15582	15438	13590
17	11064	11439	8535	16119	16494	13590
18	11601	11439	8535	16656	16494	13590
19	12138	12495	8535	17193	17550	13590
20	12675	12495	8535	17730	17550	13590
21	13212	13551	8535	18267	18606	13590
22	13749	13551	8535	18804	18606	13590
23	14286	14607	8535	19341	19662	13590
24	14823	14607	8535	19878	19662	13590
25	15360	15663	8535	20415	20718	13590

Tabel 18: Prijzen ESXI host met RHEL VM's

#VM's	Standard Host + RHEL VM's	Standard Host + RHEL for V D VM's	Enterprise Plus Host + RHEL VM's	Enterprise Plus Host + RHEL for V D VM's
0	1935	1935	6990	6990
1	2245,501	4158,33	7300,501	9213,33
2	2556,002	4158,33	7611,002	9213,33
3	2866,503	4158,33	7921,503	9213,33
4	3177,004	4158,33	8232,004	9213,33
5	3487,505	4158,33	8542,505	9213,33
6	3798,006	4158,33	8853,006	9213,33
7	4108,507	4158,33	9163,507	9213,33
8	4419,008	4158,33	9474,008	9213,33
9	4729,509	4158,33	9784,509	9213,33
10	5040,01	4158,33	10095,01	9213,33
11	5350,511	4158,33	10405,51	9213,33
12	5661,012	4158,33	10716,01	9213,33
13	5971,513	4158,33	11026,51	9213,33
14	6282,014	4158,33	11337,01	9213,33
15	6592,515	4158,33	11647,52	9213,33
16	6903,016	4158,33	11958,02	9213,33
17	7213,517	4158,33	12268,52	9213,33
18	7524,018	4158,33	12579,02	9213,33
19	7834,519	4158,33	12889,52	9213,33
20	8145,02	4158,33	13200,02	9213,33
21	8455,521	4158,33	13510,52	9213,33
22	8766,022	4158,33	13821,02	9213,33
23	9076,523	4158,33	14131,52	9213,33
24	9387,024	4158,33	14442,02	9213,33
25	9697,525	4158,33	14752,53	9213,33
26	10008,03	4158,33	15063,03	9213,33
27	10318,53	4158,33	15373,53	9213,33
28	10629,03	4158,33	15684,03	9213,33
29	10939,53	4158,33	15994,53	9213,33
30	11250,03	4158,33	16305,03	9213,33



