

HOGESCHOOL ROTTERDAM

BACHELOR SCRIPTIE

Schaalbaarheid Developers.nl

Auteur:
Kaj de Munter
0911825

Begeleiders:
Tanja Ubert
Judith Lemmens

14/10/2019

v0.2



DEVELOPERS.NL
HOGESCHOOL ROTTERDAM

BACHELOR SCRIPTIE

Schaalbaarheid Developers.nl

Auteur:

Kaj de Munter

0911825@hr.nl

k.demunter@developers.nl

06-81019142

Schoolbegeleiders:

Tanja Ubert

t.ubert@hr.nl

Judith Lemmens

j.h.i.lemmens@hr.nl

Bedrijfsbegeleiders:

Maarten de Boer

m.deboer@developers.nl

Jelle van de Haterd

j.vandehaterd@developers.nl

*Een scriptie ingediend ter voldoening aan de
vereiste competenties voor de opleiding Informatica*

Communicatie, Media, en Informatietechnologie

14/10/2019

v0.2



HOGESCHOOL ROTTERDAM

Abstract

Communicatie, Media, en Informatietechnologie

Informatica

Schaalbaarheid Developers.nl

door Kaj de Munter

Samenvatting van de scriptie die ik als laatst pas ga schrijven... Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

Voorwoord

Bedankt aan iedereen die mij koffie heeft gebracht afgelopen periode... Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet. Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

Lorem ipsum dolor sit amet, consetetur sadipscing elitr, sed diam nonumy eirmod tempor invidunt ut labore et dolore magna aliquyam erat, sed diam voluptua. At vero eos et accusam et justo duo dolores et ea rebum. Stet clita kasd gubergren, no sea takimata sanctus est Lorem ipsum dolor sit amet.

Inhoud

Abstract	iii
Voorwoord	v
Figurenlijst	ix
Tabellenlijst	xi
Begrippenlijst	xiii
Lijst van afkortingen	xv
1 Inleiding	1
1.1 Aanleiding	1
1.2 Belang	1
1.3 Opdrachtgever	2
1.3.1 Core business	2
1.3.2 Geschiedenis	2
1.3.3 Werkomgeving	3
1.3.4 Taken	4
1.4 Doelstelling	4
1.5 Probleemstelling	4
1.5.1 Hoofd- en Deelvragen	4
1.6 Methodologie	5
1.7 Planning	5
1.8 Leeswijzer	5
2 Theoretisch Kader	7
2.1 Schaalbaarheid	7
2.1.1 Schaalbaarheid controleren	8
2.1.2 Functionele schaalbaarheid	9
2.2 Onderhoudbaarheid	10
2.3 Architectuur	11
2.4 de "Twelve-Factor App"	11
3 Onderzoeksresultaten	15
3.1 Huidige situatie	15
3.1.1 Huidige Architectuur	15
3.1.2 Metingen	16
3.1.3 conclusie	19
3.2 Technieken	19
3.2.1 Schaalbaarheid	19
3.2.2 Onderhoudbaarheid	19
3.3 Verbeteringen	19

3.4 Implementatie	19
3.5 Requirements	19
A Code	21
A.1 Docker-compose opstelling voor k6, InfluxDB & Grafana	21
Literatuurlijst	23

Figurenlijst

3.1	Infrastructuur	16
-----	--------------------------	----

Tabellenlijst

1.1	Planning	5
2.1	12-Factor app	13

Begrippenlijst

Kubernetes	Kubernetes is an open-source system for automating deployment, scaling, and management of containerized applications [1].
Docker	Docker is a tool designed to make it easier to create, deploy, and run applications by using containers [2].
Ansible	Ansible is a radically simple IT automation engine that automates cloud provisioning, configuration management, application deployment, intra-service orchestration, and many other IT needs [3].
Docker Swarm	Docker Swarm provides native clustering functionality for Docker containers, which lets you turn a group of Docker engines into a single, virtual Docker engine [4].
Infrastructure as Code	Infrastructure as code describes the idea of using a high-level programming language to control IT systems [5].
Ansible Tower	Red Hat Ansible Tower helps you scale IT automation, manage complex deployments and speed productivity. Centralize and control your IT infrastructure with a visual dashboard, role-based access control, job scheduling, integrated notifications and graphical inventory management [6].
Chef	Deploy new code faster and more efficiently. Automate infrastructure and applications [7].
Puppet	Powerful infrastructure automation and delivery [8].
Terraform	Terraform is a tool for building, changing, and versioning infrastructure safely and efficiently. Terraform can manage existing and popular service providers as well as custom in-house solutions [9].
Cloud computing providers	<p>Cloud computing is a model for enabling ubiquitous, convenient, on-demand network access to a shared pool of configurable computing resources (e.g., networks, servers, storage, applications, and services) that can be rapidly provisioned and released with minimal management effort or service provider interaction [10].</p> <p>Er bestaan veel cloud computing providers, waaronder bijvoorbeeld:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Amazon web services • DigitalOcean • Microsoft Azure • Google Cloud Platform

12-factor app	Een methodologie voor het bouwen van Software as a Service (SaaS) applications [11].
The Open Group Architecture Framework	A generic framework to build different IT architectures frameworks [12].
4+1 architectural view model	A model for describing the architecture of software-intensive systems, based on the use of multiple, concurrent views [13].

Lijst van afkortingen

MI	Maintainability Index
CI	Continuous Integration
CD	Continuous Deployment
VU	Virtual User
EMS	Employee Management System
TOGAF	The Open Group Architecture Framework

Hoofdstuk 1

Inleiding

1.1 Aanleiding

“Een visitekaartje voor het bedrijf”. Dat is het uitgangspunt wanneer interne software bij Developers.nl wordt ontwikkeld. Niet alleen qua uiterlijk, maar ook van binnen moet de code, de infrastructuur en de werkmethode in topconditie zijn. Dit heeft te maken met het feit dat de code uit de website en infrastructuur van Developers.nl open-source wordt gemaakt gedurende deze stage.

Dit betekent dat er veel onderzoek moet worden uitgevoerd op de kwaliteit van de huidige website. Met name de infrastructuur, het “Continuous Integration/Continuous Deployment” (CI/CD) en het horizontaal en verticaal schalen hebben nog veel ruimte voor verbetering. Bovendien zijn er meerdere interne systemen dan alleen de website. Het onderhouden van (binnenkort) 5 systemen vereist veel tijd en moeite, dus moet dit makkelijker worden.

