

HOGESCHOOL ROTTERDAM

BACHELOR SCRIPTIE

Schaal- en onderhoudbaarheid Developers.nl

Auteur:
Kaj de Munter
0911825

Begeleiders:
Tanja Ubert
Judith Lemmens

05/11/2019

v0.3



DEVELOPERS.NL
HOGESCHOOL ROTTERDAM

BACHELOR SCRIPTIE

**Schaal- en onderhoudbaarheid
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

05/11/2019

v0.3



HOGESCHOOL ROTTERDAM

Abstract

Communicatie, Media, en Informatietechnologie

Informatica

Schaal- en onderhoudbaarheid 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
Afkortingenlijst	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 Functionele schaalbaarheid	8
2.2 Onderhoudbaarheid	9
2.3 Architectuur	10
3 Technieken	11
3.1 ISO 25010	11
3.2 De Twelve-Factor App	11
3.3 Schaalbaarheids-controle	12
3.3.1 Knelpunten	12
3.3.2 Onthullen van schaalbaarheids-aannames	12
3.3.3 Schaalstrategieën	12
3.3.4 Methoden voor schaalbaarheidsborging	12
3.4 Cloud providers	13
3.5 Infrastructure-as-Code	14
3.6 Policy-as-Code	14

3.7	Load scalability	15
3.8	Conclusie	15
4	Huidige situatie	17
4.1	Huidige Architectuur	17
4.2	Metingen	17
4.2.1	Structural scalability	18
4.2.2	Load scalability	19
4.2.3	Functional scalability	21
4.2.4	Onderhoudbaarheid	21
4.3	Conclusie	22
5	Verbeteringen	23
6	Implementatie	25
7	Requirements	27
8	Aanbevelingen	29
9	Conclusie	31
A	Code	33
A.1	Docker-compose opstelling voor k6, InfluxDB & Grafana	33
A.2	Docker container exits	34
A.3	Docker container kill & restarts	35
B	Tabellen	37
B.1	Beyond the 12-factor app	37
	Literatuurlijst	39

Figurenlijst

4.1	Infrastructuur	18
-----	--------------------------	----

Tabellenlijst

1.1	Planning	5
-----	--------------------	---

Begrippenlijst

Extensibility	Product extensibility describes how easy it is to expand a product's feature set [1].
Kubernetes	Kubernetes is an open-source system for automating deployment, scaling, and management of containerized applications [2].
Docker	Docker is a tool designed to make it easier to create, deploy, and run applications by using containers [3].
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 [4].
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 [5].
Serverless Computing	En application defined as a set of event-triggered functions that execute without requiring the user to explicitly manage servers [6].
Infrastructure as Code	Infrastructure as code describes the idea of using a high-level programming language to control IT systems [7].
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 [8].
Chef	Deploy new code faster and more efficiently. Automate infrastructure and applications [9].
Puppet	Powerful infrastructure automation and delivery [10].
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 [11].

Cloud computing providers

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 [12].

Er bestaan veel cloud computing providers, waaronder bijvoorbeeld:

- Amazon web services
- DigitalOcean
- Microsoft Azure
- Google Cloud Platform

12-factor app

Een methodologie voor het bouwen van Software as a Service (SaaS) applications [13].

The Open Group Architecture Framework

A generic framework to build different IT architectures frameworks [14].

4+1 architectural view model

A model for describing the architecture of software-intensive systems, based on the use of multiple, concurrent views [15].

Afkortingenlijst

MI	Maintainability Index
CI	Continuous Integration
CD	Continuous Deployment
VU	Virtual User
EMS	Employee Management System
QoS	Quality of Service
AWS	Amazon Web Services
GCP	Google Cloud Platform
OPA	Open Policy Agent
PaC	Policies as Code
IaC	Infrastructure As Code
K8s	Kubernetes
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 [16] 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 [17]. Concreet zegt het positioneringsprofiel [18]: “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 [17].

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 [19].

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 [17].

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 Grafimediатеchnologie [20].

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 [17].

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

- Wat voor technieken voor schaal- en onderhoudbaarheid zijn toepaselijk voor Developers.nl?

- Hoe onderhoud- en schaalbaar zijn huidige systemen met betrekking tot de relevante kwaliteitsstandaarden?
- 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	Wat voor technieken voor schaal- en onderhoudbaarheid zijn toepas- selijk voor Developers.nl?
7, 8	Hoe onderhoud- en schaalbaar zijn huidige systemen met betrekking tot de relevante kwaliteitsstandaarden?
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 [21]. 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 [22]. Dit framework is te complex voor de scope van dit onderzoek, maar 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 [23] 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* [24] 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 (snellere) 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 [25]. 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 [23] omdat deze het meest relevant zijn met betrekking tot de probleemstelling. “application scalability” uit [24] heeft veel overlapping met de load scalability. Omdat load scalability iets generieker is en de twee definities van Weinstock en Goodenough [25] 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.

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.

2.1.1 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, en in hoeverre de code goed blijft functioneren naarmate de hoeveelheid verkeer toeneemt. 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. Functionele schaalbaarheid is een onderdeel van onderhoudbaarheid en extensibility maar onderscheidt zich door de complexiteitsgraad van algoritmes en “hard-coded” limieten mee te nemen in zijn definitie. Meer over de definitie van onderhoudbaarheid is te vinden 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” [26]. 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” [27]. 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.