Figuur 39: : Prijzen ESXI host met Windows Server VM's



Figuur 40: Prijzen ESXI host met RHEL VM's

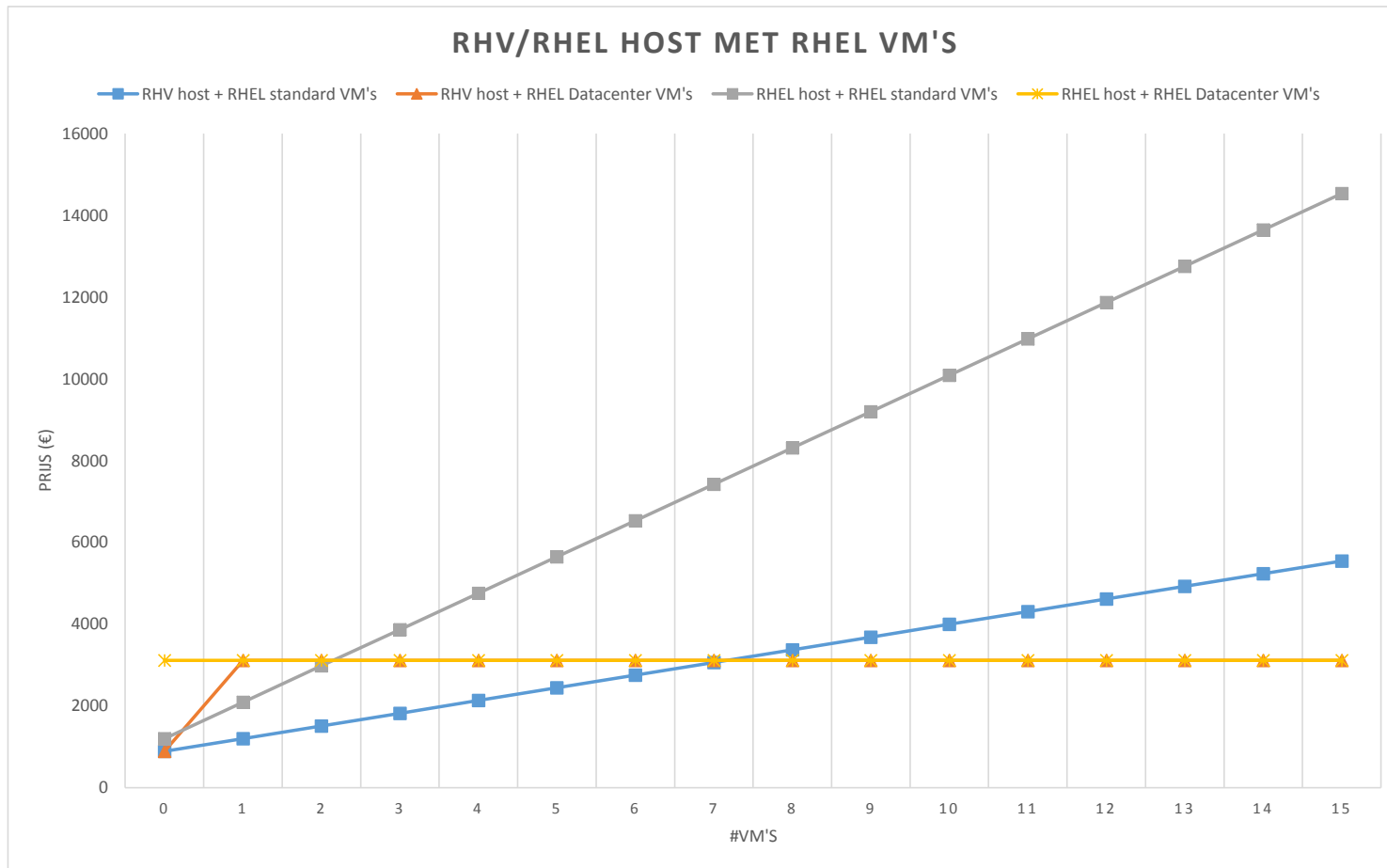
## D. Prijsanalyse RHV

Tabel 19: Prijzen RHV host met RHEL VM's

#VM's	RHV host + RHEL standard VM's	RHV host + RHEL Datacenter VM's	RHEL host + RHEL standard VM's	RHEL host + RHEL Datacenter VM's
0	888,799	888,799	1199,3	3112,129
1	1199,3	3112,129	2088,099	3112,129
2	1509,801	3112,129	2976,898	3112,129
3	1820,302	3112,129	3865,697	3112,129
4	2130,803	3112,129	4754,496	3112,129
5	2441,304	3112,129	5643,295	3112,129
6	2751,805	3112,129	6532,094	3112,129
7	3062,306	3112,129	7420,893	3112,129
8	3372,807	3112,129	8309,692	3112,129
9	3683,308	3112,129	9198,491	3112,129
10	3993,809	3112,129	10087,29	3112,129
11	4304,31	3112,129	10976,09	3112,129
12	4614,811	3112,129	11864,89	3112,129
13	4925,312	3112,129	12753,69	3112,129
14	5235,813	3112,129	13642,49	3112,129
15	5546,314	3112,129	14531,29	3112,129