1.2 Belang

Het open-source maken van de website betekent dat elke potentiële klant en/of nieuwe medewerker de mogelijkheid heeft om te bekijken wat Developers.nl qua kennis in huis heeft. Het is dus van hoog belang dat de kwaliteit gewaarborgd wordt, en dat er zo veel mogelijk nieuwe en opkomende technieken worden gebruikt.

Bovendien heeft Wheeler [14] geconcludeerd dat open-source software voordelen heeft als:

- Betere beveiliging
- Betere betrouwbaarheid
- Betere prestaties
- Betere schaalbaarheid
- Mindere onderhoudskosten

Ook al is de website op eerste gezicht van de buitenkant vrij eenvoudig, er moet (om indruk te wekken op potentiële klanten en nieuwe medewerkers) onder water een stevige applicatie draaien dat eigenlijk iets “te complex” is. Kortom, er is nog veel te verbeteren en toe te voegen.

Het onderhouden van (binnenkort) 5 interne systemen betekent dat er veel werk dubbel wordt uitgevoerd. Dit kost geld, en kan beter.

1.3 Opdrachtgever

Deze scriptie is geschreven in opdracht van:

Developers.nl
Stadionweg 57C
3077AS Rotterdam
info@developers.nl
010-3035929

1.3.1 Core business

Developers.nl neemt software ontwikkelaars in dienst. De ontwikkelaars die worden aangenomen zullen voornamelijk gespecialiseerd zijn in PHP, Python, Java of front-end. Ze worden uitgezet naar een klant (een extern bedrijf) die naar een ontwikkelaar zoekt. Developers.nl kiest hier voor de beste ontwikkelaar voor de taak en zal deze inzetten bij een klant. De opdrachten van de ontwikkelaars zijn op locatie van de klant en duren voornamelijk langer dan een jaar, maar op uitzondering zijn er ook kortere opdrachten. Zodra de ontwikkelaar klaar is met zijn of haar taak zal Developers.nl zo snel mogelijk een nieuwe opdracht toewijzen [15]. Concreet zegt het positioneringsprofiel [16]: “Detachering van developers die software applicaties bouwen voor verschillende klanten.”

1.3.2 Geschiedenis

Mark Smit heeft altijd al in de detachingshoek gewerkt. Hieruit is de inspiratie begonnen om een detachingsbedrijf voor zichzelf op te richten in 2012. Het bedrijf heette “JC Capacity” en was onderdeel van “JC Groep”. Mark Smit was mede eigenaar met 2 anderen binnen JC Groep. Er was op dit moment alleen nog een kleine groep PHP ontwikkelaars, totdat in 2013 een aantal Java en Python ontwikkelaars zijn aangenomen. In februari 2014 is Mark Smit samen met een andere eigenaar binnen JC Group als JC Capacity afgesplitst. Dit gebeurde in verband met meningsverschillen over welke kant het bedrijf op moest doordat JC Groep meer op de zorg gefocust was. Gelijk hierna is een naamsverandering plaatsgevonden en heette het bedrijf “Developers.nl”.

Kort na de naamsverandering is het bedrijf exponentieel gegroeid, de teams PHP, Java en Python zijn individueel gegroeid, maar ook is er een nieuwe Front-End tak bijgekomen. Vanaf 2015 heeft de andere eigenaar het bedrijf verlaten en was Mark Smit de enige eigenaar van Developers.nl. De naamsverandering en de splitsing van JC Groep heeft ervoor gezorgd dat Developers.nl meer vrijheid had om veranderingen aan te brengen en naamsbekendheid op te krikken.

In 2016 heeft Mark Smit een tweede bedrijf opgericht met de naam “Gemvision”. Dit bedrijf vereistte meer van zijn tijd op dan hij had verwacht, en heeft hierdoor vanaf 2018 zijn management taken binnen Developers.nl overgegeven aan Maarten de Boer [15].

1.3.3 Werkomgeving

Cultuur

Developers.nl is een jonge en ambitieuze club mensen met een sterke onderlinge samenhang. Developers is een platte organisatie. Er heerst een sfeer van vrijheid, verantwoordelijkheid en “work hard, play hard”. De omgang met elkaar is informeel en persoonlijk, met het gevoel van een vriendenclub. De organisatie wordt gerund vanuit het besef dat plezier in het werk belangrijk is. De dresscode is business casual zodat klanten hetzelfde gevoel hebben van vrijheid en verantwoordelijkheid bij de ontwikkelaars. Op het kantoor luncht iedereen gezamenlijk en wordt er regelmatig geborrel na werktijd. Drinken is inbegrepen en lunch moet zelf meegebracht worden. Volgens het Competing Values Framework van Robert Quinn en Rohrbaugh (1983) valt de cultuur onder mensgericht, de medewerkers staan centraal [17].

Er is veel aandacht voor de medewerker als mens en zijn of haar persoonlijke leven, ook buiten werktijd. De open cultuur biedt ruimte voor het inbrengen van ambities, ideeën, vragen en wensen, op welk gebied dan ook. Vanuit het principe van wederkerigheid spant de organisatie zich in om de medewerker zoveel mogelijk te helpen en een goede werkgever te zijn, zodat medewerkers zich inspannen voor hun werkgever, collega's en klanten.

Ontwikkeling staat in alle opzichten centraal en strekt zich uit in twee richtingen: De ontwikkeling van medewerkers, zowel persoonlijk als professioneel, en de ontwikkeling van individuele en collectieve vakinhoudelijke kennis.

Developers.nl faciliteert kennis aan haar eigen ontwikkelaars in de vorm van onder andere “TechNights”, kennissessies en gezamenlijke deelname aan conferenties in het buitenland. Het zijn van een kennisorganisatie werkt twee kanten op: klanten met uitdagende opdrachten weten Developers.nl hiervoor te vinden en dat maakt de werksituatie compleet om medewerkers blijvend te boeien.

Klanten ervaren Developers.nl als oprecht geïnteresseerd, persoonlijk, analytisch, flexibel en vlot schakelend. Medewerkers zijn eerlijk en open, communicatief sterk, professioneel, betrouwbaar en intelligent. Het feit dat ze kunnen terugvallen op de collectieve kennis van de groep en dat ze bereid zijn om ook met de klant deze kennis te delen maakt ze extra waardevol. Fieldmanagers zijn erg sterk in het doorgeven van de opdracht naar uitvoerenden [15].