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 [28]:

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

ISO 25010 [29] 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 [30]–[33]. Enerzijds is het een duidelijk nummer om een indicatie te geven van de onderhoudbaarheid. Anderzijds is het uiteindelijk niet duidelijk welke aspecten precies voor het eindresultaat hebben gezorgd of welke acties er genomen moeten worden om de indicatie te verbeteren. Een andere methode om onderhoudbaarheid te meten is het model van I. Heitlager, T. Kuipers en J. Visser [33]. Dit model gebruikt echter een verouderd ISO standaard, namelijk ISO 9126 – de voorganger van ISO 25010 – en is dus niet relevant meer. Omdat ISO 25010 [29] de meest recente definitie heeft en over het algemeen wordt beschouwd als een effectief framework om software-kwaliteit te waarborgen, wordt in dit onderzoek deze definitie gebruikt als uitgangspunt.

2.3 Architectuur

P. Kruchten noemt dat software-architectuur zich bezig houdt met het ontwerp en de implementatie van de structuur op hoog niveau [15]. 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” [34]. Ook dit is een onduidelijke definitie, het is namelijk te algemeen.

L. Bass en P. Clements, definiëren de architectuur van software als het volgende [35]: “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 [36], [37] 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” [38]. The Open Group Architecture Framework (TOGAF) voegt nog een tweede definitie toe aan deze context [39]: “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 [35].

Hoofdstuk 3

Technieken

Deze paragraaf gaat over de deelvraag “Wat voor technieken voor schaal- en onderhoudbaarheid zijn toepasselijk voor Developers.nl?”.

3.1 ISO 25010

ISO-norm 25010 [29] is de opvolger van ISO-9126 en beschrijft software kwaliteitskenmerken in acht categorieën. Een categorie hiervan is onderhoudbaarheid. Elke categorie heeft een aantal subcategorieën, bij onderhoudbaarheid zijn dat:

Modulariteit: De mate waarin een systeem of computerprogramma opgebouwd is in losstaande componenten zodat wijzigingen van een component minimale impact heeft op andere componenten.

Herbruikbaarheid: De mate waarin een bestaand onderdeel gebruikt kan worden in meer dan één systeem of bij het bouwen van een nieuw onderdeel.

Analyseerbaarheid: De mate waarin het mogelijk is om effectief en efficiënt de impact, van een geplande verandering van één of meer onderdelen, op een product of systeem te beoordelen, om afwijkingen en/of foutoorzaken van een product vast te stellen of om onderdelen te identificeren die gewijzigd moeten worden.

Wijzigbaarheid: De mate waarin een product of systeem effectief en efficiënt gewijzigd kan worden zonder fouten of kwaliteitsvermindering tot gevolg.

Testbaarheid: De mate waarin effectief en efficiënt testcriteria vastgesteld kunnen worden voor een systeem, product of component en waarin tests uitgevoerd kunnen worden om vast te stellen of aan die criteria is voldaan.

TODO: Dit is rechtstreeks gekopieerd uit de wikipedia pagina, kan dat...?

Om de applicatie “onderhoudbaar” te noemen moeten alle subcategorieën voldoende worden vervuld. Er moet een analyse worden uitgevoerd per subcategorie over eventuele tekortkomingen.

3.2 De Twelve-Factor App

A. Wiggins [13] 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 (best-practices) die voor deze eigenschappen zorgen. Deze methodologie wordt vaak aangeraden door professionals, en is ook een methodologie die Developers.nl graag terug ziet in haar applicaties. Kritiek op de 12-factor app gaat voornamelijk over het feit dat het gelimiteerd is tot Heroku [40]. 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” [41]. 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. Hierdoor is de methodologie ook niet meer persé gericht op Heroku. Deze factoren zijn telemetry, security, en het concept “API first”. Eigenlijk is een betere benaming voor dit onderzoek dus de “Fifteen-Factor App”. In bijlage B.1 is een gevolg samen met een uitleg bij elke factor geplaatst. Zodra een factor te maken heeft met onderhoudbaarheid is er een subcategorie van ISO 25010 onderhoudbaarheid bij geplaatst. Alle 15 factoren zullen worden meegenomen bij het behandelen van de deelvragen.

3.3 Schaalbaarheids-controle

In het onderzoek van Weinstock en Goodenough [25] zijn een aantal manieren genoemd om de schaalbaarheid van een systeem te controleren.

3.3.1 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.

3.3.2 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.

3.3.3 Schaalstrategieën

Hier wordt bekeken wat voor verschillende tekortkomingen een schaalstrategie heeft. Zodra een systeem voor 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.