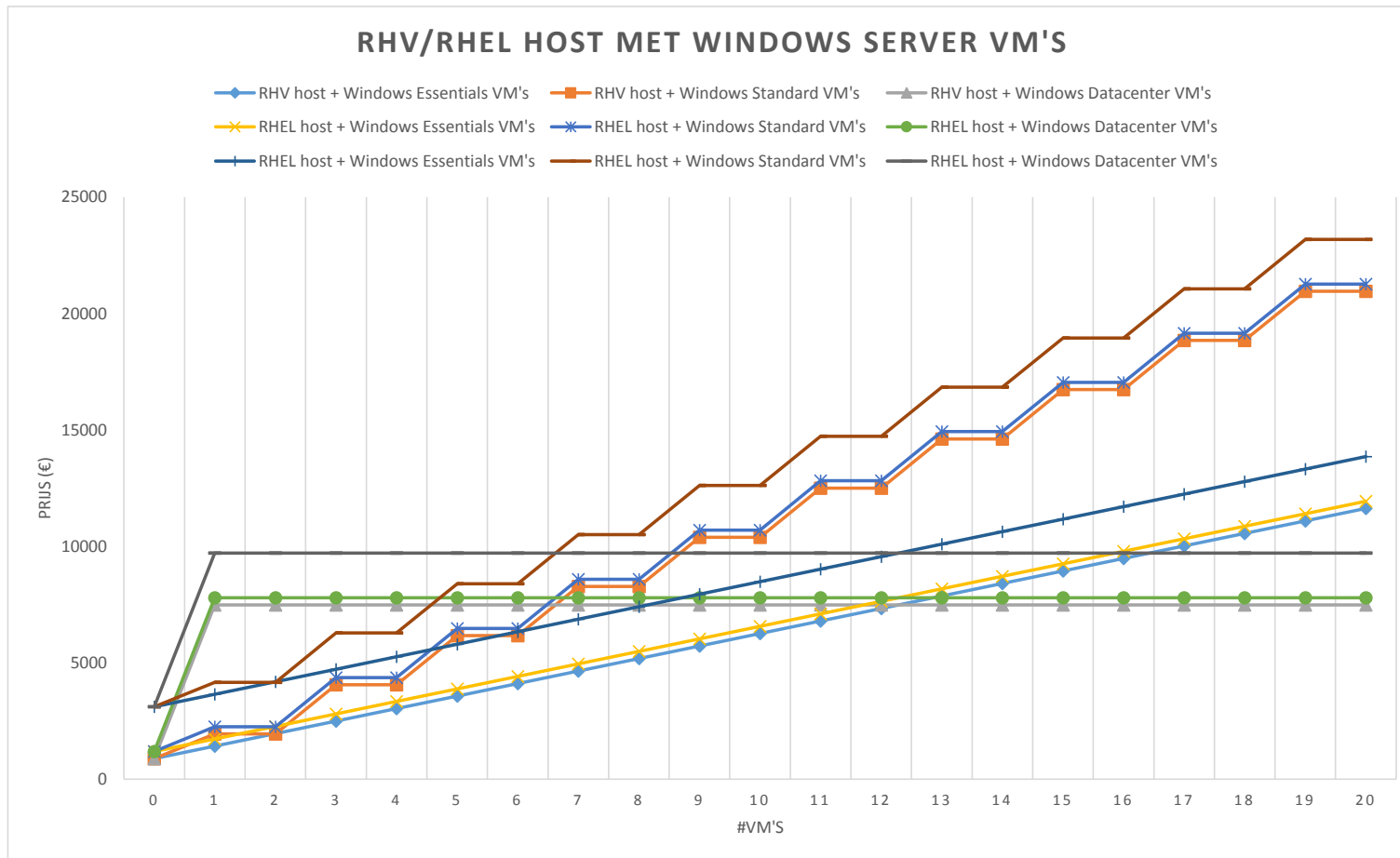
Tabel 20: Prijzen RHV host met Windows Server VM's

#VM's	RHV host + Windows Essentials VM's	RHV host + Windows Standard VM's	RHV host + Windows Datacenter VM's	RHEL host + Windows Essentials VM's	RHEL host + Windows Standard VM's	RHEL host + Windows Datacenter VM's	RHEL host + Windows Essentials VM's	RHEL host + Windows Standard VM's	RHEL host + Windows Datacenter VM's
0	888,799	888,799	888,799	1199,3	1199,3	1199,3	3112,129	3112,129	3112,129
1	1425,799	1944,799	7488,799	1736,3	2255,3	7799,3	3649,129	4168,129	9712,129
2	1962,799	1944,799	7488,799	2273,3	2255,3	7799,3	4186,129	4168,129	9712,129
3	2499,799	4056,799	7488,799	2810,3	4367,3	7799,3	4723,129	6280,129	9712,129
4	3036,799	4056,799	7488,799	3347,3	4367,3	7799,3	5260,129	6280,129	9712,129
5	3573,799	6168,799	7488,799	3884,3	6479,3	7799,3	5797,129	8392,129	9712,129
6	4110,799	6168,799	7488,799	4421,3	6479,3	7799,3	6334,129	8392,129	9712,129
7	4647,799	8280,799	7488,799	4958,3	8591,3	7799,3	6871,129	10504,129	9712,129
8	5184,799	8280,799	7488,799	5495,3	8591,3	7799,3	7408,129	10504,129	9712,129
9	5721,799	10392,799	7488,799	6032,3	10703,3	7799,3	7945,129	12616,129	9712,129
10	6258,799	10392,799	7488,799	6569,3	10703,3	7799,3	8482,129	12616,129	9712,129
11	6795,799	12504,799	7488,799	7106,3	12815,3	7799,3	9019,129	14728,129	9712,129
12	7332,799	12504,799	7488,799	7643,3	12815,3	7799,3	9556,129	14728,129	9712,129
13	7869,799	14616,799	7488,799	8180,3	14927,3	7799,3	10093,129	16840,129	9712,129
14	8406,799	14616,799	7488,799	8717,3	14927,3	7799,3	10630,129	16840,129	9712,129
15	8943,799	16728,799	7488,799	9254,3	17039,3	7799,3	11167,129	18952,129	9712,129
16	9480,799	16728,799	7488,799	9791,3	17039,3	7799,3	11704,129	18952,129	9712,129
17	10017,799	18840,799	7488,799	10328,3	19151,3	7799,3	12241,129	21064,129	9712,129
18	10554,799	18840,799	7488,799	10865,3	19151,3	7799,3	12778,129	21064,129	9712,129
19	11091,799	20952,799	7488,799	11402,3	21263,3	7799,3	13315,129	23176,129	9712,129
20	11628,799	20952,799	7488,799	11939,3	21263,3	7799,3	13852,129	23176,129	9712,129



