



Departement IT en Digitale Innovatie

Container orkestratie security: indentificeren van problemen en onderzoek naar de impact van security tools

Nick Heymans

Scriptie voorgedragen tot het bekomen van de graad van
professionele bachelor in de toegepaste informatica

Promotor:
Wim De Bruyn
Co-promotor:
Steven Trescinski

Instelling: —

Academiejaar: 2020-2021

Tweede examenperiode

Departement IT en Digitale Innovatie

Container orkestratie security: indentificeren van problemen en onderzoek naar de impact van security tools

Nick Heymans

Scriptie voorgedragen tot het bekomen van de graad van
professionele bachelor in de toegepaste informatica

Promotor:
Wim De Bruyn
Co-promotor:
Steven Trescinski

Instelling: —

Academiejaar: 2020-2021

Tweede examenperiode

Woord vooraf

Samenvatting

In deze bachelorproef worden de moderne veiligheidsrisico's geanalyseerd die gepaard gaan met container virtualisatie en container orkestratie. Hierbij zal specifiek gekeken worden naar de grootste veiligheidsrisico's, welke effecten deze kunnen hebben op een productieomgeving en hoe deze vermeden kunnen worden. Tevens zal onderzocht worden welke *security tools* (zoals *Project Calico* en *Kube-hunter*) er bestaan en hoe deze ingezet kunnen worden bij het beveiligen van een container cluster. De laatste jaren is het gebruik van containers in de *Information technology* (IT) infrastructuur fors gestegen en dit zal zo blijven evolueren in de komende jaren. Aan alle technologieën zijn nu eenmaal veiligheidsrisico's verbonden, container orkestratie vormt hier geen uitzondering op de regel. In voorgaand onderzoek werd er reeds gefocust op de grootste veiligheidsrisico's desondanks is er zeer weinig ingegaan op de effecten bij het toepassen van *best practices*. Met deze paper tracht ik het gebruik en de daaraan verbonden risico's van container virtualisatie en container orkestratie te onderzoeken. Daarnaast zal er ook gekeken worden naar hoe de verschillende *security tools* kunnen helpen bij het beveiligen van containers. Ten slotte wordt er onderzocht hoe deze risico's vermeden of opgelost kunnen worden en welk effecten ze hebben op de relevante criteria. Dit laatste zal via een *proof-of-concept* opstelling gebeuren.

Inhoudsopgave

1	Inleiding	13
1.1	Probleemstelling	14
1.2	Onderzoeksvraag	14
1.3	Onderzoeksdoelstelling	14
1.4	Opzet van deze bachelorproef	14
2	Stand van zaken	17
2.1	Containers	17
2.1.1	Container vs. virtuele machine	18
2.1.2	Waarvoor worden containers gebruikt	19
2.2	Docker	19
2.2.1	Hoe werkt docker	20
2.2.2	Docker componenten en terminologie	20

2.3	Container orkestratie	21
2.3.1	Container orkestratie tools	21
2.4	Kubernetes	22
2.5	Security	22
2.5.1	Meest voorkomende security problemen	22
2.5.2	Hoe een container cluster beveiligen	22
2.6	Security tools	23
3	Methodologie	25
4	Conclusie	27
A	Onderzoeksvoorstel	29
A.1	Inleiding en State-of-the-art	29
A.1.1	Wat zijn containers?	29
A.1.2	Waarom container applicaties?	30
A.1.3	Context voor dit onderzoek	30
A.1.4	Verloop van het onderzoek	30
A.2	Methodologie	30
A.3	Verwachte resultaten	31
A.4	Verwachte conclusies	31
A.5	Bijlagen	31
	Bibliografie	33

Lijst van figuren

2.1	Type 1 & Type 2 Hypervisor (VMWare, 2021)	18
2.2	Container vs. virtuele machine (Google, 2016)	19
A.1	Verwachte opstart tijd	32
A.2	Verwacht resource gebruik	32

Lijst van tabellen

1. Inleiding

Tijdens de ontwikkeling van traditionele applicaties wordt de applicatie uitgewerkt in een specifieke testomgeving. Bij het overzetten van de applicatie van de test- naar de productieomgeving (i.e., van een Linux testomgeving naar een Windows productieomgeving), komen er vaak problemen naar boven). Deze problemen kunnen vermeden worden door gebruik te maken van containers en vergemakkelijken daarbij het uitrollen en schalen.

