

Virtualisatie en The Cloud

D. Leeuw

22 maart 2021

v.0.1.0

© 2021 Dennis Leeuw



Dit werk is uitgegeven onder de Creative Commons BY-NC-SA Licentie en laat anderen toe het werk te kopiëren, distribueren, vertonen, op te voeren, en om afgeleid materiaal te maken, zolang de auteurs en uitgever worden vermeld als maker van het werk, het werk niet commercieel gebruikt wordt en afgeleide werken onder identieke voorwaarden worden verspreid.

Over dit Document

Dit document behandelt de opslag van data op de verschillende opslag-systemen voor het middelbaar beroepsonderwijs in Nederland.

Versienummering

Het versienummer van elk document bestaat uit drie nummers gescheiden door een punt. Het eerste nummer is het major-versie nummer, het tweede nummer het minor-versienummer en de laatste is de nummering voor bug-fixes.

Om met de laatste te beginnen als er in het document slechts verbeteringen zijn aangebracht die te maken hebben met type-fouten, websites die niet meer beschikbaar zijn, of kleine foutjes in de opdrachten dan zal dit nummer opgehoogd worden. Als docent of student hoef je je boek niet te vervangen. Het is wel handig om de wijzigingen bij te houden.

Als er flink is geschreven aan het document dan zal het minor-nummer opgehoogd worden, dit betekent dat er bijvoorbeeld plaatjes zijn vervangen of geplaatst/weggehaald, maar ook dat paragrafen zijn herschreven, verwijderd of toegevoegd, zonder dat de daadwerkelijk context is veranderd. Een nieuw cohort wordt aangeraden om met deze nieuwe versie te beginnen, bestaande cohorten kunnen doorwerken met het boek dat ze al hebben.

Als het major-nummer wijzigt dan betekent dat dat de inhoud van het boek substantieel is gewijzigd om bijvoorbeeld te voldoen aan een nieuw kwalificatiedossier voor het onderwijs. Een nieuw major-nummer betekent bijna altijd voor het onderwijs dat men in het nieuwe schooljaar met deze nieuwe versie aan de slag zou moeten gaan. Voorgaande versies van het document zullen nog tot het einde een schooljaar onderhouden worden, maar daarna niet meer.

Document ontwikkeling

Het doel is door middel van open documentatie een document aan te bieden aan zowel studenten als docenten, zonder dat hier hoge kosten aan verbonden zijn en met de gedachte dat we samen meer weten dan alleen. Door samen te werken kunnen we meer bereiken.

Bijdragen aan dit document worden dan ook met alle liefde ontvangen. Let u er wel op dat materiaal dat u bijdraagt onder de CC BY-NC-SA licentie vrijgegeven mag worden, dus alleen origineel materiaal of materiaal dat al vrijgegeven is onder deze licentie.

De eerste versie is geschreven voor het ROC Horizon College.

Versienummer	Auteurs	Verspreiding	Wijzigingen
0.1.0	Dennis Leeuw	Initieel document	

Tabel 1: Document wijzigingen

Inhoudsopgave

Over dit Document	i
1 Simulatie, Emulatie en Virtualisatie	1
1.1 Wat is virtualisatie?	2
2 The Cloud	3
2.1 IaaS	3
2.2 PaaS	4
2.3 SaaS	4
3 Machine Virtualisatie (IaaS)	5
3.1 Hypervisor	5
3.1.1 Hypervisor Opdracht	6
3.1.2 Disk images	6
3.2 Hypervisors	7
3.2.1 VirtualBox	7
3.2.2 VMWare	7
3.2.3 Xen	7
3.2.4 KVM	8
3.2.5 Hyper-V	8
3.2.6 Parallels	9
3.3 Server virtualisatie	9
3.3.1 Rekenclusters	11
3.3.2 High Availability	11
3.3.3 Server hardware	14
3.4 Webhosting (PaaS)	15
3.4.1 Server virtualisatie opdrachten	15
3.5 The Cloud: Virtual Private Servers	15
3.5.1 PaaS	16
3.6 Desktop Virtualisatie	16
3.6.1 VDI - Vitrual Desktop Infrastructure	17

3.6.2	GPU - Graphical Processing Unit	18
3.6.3	Microsoft licentie beheer	18
3.6.4	De connection broker	19
3.6.5	Voor- en nadelen desktop virtualisatie	19
3.6.6	Remote Desktop Opdracht	20
4	Applicatie Virtualistie (SaaS)	21
4.1	Terminal Applicaties	21
4.2	Hosted applications	22
4.2.1	X11	22
4.2.2	Citrix	23
4.2.3	Microsoft	24
4.3	Web Applicaties	24
4.3.1	Google Apps	25
4.3.2	Microsoft Office 365	25
5	Containerisatie	27
5.1	Containerisatie software	27
5.1.1	LXC	27
5.1.2	Docker	27
5.1.3	Kubernetes	27
	Index	29

Hoofdstuk 1

Simulatie, Emulatie en Virtualisatie

Simulatie, emulatie, imitatie en virtualisatie zijn termen die min of meer hetzelfde betekenen in het Nederlands, maar in de IT een verschillende betekenis kunnen hebben. Vergelijk ook met de Engelse woorden simulation, emulation, imitation en virtualization.

Volgens Van Dale is simulatie het verrichten van schijnbare handelingen of ook nabootsen. Nabootsen komen we ook tegen bij imitatie, terwijl bij emulatie iets staat dat niets te maken heeft met wat we in de IT bedoelen. Van Dale geeft er wedijver en naijver, kortom het beter willen doen. Bij virtueel komt in Van Dale iets voor waar we echt wat mee kunnen: Slechts schijnbaar bestaand. Zo zie je dat deze termen snel verwarring kunnen opleveren.

Simulation in de IT is wat er bijvoorbeeld in games gebeurt. Een flight simulator doet een vliegtuig na en geeft je het gevoel echt in een vliegtuig te zitten. Veel andere spelletjes zijn ook simulatoren.

Virtualization is het ophakken van bestaande resources in kleine stukjes. Een virtual machine krijgt zo een klein stukje processor gebruik, een klein stukje geheugen, een stukje van een harddisk.

Emulation doet hetzelfde als virtualization, maar heeft daarnaast de mogelijkheid om een vertaalslag te maken naar ander type hardware of software. Een emulator geeft je bijvoorbeeld de mogelijkheid om een PowerPC chip na te doen op een ix86 processor. De VM denkt dat zijn processor een PowerPC chip is, terwijl er in de onderliggend fysieke hardware bijvoorbeeld een Core i7 van Intel zit.

Dit document behandelt alleen virtualisatie.

1.1 Wat is virtualisatie?

Virtualisatie is dat iets lijkt te zijn wat het niet is. Op Windows-systemen kan bijvoorbeeld een drive gemapd zijn naar de letter G. Dit lijkt een lokale disk, maar in werkelijkheid is het een netwerk-share.