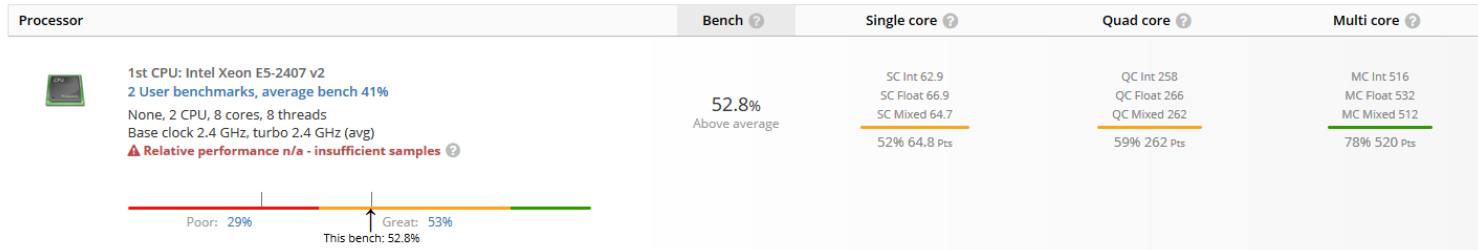
Figuur 41: Prijzen RHV host met RHEL VM's



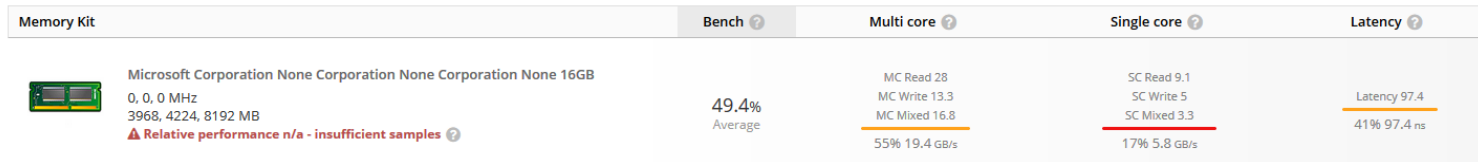


Figuur 42: Prijzen RHV host met Windows Server VM's

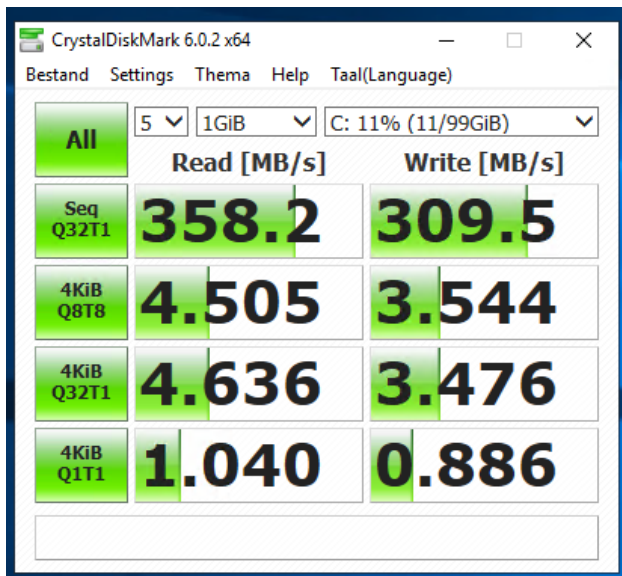
## E. Resultaten Benchmarks



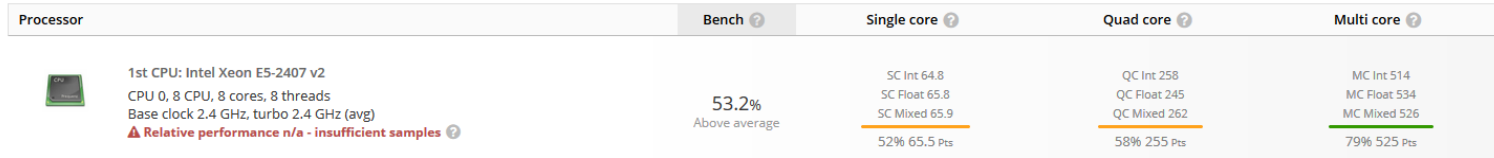
Figuur 43: CPU benchmark - Windows VM - Hyper-V



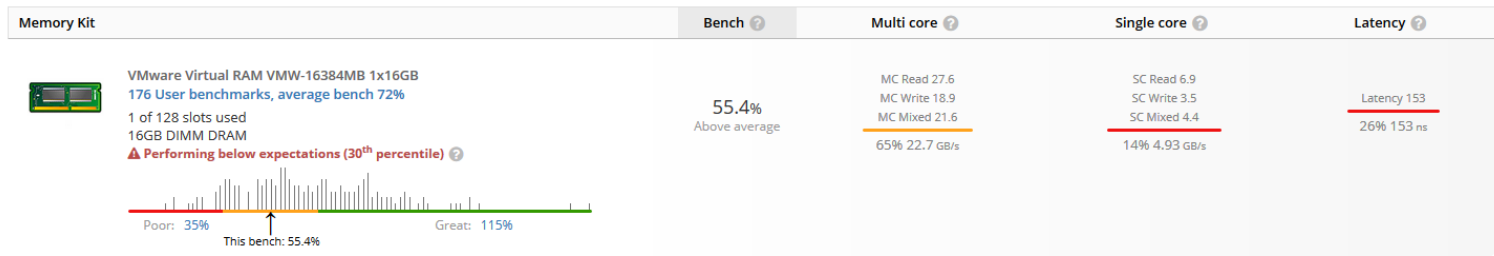
Figuur 44: RAM benchmark - Windows VM - Hyper-V



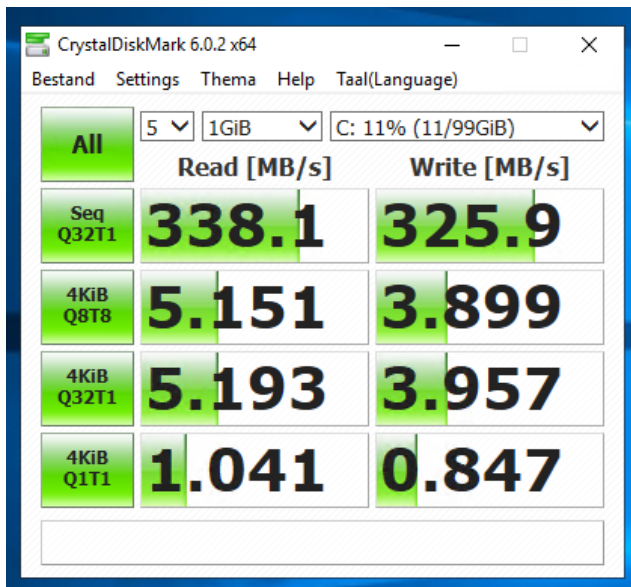
Figuur 45: HDD benchmark - Windows VM - Hyper-V



Figuur 46: CPU benchmark - Windows VM - ESXI



Figuur 47: RAM benchmark - Windows VM - ESXI



*Figuur 48: HDD benchmark - Windows VM - ESXI*

```
[admin@localhost ~]$ sysbench --test=cpu --threads=1 --cpu-max-prime=20000 run
WARNING: the --test option is deprecated. You can pass a script name or path on the command line without any options.
sysbench 1.0.17 (using system LuaJIT 2.0.4)

Running the test with following options:
Number of threads: 1
Initializing random number generator from current time

Prime numbers limit: 20000

Initializing worker threads...

Threads started!

CPU speed:
  events per second: 234.12

General statistics:
  total time:          10.0031s
  total number of events: 2343

Latency (ms):
  min:                 3.94
  avg:                 4.27
  max:                 16.46
  95th percentile:    5.18
  sum:                 9996.18

Threads fairness:
  events (avg/stddev): 2343.0000/0.00
  execution time (avg/stddev): 9.9962/0.00

[admin@localhost ~]$
```