Een container is een pakket waar één enkele applicatie in zit, samen met alle nodige afhankelijkheden (Education, 2019). Dit zorgt ervoor dat deze gemakkelijk en snel van de ene omgeving naar de andere kan overgezet worden.

Naarmate het gebruik van containers steeg, steeg ook de nood om deze vanuit één centrale locatie te beheren. Om aan deze vraag te voldoen werden container orkestratie tools, zoals Kubernetes¹, ontwikkeld. Deze tools helpen bij het opzetten, uitbreiden en verbinden van een grote hoeveelheid containers.

In deze bachelorproef worden de moderne veiligheidsrisico's geanalyseerd die gepaard gaan met container virtualisatie en container orkestratie. Hierbij zal specifiek gekeken worden naar de grootste veiligheidsrisico's, welke effecten deze kunnen hebben op een productieomgeving en hoe deze vermeden kunnen worden.

Aan alle technologieën zijn nu eenmaal veiligheidsrisico's verbonden, container virtualisatie en container orkestratie vormen hier geen uitzondering op de regel. Een groot onderdeel van container security zijn de zogenaamde *security tools* (zoals *Project Calico* en *Kube-hunter*).

¹<https://kubernetes.io/>

In voorgaand onderzoek werd er reeds gefocust op de grootste veiligheidsrisico's desondanks is er zeer weinig ingegaan op de effecten bij het toepassen van *best practices* en het gebruik van *security tools*. Met deze paper tracht ik het gebruik, en de daaraan verbonden risico's, van container virtualisatie en container orkestratie te onderzoeken. Daarnaast zal er ook gekeken worden naar hoe de verschillende *security tools* kunnen helpen bij het beveiligen van containers.

Ten slotte wordt er onderzocht hoe deze risico's vermeden of opgelost kunnen worden en welk effecten ze hebben op de relevante criteria. Dit laatste zal via een [proof-of-concept] opstelling gebeuren.

1.1 Probleemstelling

De probleemstelling houdt in dat veel bedrijven gebruik maken van containers en container orkestratie zonder hierbij al te veel aandacht te besteden aan de beveiliging hiervan. Daarnaast dient er gekeken te worden naar wat voor effecten de beveiliging van een container omgeving met zich mee brengt en hoe men best te werk gaat.

1.2 Onderzoeksvraag

Wat zijn de belangrijkste security risico's? Welke *security tools* zijn er en hoe werken ze? Welke impact hebben [best practices] en *security tools* op criteria?

1.3 Onderzoeksdoelstelling

Het doel van deze bachelorproef is hoofdzakelijk om tot een verslag te komen met daarin aanbevelingen omtrent het beveiligen van een container cluster. Deze aanbevelingen zullen gestaafd worden door enkele scenarios en hun effect op enkele criteria.

1.4 Opzet van deze bachelorproef

De rest van deze bachelorproef is als volgt opgebouwd:

In Hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van de stand van zaken binnen het onderzoeksdomein, op basis van een literatuurstudie.

In Hoofdstuk 3 wordt de methodologie toegelicht en worden de gebruikte onderzoekstechnieken besproken om een antwoord te kunnen formuleren op de onderzoeksvragen.

In Hoofdstuk 4, tenslotte, wordt de conclusie gegeven en een antwoord geformuleerd op

de onderzoeksvragen. Daarbij wordt ook een aanzet gegeven voor toekomstig onderzoek binnen dit domein.

2. Stand van zaken

De stand van zaken of *State of the art* geeft een algemeen beeld weer van de technologieën die worden overwogen in dit onderzoek en tevens de verschillende manieren van toepassing.

2.1 Containers

In dit hoofdstuk zal uitgelegd worden wat containers zijn, hoe ze werken en waarvoor ze worden gebruikt.

Containers bieden veel voordelen vergeleken met normale virtuele machines (VM's). Ze kunnen snel opgezet worden en zijn gemakkelijk om te configureren terwijl virtuele machines vaak groot en traag zijn. Containers zijn pakketten waarin een applicatie vervat zit, samen met zijn benodigde bibliotheken en afhankelijkheden. Hierdoor kunnen ze vlot van de ene omgeving naar de andere worden overgezet zonder dat er extra configuratie nodig is (Education, 2019). Containers maken gebruik van besturingssysteem-virtualisatie om processen te isoleren van het *host* besturingssysteem. Daarnaast controleert het tevens de CPU gebruik en hoeveelheid RAM geheugen van deze processen (Docker, 2018).