Virtualisatie in de ICT is een heel breed onderwerp dat gaat van opslag tot servers en van desktops tot applicatie containers. Het doel van dit document is meer helderheid te verschaffen in de terminologie die gebruikt wordt in dit vakgebied en door middel van opdrachten de lezer meer vertrouwd te maken met de technologie.

<https://www.youtube.com/watch?v=FZR0rG3HKIk>

Hoofdstuk 2

The Cloud

Tegenwoordig spreken we van cloud oplossingen en van data opslaan in de cloud, maar wat is dat eigenlijk die cloud? De naam cloud komt vermoedelijk van het feit dat in de automatisering als we een netwerk in generieke zin willen weergeven we meestal een wolkje tekenen. We diensten die in het netwerk draaien gaan aanduiden als cloud diensten. Het Internet is het belangrijkste netwerk dat we vaak als cloud beschrijven. Cloud diensten draaien dan ook bij een provider ergens op het Internet. Voor de gebruiker is het niet van belang waar die dienst is.

Bij providers kunnen verschillende soorten diensten worden afgenomen: IaaS, PaaS en SaaS.

2.1 IaaS

Infrastructure as a Service is een dienst die gevirtualiseerde hardware aanbiedt. Je kan dan bijvoorbeeld kiezen voor 2 CPUs, 2 Gig RAM en 300 GB storage met eventueel nog wat eisen en wensen aan het netwerkverkeer dat naar de machine gaat.

Deze dienst is ook bekend onder de term Virtual Private Server.

Meestal kun je een OS kiezen uit een lijst van beschikbare OSen welke dan op je VPS geïnstalleerd wordt. De rest van de configuratie en installatie van de software moet je zelf doen. Je hebt de volledige vrijheid bij de inrichting.

2.2 PaaS

Platform as a Service is een dienst die je naast een virtuele machine en een besturingssysteem ook de middleware aanbiedt. Je kan bijvoorbeeld een PaaS dienst bestellen met LAMP. Linux, Apache, MySQL en PHP zullen dan al voor je geïnstalleerd zijn en daar hoef je dan dus niets meer aan te doen. Je bent alleen nog verantwoordelijk voor het installeren van de applicatie (web-applicatie).

Wordt vaak aangeboden als webhosting.

2.3 SaaS

Software as a Service biedt software aan via het Internet. Je hoeft niets meer te installeren en heb meestal alleen toegang tot de web-interface van de applicatie. Voorbeelden zijn bijvoorbeeld de Google Applicatie Suite en Office 365.

Hoofdstuk 3

Machine Virtualisatie (IaaS)

Machine virtualisatie zorgt ervoor dat er efficiënter gebruik wordt gemaakt van computing resources. Moderne computer zijn zo krachtig dat ze met één besturingssystemen en een paar applicaties of services vaak meer niets staan te doen dan dat ze werken. Door op deze hardware meerdere besturingssystemen te draaien kunnen de systemen efficiënter ingezet worden. De grote datacenters hebben dan minder hardware nodig wat bezuinigt op stroomgebruik, warmte ontwikkeling beperkt en kastruimte bespaart.

Om meerdere besturingssystemen op één machine te draaien is er iets nodig dat de bestaande hardware ophakt in stukjes zodat deze gezien wordt door de verschillende OSen als 'eigen' hardware. De techniek die daarvoor gebruikt wordt heet een hypervisor.

3.1 Hypervisor

Een hypervisor is een stuk software die hardware virtualisatie mogelijk maakt. Er bestaan twee type hypervisors; type 1 en type 2.

Hypervisor type 1 is een hypervisor die op bare metal draait. De hypervisor levert zijn eigen besturingssysteem en maakt rechtstreeks gebruik van de beschikbare hardware om deze aan te bieden aan de virtuele machines.

De andere variant is een Hypervisor type 2, deze draait op een bestaand besturingssysteem. Je hypervisor is dus eigenlijk een applicatie op een besturingssysteem en maakt gebruik van het onderliggende besturingssysteem om hardware aan te bieden aan de virtuele machines. Deze laatste techniek is simpeler omdat een type 2 hypervisor gebruik kan maken van de drivers van het OS waarop het draait.

Een hypervisor verdeelt de bestaande hardware op in stukjes en biedt

deze aan als een nieuwe machine. De hypervisor doet dus alsof hij allemaal zelfstandige computers aanbiedt, vandaar dat we dat virtuele machines noemen (virtual machines), wat me meestal afkorten als VM. De machine (en het OS) waarop de hypervisor draait wordt de Host genoemd, de virtuele machine die op de hypervisor draait wordt de Guest genoemd.

Het is natuurlijk een hele kunst om alle hardware te ondersteunen en de calls van het Guest OS correct door te zetten naar de hardware. Een andere optie is dat het Guest OS niet een echte netwerkkaart driver gebruikt, maar een pseudo-driver die zich bijvoorbeeld voordoet als een netwerkkaart. We hebben het dan over een vorm van emulatie, binnen de virtualisatie wereld noemen we dat paravirtualisatie. Voor paravirtualisatie is het nodig om het OS aan te passen aan de hypervisor. Dit is bijvoorbeeld noodzakelijk als de hardware onder de hypervisor geen virtualisatie ondersteund.

Bijna alle moderne computers en laptops ondersteunen hardware virtualisatie. In de BIOS kan de ondersteuning voor virtualisatie aan of uit gezet worden. De twee grote processor makers van onze wereld, Intel en AMD, hebben de techniek van virtualisatie ondersteuning beide een iets ander naam gegeven. De ondersteuning voor Intel processoren heet VT-x en voor AMD heet het AMD-V.

3.1.1 Hypervisor Opdracht

Herstart je laptop en ga naar de BIOS settings van je computer. Zoek in de BIOS waar de settings staan voor virtualisatie en als deze uit staan ze het dan aan.

3.1.2 Disk images

Als je een operating system installeert op een hypervisor dan wordt dit geïnstalleerd in een bestand. Een werkelijke harddisk is niet aanwezig in een VM, dus een bestand wordt gebruikt als virtuele harddisk. Deze virtuele harddisk met daarop een geïnstalleerd OS heet een image. Images kunnen op verschillende manieren gemaakt worden.

Als van een harddisk de data bit voor bit gelezen wordt en weggeschreven wordt als bestand dan heet dat bestand een raw-image. Het bestand zal dus net zo groot zijn als de oorspronkelijke grote van de harddisk. Dit neemt veel ruimte in en er kan efficiënter gebruik gemaakt worden door het bestand bijvoorbeeld te zippen. Naast een image van een harde schijf kan er ook een image gemaakt worden van een CD- of DVD-disk. Deze

images worden ISO images genoemd en hebben de .iso extensie.

Verschillende virtualisatie systemen hebben verschillende oplossingen bedacht om minder schijfruimte in te nemen, maar niet de overhead van zippen te hebben. Dit heeft verschillende image formaten opgeleverd.

3.2 Hypervisors

In deze paragraaf behandelen we een aantal van de beschikbare hypervisors op de markt. We geven een overzicht van enkele commerciële versies waarvoor een gratis instap model beschikbaar is en een paar open source producten.