3.3.4 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)

3.4 Cloud providers

Momenteel worden de applicaties binnen Developers.nl gehost op een simpele, traditionele server van TransIP. Een overweging om te maken is of dit niet beter naar een cloud service provider kan worden verplaatst, aangezien dit mogelijk de onderhoudbaarheidslast vermindert. L. Wang *et al.* [42] definiëren cloud computing als “A computing Cloud is a set of network enabled services, providing scalable, QoS guaranteed, normally personalized, inexpensive computing infrastructures on demand, which could be accessed in a simple and pervasive way”. Volgens [43] zijn er drie verschillende categorieën van Cloud computing:

- Infrastructure as a Service (IaaS): Een virtueel aangeboden infrastructuur van rekenkracht en/of geheugen [44].
- Platform as a Service (PaaS): Een aangeboden platform voor ondersteuning van deployment, ontwikkelen en testen van applicaties [45].
- Software as a Service (SaaS): Een aangeboden (web)applicatie dat direct gebruikt kan worden [44].

Om te overwegen of een cloud provider bij de wensen van Developers.nl past worden de voor-en nadelen op een rijtje gezet:

Voordelen cloud: De kosten van cloud hosting zijn flexibel, er wordt alleen betaald voor wat er daadwerkelijk gebruikt wordt zolang er verstandig gebruik van wordt gemaakt. Dit betekent dat het erg kostenefficiënt is voor Developers.nl aangezien er tijdens de maandelijkse “Tech Nights” piekmomenten zijn op de website, en er heel weinig verkeer is op het EMS. In verband met de lage hoeveelheid verkeer op het EMS is “serverless computing” een goede oplossing om kosten te besparen. Een ander voordeel is dat er bijna een ongelimiteerde hoeveelheid opslagruimte beschikbaar is. Aangezien het CMS van de website dubbel functioneert als “file-server” en er veel foto’s worden geüpload is het fijn dat er geen rekening hoeft worden gehouden met de hoeveelheid opslag. Bovendien worden software updates automatisch uitgevoerd, software als K8s kunnen al inbegrepen zijn bij de infrastructuur en het maakt schalen gemakkelijker. Aangezien cloud providers meer middelen voor beveiliging hebben wordt de veiligheid ook een stuk verbeterd.

Voordelen traditioneel: Ook al is cloud hosting meer kostenefficiënt is het toch mogelijk dat een web host goedkoper uitkomt. Zolang er maar geen hoge piekmomenten zijn in het verkeer. Dit is dus niet van toepassing op Developers.nl

aangezien de “Tech Nights” of andere evenementen voor piekmomenten zorgen. **TODO: Huidige kosten?**

Nadelen cloud: Cloud providers hebben de mogelijkheid voor technische problemen buiten de controle van klanten, waardoor het mogelijk is dat er downtime ontstaat. Ook kan het duurder uitpakken zodra er niet goed word omgegaan met schalen.

Nadelen traditioneel: De mogelijkheid bestaat dat er meer kosten worden gemaakt dan nodig is. Ook is shared-hosting een risico omdat zodra een andere klant veel rekenkracht opeist de kans ontstaat dat de prestaties dalen.

Er zijn veel verschillende cloud providers, waarvan de grootste Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure en Google Cloud Platform (GCP) zijn. **TODO: kiezen welke**

3.5 Infrastructure-as-Code

De huidige infrastructuur van de Website en het EMS wordt opgebouwd met 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” [4]. Dit doet Ansible door middel van een techniek genaamd “Infrastructure-as-Code”. Zoals de structuur nu is opgebouwd word er voor elke applicatie een apart stuk IaC geschreven. Om modulariteit en herbruikbaarheid van ISO 25010 [29] te verbeteren is het mogelijk om één centrale, algemene infrastructuur repository te maken waar installaties (stukken code dus) als Docker of databases en user-management kunnen worden hergebruikt voor meerdere applicaties. Andere IaC tools als Chef, Puppet, of Terraform kunnen ook voor dit doeleinde worden gebruikt, maar aangezien Ansible al gebruikt wordt is het niet efficiënt om dit om te herschrijven naar iets anders.

3.6 Policy-as-Code

Door policies zijn er duidelijke standaarden waaraan moet voldaan. Policies kunnen in meerdere vormen voorkomen [46], waaronder:

- **Compliance Policies.** Deze policies verzekeren dat nieuwe toevoegingen voldoen aan standaarden als bijvoorbeeld AVG of SOC.
- **Security Policies.** Deze policies verdedigen de integriteit van de infrastructuur door bijvoorbeeld te verzekeren dat bepaalde poorten niet open staan.
- **Operational Excellence.** Deze policies voorkomen uitval of verslechtering van geleverde services, bijvoorbeeld door nieuwe configuratie te valideren.

Vóór policy-as-code (PaC) werden deze policies opgeschreven door iemand en handmatig gecontroleerd. De – nog vrij nieuwe – techniek PaC richt zich op het automatiseren van dit proces door policies te kunnen definiëren in de vorm van code. Dit zorgt ervoor dat configuratie getest, peer-reviewed, opgeslagen kan worden in versiebeheer, geautomatiseerd en kan worden hergebruikt. Dit sluit goed aan met de huidige Infrastructure-as-Code (IaC) oplossing die Developers.nl gebruikt voor het inrichten van haar servers.