Containers hebben eigenlijk geen eigen besturingssysteem nodig, alle containers delen 1 gezamenlijke *runtime engine*. Een *runtime engine* is de laag die verantwoordelijk is voor de communicatie tussen het besturingssysteem van de host machine en de containers zelf. De meeste gebruikte runtime engine is de *Docker Engine*¹.

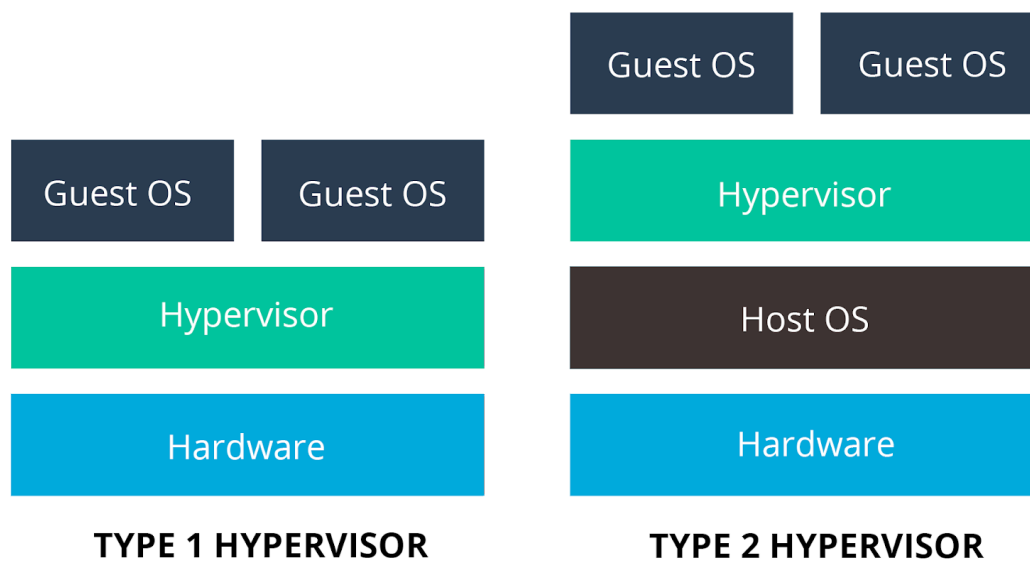
¹docs.docker.com/engine/

2.1.1 Container vs. virtuele machine

Hypervisors

Bij traditionele virtuele machines virtualiseert een *hypervisor* de fysieke hardware. De hypervisor regelt het resource gebruik tussen de verschillende VM's en zorgt ervoor dat de hardware van de host (de fysieke hardware waar de hypervisor op geïnstalleerd is) eerlijk verdeelt wordt. Er zijn 2 types hypervisor (VMWare, 2021), namelijk:

- Type 1: Ook wel *bare metal* hypervisors genoemd. Deze werken rechtstreeks op de fysieke hardware van de host en hebben dus geen onderliggend besturingssysteem nodig. Door het rechtstreekse contact tussen de hypervisor en de hardware wordt een type 1 hypervisor beschouwd als de best presterende en meest efficiënte hypervisor. Een type 1 hypervisor wordt ook beschouwd als het veiligste van de 2, dit omdat de gebreken en kwetsbaarheden die doorgaans in besturingssystemen aanwezig zijn hier onmogelijk zijn.
- Type 2: Ook wel *hosted* hypervisors genoemd. Deze worden doorgaans geïnstalleerd op een bestaand besturingssysteem en steunt daar ook op voor het beheren van de resources. Een groot voordeel van type 2 hypervisors is dat ze een breed gamma aan hardware ondersteunen.