3.2.1 VirtualBox

VirtualBox, een type 2 hypervisor, is in 2007 uitgebracht door Innotec GmbH die er tevens de broncode bijleverde. Innotec werd in 2008 gekocht door Sun Microsystems die VirtualBox verder ontwikkelde. Sinds 2010 is Sun in handen van Oracle.

VirtualBox disk image: VDI - Virtual Disk Image

3.2.2 VMWare

VMWare kwam in 1999 met het product VMWare Player op de markt, vanaf 2015 heet het VMWare Workstation Player. VMWare Workstation Player draait op Windows en Linux en kan x86 systemen virtualiseren. VMWare Workstation Player is een Type 2 hypervisor en draait op een bestaand operating system. Er is ook een VMWare virtualisatie product op de markt voor Mac OS X systemen genaamd VMWare Fusion (beschikbaar vanaf 2006).

In 2001 kwam VMWare ESX op de markt, wat tegenwoordig VMWare ESXi heet, en dat was een type 1 hypervisor met zijn eigen besturingssysteem.

VMDK - Virtual Machine Disk : Since versie 5.0 (2011) is VMDK een open format.

3.2.3 Xen

Op de University of Cambridge begon men met een onderzoeksproject naar een type 1 hypervisor. Het project heette Xen en in 2003 kwam de eerste publieke versie op de markt. Een bedrijf werd opgericht XenSource

Inc. die de open source versie beheerde en tevens een commercieel product op de markt bracht. Dit bedrijf werd in 2007 gekocht door Citrix. De open source versie werd ondergebracht bij xen.org. In 2013 kwam de open source Xen ontwikkeling onder de paraplu van de Linux Foundation en ging verder als het Xen Project (xenproject.org).

Citrix ontwikkelde, naast Citrix Xen Server, onder de Xen naam nog enkele andere productie die niets met de Xen hypervisor te maken hebben zoals XenApp en XenDesktop.

Ook andere leveranciers leveren de Xen Hypervisor als een commercieel product, bekende producten zijn:

- Huawei FusionSphere
- Oracle VM Server for x86
- Thinsy Corporation
- Crucible (hypervisor) by Star Lab Corp

3.2.4 KVM

KVM is de Linux hypervisor. Het is een kernel module die ook beschikbaar is voor FreeBSD. Het is niet helemaal duidelijk of we KVM nu een type 1 of type 2 hypervisor moeten noemen. De kernel module zorgt ervoor dat de de hypervisor bij de hardware kan, maar de VMs draaien naast de gewone applicaties. Dus het is een soort hybride vorm tussen type 1 en 2 in.

KVM is gestart in 2006 door Avi Kivity en zit sinds 2007 in de mainstream kernel. Het KVM project is gekocht in 2008 door Red Hat en Red Hat is tegenwoordig van IBM.

3.2.5 Hyper-V

Windows Server 2008 kwam met virtualisatie software genaamd Hyper-V. Hyper-V is een type 1 hypervisor die het bestaande OS tot de eerste VM maakt. Sinds 2012 (Windows 8) is Hyper-V ook beschikbaar voor het Windows desktop besturingssysteem.

VHD - Virtual HardDisk VHDx - Virtual HardDisk v2

3.2.6 Parallels

Parallels biedt een gratis proefversie van hun product Parallels Desktop product die het mogelijk maakt om Windows op een Mac OS X machine te draaien. Er is ook een versie voor Chrome. Sinds 2018 is Parallels onderdeel van Corel Corporation.

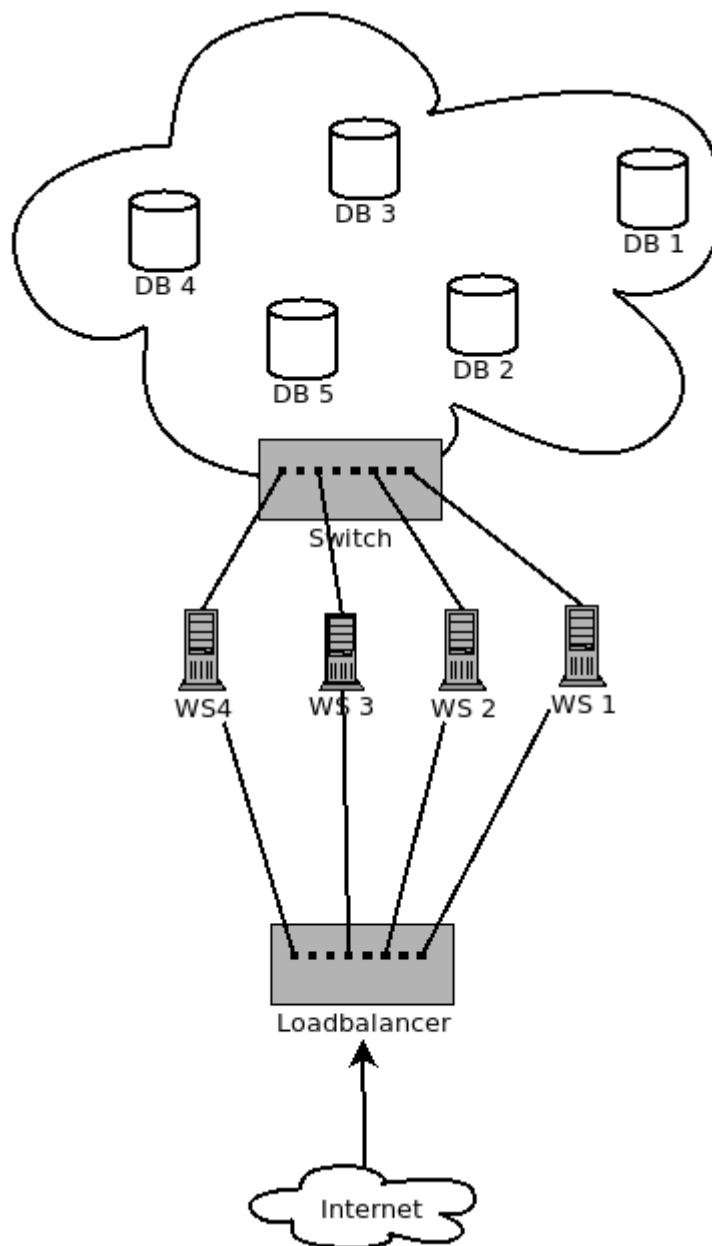
Parallels draait op Mac OS X en kan als guest OS Windows, Linux en Mac OS X draaien.

HDD - Parallels disk image format

3.3 Server virtualisatie

In de datacentra van providers of bedrijven draaien er servers en desktops als virtuele machines. De eisen voor virtuele servers en desktops verschillen van elkaar. In deze paragraaf zullen we de server virtualisatie behandelen. We hebben het dan voornamelijk over servers die draaien op 19m"achines en blades. De gevirtualiseerde machines zijn vaak servers die bijvoorbeeld dienen als database- of webserver. Een andere veel gebruikte toepassing is als rekennodes in rekenclusters.