*Figuur 49: CPU benchmark - CentOS VM - Hyper-V - 1 thread*

```

[admin@localhost ~]$ sysbench --test=cpu --threads=8 --cpu-max-prime=20000 run
WARNING: the --test option is deprecated. You can pass a script name or path on the command line without any options.
sysbench 1.0.17 (using system LuaJIT 2.0.4)

Running the test with following options:
Number of threads: 8
Initializing random number generator from current time

Prime numbers limit: 20000

Initializing worker threads...

Threads started!

CPU speed:
  events per second: 1928.05

General statistics:
  total time:                10.0031s
  total number of events:    19291

Latency (ms):
  min:                        3.93
  avg:                        4.15
  max:                        16.86
  95th percentile:          4.25
  sum:                        79968.14

Threads fairness:
  events (avg/stddev):       2411.3750/34.90
  execution time (avg/stddev): 9.9960/0.00

[admin@localhost ~]$

```

*Figuur 50: CPU benchmark - CentOS VM - Hyper-V - 8 threads*

```

[admin@localhost ~]$ sysbench --test=memory --memory-block-size=1M --memory-total-size=16G run
WARNING: the --test option is deprecated. You can pass a script name or path on the command line without any options.
sysbench 1.0.17 (using system LuaJIT 2.0.4)

Running the test with following options:
Number of threads: 1
Initializing random number generator from current time

Running memory speed test with the following options:
  block size: 1024KiB
  total size: 16384MiB
  operation: write
  scope: global

Initializing worker threads...

Threads started!

Total operations: 16384 (11411.11 per second)
16384.00 MiB transferred (11411.11 MiB/sec)

General statistics:
  total time:          1.4311s
  total number of events: 16384

Latency (ms):
  min:                 0.08
  avg:                 0.09
  max:                 4.29
  95th percentile:    0.10
  sum:                 1420.82

Threads fairness:
  events (avg/stddev): 16384.0000/0.00
  execution time (avg/stddev): 1.4208/0.00

[admin@localhost ~]$

```

Figuur 51: RAM benchmark - CentOS VM - Hyper-V - 1 thread

```

[admin@localhost ~]$ sysbench --test=memory --threads=8 --memory-block-size=1M --memory-total-size=16G run
WARNING: the --test option is deprecated. You can pass a script name or path on the command line without any options.
sysbench 1.0.17 (using system LuaJIT 2.0.4)

Running the test with following options:
Number of threads: 8
Initializing random number generator from current time

Running memory speed test with the following options:
  block size: 1024KiB
  total size: 16384MiB
  operation: write
  scope: global

Initializing worker threads...

Threads started!

Total operations: 16384 (32804.16 per second)
16384.00 MiB transferred (32804.16 MiB/sec)

General statistics:
  total time:          0.4949s
  total number of events: 16384

Latency (ms):
  min:                 0.08
  avg:                 0.21
  max:                 5.19
  95th percentile:    0.35
  sum:                 3503.32

Threads fairness:
  events (avg/stddev): 2048.0000/0.00
  execution time (avg/stddev): 0.4379/0.05

[admin@localhost ~]$

```

Figuur 52: RAM benchmark - CentOS VM - Hyper-V - 8 threads



```

[admin@localhost ~]$ sysbench --test=fileio --file-total-size=40G --file-test-mode=rndrw --time=300 --max-requests=0 run
WARNING: the --test option is deprecated. You can pass a script name or path on the command line without any options.
sysbench 1.0.17 (using system LuaJIT 2.0.4)

Running the test with following options:
Number of threads: 1
Initializing random number generator from current time

Extra file open flags: (none)
128 files, 320MiB each
40GiB total file size
Block size 16KiB
Number of IO requests: 0
Read/write ratio for combined random IO test: 1.50
Periodic FSYNC enabled, calling fsync() each 100 requests.
Calling fsync() at the end of test, Enabled.
Using synchronous I/O mode
Doing random r/w test
Initializing worker threads...

Threads started!

File operations:
  reads/s:          1524.02
  writes/s:         1016.01
  fsyncs/s:         3251.32

Throughput:
  read, MiB/s:      23.81
  written, MiB/s:   15.88

General statistics:
  total time:          300.0246s
  total number of events: 1737443

Latency (ms):
  min:                 0.00
  avg:                 0.17
  max:                 279.37
  95th percentile:    0.25
  sum:                 297253.26

Threads Fairness:
  events (avg/stddev): 1737443.0000/0.00
  execution time (avg/stddev): 297.2533/0.00
[admin@localhost ~]$