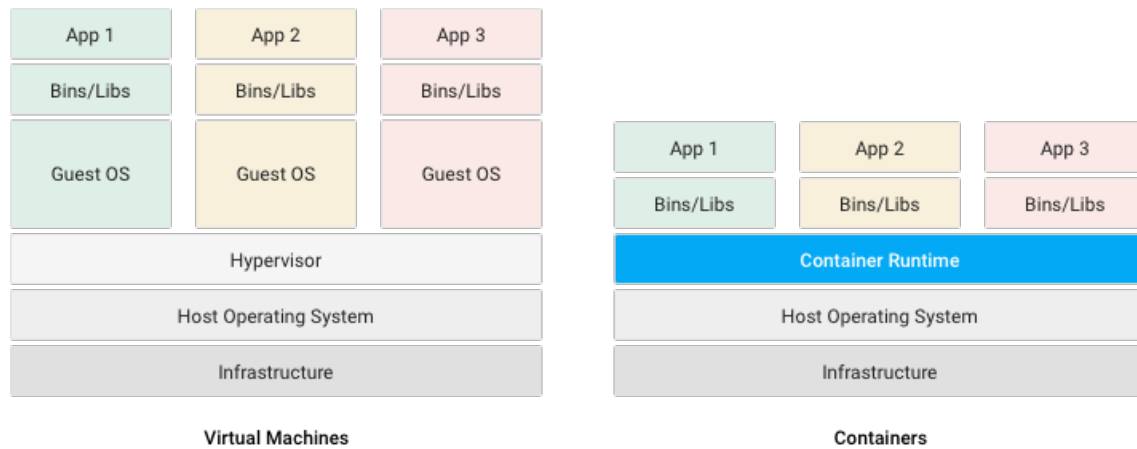


Figuur 2.1: Type 1 & Type 2 Hypervisor (VMWare, 2021)

Tegenwoordig zijn type 1 hypervisors de meest gebruikte in productieomgevingen vanwege het efficiënte resource gebruik en veiligheid. Type 2 hypervisors worden dan meer gebruikt voor testomgevingen omdat ze gemakkelijker op te zetten zijn.

Elke VM heeft zijn eigen volwaardig besturingssysteem, wat ervoor zorgt dat ze zeer veel resources gebruiken en vaak traag zijn. In plaats van de onderliggende hardware te visualiseren gebruiken containers het besturingssysteem (meestal is dit Linux) zelf,

zo bevat elke individuele container enkel de applicatie en de bijhorende bibliotheken en afhankelijkheden bevat (Education, 2020).



Figuur 2.2: Container vs. virtuele machine (Google, 2016)

2.1.2 Waarvoor worden containers gebruikt

Containers zijn zeer veelzijdig en kunnen dus in veel verschillende omstandigheden gebruikt worden. Enkele *use cases* waarvoor containers zeer geschikt zijn (Docker, 2021b):

- Microservices: Containers zijn klein en licht, waardoor ze goed passen bij microservice-architecturen waarin applicaties zijn opgebouwd uit vele, losjes gekoppelde en onafhankelijk services.
- Modernisering en migratie van applicaties: Een van de meest voorkomende benaderingen voor het moderniseren van applicaties begint met het containeriseren ervan, zodat ze naar de *cloud* kunnen worden gemigreerd.
- Nieuwe ontwikkelaars snel inwerken: Door gebruik te maken van containers verloopt het opzetten van een nieuwe lokale ontwikkelingsomgeving snel en vlot, hierdoor kunnen de ontwikkelaars direct aan de slag.

2.2 Docker

*Docker*² is een open source container platform dat sinds de release in 2013 ongelofelijk populair is geworden. In november 2019 stond de teller van aantal *pulls* op de *Docker hub* op 130 miljard, in juli 2020 stond deze al op 242 miljard. Dat is bijna dubbel op minder dan 8 maand tijd (Kreisa, 2020). Docker-containers kunnen overal draaien, in een het datacenter, bij een externe serviceprovider of in de cloud. Docker containers kunnen zowel op Linux als op Windows draaien. Containers die op Windows gebaseerd zijn kunnen echter alleen op Windows systemen draaien, maar Linux containers kunnen op zowel Linux systemen en Windows systemen draaien (met behulp van een Linux VM). Dit komt

²docker.com/

omdat containers ontworpen zijn om het besturingssysteem van de host te gebruiken (Anil e.a., 2018).

2.2.1 Hoe werkt docker

Docker gebruikt een *Client-Server* architectuur. Deze werkt als volgt: De Docker *Client* communiceert met de Docker *Daemon* (een proces dat op de achtergrond draait en bepaalde (onderhouds)taken uitvoert). Deze is verantwoordelijk voor het bouwen, runnen en verspreiden van containers (Docker, 2021a).