Bij de eerste webserver draaiden bijvoorbeeld Apache en MySQL op één en dezelfde server. Dit was hardware en de performance van de website was afhankelijk van de kracht van de fysieke machine. Al snel werden websites groter dan één fysieke machine aankon. De functionaliteit werd gesplitst en de database server kreeg zijn eigen machine. Natuurlijk werd dit uiteindelijk ook te klein en werden er database clusters neergezet en kwamen er vele webserver die dezelfde website aanboden. Via loadbalancing werd de totale vraag naar een bepaalde website verdeeld over de verschillende servers. Zie voor een overzicht figuur [3.1](#).



Figuur 3.1: Webservers met loadbalancer en DB cluster

Een loadbalancer is een apparaat dat aan de Internet kant een vraag voor een dienst of een IP adres aanneemt en deze doorzet naar één van de servers die hij aan de interne kant heeft. Door voor elke vraag een andere server te gebruiken worden de aanvragen vanaf het Internet verdeeld over verschillende machines zodat de de load verdeeld wordt. Elke server

krijgt dus maar een deel van de aanvragen te verwerken. Het is hierbij van belang de alle servers op dezelfde manier zijn ingericht.

Voor het serverpark met webserverns worden vaak virtuele machines gebruikt zodat er op een eenvoudige manier één master image gemaakt kan worden die uitgerold wordt over de verschillende virtual machines en er zo gelijke webserverns ontstaan. De images van de serverns staan veelal op de SAN.

MySQL kan geïnstalleerd worden als stand-alone server of als cluster. In een cluster opzet werken de MySQL serverns samen om te zorgen dat de database consistent is zodat een query op elk van de serverns hetzelfde antwoord geeft. De database draait in het geheugen en wordt verdeeld over de verschillende harddisks opgeslagen. Het cluster gebruikt dus geen SAN, beter is het om het cluster op te vatten als één grote database. De verschillende clusternodes kunnen prima draaien op een hypervisor, of beter op verschillende hypervisors.

3.3.1 Rekenclusters

Rekenclusters zijn verzamelingen van machines die gebruikt worden om complexe rekentaken uit te voeren. We kunnen rekenclusters onderscheiden in twee smaken, de clusters die voornamelijk rekenen met integers (dus gehele getallen) en de clusters die voornamelijk rekenen met floats (dus getallen met cijfers achter de komma). Voor de eerste rekenclusters volstaan meestal de standaard processoren. De rekenclusters die met floats werken hebben vaak voordeel bij het gebruik van GPU's als rekenunits. De Engelse term voor een rekencluster is High Performance Cluster en de techniek heet dan ook High Performance Computing.

Omdat de wensen per rekenopdracht sterk kunnen verschillen, veel CPU power of just veel geheugen, worden de nodes van een rekencluster vaak gevirtualiseerd aangeboden zodat er snel en efficiënt geschaald kan worden. De overhead van de hypervisor is minder belangrijk dan de schaalbaarheid van het totale cluster waarbij nodes flexibel toegevoegd of verwijderd kunnen worden aan bepaalde rekentaken.

3.3.2 High Availability

Met alles en iedereen verbonden aan het Internet is het niet meer te zeggen wie wanneer van een dienst gebruik wil maken. De gebruikers kunnen van overal op de wereld komen en dus moeten diensten 24-uur per dag en 7 dagen in de week beschikbaar zijn. Serverns mogen niet meer uitvallen

en als ze toch uitvallen mag het de dienstverlening niet verstoren. Deze hoge beschikbaarheid of wel high-availability is steeds meer de norm, dan de uitzondering.

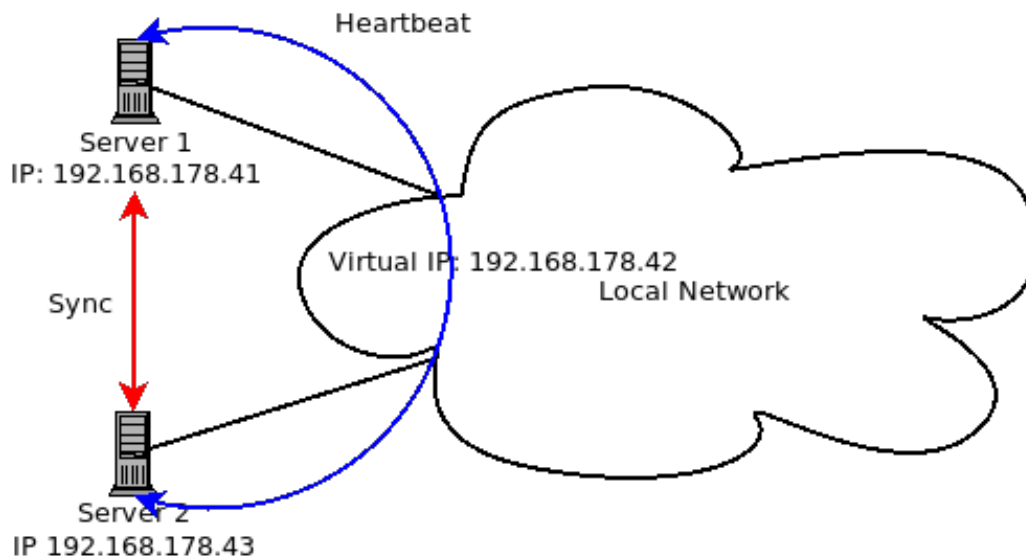
In de vorige paragrafen hebben we gezien dat de huidige infrastructuur vraagt om schaalbaarheid (scalability) en continuïteit (continuity). Deze worden ingegeven door de business ofwel het gaat om business continuity. Het enkele uren down zijn van het netwerk bij een klein advocatenkantoor kan al schadelijk zijn voor de reputatie of zelfs gevolgen hebben voor cliënten als de stukken niet optijd zijn ingeleverd bij de rechtbank. In een ziekenhuis kan het levens kosten. De afhankelijkheid van IT in onze samenleving is heel groot en elke keer zal er een afweging gemaakt moeten worden tussen de kosten en de wens om altijd online te zijn.

Om de uptime zo hoog mogelijk te maken en daarmee de availability wordt vaak gebruik gemaakt van het dubbel uitvoeren van componenten. Switches worden dubbel uitgevoerd, netwerkkabels worden redundant aangesloten, systemen worden in clusters gezet en naast voeding uit het stroomnet worden er UPSen en aggregaten neergezet. Alles om er maar voor te zorgen dat de systemen blijven werken. Sommige bedrijven gaan zelfs zo ver dat de datacenters dubbel worden uitgevoerd.