Eigen omgeving

Developers.nl heeft rond de 60 software ontwikkelaars. Deze zijn voornamelijk op een externe opdracht bij ene klant. Elke vrijdag zullen 5 van de zogenaamde “kennisambassadeurs” op kantoor zijn. Dit zijn de meest senior ontwikkelaars per team. Deze zijn dan in staat om stagiairs en/of andere medewerkers persoonlijk te helpen, maar ze zijn altijd bereikbaar via Slack of telefonisch.

De bedrijfsbegeleider voor deze stage is **Maarten de Boer**. Dit is de algemene directeur van Developers.nl en is in 2003 afgestudeerd aan de hogeschool Inholland met Strategic marketing. Aangezien Maarten zelf geen technische kennis heeft is er ook een technische begeleider aangewezen: **Jelle van de Haterd**. Jelle is senior developer, DevOps engineer en kennisambassadeur bij Developers.nl. Hij is in 2006 afgestudeerd op de Hogeschool Rotterdam met als opleiding Grafimmediatechnologie [18].

Binnen developers.nl word iedere stagiair behandeld als een daadwerkelijk sterke medewerker die een echte bijdrage aan het bedrijf levert. Het team staat altijd voor hen klaar. Op het moment dat iemand aangeeft dat hij/zij iets nodig heeft (denk aan

bijvoorbeeld een macbook voor het programmeren) zal het team er zo veel mogelijk aan doen dat er een goede oplossing wordt aangeboden. Het team staat open voor feedback en behandelen dit op serieuze wijze.

Voor technische vragen zijn de kennisambassadeurs altijd bereikbaar, bij een vraag zullen zij hun best doen om het zo duidelijk mogelijk over te brengen, en zorgen ervoor dat ik het ook daadwerkelijk begrijp. De kennisambassadeurs kijken code inhoudelijk na en geven hier feedback op [15].

1.3.4 Taken

Tijdens de stageperiode zal de stagiair een leidende rol aannemen in een team van 2 part-time studenten en een stagiair. Er gaat onderzoek worden uitgevoerd naar de schaal- en onderhoudbaarheid van de infrastructuur aangaande de interne systemen die Developers.nl beheert. Dit omtrent onderzoek over de huidige situatie, technieken die gebruikt kunnen worden, en het automatiseren hiervan. Door het gehele proces moet er extra rekening gehouden worden met de veiligheid van de gekozen oplossing in verband met de gevoeligheid van een aantal systemen, zoals bijvoorbeeld het Employee Management System (EMS). Uit dit onderzoek zullen een aantal verbeteringen daadwerkelijk worden geïmplementeerd en uiteindelijk een advies worden uitgebracht over eventuele vorderingen.

1.4 Doelstelling

Dit onderzoek heeft tot doel het verkrijgen van kennis en inzicht over de schaal- en onderhoudbaarheid van de interne systemen die Developers.nl beheert om vervolgens deze twee factoren te verbeteren.

1.5 Probleemstelling

Bij Developers.nl werken veel verschillende ontwikkelaars voor een erg variabele tijd aan de interne projecten. Dit heeft te maken met het feit dat de ontwikkelaars die eraan werken vaak tussen twee opdrachten in zitten. Dit betekent dat het van hoog belang is dat een ontwikkelaar de omgevingen sneller kan opzetten en op korte termijn een toevoeging kan leveren die in productie staat. Ook heeft de website regelmatig piekmomenten in verband met de maandelijkse TechNights die het bedrijf organiseert. De restante tijd is het verkeer op de website een stuk lager. Het EMS heeft ook redelijk weinig verkeer, hierdoor is veel rekenkracht op de server overbodig.

1.5.1 Hoofd- en Deelvragen

Hoofdvraag

Op welke wijze kan Developers.nl de architectuur van hun huidige systemen beter schaal- en onderhoudbaar maken?

Deelvragen

- Hoe goed is de schaal- en onderhoudbaarheid van de huidige systemen?
- Wat voor technieken zijn er voor schaal- en onderhoudbaarheid?

- Wat voor verbeteringen ten aanzien van schaal- en onderhoudbaarheid kunnen worden toegepast op de huidige systemen?
- Hoe gaan deze verbeteringen geïmplementeerd worden?
- Voldoen de verbeteringen aan de vereiste requirements?

1.6 Methodologie

- het type onderzoek
- de wijze waarop je informatie hebt vergaard
- de kwaliteitseisen van je bedrijf en opdrachtgever
- de wijze waarop je jouw bevindingen valideert
- de wijze waarop je de geldigheid en betrouwbaarheid van je bronnen hebt gecontroleerd
- een onderbouwde keuze voor je projectmethode

1.7 Planning

TABEL 1.1: Planning

Week	Taak
1, 2	Skelet opzet scriptie, inleiding
3, 4	Theoretisch kader, afbakening
5, 6	Hoe goed is de schaal- en onderhoudbaarheid van de huidige systemen?
7, 8	Wat voor technieken zijn er voor schaal- en onderhoudbaarheid?
9, 10	Wat voor verbeteringen ten aanzien van schaal- en onderhoudbaarheid kunnen worden toegepast op de huidige systemen?
11, 12	Hoe gaan deze verbeteringen geïmplementeerd worden?
13 – 17	Praktijk implementatie
18 – 20	Conclusie en Voldoen de verbeteringen aan de vereiste requirements?

1.8 Leeswijzer

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Aliquam ultricies lacinia euismod. Nam tempus risus in dolor rhoncus in interdum enim tincidunt. Donec vel nunc neque. In condimentum ullamcorper quam non consequat. Fusce sagittis tempor feugiat. Fusce magna erat, molestie eu convallis ut.

Hoofdstuk 2

Theoretisch Kader

In dit hoofdstuk worden vier belangrijke begrippen uit de onderzoeksvraag behandeld. Er wordt een literatuuronderzoek gedaan naar de bestaande definities van schaalbaarheid, onderhoudbaarheid en architectuur met betrekking tot software. Hierna wordt het begrip afgebakend tot een concrete definitie waar het onderzoek op terug kan vallen. Ook wordt onderzocht hoe de “12-factor app methodologie” van pas kan komen in het onderzoek.