2.2.2 Docker componenten en terminologie

Docker Daemon

De Docker Daemon (`dockerd`) luistert naar Docker Application programming interface (API) verzoeken en beheert Docker objecten zoals *images*, *containers*, netwerken, en *volumes*.

Docker Client

De Docker Client is de meest gebruikte manier voor gebruikers om te communiceren met Docker. De client stuurt alle ingevoerde commando's (zoals `docker pull` en `docker run`) door naar de Docker Daemon die deze uitvoert.

Docker registries

Een *Docker register* is een bibliotheek die *Docker images* opslaat. De standaard register voor Docker is de *Docker Hub*³. Als de Docker daemon geen lokale Docker image vindt gaat deze standaard in de *Docker Hub* zoeken. Wanneer het `docker pull` of `docker run` commando's wordt gebruikt, worden de benodigde images uit het register gehaald.

Docker objecten

Docker maakt gebruik van images, volumes en netwerken, al deze onderdelen worden objecten genoemd. Volgens Docker (2021a) zijn dit de belangrijkste objecten:

- **Images:** Docker images zijn read-only sjablonen met instructies om een Docker container op te zetten. Docker images kunnen uit de Docker hub gehaald worden en direct gebruikt worden zonder verdere configuratie, of je kan bijkomende instructies toevoegen aan de *base image* en deze opslaan als een nieuwe en aangepaste Docker image. Een Docker image is vaak gebaseerd op een andere images (i.e., Een nieuwe image kan gebaseerd zijn op een bestaande *Ubuntu* image maar installeert

³hub.docker.com/

en configureert ook een *Apache* webserver). Alsook is het mogelijk om zelf een compleet nieuwe image te maken met behulp van een *dockerfile*.

- **Containers:** Een container is een uitvoerbare instantie van een image die wordt gecontroleerd via de Docker API. Een container kan verbonden worden met andere containers, verbonden worden aan opslag of gebruikt worden als basis voor nieuwe image.
- **Volumes:** De persistente gegevens die Docker containers kunnen gebruiken wordt opgeslagen in zogenaamde volumes. Deze volumes worden volledig gecontroleerd via de Docker API en bevinden zich buiten de container zelf. Hierdoor blijft het gewicht van de containers laag en kan de data blijven bestaan ook al wordt de container gestopt of verwijderd.

2.3 Container orkestratie

Container orkestratie helpt bij het opzetten, beheren, schalen en verbinden van een grote hoeveelheid containers. Container orkestratie helpt dus om complexe procedures te vereenvoudigen. Dit door veelvoorkomende processen en werkstromen te stroomlijnen en te optimaliseren. Nog een belangrijk onderdeel van orkestratie is het geautomatiseerd onderhoud van de applicaties die in de containers draaien (RedHat, 2021).

Waarvoor word container orkestratie gebruikt?

Container orkestratie wordt vooral gebruikt voor het automatiseren en beheren van, onder andere, de configuratie en uitrol, het toewijzen van resources, de *Load balancing* en het monitoren van containers.

2.3.1 Container orkestratie tools

Om aan container orkestratie te gaan doen zijn er natuurlijk tools nodig die ons alle nodig functionaliteiten kunnen aanbieden. DevopsCube (2021) geeft een overzicht van de meest prominente orkestratie tools.

Kubernetes

Kubernetes(k8s)⁴ is een open-source, container cluster manager en orkestratie tool. Het is gebouwd met een uitstekende resource manager voor het inzetten van containers op een efficiëntere manier. Kubernetes is voor vele organisaties de de facto container orkestratie tool geworden voor veel organisaties. Volgens CNCF (2021) zijn er meer dan 109 tools om containers te beheren, maar 89% is gebouwd met k8s aan de basis.

⁴kubernetes.io/

Openshift

Openshift is een van die 89% tools die gebouwd zijn bovenop Kubernetes. Het Openshift-project⁵ wordt onderhouden door RedHat⁶. Het heeft zowel een open source versie (*openshift origin*⁷) als een enterprise versie (*openshift container platform*⁸).