Het automatiseren van deze kwaliteitscontroles verhoogt de onderhoudbaarheid aanzienlijk. Als we uitgaan van de ISO-25010 definitie van onderhoudbaarheid [29]

zorgt het omzetten van een handmatige naar een geautomatiseerde controle voor betere analyseerbaarheid op veranderingen van de systemen, omdat afwijkingen en/of fouten gemakkelijker worden vastgesteld. Daarnaast zijn policies in principe testcriteria, waardoor als gevolg ook de testbaarheid van de systemen stijgt bij het implementeren van policies as code. Ook zorgen policies voor wijzigbaarheid, aangezien het systeem gewijzigd kan worden zonder fouten of kwaliteitsverminderingen als gevolg omdat het simpelweg niet geïmplementeerd mag worden zodra een wijziging niet aan een policy voldoet. Bovendien zijn security policies handig voor het beschermen van de gevoelige data dat het EMS bevat.

Er zijn twee technieken om PaC te implementeren. HashiCorps “Sentinel” en “Open Policy Agent” (OPA). In verband met de reden dat Sentinel closed-source is wordt er gekozen om OPA te gebruiken, dit past beter bij de bedrijfscultuur en slogan van Developers.nl. Ook is Sentinel alleen toepasbaar op hashiCorp producten, waardoor de techniek een stuk beperkter is.

3.7 Load scalability

De definitie van load scalability luidt als volgt: “Het vermogen van een systeem om elegant te presteren naarmate het aangeboden verkeer toeneemt”. Om dit te kunnen waarborgen zijn twee technieken leidend in de context van Docker, namelijk Docker Swarm of Kubernetes (K8s). Dit zijn zogenaamde “container orchestration” tools die helpen bij het automatiseren van alle aspecten behorend bij het beheren van containers. Over het algemeen is Swarm een stuk gemakkelijker en minder complex dan K8s. Dit zou betekenen dat als er rekening wordt gehouden met onderhoudbaarheid, swarm de beste keuze is om te gebruiken. Maar om de grootste hoeveelheid controle over de containers te hebben is K8s de juiste tool. Ook wordt K8s beter ondersteund door cloud providers doordat AWS, GCP, en Azure een speciale service bieden om K8s toe te passen. Dit heeft te maken met het feit dat de community van K8s ook een stuk groter is vergeleken met Swarm. Het is wel mogelijk om Swarm te gebruiken met de cloud services maar het er is geen out-of-the-box service zoals er bij K8s wel is.

3.8 Conclusie

Door een systeem te controleren op de ISO-norm 25010, de 15-Factor App en de controle van Weinstock en Goodenough is te concluderen of een systeem schaal- en onderhoudbaar is. Om de kenmerken modulariteit en herbruikbaarheid van ISO 25010 te verbeteren kan er een centrale infrastructuur IaC repository gemaakt worden met Ansible. Om de kenmerken analyseerbaarheid, testbaarheid en wijzigbaarheid te verbeteren kunnen policies worden afgedwongen door middel van PaC.

Hoofdstuk 4

Huidige situatie

Dit hoofdstuk gaat over de deelvraag “Hoe onderhoud- en schaalbaar zijn huidige systemen met betrekking tot de relevante kwaliteitsstandaarden?”. Dit wordt beantwoord

4.1 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 4.1 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)

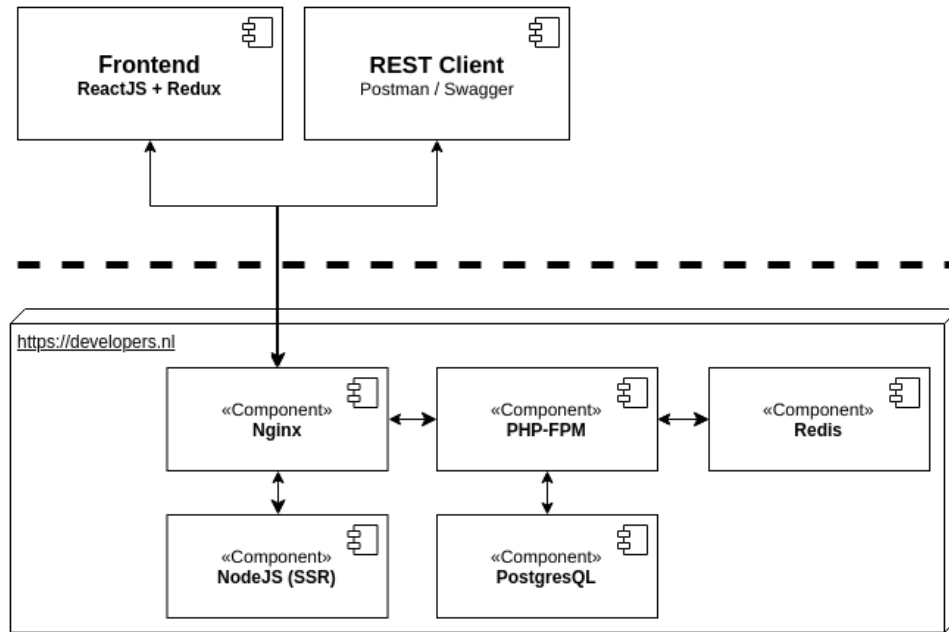
PHP-FPM is een FastCGI Process Manager, deze Container serveert de Symfony “FosREST” API en het Content Management Systeem. De NodeJS container serveert een statische Next.js React applicatie en maakt gebruik van Server Side Rendering. Er zit een Nginx reverse proxy in die kiest om een request naar de 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.