2.1 Schaalbaarheid

M. D. Hill heeft in 1990 onderzoek gedaan naar een concrete definitie naar schaalbaarheid [19]. In zijn onderzoek concludeert hij het volgende:

I examined aspects of scalability, but did not find a useful, rigorous definition of it. Without such a definition, I assert that calling a system ‘scalable’ is about as useful as calling it ‘modern’. I encourage the technical community to either rigorously define scalability or stop using it to describe systems.

Ondertussen zijn er meerdere pogingen gedaan om schaalbaarheid te definiëren. zo zijn L. Duboc, D. S. Rosenblum en T. Wicks op deze conclusie ingegaan en hebben een poging gedaan om een framework te creëren voor karakterisering en analyse van software schaalbaarheid [20]. Zij definiëren schaalbaarheid als:

quality of software systems characterized by the causal impact that scaling aspects of the system environment and design have on certain measured system qualities as these aspects are varied over expected operational ranges

In een onderzoek over de kenmerken van schaalbaarheid en de impact op prestatie heeft A. B. Bondy [21] schaalbaarheid verdeeld in een aantal verschillende aspecten, waaronder:

- **Structural scalability** (het vermogen van een systeem om uit te breiden in een gekozen dimensie zonder ingrijpende wijzigingen in de architectuur)
- **Load scalability** (het vermogen van een systeem om elegant te presteren naarmate het aangeboden verkeer toeneemt)
- **Space scalability** (het geheugenvereiste groeit niet naar “ondraaglijke niveaus” naarmate het aantal items toeneemt)
- **Space-time scalability** (het systeem blijft naar verwachtingen functioneren naarmate het aantal items dat het omvat toeneemt)

Bondy definieert schaalbaarheid als het vermogen van een systeem om een toenevend aantal elementen, objecten en werk gracieus te verwerken en / of vatbaar te zijn voor uitbreiding.

H. El-Rewini en M. Abd-El-Barr noemen in het boek *Advanced computer architecture and parallel processing* [22] ook een aantal “onconventionele” definities:

- **Size scalability** (Meet de maximale hoeveelheid processors dat een systeem kan accommoderen)
- **Application scalability** (de mogelijkheid om applicatiesoftware te draaien met verbeterde prestaties op een opgeschaalde versie van het systeem)
- **Generation scalability** (de mogelijkheid om op te schalen door het gebruik van de volgende generatie (snelle) componenten)
- **Heterogeneous scalability** (het vermogen van een systeem om op te schalen met behulp van hardware- en softwarecomponenten die door verschillende leveranciers zijn gemaakt)

C. B. Weinstock en J. B. Goodenough hebben een algemeen onderzoek uitgevoerd naar schaalbaarheid [23]. Zij noemen in hun conclusie dat er voornamelijk twee betekenissen van het woord schaalbaarheid zijn:

1. De mogelijkheid om met verhoogde werkdruk om te gaan (zonder extra resources aan een systeem toe te voegen).
2. De mogelijkheid om met verhoogde werkdruk om te gaan door herhaaldelijk een kosteneffectieve strategie toe te passen om de mogelijkheden van een systeem uit te breiden.

Het valt op dat een concrete definitie van schaalbaarheid alleen duidelijk te definiëren is wanneer het in meerdere verschillende soorten is opgesplitst. Daarom zal in dit onderzoek vanaf dit punt altijd worden gespecificeerd welke soort schaalbaarheid het betreft. In dit onderzoek wordt vooral de focus gelegd op de “structural scalability” en “load scalability” uit [21] omdat deze het meest relevant zijn met betrekking tot de probleemstelling. “application scalability” uit [22] heeft veel overlapping met de load scalability. Omdat load scalability iets generieker is en de twee definities van Weinstock en Goodenough [23] omvat wordt deze geprefereerd boven application scalability. De overgebleven definities zijn minder relevant voor dit onderzoek aangezien ze te maken hebben met hardware, of niet volledig toepasselijk is op de architectuur.

2.1.1 Schaalbaarheid controleren

In het onderzoek van Weinstock en Goodenough [23] zijn een aantal manieren genoemd om de schaalbaarheid van een systeem te controleren.

Knelpunten

Deze knelpunten hebben vooral te maken de eerste betekenis van Weinstock en Goodenough. Er moet gecontroleerd worden op de toenemende administratieve werkdruk, de “hard-coded” limieten op capaciteit, de user interface en de complexiteitsgraad van algoritmen.

Onthullen van schaalbaarheids-aannames

Dit gaat over het onderzoeken hoe de uitbreiding van een systeem nieuwe problemen kan onthullen. Zodra een systeem zich uitbreidt is er een grotere kans op errors in de systeemconfiguratie, “zeldzame” errors komen vaker voor, is het belangrijk dat een probleem in het systeem gelokaliseerd blijft, en kan het een stuk complexer en lastiger worden om het systeem te begrijpen.

Schaalstrategieën

Hier wordt bekeken wat voor verschillende tekortkomingen een schaalstrategie heeft. Zodra een systeem een lange termijn leeft kan het zo zijn dat het systeem anders wordt gebruikt, hier moet de strategie op voorbereid zijn. Een strategie moet niet te afhankelijk zijn van het feit dat gebruikers weten hoe het systeem wordt geïmplementeerd. Ook moet de strategie voorbereid zijn op de vooruitgang van hardware.

Methoden voor schaalbaarheidsborging

In het onderzoek vertellen Weinstock en Goodenough dat niet echt mogelijk is om te testen of een systeem schaalbaar is. Wel zijn er methoden om de schaalbaarheid te waarborgen, zoals:

- Onderzoek de “performance curves” en karakteriseer deze met een Big O notatie.
- Identificeer mechanismen om knelpunten aan het licht brengen of waar aannames van het schaalbaarheids- ontwerp beginnen te worden geschonden.
- Voer een SWOT analyse uit op de schaalbaarheids-strategie.
 - Strengths (de soorten groei waar de strategie voor ontworpen is)
 - Weaknesses (de soorten groei waar de strategie niet voor ontworpen is)
 - Opportunities (mogelijke veranderingen in werklust of technologie die de strategie goed zou kunnen benutten)
 - Threats (mogelijke veranderingen in de werklust of technologie die de strategie in twijfel zouden kunnen trekken)

Schalen kan op twee verschillende manieren, namelijk horizontaal en verticaal. Horizontaal wilt zeggen dat er geschaald wordt door meerdere machines toe te voegen, terwijl verticaal schalen betekent dat er meer rekenkracht (als bijvoorbeeld een betere CPU of meer RAM) wordt toegevoegd aan een machine. Ook is bij het schaalbaar maken van systemen van belang dat het zo min mogelijk ten koste gaat van prestaties en niet meer kost dan nodig is.