Hasicorp Nomad

Nomad⁹ is een orkestratieplatform van Hashicorp¹⁰ dat containers op schaal kan ondersteunen. Op het vlak van applicatiemanagement is het zeer sterk vergelijkbaar met Kubernetes. Echter het feit dat Nomad ook niet-containerapplicaties kan beheren zorgt ervoor dat het zich toch kan distantiëren van de andere orkestratie tools. Nomad kan ook feilloos geïntegreerd worden met andere tools van Hashicorp.

2.4 Kubernetes

Hier zal uitgelegd worden wat k8s is en hoe het werkt, ook de verschillende technische termen die eigen zijn aan k8s zullen uitgelegd worden.

2.5 Security

Hier wordt het security aspect van containers en container orkestratie besproken. (redelijk high level want kan ongeloofelijk complex worden)

2.5.1 Meest voorkomende security problemen

Hier worden de meest voorkomende security problemen opgelijst en worden ze kort besproken (Technische uitleg over hoe deze problemen ontstaan)

2.5.2 Hoe een container cluster beveiligen

Uitleg over hoe een container cluster beveiligd kan worden (Best practices en security tools)
+ uitleg over ingebouwde security features.

⁵openshift.com/

⁶redhat.com/

⁷github.com/openshift/origin

⁸openshift.com/products/container-platform

⁹nomadproject.io/

¹⁰hashicorp.com/

2.6 Security tools

Hier worden enkele security tools opgeslijst en hun werking kort besproken.

3. Methodologie

4. Conclusie

A. Onderzoeksvoorstel

Het onderwerp van deze bachelorproef is gebaseerd op een onderzoeksvoorstel dat vooraf werd beoordeeld door de promotor. Dat voorstel is opgenomen in deze bijlage.

A.1 Inleiding en State-of-the-art

A.1.1 Wat zijn containers?

Het uitrollen en schalen van applicaties wordt steeds vaker gedaan met behulp van containers. Tijdens de ontwikkeling van traditionele applicaties wordt de applicatie ontwikkeld in een specifiek testomgeving. Vervolgens wordt de applicatie overgezet naar de productieomgeving wat vaak voor problemen zorgt (bijvoorbeeld van een linux testomgeving naar een Windows productieomgeving). Een container is een pakket waar één enkele applicatie in zit, samen met alle nodige afhankelijkheden (Education, 2019). Dit zorgt ervoor dat deze gemakkelijk en snel van de ene omgeving naar de andere kan overgezet worden. De containers maken gebruik van een 'runtime engine', dit is een laag die verantwoordelijk is voor de communicatie tussen het operating system van de host machine en de containers zelf. De meeste gebruikte 'runtime engine' is de 'Docker Engine'¹. Deze is al sinds 2013 de industriestandaard als het gaat over container software (McCarty, 2018). Naarmate het gebruik van containers steeg, steeg ook de nood naar op manier om deze vanuit één centrale locatie te beheren. Om aan deze vraag te voldoen werden container orkestratie tools, zoals Kubernetes², ontwikkeld. Deze tools helpen bij het opzetten, uitbreiden en verbinden van een grote hoeveelheid containers.

¹<https://docs.docker.com/engine/>

²<https://kubernetes.io/>

A.1.2 Waarom container applicaties?

Container applicaties hebben enkele voordelen tegenover normale applicaties, ze draaien namelijk geïsoleerd van de rest van het systeem. Ze kunnen dus perfect werken zonder afhankelijk te zijn van andere containers. Dit garandeert dat als er één container aangetast is, de rest zonder interruptie kan verderwerken. De containers delen wel verschillende resources van het host systeem, wat de deur opent voor veiligheidsinbreuken tussen containers.

A.1.3 Context voor dit onderzoek

Gartner (Petty, 2019) voorspeld dat tegen 2022 maar liefst 75% van alle internationale organisaties gecontaineriseerde applicaties zullen gebruiken in hun productieomgeving. Dit zowel in lokale datacenters alsook in online cloud omgevingen. Uit een rapport van Tripwire (2019) blijkt dat 94% van bevroagden bezorgd zijn over de veiligheid van hun containers. Uit hetzelfde rapport blijkt ook dat 47% weet dat ze kwetsbare containers gebruiken in hun productieomgeving. Spijtig genoeg werd bij voorgaande onderzoeken, zoals StackRox (2020), het effect van 'security best practices en tools' op opzetsnelheid, benodigde resources en stabiliteit steeds onderbelicht.