```

Figuur 53: HDD benchmark - CentOS VM - Hyper-V - 1 thread

```
[admin@localhost ~]$ sysbench --test=fileio --threads=8 --file-total-size=40G --file-test-mode=rndrw --time=300 --max-requests=0 run
WARNING: the --test option is deprecated. You can pass a script name or path on the command line without any options.
sysbench 1.0.17 (using system LuaJIT 2.0.4)

Running the test with following options:
Number of threads: 8
Initializing random number generator from current time

Extra file open flags: (none)
128 files, 320MiB each
40GiB total file size
Block size 16KiB
Number of IO requests: 0
Read/write ratio for combined random IO test: 1.50
Periodic FSYNC enabled, calling fsync() each 100 requests.
Calling fsync() at the end of test, Enabled.
Using synchronous I/O mode
Doing random r/w test
Initializing worker threads...

Threads started!

File operations:
  reads/s:          2236.46
  writes/s:         1490.96
  fsyncs/s:         4774.32

Throughput:
  read, MiB/s:      34.94
  written, MiB/s:   23.30

General statistics:
  total time:       300.0962s
  total number of events: 2550347

Latency (ms):
  min:              0.00
  avg:              0.94
  max:              149.54
  95th percentile: 7.56
  sum:              2394086.78

Threads fairness:
  events (avg/stddev): 318793.3750/1545.13
  execution time (avg/stddev): 299.2608/0.02

[admin@localhost ~]$
```

Figuur 54: HDD benchmark - CentOS VM - Hyper-V - 8 threads

```

[admin@localhost ~]$ sysbench --test=cpu --threads=1 --cpu-max-prime=20000 run
WARNING: the --test option is deprecated. You can pass a script name or path on the co
mmand line without any options.
sysbench 1.0.17 (using system LuaJIT 2.0.4)

Running the test with following options:
Number of threads: 1
Initializing random number generator from current time

Prime numbers limit: 20000

Initializing worker threads...

Threads started!

CPU speed:
  events per second: 247.20

General statistics:
  total time: 10.0037s
  total number of events: 2474

Latency (ms):
  min: 3.97
  avg: 4.04
  max: 4.61
  95th percentile: 4.03
  sum: 10001.33

Threads fairness:
  events (avg/stddev): 2474.0000/0.00
  execution time (avg/stddev): 10.0013/0.00

[admin@localhost ~]$ !

```

Figuur 55: CPU benchmark - CentOS VM - ESXI - 1 thread

```

[admin@localhost ~]$ sysbench --test=cpu --threads=8 --cpu-max-prime=20000 run
WARNING: the --test option is deprecated. You can pass a script name or path on the command line without any options.
sysbench 1.0.17 (using system LuaJIT 2.0.4)

Running the test with following options:
Number of threads: 8
Initializing random number generator from current time

Prime numbers limit: 20000
Initializing worker threads...

Threads started!

CPU speed:
  events per second:   964.61

General statistics:
  total time:          10.0042s
  total number of events: 9652

Latency (ms):
  min:                 3.95
  avg:                 8.28
  max:                 1343.46
  95th percentile:    5.37
  sum:                 79943.16

Threads fairness:
  events (avg/stddev): 1206.5000/23.71
  execution time (avg/stddev): 9.9929/0.01

[admin@localhost ~]$

```

*Figuur 56: CPU benchmark - CentOS VM - ESXI - 8 threads*

```

[admin@localhost ~]$ sysbench --test=memory --memory-block-size=1M --memory-total-size=16G run
WARNING: the --test option is deprecated. You can pass a script name or path on the command line without any options.
sysbench 1.0.17 (using system LuaJIT 2.0.4)

Running the test with following options:
Number of threads: 1
Initializing random number generator from current time

Running memory speed test with the following options:
  block size: 1024KiB
  total size: 16384MiB
  operation: write
  scope: global

Initializing worker threads...

Threads started!

Total operations: 16384 (11962.71 per second)
16384.00 MiB transferred (11962.71 MiB/sec)

General statistics:
  total time:          1.3673s
  total number of events: 16384

Latency (ms):
  min:                 0.08
  avg:                 0.08
  max:                 0.29
  95th percentile:    0.09
  sum:                 1360.30

Threads fairness:
  events (avg/stddev): 16384.0000/0.00
  execution time (avg/stddev): 1.3603/0.00

[admin@localhost ~]$