2.1.2 Functionele schaalbaarheid

Wat in de literatuur mist over schaalbaarheid is het schrijven van “schaalbare code”. Deze term wordt regelmatig gebruikt in informele bronnen als blogs, maar is nooit concreet gedefinieerd. Schaalbare code betekent in welke mate bestaande code moet worden aangepast zodra een nieuwe functionaliteit wordt toegevoegd aan het systeem. In dit onderzoek refereren we naar deze definitie als “functionele schaalbaarheid”. Een aantal informele bronnen gebruiken vaak een definitie in de richting

van “De mogelijkheid om een systeem te verbeteren door nieuwe functionaliteit toe te voegen zonder bestaande activiteiten te verstoren”. Het is echter niet duidelijk waar deze definitie vandaan komt. Deze tak van schaalbaarheid sluit de complexiteit van algoritmes uit, dit valt namelijk meer onder load scalability. Functionele schaalbaarheid is een onderdeel van onderhoudbaarheid (meer over deze definitie in paragraaf 2.2).

2.2 Onderhoudbaarheid

P. Grubb en A. A. Takang definiëren in hun boek “Software Maintenance: Concepts And Practice” onderhoudbaarheid als “The discipline concerned with changes related to a software system after delivery” [24]. In 1993 heeft IEEE een “Standard Glossary of Software Engineering Terminology” opgesteld. Deze begrippenlijst definieert onderhoudbaarheid als “the ease with which a software system or component can be modified to correct faults, improve performance or other attributes, or adapt to a changed environment” [25]. Deze twee definities komen uiteindelijk op hetzelfde neer. Grubb en Takang noemen het in de context van een discipline, terwijl IEEE het als een kwaliteitseigenschap definieert. Ook specificeren Grubb en Takang het feit dat het alleen ná het opleveren gebeurt. In dit onderzoek wordt uitgegaan van de definitie van IEEE.

Grubb en Takang noemen ook een aantal redenen waarom software moet worden onderhouden:

- Ondersteuning van verplichte upgrades
- Ondersteuning van verzoeken van gebruikers om verbeteringen toe te voegen
- Om toekomstige onderhoudswerkzaamheden te vergemakkelijken

K.K. Aggarwal et al. noemen in hun onderzoek een aantal factoren die van invloed zijn op onderhoudbaarheid van software [26]:

- Leesbaarheid van de broncode
- Kwaliteit van de documentatie
- Begrijpelijkheid van software

ISO 25010 [27] definieert onderhoudbaarheid als “The degree of effectiveness and efficiency with which a product or system can be modified to improve it, correct it or adapt it to changes in environment, and in requirements” en verdeelt het in een vijftal kwaliteitseigenschappen.

- Modulariteit
- Herbruikbaarheid
- Analyseerbaarheid
- Wijzigbaarheid
- Testbaarheid

Een bekende manier om onderhoudbaarheid te meten is de zogenaamde Maintainability Index (MI). Hier is echter veel kritiek op [28]–[30].

2.3 Architectuur

P. Kruchten noemt dat software-architectuur zich bezig houdt met het ontwerp en de implementatie van de structuur op hoog niveau [13]. Dit is echter een vrij vage definitie, het is niet duidelijk wat “hoog niveau” precies inhoudt.

S. T. Albin definieert software-architectuur als “De waarneembare eigenschappen van een softwaresysteem” [31]. Ook dit is een onduidelijke definitie, het is veel te algemeen.

L. Bass en P. Clements, definiëren de architectuur van software als het volgende [32]: “The architecture of a software-intensive system is the structure or structures of the system, which comprise software elements, the externally visible properties of those elements, and the relationships among them”. Gerespecteerde boeken als [33], [34] nemen deze definitie als uitgangspunt. Ook noemen Bass en Clements vier verschillende aspecten die behoren bij software-architectuur:

- **Statische structuur** (interne design-time elementen zoals modules, classes, packages, services, of andere zelfstandige code-eenheden en hun opstelling.)
- **Dynamische structuur** (de runtime-elementen zoals informatie-flows, parallelle of opeenvolgende uitvoering van interne taken, of de invloed die ze hebben op data en hun interacties.)
- **Extern zichtbaar gedrag** (de functionele interacties tussen het systeem en zijn omgeving. Denk aan Informatie-flows in en uit het systeem, of API's.)
- **Kwaliteitseigenschappen** (externe zichtbare, niet-functionele eigenschappen van een systeem zoals prestaties, beveiliging of schaalbaarheid.)

ISO/IEC/IEEE 42010:2011 definieert software-architectuur als “Fundamental concepts or properties of a system in its environment embodied in its elements, relationships, and in the principles of its design and evolution” [35]. The Open Group Architecture Framework (TOGAF) voegt nog een tweede definitie toe aan deze context [36]: “The structure of components, their inter-relationships, and the principles and guidelines governing their design and evolution over time”. TOGAF is gebaseerd op een viertal architectuur-domeinen: business, data, applicatie en technische / infrastructuur architectuur. In dit onderzoek wordt alleen de technische / infrastructuur architectuur gebruikt. Dit domein omvat de IT infrastructuur, middleware, netwerken, communicaties en standaarden. Onder deze definitie passen ook de vier aspecten uit [32].

2.4 de "Twelve-Factor App"

A. Wiggins [11] heeft een methodologie opgezet om moderne, schaalbare en onderhoudbare web-applicaties te bouwen. De methodologie past goed bij de probleemstelling, het minimaliseren van de kosten en tijd die het kost om nieuwe ontwikkelaars aan het project te laten werken en de gemakkelijker van het schalen. Ook zorgt het voor structural scalability, draagbaarheid tussen uitvoeringsomgevingen, de mogelijkheid om te deployen op moderne cloud platformen en een minimale divergentie tussen development en productie waardoor CD gemakkelijk wordt om te implementeren.

De methodologie heeft 12 factoren die voor deze eigenschappen zorgen. In tabel 2.1 is een gevolg samen met een uitleg bij elke factor geplaatst. Deze factoren zullen worden meegenomen bij het behandelen van de deelvragen.