A.1.4 Verloop van het onderzoek

In deze paper zal ik onderzoeken wat de belangrijkste bronnen van veiligheidsinbreuken zijn en hoe deze vermeden kunnen worden. Tegelijkertijd krijg ik via dit onderzoek de opportuniteit om er achter te komen of er vooral technische problemen of menselijke fouten aan de basis liggen van de veiligheidsrisico's. In de volgende paragraaf staat er beschreven hoe ik te werk zal gaan.

A.2 Methodologie

Voor dit onderzoek zullen er drie scenario's opgezet worden. Elk scenario zal verschillende keren worden uitgevoerd en voor elk criteria zal het genomen worden (eventueel rekening houdende met uitschieters). Bij elke scenario zullen er verschillende 'security best practices en tools' gebruikt worden. Deze zullen getest worden op basis van de volgende criteria:

- Deployment snelheid
- Benodigde resources
- Stabiliteit

Voorbeelden van scenario's:

- S(0): Er wordt een container applicatie opgezet in een Kubernetes cluster zonder extra security configuratie.
- S(1): Er wordt een container applicatie opgezet in een Kubernetes cluster en enkele 'best practices' worden toegepast.
- S(2): Er wordt een container applicatie opgezet in een Kubernetes cluster waar er gebruik word gemaakt van enkele 'security tools' zoals 'Project Calico' en 'Kube-hunter'.

Door gebruik te maken van deze scenario's en criteria hopen we vast te stellen dat het toepassen van 'security best practices en tools' een positieve invloed heeft op het gebruik van containers en orkestratie tools.

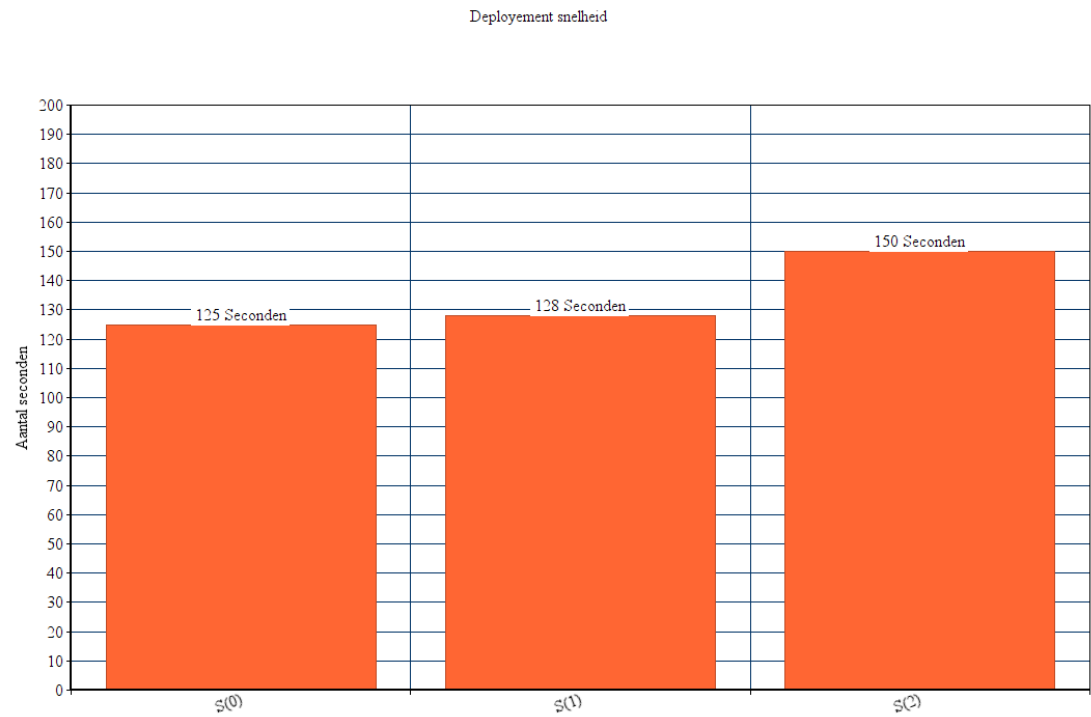
A.3 Verwachte resultaten

Op basis van de criteria wordt er verwacht dat Scenario 0 en 1 even snel op opgezet kunnen worden en evenveel resources gebruiken. Ze zullen beide kwetsbaarder zijn aangezien de 'best practices' vooral bestaan uit het correct gebruik van wachtwoorden en gebruiker privileges. Scenario 2 daarentegen zal iets meer tijd nodig hebben om opgezet te worden (zie Figuur1) en zal daarbij meer resources gebruiken (zie Figuur2). Dit zou te wijten zijn aan de gebruikte 'security tools' die extra tijd en resource nodig hebben.