4.2 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.



FIGUUR 4.1: Infrastructuur website front-en backend [47]

4.2.1 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 horen factor 2 (**API First**) en 5 (**Configuration, credentials, and code**) van de 15-factor app.

API First

De website van Developers.nl is momenteel in 2 delen gesplitst: de React Front-end en de PHP API als back-end. Deze worden apart ontwikkeld, waardoor dus het principe altijd wordt toegepast. Daarnaast heeft het EMS geen API, en is dus out-of-scope.

Configuration

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 5 te voldoen moet 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.

4.2.2 Load scalability

Definitie: Het vermogen van een systeem om elegant te presteren naarmate het aangeboden verkeer toeneemt. Bij load scalability horen factor 12 (**stateless processes**), 13 (**concurrency**) en 7 (**disposability**) van de 15-factor app methodologie.

Stateless processes

Factor 12 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.

Concurrency

Voor factor 13 is het van belang dat een applicatie horizontaal uit te schalen is. Zolang de applicatie aan factor 7 (Disposability) en 12 (Stateless processes) voldoet zit deze factor goed [41].

Disposability

Voor factor 7 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 7 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, de outputs zijn te zien in Bijlage A.2.

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. In bijlage A.3 is te zien dat alle containers na een `docker kill` zonder problemen weer kunnen opstarten.

Weinstock & Goodenough controle

Om de schaalbaarheid te waarborgen zullen de 3 methoden van Weinstock en Goodenough [25] uitgevoerd worden. Performance curves zullen worden gevisualiseerd, knelpunten zullen worden uitgelicht en een SWOT analyse op de schaalbaarheid zal worden uitgevoerd.

Om de performance curves te visualiseren zal een load-test worden uitgevoerd. Er zijn hier meerdere tools voor vergeleken, waaronder:

- <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 eenvoudige manier om de hoeveelheid Virtual Users (VU) geleidelijk te verhogen. Om de uitkomsten te visualiseren is InfluxDB samen met Grafana gebruikt. In bijlage B.1 is de implementatie hiervan te vinden.

TODO: PERFORMANCE CURVES

Één limiterende factor bij het schalen van de website is de hoeveelheid opslag. Voornamelijk omdat het CMS dubbel functioneert als “file-server”. Daarnaast bevat de content van de website een grote hoeveelheid foto’s en video’s, waardoor het opslaggebruik snel kan oplopen. Door het commando `$ df -h` is te zien dat 27G – oftewel 57% – van de totale 49G wordt gebruikt.

Filesystem	Size	Used	Avail	Use%	Mounted on
/dev/vda1	49G	27G	21G	57%	/

Bij nader onderzoek is te zien dat de directory die gebruikt wordt voor statische bestanden (waar ook de geüploade bestanden in zitten) maar `278M` in beslag neemt, dus er is nog veel ruimte (21G) voor uitbreiding in dit aspect en zal voor een redelijk lange tijd geen probleem vormen:

```
root@developers:/etc/developers.nl# du -shc ./static/
278M      ./static/
```

Omdat 27G nogal veel leek voor wat er op de server draait is er nog onderzoek gedaan naar de oorzaak. Het bleek dat er nog erg veel oude Docker volumes en images op de website stonden. Na een `$ docker system prune --volumes` en een `$ docker image prune -a` is er nog 14G vrijgemaakt:

Filesystem	Size	Used	Avail	Use%	Mounted on
/dev/vda1	49G	13G	34G	28%	/

Qua schaalbaarheid is dit dus een verbeterpunt. De images en volumes moeten eigenlijk automatisch worden opgeschoond.

Een andere factor zou kunnen zijn dat de rate-limits van externe API’s wordt bereikt. De twee externe API’s die nu worden gebruikt zijn `meetup.com` voor de TechNights en `bullhorn.com` voor de vacatures. Voor Bullhorn heeft developers.nl de “Enterprise Edition”, dit betekend dat Developers.nl 50 API sessies tegelijk kan hebben, en maximaal 2.000.000 calls per dag heeft. Aangezien de website niet dichtbij deze getallen komt, en hoogstwaarschijnlijk op lange termijn niet gaat halen zit dit goed. Toch worden de responses gecached in Redis waardoor de calls nog minder zullen zijn. Voor de API van Meetup zijn er maximaal 200 requests per uur en maximaal 200 results per request. Ook dit verkeer heeft de website voorlopig nog niet, maar om toch zeker te zijn dat dit niet wordt bereikt worden ook deze responses in Redis opgeslagen. De cachemethode is generiek genoeg opgezet waardoor het voor toekomstige API’s ook kan worden toegepast. Het is (nog) niet nodig om een SWOT analyse uit te voeren, aangezien er nog geen schaalstrategie in plaats is.

4.2.3 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.

4.2.4 Onderhoudbaarheid

De definitie van onderhoudbaarheid waarvan wordt uitgegaan in dit onderzoek luidt als volgt: “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”. Om de onderhoudbaarheid van de huidige infrastructuur te analyseren worden de vijf subcategorieën van ISO-25010 [29]; Modulariteit, Herbruikbaarheid, Analyseerbaarheid, Wijzigbaarheid en Testbaarheid individueel behandeld.