Vijf jaar nadat Wiggins de 12 factor app heeft opgesteld is K. Hoffman aan de slag gegaan met een boek genaamd “Beyond the 12-factor app” [37]. Dit boek heeft als doel om de 12 factoren concreter te definiëren en voegt daarnaast nog 3 extra factoren toe om applicaties in de cloud niet alleen te laten functioneren maar ook te laten gedijen. Deze factoren zijn telemetry, security, en het concept “API first”.

TABEL 2.1: 12-Factor app

Factor	Naam	Gevolg	Waarom?
1	Codebase	Onderhoudbaarheid	Door de frequente deploys kunnen veranderingen snel in productie gezet worden.
2	Dependencies	Onderhoudbaarheid	Gemakkelijk opzetten van project voor nieuwe ontwikkelaars.
3	Config	Structural scalability	Environment variabelen zijn niet in omgevingen maar per deployment opgezet, zo maakt de hoeveelheid omgevingen niet uit.
4	Backing services	Onderhoudbaarheid	Door backing services als "attached resources" te behandelen maakt het niet uit welke techniek er wordt gebruikt en zijn deze dus los gekoppeld.
5	Build, release, run	Onderhoudbaarheid	Het is onmogelijk om veranderingen aan de code tijdens runtime te maken.
6	Processes	Load scalability	Mede door de shared-nothing architectuur kan het systeem gemakkelijker schalen.
7	Port binding	Niet relevant ?	Niet relevant ?
8	Concurrency	Load scalability	Door het "process model" te gebruiken is het makkelijker om horizontaal en verticaal te schalen.
9	Disposability	Load scalability	Door processen gemakkelijk te laten stoppen en starten gaat het schalen een stuk sneller.
10	Dev/prod parity	Onderhoudbaarheid	Hierdoor kan er een stuk vaker gedeployed worden.
11	Logs	Onderhoudbaarheid	Door logs naar de stdout te sturen is het gemakkelijker om specifieke fouten te vinden, overzicht te creëren en actief meldingen te versturen naar ontwikkelaars.
12	Admin processes	Onderhoudbaarheid	Door commands in versiebeheer op te slaan is er een duidelijk overzicht en een geschiedenis van alle "one-off processes" die gebeuren.

Hoofdstuk 3

Onderzoeksresultaten

Dit hoofdstuk heeft als doel antwoord te geven op de onderzoeksvraag: “Op welke wijze kan Developers.nl de architectuur van hun huidige systemen beter schaal- en onderhoudbaar maken?”.

3.1 Huidige situatie

Deze paragraaf gaat over de deelvraag “Hoe goed is de schaal- en onderhoudbaarheid van de huidige systemen?”

3.1.1 Huidige Architectuur

De huidige website is een combinatie van een PHP & Symfony back-end API en Content Management Systeem, samen met een React + next.js front-end. De infrastructuur is momenteel gebouwd op Docker(-compose) + Ansible. Bitbucket pipeline wordt gebruikt voor het Continuous Integration / Deployment.

In figuur 3.1 is een component diagram te vinden van de huidige website structuur. De front-en backend structuur bevat 5 docker containers:

- **PHP-FPM** (back-end)
- **Nginx** (front-en backend)
- **Redis** (back-end)
- **NodeJS** (front-end)
- **PostgreSQL** (back-end)

PHP-FPM is een FastCGI Process Manager, deze Container serveert de Symfony “FosREST” API en het Content Management Systeem. De NodeJS container serveert een statische Next.js React applicatie en maakt gebruik van Server Side Rendering. Er zit een Nginx reverse proxy in die kiest om een request naar de back-end of de front-end te laten gaan. Redis is een Key-Value Database die gebruikt wordt voor het cachen, en een PostgreSQL container als database. De Bitbucket Pipeline gebruikt Ansible om op de servers de geüpdatete containers te pullen en te starten.

Voor zowel de front- als backend is één monitoring tool genaamd “Sentry” geïmplementeerd. Sentry creëert een duidelijk overzicht voor alle errors die opkomen in productie.

Ook heeft Developers.nl een “Employee Management Systeem” (EMS) gebouwd. Deze heeft een soortgelijke structuur aan de website. Het EMS bevat zeer veel gevoelige informatie en het is dus van hoog belang dat deze goed beveiligd is.



FIGUUR 3.1: Infrastructuur website front-en backend **HOE CITEREN?**

3.1.2 Metingen

Nu de infrastructuur in kaart is gebracht luidt de vraag; hoe schaalbaar is deze infrastructuur eigenlijk? Om dit te beantwoorden worden de verschillende definities van schaalbaarheid individueel behandeld.

Structural scalability

Definitie: Het vermogen van een systeem om uit te breiden in een gekozen dimensie zonder ingrijpende wijzigingen in de architectuur.

Bij structural scalability hoort factor 3 (Config) van de 12-factor app. Een test om te bewijzen dat alle configuratie correct uit de code is verwerkt, is of de applicatie op elk gewenst moment open-source kan worden gemaakt zonder geclassificeerde informatie vrij te geven.

Voor de website wordt er gebruik gemaakt van docker-secrets en ansible-vault. Deze combinatie zorgt ervoor dat er nooit wachtwoorden, API sleutels en dergelijke plain-text in versiebeheer komt te staan. Deze secrets worden uiteindelijk in de containers als environment variabelen opgeslagen en uitgelezen door Symfony. In het EMS is deze techniek nog niet gebruikt en staan credentials wél plaintext in de repository.

Om aan factor 3 van de 12-factor app te voldoen moeten de configuratiefiles niet per specifieke omgeving (productie, test, staging) gegroepeerd worden maar moeten juist individueel per deployment geregeld worden. Dit gebeurt in zowel het EMS als de website, de bitbucket pipeline heeft zijn eigen specifieke environment variabelen om te gebruiken en de variabelen in de docker containers worden meegegeven in de algemene docker-compose file die in elke deployment hetzelfde zal zijn.

Load scalability

Definitie: Het vermogen van een systeem om elegant te presteren naarmate het aangeboden verkeer toeneemt. Om een load-test uit te voeren zijn meerdere tools met elkaar vergeleken:

- <https://loader.io/>
- <https://gatling.io/>
- <https://k6.io/>
- <http://tsung.erlang-projects.org/>

De gratis versie van loader.io is niet genoeg voor de wensen van de test, voor gatling.io is Ruby kennis nodig, en voor Tsung worden de tests in XML geschreven wat het lastig maakt om de load op te schalen. Uiteindelijk is gekozen voor K6 omdat zo goed als elke ontwikkelaar genoeg Javascript kennis heeft om deze tool te gebruiken. Ook heeft k6 een gemakkelijke manier om de hoeveelheid Virtual Users (VU) geleidelijk te verhogen. Om de uitkomsten te visualiseren is InfluxDB samen met Grafana gebruikt. In bijlage A.1 is de implementatie hiervan te vinden.