A.4 Verwachte conclusies

Uit dit onderzoek willen we concluderen dat het toepassen van 'best practices' en het correct gebruik van security tools een positief effect teweeg brengt bij het gebruik van container orkestratie tools. We trachten daarnaast ook aan te duiden dat het omzeilen van security risico's een belangrijk aspect is bij het ontwikkelen van container applicaties. Tot slot kan er geconcludeerd worden dat het beveiligen van container clusters steeds belangrijker wordt. Daarnaast is het tevens van belang dat de persoon die een cluster opzet daarbij de onderliggende werkwijze goed kent en zich bewust is van de mogelijke valkuilen.

A.5 Bijlagen



Figuur A.1: Verwachte opstart tijd

Benodigde resources	CPU %	<u>Memory %</u>
S(0)	45%	30%
S(1)	46%	32%
S(2)	55%	45%

Figuur A.2: Verwacht resource gebruik

Bibliografie

- Anil, N., Coulter, D., Victor, Y., Parente, J., Warren, G. & Wenzel, M. (2018, augustus 31). *What is Docker?* Microsoft. Verkregen 9 maart 2021, van <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/architecture/microservices/container-docker-introduction/docker-defined>
- CNCF. (2021, maart 16). *CNCF Cloud Native Interactive Landscape*. <https://landscape.cncf.io/>
- DevopsCube. (2021, maart 1). *List of Best Docker Container Orchestration Tools/Services*. <https://devopscube.com/docker-container-clustering-tools/>
- Docker. (2021a, maart 5). *Docker overview*. Docker. Verkregen 9 maart 2021, van <https://docs.docker.com/get-started/overview/>
- Docker. (2021b, maart 3). *How Docker Helps Development Teams*. Docker. <https://www.docker.com/use-cases>
- Education, I. C. (2019, mei 25). *Containerization*. IBM. <https://www.ibm.com/cloud/learn/containerization#toc-what-is-co-r25Smlqq>
- Education, I. C. (2020, september 2). *Containers vs. VMs: What's the Difference?* IBM Cloud Education. Verkregen 8 maart 2021, van <https://www.ibm.com/cloud/blog/containers-vs-vms>
- Google. (2016). *Containers at Google: A better way to develop and deploy applications*. Google. <https://cloud.google.com/containers>
- Kreisa, J. (2020, juli 30). *Docker Index: Dramatic Growth in Docker Usage Affirms the Continued Rising Power of Developers*. Docker. Verkregen 9 maart 2021, van <https://www.docker.com/blog/docker-index-dramatic-growth-in-docker-usage-affirms-the-continued-rising-power-of-developers/>
- McCarty, S. (2018, februari 22). *A Practical Introduction to Container Terminology*. <https://developers.redhat.com/blog/2018/02/22/container-terminology-practical-introduction/#h.6yt1ex5wfo3l>

- Pettey, C. (2019, april 23). *6 Best Practices for Creating a Container Platform Strategy*. <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/6-best-practices-for-creating-a-container-platform-strategy/>
- RedHat. (2021, maart 16). *What is container orchestration?* <https://www.redhat.com/en/topics/containers/what-is-container-orchestration>
- StackRox. (2020, februari 19). *State of Container and Kubernetes Security* (onderzoeksrap.). StackRox. <https://www.stackrox.com/kubernetes-adoption-security-and-market-share-for-containers/>
- Tripwire. (2019, januari 1). *Tripwire State of Container Security Report* (onderzoeksrap.). Tripwire. Verkregen 30 november 2020, van <https://3b6xlt3iddqmuq5vy2w0s5d3-wpengine.netdna-ssl.com/state-of-security/wp-content/uploads/sites/3/Tripwire-Dimensional-Research-State-of-Container-Security-Report.pdf>
- VMWare. (2021, februari 8). *Hypervisor*. <https://www.vmware.com/topics/glossary/content/hypervisor>