Het niet leveren van een bepaalde dienstverlening levert downtime op. Dit kan worden opgevangen door systemen of onderdelen van systemen dubbel uit te voeren. Zo kan een computer uitgerust zijn met een redundante voeding en/of harddisk. Redundant betekent dat de bijvoorbeeld de voeding niet operationeel is, maar alleen als de primaire voeding ermee stopt neemt de redundante of secundaire voeding het over. Deze techniek staat ook bekend als hot-standby. Alles is aangesloten en zonder enige downtime neemt het redundante apparaat de operationele acties over. De systeembeheerder hoeft achteraf alleen het defecte onderdeel te vervangen, zodat ook een volgende calamiteit opgevangen kan worden. Het vervangen van het defecte onderdeel kan gebeuren terwijl het systeem doordraait en niet uit hoeft. We noemen deze onderdelen dan ook hot-swappable. Alles is erop gebouwd dat het systeem maar niet down hoeft, zodat downtime wordt vermeden.

Om het omvallen van systemen op te vangen wordt er gebruik gemaakt van failover oplossingen. We spreken dan van hot- of cold-standby. Een tweede identieke machine kan klaarhangen in de kast, als de primaire server omvalt kan een systeembeheerder het tweede systeem opstarten en zorgen dat de gebruikers weer kunnen werken. Dit levert natuurlijk downtime op, maar als alles goed voorbereid is kan een server in een halfuur weer operationeel zijn. Dit is de cold-standby oplossing, de tweede server draait niet en is dus koud. Hot-standby betekent dat de failover-

server al draaiend op het netwerk aanwezig is. Op het moment dat de primaire server omvalt neemt de tweede server automatisch zijn functies over. De techniek hierachter is meestal het delen van een IP-adres tussen het primaire en het failover systeem. Beide systemen krijgen op hun netwerk interface één IP adres toegewezen dat bij de machine hoort en er is één IP adres dat ze delen, het zogenaamde virtuele IP adres. Dit virtuele IP adres wordt gebruikt door de gebruikers om een dienst te benaderen. Wie het virtuele IP adres op zijn netwerkkaart heeft staan handelt dus de dienst af. Normaal gesproken zal dat het primaire systeem zijn. Mocht deze echter uitvallen dan neemt het failover systeem het IP adres over op zijn netwerkkaart en krijgt daardoor alle vragen van de gebruikers te verwerken.



Figuur 3.2: File Server Failover

Twee dingen zijn hierbij van belang, namelijk dat de data op server 1 gelijk is aan die op server 2. In figuur 3.2 synchroniseren server 1 en 2 over een (rode) ethernet cross-cable, op deze manier verstoort de synchronisatie niet de bandbreedte naar de gebruikers. Het andere dat van belang is is dat server 2 moet weten wanneer server 1 niet meer bereikbaar is. Dat laatste wordt bereikt met een heartbeat, zeg maar een soort ping waarbij de servers elkaar in de gaten houden. Als server 2 de heartbeat van server 1 niet meer hoort dan neemt het het virtuele IP adres over. De heartbeat kan over een speciale kabel gaan of over de al bestaande netwerken tussen de twee servers.

3.3.3 Server hardware

De meeste datacenters zijn uitgerust met 19-''kasten waarin 19-''servers hangen. De 19-''maat staat voor de breedte van de server. De hoogte van een serverkast wordt uitgedrukt in het aantal U. Een normale server, de zogenaamde pizza-doos, is 1U hoog. Harddisks liggen dan plat in de server. Zwaardere servers met meer harddisks hebben de harddisks vaak rechtop op hun zijkant staan die hot-swappable uit de voorkant van de server getrokken kunnen worden. Deze servers zijn 2U hoog.



Figuur 3.3: Foto van Jfreyre afkomstig van
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rack001.jpg>

Om hogere dichtheden te bereiken wordt er gebruik gemaakt van blade servers. Bij blade servers zitten er meerdere servers (blades) in één fysieke behuizing (19-''kast). De servers delen een backplane, de voeding(en) en de behuizing waardoor er effectief meer servers passen op dezelfde oppervlakte. Een nadeel van blades is wel dat de warmte ontwikkeling ook veel meer geconcentreerd wordt en dat kan leiden tot zogenaamde hotspots, wat slecht is voor de koeling.

3.4 Webhosting (PaaS)

3.4.1 Server virtualisatie opdrachten

1. Zoek op Internet naar een load balancer en schrijf een stuk over welke technieken er gebruikt worden op load balancers. Zijn er ook software oplossingen die je kan inzetten als load balancer?
2. Welke software is er beschikbaar om rekenclusters mee op te zetten?
3. Welke software moet je installeren om een Windows Cluster op te zetten?

3.5 The Cloud: Virtual Private Servers

Een VPS, Virtual Private Server, is niets anders dan een virtuele server die als dienst aangeboden wordt door een provider (hosting bedrijf). De VPS draait op een server van een aanbieder ergens in zijn of haar datacenter. Een bekende uitspraak in de cloud wereld is daarom niet voor niets "The cloud that is just somebody else's computer".

Het grote voordeel van het gebruik van een VPS is dat al het beheer van het datacentrum, de computers en de netwerken is uitbesteed (ge-outsourced). Hier kan enorm bespaard worden op salarissen, gebouw ruimte en de steeds terug kerende kosten van het aanschaffen van nieuwe systemen. Providers kunnen door hun schaalgrootte goedkoper inkopen en de beheerkosten kunnen ze door relatief laag houden.

Het nadeel is dat de computers niet meer in de eigen datacentra staan en dat de afhankelijkheid van een goed en betrouwbaar Internet toeneemt. Bij een calamiteit met de Internet verbinding kan een heel bedrijf stil komen te liggen.

3.5.1 PaaS

Een uitbreiding op het VPS concept is de toevoeging van LAMP. Naast de virtuele hardware krijg je dan ook de zogenaamde middle ware, duse een omgeving om je software in te draaien vaak bestaat die uit de LAMP-stack ofwel Linux, Apache, MySQL en PHP. Je hoeft hieraan alleen de gewenste applicatie toe te voegen en de data in de database te laden om operationeel te zijn. De VPS en LAMP worden beheerd en onderhouden door je provider.

Op de LAMP-stack zijn natuurlijk vele variaties mogelijk zoals WAMP, waarbij Linux vervangen is door Windows, of MAMP als Mac OS X gebruikt wordt als besturingssysteem. Zo kan de webserver vervangen worden door IIS, NGINX of Cherokee. De database kan naast MySQL MariaDB, PostgreSQL of SQLite zijn en PHP kan ook Perl of Python zijn. De generieke benaming blijft de LAMP-stack omdat nog steeds het meeste voorkomt.

We noemen deze oplossing PaaS, of wel Platform as a Service. Andere PaaS oplossingen zijn met een Java runtime of een .NET runtime. PaaS is een ontwikkel en implementatie omgeving in de Cloud. Vaak wordt in een PaaS oplossing ook de security van het systeem geregeld door de provider. Het is bij deze oplossing wel cruciaal dat de applicatie aansluit bij de versienummers van de runtime die gedraaid wordt en dat updates van die runtime aan blijven sluiten bij de draaiende applicatie.