Bij load scalability horen factor 6 (**processes**), 8 (**concurrency**) en 9 (**disposability**) van de 12-factor app methodologie. Factor 6 vereist dat de applicatie als één of meerdere “stateless processes” moet uitgevoerd worden. Bij de PHP containers worden geüploade bestanden weggeschreven naar een volume, dit zorgt ervoor dat de container niet volledig stateless meer is. Ook zijn databases in docker containers geplaatst, dit is een stateful process aangezien het van belang is dat niet alle data verloren gaat zodra de container stopt.

Voor factor 8 (**concurrency**).....

Voor factor 9 (**disposability**) moet een applicatie opstarttijd minimaliseren. Zodra de docker images de initiële buildtime voorbij zijn kan de applicatie snel uit en aan worden gezet. **TODO: HOE SNEL?**

Ook vereist factor 9 dat processen netjes worden afgesloten zodra ze een SIGTERM ontvangen. Zodra een docker container met `docker stop <container>` gestopt wordt zal er een SIGTERM worden gestuurd naar de draaiende processen. De vier containers met processen zijn PostgreSQL, PHP-FPM, Nginx en Redis. Deze sluiten allemaal netjes af en hebben de volgende outputs zodra ze worden gestopt:

PostgreSQL

```
LOG: received smart shutdown request
LOG: background worker "logical replication launcher" (PID 43) exited with exit code 1
LOG: shutting down
LOG: database system is shut down
```

PHP-FPM

```
NOTICE: Terminating ...
NOTICE: exiting, bye-bye!
```

Redis

```
1:signal-handler (1570781278) Received SIGTERM scheduling shutdown...
# User requested shutdown...
```

```
* Saving the final RDB snapshot before exiting.
* DB saved on disk
* Removing the pid file.
# Redis is now ready to exit, bye bye...
```

Nginx

```
[notice] 1#1: signal 15 (SIGTERM) received from 56, exiting
[notice] 48#48: exiting
[notice] 47#47: exiting
[notice] 47#47: exit
[notice] 1#1: signal 14 (SIGALRM) received
[notice] 1#1: signal 17 (SIGCHLD) received from 48
[notice] 1#1: cache manager process 48 exited with code 0
[notice] 1#1: worker process 47 exited with code 0
[notice] 1#1: exit
```

Ook moeten de processen bestendig zijn tegen “sudden death”. Om dit te simuleren kan `docker kill <container>` gebruikt worden om een `SIGKILL` te sturen naar de hoofdprocessen. Hieronder is te zien dat alle containers na een `docker kill` zonder problemen weer kunnen opstarten.

```
- developers.nl git:(develop) docker ps -q
d0829783af18
f72e9967771b
01dd48ff5a59
fab794731d47
ca510c065d11
3ee85578efb5
- developers.nl git:(develop) docker kill $(docker ps -q)
docker ps
d0829783af18
f72e9967771b
01dd48ff5a59
fab794731d47
ca510c065d11
3ee85578efb5
- developers.nl git:(develop) docker ps -q

- developers.nl git:(develop) docker start $(docker ps -aq)
d0829783af18
f72e9967771b
01dd48ff5a59
fab794731d47
d68d7ab9809c
ca510c065d11
3ee85578efb5
e1866ab6c1af
- developers.nl git:(develop) docker ps -q
d0829783af18
f72e9967771b
01dd48ff5a59
```

fab794731d47
ca510c065d11
3ee85578efb5

Functional scalability

Definitie: In welke mate bestaande code moet worden aangepast zodra een nieuwe functionaliteit wordt toegevoegd aan het systeem.

Binnen de scope van de infrastructuur.

Onderhoudbaarheid

Definitie: The degree of effectiveness and efficiency with which a product or system can be modified to improve it, correct it or adapt it to changes in environment, and in requirements.

3.1.3 conclusie

3.2 Technieken

Deze paragraaf gaat over de deelvraag “Wat voor technieken zijn er voor schaal- en onderhoudbaarheid?”

3.2.1 Schaalbaarheid

3.2.2 Onderhoudbaarheid

3.3 Verbeteringen

Deze paragraaf gaat over de deelvraag “Wat voor verbeteringen ten aanzien van schaal- en onderhoudbaarheid kunnen worden toegepast op de huidige systemen?”

3.4 Implementatie

Deze paragraaf gaat over de deelvraag “Hoe gaan deze verbeteringen geïmplementeerd worden?”

3.5 Requirements

Deze paragraaf gaat over de deelvraag “Voldoen de verbeteringen aan de vereiste requirements?”

Bijlage A

Code

A.1 Docker-compose opstelling voor k6, InfluxDB & Grafana

Om de loadtest met k6, influxDB en grafana op te stellen heeft Loadimpact een docker-compose opstelling gemaakt. Na wat onderzoek is het opgevallen dat deze opstelling erg verouderd is. Daarom is ervoor gekozen om een eigen opstelling te maken:

```
version: '3.4'

networks:
  k6:
  grafana:

services:
  influxdb:
    image: influxdb:1.5.4
    networks:
      - k6
      - grafana
    ports:
      - "8086:8086"
    environment:
      - INFLUXDB_DB=k6

  grafana:
    image: grafana/grafana:6.4.1
    networks:
      - grafana
    ports:
      - "3000:3000"
    environment:
      - GF_AUTH_ANONYMOUS_ORG_ROLE=Admin
      - GF_AUTH_ANONYMOUS_ENABLED=true
      - GF_AUTH_BASIC_ENABLED=false
    volumes:
      - ./grafana/datasource.yml:/etc/grafana/provisioning/datasources/datasource.yml

  k6:
    image: loadimpact/k6:0.25.1
    networks:
```

```
- k6
ports:
- "6565:6565"
environment:
- K6_OUT=influxdb=http://influxdb:8086/k6
volumes:
- ../k6:/k6
```