```

*Figuur 57: RAM benchmark - CentOS VM - ESXI - 1 thread*

```

[admin@localhost ~]$ sysbench --test=memory --threads=8 --memory-block-size=1M --memory-total-size=16G run
WARNING: the --test option is deprecated. You can pass a script name or path on the command line without any options.
sysbench 1.0.17 (using system LuaJIT 2.0.4)

Running the test with following options:
Number of threads: 8
Initializing random number generator from current time

Running memory speed test with the following options:
  block size: 1024KiB
  total size: 16384MiB
  operation: write
  scope: global

Initializing worker threads...

Threads started!

Total operations: 16384 (35786.80 per second)
16384.00 MiB transferred (35786.80 MiB/sec)

General statistics:
  total time:          0.4533s
  total number of events: 16384

Latency (ms):
  min:                 0.08
  avg:                 0.20
  max:                 1.39
  95th percentile:    0.34
  sum:                 3301.68

Threads fairness:
  events (avg/stddev): 2048.0000/0.00
  execution time (avg/stddev): 0.4127/0.03

[admin@localhost ~]$

```

*Figuur 58: RAM benchmark - CentOS VM - ESXI - 8 threads*

```

[admin@localhost ~]$ sysbench --test=fileio --file-total-size=40G --file-test-mode=rndrw --time=300 --max-requests=0 run
WARNING: the --test option is deprecated. You can pass a script name or path on the command line without any options.
sysbench 1.0.17 (using system LuaJIT 2.0.4)

Running the test with following options:
Number of threads: 1
Initializing random number generator from current time

Extra file open flags: (none)
128 files, 320MiB each
40GiB total file size
Block size 16KiB
Number of IO requests: 0
Read/write ratio for combined random IO test: 1.50
Periodic FSYNC enabled, calling fsync() each 100 requests.
Calling fsync() at the end of test, Enabled.
Using synchronous I/O mode
Doing random r/w test
Initializing worker threads...

Threads started!

File operations:
  reads/s:          529.46
  writes/s:         352.97
  fsyncs/s:         1129.68

Throughput:
  read, MiB/s:      8.27
  written, MiB/s:   5.52

General statistics:
  total time:          300.0334s
  total number of events: 603577

Latency (ms):
  min:                 0.00
  avg:                 0.50
  max:                 151.00
  95th percentile:    3.43
  sum:                 299318.97

Threads Fairness:
  events (avg/stddev): 603577.0000/0.00
  execution time (avg/stddev): 299.3190/0.00

[admin@localhost ~]$

```

Figuur 59: HDD benchmark - CentOS VM - ESXI - 1 thread

```
[admin@localhost ~]$ sysbench --test=fileio --threads=8 --file-total-size=40G --file-test-mode=rndrw --time=300 --max-requests=0 run
WARNING: the --test option is deprecated. You can pass a script name or path on the command line without any options.
sysbench 1.0.17 (using system LuaJIT 2.0.4)

Running the test with following options:
Number of threads: 8
Initializing random number generator from current time

Extra file open flags: (none)
128 files, 320MiB each
40GiB total file size
Block size 16KiB
Number of IO requests: 0
Read/write ratio for combined random IO test: 1.50
Periodic fsync enabled, calling fsync() each 100 requests.
Calling fsync() at the end of test, Enabled.
Using synchronous I/O mode
Doing random r/w test
Initializing worker threads...

Threads started!

File operations:
  reads/s:          1565.55
  writes/s:         1043.69
  fsyncs/s:         3342.83

Throughput:
  read, MiB/s:      24.46
  written, MiB/s:   16.31

General statistics:
  total time:       300.0468s
  total number of events: 1784889

Latency (ms):
  min:              0.00
  avg:              1.34
  max:              297.19
  95th percentile: 8.58
  sum:              2398237.74

Threads fairness:
  events (avg/stddev): 223111.1250/637.59
  execution time (avg/stddev): 299.7797/0.00

[admin@localhost ~]$
```

Figuur 60: HDD benchmark - CentOS VM - ESXI - 8 threads