3.6 Desktop Virtualisatie

Wat we met servers kunnen, kunnen we natuurlijk ook met desktops. We kunnen een virtuele machine aanmaken en daarop een desktop OS installeren en dan met een applicatie deze desktop overnemen. Hierdoor worden over het netwerk alleen de toetsenbord en muis gegevens opgestuurd naar de virtuele machine en terug komt de beeldscherm-informatie. De client kan dus met veel minder hardware toe.

Voor de beheerder zit de winst erin dat updates alleen nog op de server hoeven te worden uitgevoerd, waarbij hij het zelfs met één image af zou kunnen, en dat bij een probleem de gebruiker naar een andere VM gestuurd kan worden terwijl de beheerder de problematische VM opknapt. Ook wordt er op deze manier weer efficiënter met resources omgegaan. Er hoeft niet meer in elke machine een zware processor en geheugen te zitten, niet gebruikte resources kunnen verdeeld worden over de beschikbare VMs.

Een ander voordeel is dat de desktop op deze manier ook remote aangeboden kan worden aan gebruikers wat tele-werken of thuiswerken makkelijker maakt.

3.6.1 VDI - Virtual Desktop Infrastructure

VDI staat voor Virtual Desktop Infrastructure en is een uitvinding van VMware dat het in 2006 op de markt bracht. VMware gebruikte zijn eigen technologie, VMware ESXi, om daarop Windows XP virtual machines te laten draaien. Via de standaard Remote Desktop software van Microsoft waren deze desktops beschikbaar voor gebruikers. Het is een techniek om desktop systemen beschikbaar te stellen, waarbij de desktop computers vervangen kunnen worden door thin clients.

De clients verbinden aan de VM via een remote desktop protocol zoals Microsofts Remote Desktop Protocol (RDP) of Citrix ICA (Independent Computing Architecture) protocol. De protocollen sturen scherm afbeeldingen naar de client en de muis en toetsenbord gegevens naar de VM.

De Virtual Desktop Environment (VDE) draait volledig op de server en ook alle data blijft op de server. Een voordeel van VDI is dan ook dat als een eindgebruikersdevice wordt gestolen, dat alle gegevens op de server staan. Er kan dus bij diefstal geen of minder snel gevoelige informatie op straat komen te liggen. Een ander voordeel is dat omdat de VDE op de server draait de toegang tot deze omgeving niet gelimiteerd hoeft te zijn tot het bedrijfspan, maar de desktop omgevingen ook beschikbaar gesteld kunnen worden aan thuisgebruikers via bijvoorbeeld een VPN (Virtual Private Network) verbinding.

VDI bestaat er in 2 smaken, persistent VDI en non-persistent VDI:

- Bij persistent VDI gedraagt de desktop zich zoals we ook van een installatie op een eigen machine verwachten. De wijzigingen aan de achtergrond, de kleuren en andere zaken worden opgeslagen op het systeem. Elke keer als de gebruiker inlogd op een persistent VDI desktop ziet zijn omgeving eruit zoals deze het heeft achtergelaten. Het feit dat wijzigingen worden opgeslagen betekent wat we het hebben over een personal image of personal workload. Het is natuurlijk niet handig om per gebruiker een persoonsafhankelijke image op te slaan, dat zou veel te veel ruimte kosten. Voor desktopsettings zoals de achtergrond kunnen de settings opgeslagen worden in een persoonlijke map die gesynchroniseerd wordt met de inlog servers (roaming profile), maar voor applicaties is dit al een stuk lastiger, zeker als de verschillen per gebruiker groot zijn. Een veel ge-

bruikte oplossing is dat op elk image alle gewenste applicaties aanwezig zijn en dat gebruikersrechten bepalen welke applicaties wel en niet zichtbaar zijn en opgestart kunnen worden.

- Een non-persistent VDI zorgt ervoor dat bij elke nieuwe connectie de desktop eruit ziet zoals dat ingesteld is door de beheerder. Wijzigingen door gebruikers worden dus niet opgeslagen. Deze oplossing is goedkoper en eenvoudiger dan de non-persistent VDI oplossing.
- er zijn ook tussen oplossingen waarbij gedeeltes worden opgeslagen in tussen oplossingen. Dit creëert vaak snel complexiteit.

3.6.2 GPU - Graphical Processing Unit

Een probleem dat specifiek is voor desktop virtualisatie is de vraag om goede resoluties door de gebruikers. Hoe hoger de resoluties hoe beter de grafische kaart moet zijn die in de hypervisor zit. Voor de beste resoluties moet de hypervisor voorzien zijn van een GPU die dan geshared aangeboden kan worden aan de VMs. Het is ook mogelijk om een GPU dedicated aan te bieden aan een VM, maar dan wordt het wel een dure oplossing, want dan moet er voor elke VM een GPU kaart aanwezig zijn. Een andere oplossing is het emuleren van een GPU. Dit is performance technisch niet de beste oplossing, maar wel de goedkoopste.

3.6.3 Microsoft licentie beheer

De installatie van Windows clients op VMs is natuurlijk ook aan licentie-beheer onderhevig. Het feit dat een OS geïnstalleerd wordt op een VM maakt het niet licentie vrij. De licentie is niet dezelfde als de OEM (Original Equipment Manufacturer) licentie, we hebben namelijk geen leverancier van apparatuur. Voor het gebruik van Windows op virtual machines is er de VDA CAL (Virtual Desktop Access Client-Access Licentie). Dit is een licentie per actieve-workload. Het gaat er dus om om te weten hoeveel systemen er simultaan moeten kunnen draaien.

Voor het beheer van de licenties op de virtuele machines is er een licentieserver nodig die als er een virtuele machine wordt opgestart een licentie uit de beschikbare pool ter beschikking stelt. Als er meer VMs worden gestart dan er licenties zijn, zullen de extra machines niet gebruikt kunnen worden tot er weer een licentie vrij gegeven wordt.

3.6.4 De connection broker

Een omgeving met honderden of duizenden desktops kan snel complex worden en resource management wordt dan meer iets voor geautomatiseerde processen dan voor handmatige acties van systeembeheerders. De software die hiervoor ontwikkeld is heet een Connection Broker. Connection Brokers worden o.a. ingezet voor:

- het controleren van gebruikers authenticatie,
- het toewijzen van gebruikers aan VMs,
- het aan en uitschakelen van VMS,
- het load balancen van VMs over de beschikbare servers,
- het beheer van de desktop images.

Een connection broker doet dus dienst als een soort van load balancer tussen de gebruiker en de workload op een hypervisor. Op basis van regels die de systeembeheerder heeft opgesteld worden gebruikers verbonden met de VM waarop ze mogen werken. De kracht van VDI zit in het optimaal gebruik van resources dat werkt niet als elke gebruiker een vast werkstation heeft, de connection broker zorgt voor een optimaal gebruik van resources en zorgt ervoor dat elke gebruiker toch het idee heeft dat hij verbonden is met zijn eigen machine.