Hiervoor is een Pull-request gedaan naar loadimpact/k6 om dit te verbeteren. <https://github.com/loadimpact/k6/pull/1183> samen met de issue <https://github.com/loadimpact/k6/issues/1182>. Hierin is te lezen wat precies de veranderingen waren. De loadtest is geschreven in javascript met de volgende code:

```
import http from "k6/http";
import { sleep, check } from "k6";

export let options = {
  stages: [
    { duration: "10s", target: 20 },
    { duration: "10s", target: 40 },
    { duration: "10s", target: 60 },
  ]
};

export default function() {
  check(http.get("https://test.developers.nl/"), {
    "is status 200": (r) => r.status === 200
  });
  sleep(1);
};
```


Literatuurlijst

- [1] The Linux Foundation. (2019). Production-grade container orchestration, [Online]. Available: <https://kubernetes.io>.
- [2] Docker Inc. (2019). Enterprise container platform for high-velocity innovation, [Online]. Available: <https://docker.com>.
- [3] Red Hat inc. (2019). How ansible works, [Online]. Available: <https://www.ansible.com/overview/how-ansible-works>.
- [4] Amber Ankerholz. (Apr. 2016). 8 container orchestration tools to know, [Online]. Available: <https://www.linux.com/news/8-open-source-container-orchestration-tools-know/>.
- [5] A. M. Andreas Wittig, “Amazon web services in action”, 2016. [Online]. Available: <https://s3-ap-southeast-1.amazonaws.com/tv-prod/documents%2Fnull-Amazon+Web+Services+in+Action.pdf>.
- [6] Red hat inc. (2019). Ansible tower, [Online]. Available: <https://www.ansible.com/products/tower>.
- [7] Chef. (2019). Chef, [Online]. Available: <https://chef.io>.
- [8] Puppet. (2019). Unparalleled infrastructure automation and delivery, [Online]. Available: <https://puppet.com>.
- [9] HashiCorp. (2019). Introduction to terraform, [Online]. Available: <https://www.terraform.io/intro/index.html>.
- [10] T. G. Peter Mell, “The nist definition of cloud computing”, p. 1, Oct. 2011. DOI: <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.800-145>. [Online]. Available: <https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-145/final>.
- [11] A. Wiggins, “The twelve-factor app”, 2017. [Online]. Available: <https://12factor.net>.
- [12] D. D. Gereld Weber, *Trends in Enterprise Application Architecture*. Feb. 2006, vol. 4437.
- [13] P. Kruchten, “Architectural blueprints—the “4+1” view model of software architecture”, pp. 42–50, Nov. 1995.
- [14] D. A. Wheeler, “Why open source software/free software (oss/fs)? look at the numbers”, Nov. 2004. [Online]. Available: <http://www.robotcub.org/index.php/robotcub/content/download/290/1049/file/Why%20Open%20Source%20Software.pdf>.
- [15] K. de Munter, “Stageplan en oriëntatie developers.nl”, 2017.
- [16] Developers.nl, “Positioneringsprofiel developers.nl”, 2018.
- [17] M. A. Nieuwenhuis, *The Art of Management (the-art.nl)*. 2010, ISBN: 978-90-806665-1-1. [Online]. Available: http://123management.nl/0/030_cultuur/a300_cultuur_02_typering.html.
- [18] K. de Munter, “Afstudeervoorstel”, 2019.

- [19] M. D. Hill, "What is scalability?", vol. 18, pp. 18–21, 4 Dec. 1990. [Online]. Available: <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=121975>.
- [20] T. W. Leticia Duboc David S. Rosenblum, "A framework for modelling and analysis of software systems scalability", May 2006. [Online]. Available: <http://discovery.ucl.ac.uk/4990/1/4990.pdf>.
- [21] A. B. Bondi, "Characteristics of scalability and their impact on performance", Sep. 2000. [Online]. Available: <https://www.win.tue.nl/~johan1/educ/2II45/2010/Lit/Scalability-bondi%202000.pdf>.
- [22] M. A.-E.-B. Hesham El-Rewini, *Advanced computer architecture and parallel processing*. 2005.
- [23] J. B. G. Charles B. Weinstock, "On system scalability", 2006. [Online]. Available: <http://resources.sei.cmu.edu/library/asset-view.cfm?AssetID=7887>.
- [24] A. A. T. Penny Grubb, *Software Maintenance: Concepts And Practice (Second Edition)*. River Edge, N.J.: World Scientific, 2003, vol. 2.
- [25] IEEE, "Standard glossary of software engineering terminology", IEEE 610.12, 1990.
- [26] J. K. C. Krishan K. Aggarwal Yogesh Singh, "An integrated measure of software maintainability", 2002. DOI: <https://doi.org/10.1109/RAMS.2002.981648>.
- [27] ISO, "Software product quality", International Organization for Standardization, Geneva, CH, ISO 25010, 2011.
- [28] O. T. Berna Seref, "Software code maintainability: A literature review", vol. 7, 3 May 2016. [Online]. Available: <http://aircconline.com/ijsea/V7N3/7316ijsea05.pdf>.
- [29] R. Niedermayr, "Why we don't use the software maintainability index", Mar. 2016. [Online]. Available: <https://www.cqse.eu/en/blog/maintainability-index>.
- [30] A. van Deursen, "Think twice before using the 'maintainability index'", Aug. 2014. [Online]. Available: <https://avandeursen.com/2014/08/29/think-twice-before-using-the-maintainability-index/>.
- [31] S. T. Albin, *The art of software architecture: design methods and techniques*. Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, Indiana, Mar. 2003, vol. 9, ISBN: 9780471468295.
- [32] P. C. Len Bass, *Software Architecture in Practice*. Pearson Education (US), Sep. 2012, ISBN: 9780321815736.
- [33] E. W. Nick Rozanski, *Software Systems Architecture: Working with Stakeholders Using Viewpoints and Perspectives*. Nov. 2011, ISBN: 9780132906074.
- [34] R. K. Humberto Cervantes, *Designing Software Architectures: A Practical Approach*. Addison-Wesley Professional, 2016, ISBN: 9780134390789.
- [35] IEEE, "Standard glossary of software engineering terminology", ISO/IEC/IEEE std. 42010, 2011.
- [36] a. s. o. T. O. G. TOGAF® Standard Version 9.2, "Core concepts", 2018. [Online]. Available: <https://pubs.opengroup.org/architecture/togaf9-doc/arch/chap02.html>.
- [37] K. Hoffman, *Beyond the Twelve-Factor App – Exploring the DNA of Highly Scalable, Resilient Cloud Applications*. O'Reilly Media, Inc., Apr. 2016, ISBN: 9781491944011.