Modulariteit

De mate waarin een systeem of computerprogramma opgebouwd is in losstaande componenten zodat wijzigingen van een component minimale impact heeft op andere componenten.

De website van Developers.nl is opgebouwd in twee applicaties, de Node & React frontend samen met de PHP & Symfony backend. Een wijziging in één van de API endpoints van de backend zou kunnen betekenen dat de frontend breekt. Om dit te voorkomen is een versioning systeem ¹ geïmplementeerd waardoor er zonder problemen individueel de front-of backend gedeployed kan worden.

Voor de 15-Factor App geldt Factor 1 (**One codebase, one application**), 3 (**Dependency management**) en 8 (**Backing services**). Factor 1 vereist dat er per applicatie één enkele codebase is. De huidige situatie is dat er één repository is voor de back-end van de website, één voor de front-end van de website, en één voor het EMS. De regel wordt gebroken omdat het opbouwen van de infrastructuur met Ansible op elke repository voorkomt. Om dit op te lossen zou er een enkele repository moeten zijn waar alle Ansible infrastructuur in staat. Om aan Factor 3 te voldoen wordt Composer gebruikt voor het managen van de dependencies. Daarnaast worden waardes als de database host of het Redis adres in environment variabelen opgeslagen, waardoor factor 8 wordt voldaan. Om dit te implementeren worden backing services gedefinieerd als een handle, deze ziet er voor de database als volgt uit: `postgresql://username:password@developers.nl/database`

Herbruikbaarheid

De mate waarin een bestaand onderdeel gebruikt kan worden in meer dan één systeem of bij het bouwen van een nieuw onderdeel.

Hoewel de Docker containers en Ansible infrastructuur generiek zijn opgesteld zijn er toch specifieke aanpassingen voor de website en voor het EMS. Dit betekent dat bijvoorbeeld de PHP Docker image van de website niet dezelfde is als de PHP Docker image voor het EMS. Ook is de door-ansible-opgebouwde infrastructuur nog niet herbruikbaar voor meerdere projecten, aangezien het in dezelfde codebase zit als de applicatie.

¹Voor de API wordt FOSRestBundle gebruikt, deze heeft een eigen implementatie van versioning, zie: <https://symfony.com/doc/master/bundles/FOSRestBundle/versioning.html>

Analyseerbaarheid

De mate waarin het mogelijk is om effectief en efficiënt de impact, van een geplande verandering van één of meer onderdelen, op een product of systeem te beoordelen, om afwijkingen en/of foutoorzaken van een product vast te stellen of om onderdelen te identificeren die gewijzigd moeten worden.

Voor de 15-Factor App geldt Factor 6 (**Logs**), 10 (**Administrative processes**) en 14 (**Telemetry**).

Voor factor 6 is het belangrijk dat alle relevante logs naar de `stdout` worden gestuurd, dit gebeurt voor alle containers waardoor de logs gemakkelijk te zien zijn via `$ docker logs <container>`. Voor factor 10 moeten alle administrative processes als individuele processen gedraaid worden. Deze processen als bijvoorbeeld database migrations zijn een simpel commando. In het geval van database migrations is dit `$ bin/console doctrine:migrations:migrate`². Deze commando's worden meegenomen bij het bouwen van de docker image waardoor het automatisch wordt uitgevoerd, maar wél als een apart proces. Factor 14 vertelt dat de applicatie voldoende moet gemonitord worden. Er zijn voor zowel het EMS als de website geen monitoring tools in gebruik voor performance. Wel is Sentry geïmplementeerd, een monitoring tool die gericht is op errors.

Wijzigbaarheid

De mate waarin een product of systeem effectief en efficiënt gewijzigd kan worden zonder fouten of kwaliteitsvermindering tot gevolg.

Voor de 15-Factor app geldt Factor 4 (**Design, build, release and run**), 9 (**Environment parity**) en 11 (**Port binding**). Factor 4 is volledig van kracht, allereerst is de design fase het beslissen wat voor features er in de volgende release komen. De build stage is het bouwen van de Docker images om die klaar te maken voor de volgende fase – release – waar de Docker images in de environment worden geplaatst en uiteindelijk voor de laatste fase gerund worden. Factor 9 vereist dat verschillende environments als development, test en productie zo gelijk mogelijk aan elkaar zijn. Docker maakt dit een stuk gemakkelijker, en is geïmplementeerd in zowel het EMS als de website. De verschillen tussen environments zijn minimaal. Factor 11 vereist dat applicaties services via port binding exporteren. Voor PHP is dit niet de best ondersteunde manier van werken, aangezien PHP ontworpen is om een webserver te gebruiken. Er is wel een library voor beschikbaar genaamd ReactPHP, maar dit is redelijk onbekend en heeft dus als gevolg niet voldoende ondersteuning om PHP-FPM samen met Nginx weg te concurreren.

Testbaarheid

De mate waarin effectief en efficiënt testcriteria vastgesteld kunnen worden voor een systeem, product of component en waarin tests uitgevoerd kunnen worden om vast te stellen of aan die criteria is voldaan.