3.6.5 Voor- en nadelen desktop virtualisatie

Voordelen

De kracht van virtuele desktops is hetzelfde als bij virtuele servers, de flexibiliteit is groter en de resources kunnen beter verdeeld worden. Desktops kunnen snel uitgerold en verwijderd worden uit een omgeving en onderhoud kan volledig offline plaatsvinden zonder dat gebruikers er last van hebben.

Een ander voordeel is de standardisatie, zowel de hardware (altijd dezelfde virtual machines met dezelfde hardware specificaties) als de software is makkelijker te standaardiseren.

Migraties en updates kunnen sneller verlopen en je loopt nooit tegen een systeem aan dat al een paar maanden niet is aangeweest en dan nog even zijn updates moet doen.

Een laatste voordeel is het gebruik van verouderde applicaties. Deze kunnen in een virtuele omgeving makkelijker in de lucht gehouden worden dan op fysieke hardware, want uiteindelijk gaat alle hardware ooit kapot.

Nadelen

Het aanbieden van gevirtualiseerde desktops kent zijn nadelen. Voor elke gebruiker in een organisatie moet er een virtual machine aanwezig zijn. Dit kan oplopen tot honderden of duizenden virtuele machines die via het netwerk ontsloten moeten worden. Dit vraagt veel van de virtualisatie omgeving, maar ook van het netwerk en de opslagsystemen. Naast de gebruikersdata moeten ook alle virtual machine images opgeslagen worden. Het loont dus om deze images zoveel mogelijk uit te kleden, tot het absolute minimum.

De initiële kosten zijn hoog. Er zijn zware servers nodig om de desktops virtueel te kunnen draaien, er zijn extra licenties nodig voor de software en er blijven nog steeds eindgebruikers devices nodig, zoals thin clients of laptops, om de virtuele desktops te kunnen benaderen.

Een ander probleem dat vaak ontstaat is het gebruik van de lokale functionariteiten van het access device. Denk dan bijvoorbeeld aan het gebruik van USB-sticks of het kunnen draaien van muziek. De USB-stick moet gekoppeld kunnen worden aan de remote desktop en het geluid van de remote desktop player moet hoorbaar zijn op het access device.

Een laatste nadeel is het anytime, anyplace, anywhere, probleem. Zonder degelijke Internet verbinding is het gebruik van een remote desktop niet mogelijk, of zo traag dat we er niet op willen werken.

3.6.6 Remote Desktop Opdracht

1. Zet een virtual machine op en installeer Windows 10. Enable RDP en connect vanaf je laptop via de RDC naar je VM.

Hoofdstuk 4

Applicatie Virtualistie (SaaS)

Steeds meer diensten draaien in de cloud, om deze diensten aan te bieden draaien er op servers web-servers, database-servers en waarschijnlijk nog allerlei andere services die zorgen dat de totale infrastructuur draaien blijft. We hebben in de automatisering een lange ontwikkeling doorgeemaakt om hier te komen. Dit hoofdstuk geeft je een inzicht in hoe we hier gekomen zijn en welke technieken er bij applicatie virtualisatie worden gebruikt.

4.1 Terminal Applicaties

In de jaren 1960 en 1970 bestonden er nog geen Personal Computers, laptops en mobiele telefoons. Er waren centrale computers, mainframes en mini's, die met terminals verbonden waren. Een terminal was niets anders dan een beeldscherm en een toetsenbord op afstand. Characters werden van de centrale computer verstuurd naar de terminal en toetsenbord aanslagen werden verstuurd van de terminal naar de computer. Grafische schermen bestonden ook nog niet. De weinige gebruikers die met een computer mochten werken werkten dus op de centrale computer. Alle applicaties waren centraal, alle data was centraal.

In de jaren 1980 werd de Personal Computer uitgevonden en daarmee verplaatsten de data en de applicaties zich naar het apparaat van de gebruiker.

4.2 Hosted applications

Het is misschien een term die je wat vreemd in de oren klinkt, hosted application, maar het is niets anders dan dat de applicatie op de server draait. De interface van de applicatie draait bij de client.

Het principe van hosted applications is waarschijnlijk het makkelijkst uit te leggen door het X Windows Systeem van unix/linux systemen als voorbeeld te nemen. Dit systeem is als open source beschikbaar en het X-protocol (Versie 11) is als open standaard beschikbaar.

4.2.1 X11

X is in 1984 ontstaan op het Massachusetts Institute of Technology (MIT). De naam X is ontstaan omdat het de opvolger was, en veel code hergebruikte van, W (een grafische voorganger). X was onderdeel van Project Athena waarin IBM, DEC (Digital Equipment Company) en het MIT samenwerkten om een systeem te bouwen voor educatief gebruik. X was niet de eerste grafische interface voor computers. In 1973 had Xerox al de Alto gemaakt en Apple had in 1983 al de Lisa (de voorganger van de Macintosh) uitgebracht.

Het enige complexe aan X is dat de termen client en server soms wat verwarrend zijn. De meeste gebruikers zijn eraan gewend dat de server de machine is in de serverruimte en de client de machine die ze op hun bureau of in hun hand hebben. In het ontwerp van X is dat andersom. Op de client machine draait de server die in opdracht van de applicatie schermwijzigingen maakt. Dus op de server in de serverruimte draait de applicatie die dan de client heet en deze stuurt naar de server op de client opdrachten om bijvoorbeeld een window, een button of een menu te laten zien. Als je dit in je achterhoofd houdt dan is X niet moeilijk meer.

De X-server doet, in de basis, maar twee dingen:

1. Het stuurt het beeldscherm aan via de grafische kaart zodat er iconen en andere grafische elementen op het scherm getekend worden.
2. Het stuurt de toetsaanslagen en muisbewegingen door naar de applicatie

De X-server is dan ook degene die diensten verleent aan de applicatie en in opdracht van de applicatie diensten uitvoert. Vandaar dat de server op de client draait.

De X-client is de applicatie die op de server draait en aan de X-server vraagt om bepaalde zaken aan de gebruiker te laten zien, zoals bijvoorbeeld het tonen van een window en daar een bepaalde tekst in zetten.

Het protocol dat gebruikt wordt tussen de client en de server is inmiddels in zijn 11de versie en wordt dan ook vaak het X11-protocol genoemd. We zien dat we hier met een client-server architectuur te maken hebben. Een deel van actie wordt op de server uitgevoerd en een deel op de client. Er is binnen een applicatie dus een scheiding tussen de functionaliteit van de applicatie en de presentatie (interface) van de applicatie. Elk besturingssysteem waarvoor een X-server beschikbaar is (VMS, Unix, Linux, Mac OS X en Windows) kan dus een applicatie voorzien van een interface.

Het X11-protocol is een graphics-only oplossing. Het geeft een applicatie-interface weer op afstand. Voor het doorsturen van audio of video naar de gebruiker zijn er andere oplossingen.