TODO: Hoe te meten?

4.3 Conclusie

²Dit is onderdeel van de DoctrineMigrationsBundle, zie:
<https://symfony.com/doc/master/bundles/DoctrineMigrationsBundle/index.html>
voor meer informatie.

Hoofdstuk 5

Verbeteringen

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

Hoofdstuk 6

Implementatie

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

Hoofdstuk 7

Requirements

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

Hoofdstuk 8

Aanbevelingen

Kaas

Hoofdstuk 9

Conclusie

Kaas

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:

```

1  version: '3.4'
2
3  networks:
4    k6:
5    grafana:
6
7  services:
8    influxdb:
9      image: influxdb:1.5.4
10     networks:
11       - k6
12       - grafana
13     ports:
14       - "8086:8086"
15     environment:
16       - INFLUXDB_DB=k6
17
18     grafana:
19       image: grafana/grafana:6.4.1
20       networks:
21         - grafana
22       ports:
23         - "3000:3000"
24       environment:
25         - GF_AUTH_ANONYMOUS_ORG_ROLE=Admin
26         - GF_AUTH_ANONYMOUS_ENABLED=true
27         - GF_AUTH_BASIC_ENABLED=false
28       volumes:
29         - ./grafana/datasource.yml:/etc/grafana/provisioning/datasources/datasource.yml
30
31     k6:
32       image: loadimpact/k6:0.25.1
33       networks:

```

```

34     - k6
35     ports:
36     - "6565:6565"
37     environment:
38     - K6_OUT=influxdb=http://influxdb:8086/k6
39     volumes:
40     - ../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:

```

1  import http from "k6/http";
2  import { sleep, check } from "k6";
3
4  export let options = {
5    stages: [
6      { duration: "10s", target: 20 },
7      { duration: "10s", target: 40 },
8      { duration: "10s", target: 60 },
9    ]
10 };
11
12 export default function() {
13   check(http.get("https://test.developers.nl/"), {
14     "is status 200": (r) => r.status === 200
15   });
16   sleep(1);
17 };

```

A.2 Docker container exits

PostgreSQL

```

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

```

PHP-FPM

```

1  NOTICE: Terminating ...
2  NOTICE: exiting, bye-bye!

```

Redis

```
1 1:signal-handler (1570781278) Received SIGTERM scheduling shutdown...
2 # User requested shutdown...
3 * Saving the final RDB snapshot before exiting.
4 * DB saved on disk
5 * Removing the pid file.
6 # Redis is now ready to exit, bye bye...
```

Nginx

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

A.3 Docker container kill & restarts

```
1 $ docker ps -q
2 d0829783af18
3 f72e9967771b
4 01dd48ff5a59
5 fab794731d47
6 ca510c065d11
7 3ee85578efb5
8
9 $ docker kill $(docker ps -q)
10
11 $ docker ps
12 d0829783af18
13 f72e9967771b
14 01dd48ff5a59
15 fab794731d47
16 ca510c065d11
17 3ee85578efb5
18
19 $ docker ps -q
20
21 $ docker start $(docker ps -aq)
22 d0829783af18
23 f72e9967771b
```