4.2.2 Citrix

In 1995 bracht Citrix Systems een product met de name WinFrame op de markt. WinFrame was Windows NT 3.51 met een aanpassing om centrale applicaties over het netwerk te draaien. Meerdere gebruikers konden tegelijkertijd ingelogd zijn op het systeem en daar applicaties opstarten. De scherm informatie werd dan naar het workstation gestuurd. De applicaties zijn dus niet op het workstation geïnstalleerd, maar alleen op de server. Op het workstation is een ICA client nodig. Het workstation kan een Windows systeem zijn, maar ook bijvoorbeeld een Mac OS X systeem of Linux laptop. Op deze manier kunnen Windows applicaties gedeeld worden. ICA (Independent Computing Architecture) protocol is het door Citrix System ontworpen protocol voor de communicatie tussen de applicatie en het workstation.

Om WinFrame te ontwikkelen heeft Citrix een licentie genomen op de Windows broncode voor NT 3.51 en heeft aan deze broncode de aanpassingen gedaan om van Windows NT een multi-user OS te maken. De verbinding tussen WinFrame en de desktop client wordt gemaakt via het ICA protocol. WinFrame heeft in de loop van de tijd wat naamsveranderingen ondergaan. Het heeft onder andere MetaFrame, Presentation Server en XenApp geheten. Het is tegenwoordig op de markt als Citrix Virtual Apps.

De client applicatie heette vroeger Citrix Receiver en heet nu Citrix Workspace App, voor Linux wordt er vaak gesproken over de ICAClient.

Microsoft heeft de code van Citrix WinFrame gelicenseerd van Citrix en heeft daarmee Microsoft Terminal Server op de markt gebracht in Win-

dows NT 4.0. Vanaf Windows 2008 R2 (2009) heet het product Remote Desktop Services. De Independent Computing Architecture bevat software op de server, een netwerk protocol en software op de client. Het ICA systeem verplaatst bitmaps, of gedeelten van bitmaps, van de server naar de applicatie en stuurt muis pointer informatie en toetsenbord-data van de client naar de server. Het protocol kan ook applicatie audio, en andere media, naar de client sturen. Het versturen van bitmaps naar de client is een relatief bandbreedte intensief proces. Citrix Systems is dan ook steeds opzoek naar betere methodes om deze overdracht zo goed mogelijk te laten verlopen. De laatste incarnatie heet HDX/ICA.

ICA maakt gebruik van het zogenaamde screen scrapping. Dat is het uitlezen van de grafische kaart buffers en deze informatie versturen over het netwerk. De kunst is om zo min mogelijk data te versturen zodat gebruikers een optimale performance waarnemen. Het minimaliseren kan gebeuren daar alleen de scherm-wijzigingen op te sturen of door de bitmap eerst te comprimeren voordat deze verstuurd wordt. Combinaties van technieken leveren de beste performance op.

4.2.3 Microsoft

De afkorting RDP staat voor Remote Desktop Protocol het is het protocol dat tussen de client en de server wordt gebruikt. De server kan ook een ander desktop OS zijn, voor het gemak praten we over de server als we het hebben over de machine die de desktop aanbiedt, de client is dan de machine die een verbinding maakt met de server. Op de client moet software draaien die het Remote Desktop Protocol praat. We noemen de software op de client de Remote Desktop Client of sinds Windows 10 Remote Desktop Connection, de afkorting is voor beide hetzelfde: RDC. Het geheel van server software, client software en het netwerk protocol heet de Remote Desktop Service, afgekort: RDS.

Zoals de naam al aangeeft is dit meer een desktop op afstand, dan een enkele applicatie. Met RDS neem je de complete desktop over en daarin kan je applicaties opstarten.

RDS gebruikt standaard port 3389.

4.3 Web Applicaties

Een moderne vorm van gehoste applicaties is de web applicatie. Een programma geschreven in bijvoorbeeld PHP draait op de webserver. Op de client draait een browser en tussen de client en de browser stuurt HTTP

toetsenbord-informatie en muis-clicks naar de server en HTML en CSS (schermopmaak) naar de gebruiker. Het is een complete client-server setup waar we allemaal dagelijks gebruik van maken.

De meest gebruikte web-applicatie is waarschijnlijk de webshop. Gebruikers vragen een pagina op, lopen door een menu, klikken op een product en rekenen af bij de kassa. Het is inmiddels zo normaal geworden dat we er meestal niet meer aan denken wat er werkelijk gebeurt. Op het moment dat je een product om een menu item aanklikt vertaalt je browser je muis-positie in een URL en vraagt deze op bij de server, of als je op bestellen klikt vertaalt je browser je muis-positie naar de URL van de button die je aanklikte. Vervolgens krijg je een scherm waar je je gegevens moet invullen. Toetsenbord aanslagen worden omgezet naar leesbare tekst in een invoer veldje etc. En bij elke klik op een button komt er een nieuw scherm naar je toe. Verpakt in HTML elementen wordt er data naar je gestuurd waar je browser een grafische plaatje voor je van maakt.

Web-applicaties zoals Microsoft Office 365 of Google Workspace zijn de moderne variant op het hosted applicatie concept.

4.3.1 Google Apps

4.3.2 Microsoft Office 365

Hoofdstuk 5

Containerisatie

5.1 Containerisatie software

5.1.1 LXC

5.1.2 Docker

5.1.3 Kubernetes

Index

- Applicatie virtualisatie, 21
- Blade servers, 15
- Citrix Receiver, 23
- Citrix Systems, 23
- Citrix Virtual Apps, 23
- Cloud, 3
- Connection Broker, 19
- Containerisatie, 27
- Containers, 27
- Desktop virtualisatie, 16
- Docker, 27
- Emulatie, 1
- Failover, 13
- GPU, 18
- Graphical Processing Unit, 18
- High Availability, 11
- Hosted applications, 22
- Hyper-V, 8
- Hypervisor, 5
- IaaS, 3, 5
- ICA, 23
- Indepent Computing Architecture, 23
- Infrastructure as a Service, 3
- ISO-image, 7
- Kubernetes, 27
- KVM, 8
- LAMP, 16
- loadbalancer, 10
- LXC, 27
- MetaFrame, 23
- Microsoft Terminal Server, 23
- PaaS, 4, 15
- Parallels, 9
- Platform as a Service, 4
- Presentation Server, 23
- RDC, 24
- RDP, 24
- RDS, 24
- Rekencluster, 11
- Remote Desktop Client, 24
- Remote Desktop Connection, 24
- Remote Desktop Protocol, 24
- Remote Desktop Service, 24
- Remote Desktop Services, 24
- SaaS, 4, 21
- Server hardware, 14
- Server virtualisatie, 9
- Simulatie, 1
- Software as a Service, 4
- Terminal Server, 23
- The Cloud, 3

- VDI, 7, 17
- Virtual Desktop Infrastructure, 17
- Virtual Disk Image, 7
- Virtual Machine, 5
- Virtual Private Server, 15
- VirtualBox, 7
- Virtualisatie, 1
- VM, 5
- VMWare, 7
- VPS, 15
- Webhosting, 15
- WinFrame, 23
- Workspace App, 23
- Xen, 7
- XenApp, 23