```
24 01dd48ff5a59
25 fab794731d47
26 d68d7ab9809c
27 ca510c065d11
28 3ee85578efb5
29 e1866ab6c1af
30
31 $ docker ps -q
32 d0829783af18
33 f72e9967771b
34 01dd48ff5a59
35 fab794731d47
36 ca510c065d11
37 3ee85578efb5
```

Bijlage B

Tabellen

B.1 Beyond the 12-factor app

In deze tabel worden de 15 factoren behandeld.

Factor	Naam	Gevolg	Waarom?
1	One codebase, one application	Onderhoudbaarheid (Modulariteit)	Een applicatie is een losstaand component waardoor wijzigingen minimale impact hebben op andere componenten.
2	API first	Structural scalability	Door de API op de eerste rang te zetten van het development proces wordt de mogelijkheid gecreëerd om met elkaars contracten te communiceren zonder interne ontwikkelingsprocessen te verstoren. Zo kunnen veel nieuwe services gemakkelijker worden toegevoegd.
3	Dependency management	Onderhoudbaarheid (modulariteit)	Gemakkelijk opzetten van project voor nieuwe ontwikkelaars.
4	Design, build, release, and run	Onderhoudbaarheid (wijzigbaarheid)	Door duidelijke stadia te definiëren worden wijzigingen aan de applicatie sneller in productie geplaatst.
5	Configuration, credentials, and code	Structural scalability	Environment variabelen zijn niet in omgevingen maar per deployment opgezet, zo maakt de hoeveelheid omgevingen niet uit.
6	Logs	Onderhoudbaarheid (analyseerbaarheid)	Door logs naar de <code>stdout</code> te sturen is het gemakkelijker om specifieke fouten te vinden, overzicht te creëren en actief meldingen te versturen naar ontwikkelaars.
7	Disposability	Load scalability	Door processen gemakkelijk te laten stoppen en starten gaat het schalen een stuk sneller.

8	Backing services	Onderhoudbaarheid (modulariteit)	Door backing services als “attached resources” te behandelen maakt het niet uit welke techniek er wordt gebruikt en zijn deze dus los gekoppeld.
9	Environment parity	Onderhoudbaarheid (wijzigbaarheid)	Er kan een stuk vaker gedeployed worden naar een specifieke omgeving, doordat alle omgevingen zo goed als gelijk aan elkaar zijn.
10	Administrative processes	Onderhoudbaarheid (analyseerbaarheid)	Door commands in versiebeheer op te slaan is er een duidelijk overzicht en een geschiedenis van alle “one-off processes” die gebeuren.
11	Port binding	Onderhoudbaarheid (wijzigbaarheid)	Door HTTP als een service te beschouwen ontstaat er meer controle over lagere levels van de infrastructuur (HTTP & TCP).
12	Stateless processes	Load scalability	Mede door de shared-nothing architectuur kan het systeem gemakkelijker schalen.
13	Concurrency	Load scalability	Door gegevens van de applicatie in productie goed te kunnen monitoren is op te maken hoe de applicatie zich gedraagt. Zodra er iets fout is kan er meteen op worden gereageerd.
14	Telemetry	Onderhoudbaarheid (Analyseerbaarheid)	
15	Authentication and authorization	Security	Een cloud-native applicatie moet veilig zijn, aangezien de code over meerdere data centers wordt getransporteerd en door veel verschillende cliënten wordt benaderd.

Literatuurlijst

- [1] Magento. (2019). Extensibility and modularity, [Online]. Available: <https://devdocs.magento.com/guides/v2.3/architecture/extensibility.html>.
- [2] The Linux Foundation. (2019). Production-grade container orchestration, [Online]. Available: <https://kubernetes.io>.
- [3] Docker Inc. (2019). Enterprise container platform for high-velocity innovation, [Online]. Available: <https://docker.com>.
- [4] Red Hat inc. (2019). How ansible works, [Online]. Available: <https://www.ansible.com/overview/how-ansible-works>.
- [5] Amber Ankerholz. (Apr. 2016). 8 container orchestration tools to know, [Online]. Available: <https://www.linux.com/news/8-open-source-container-orchestration-tools-know/>.
- [6] A. Pérez, G. Moltó, M. Caballer, and A. Calatrava, "Serverless computing for container-based architectures", Feb. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.01.022>.
- [7] 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>.
- [8] Red hat inc. (2019). Ansible tower, [Online]. Available: <https://www.ansible.com/products/tower>.
- [9] Chef. (2019). Chef, [Online]. Available: <https://chef.io>.
- [10] Puppet. (2019). Unparalleled infrastructure automation and delivery, [Online]. Available: <https://puppet.com>.
- [11] HashiCorp. (2019). Introduction to terraform, [Online]. Available: <https://www.terraform.io/intro/index.html>.
- [12] 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>.
- [13] A. Wiggins, "The twelve-factor app", 2017. [Online]. Available: <https://12factor.net>.
- [14] D. D. Gereld Weber, *Trends in Enterprise Application Architecture*. Feb. 2006, vol. 4437.
- [15] P. Kruchten, "Architectural blueprints—the "4+1" view model of software architecture", pp. 42–50, Nov. 1995.
- [16] 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>.
- [17] K. de Munter, "Stageplan en oriëntatie developers.nl", 2017.

- [18] Developers.nl, "Positioneringsprofiel developers.nl", 2018.
- [19] 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.
- [20] K. de Munter, "Afstudeervoorstel", 2019.
- [21] M. D. Hill, "What is scalability?", vol. 18, pp. 18–21, 4 Dec. 1990. [Online]. Available: <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=121975>.
- [22] 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>.
- [23] 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>.
- [24] M. A.-E.-B. Hesham El-Rewini, *Advanced computer architecture and parallel processing*. 2005.
- [25] J. B. G. Charles B. Weinstock, "On system scalability", 2006. [Online]. Available: <http://resources.sei.cmu.edu/library/asset-view.cfm?AssetID=7887>.
- [26] A. A. T. Penny Grubb, *Software Maintenance: Concepts And Practice (Second Edition)*. River Edge, N.J.: World Scientific, 2003, vol. 2.
- [27] IEEE, "Standard glossary of software engineering terminology", IEEE 610.12, 1990.
- [28] J. K. C. Krishan K. Aggarwal Yogesh Singh, "An integrated measure of software maintainability", 2002. DOI: <https://doi.org/10.1109/RAMS.2002.981648>.
- [29] ISO, "Software product quality", International Organization for Standardization, Geneva, CH, ISO 25010, 2011.
- [30] O. T. Berna Seref, "Software code maintainability: A literature review", vol. 7, 3 May 2016. [Online]. Available: <http://aircconline.com/ijsea/V7N3/7316ijsea05.pdf>.
- [31] R. Niedermayr, "Why we don't use the software maintainability index", Mar. 2016. [Online]. Available: <https://www.cqse.eu/en/blog/maintainability-index>.
- [32] 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/>.
- [33] J. V. Ilja Heitlager Tobias Kuipers, "A practical model for measuring maintainability", 2007. [Online]. Available: <https://www.softwareimprovementgroup.com/wp-content/uploads/2016/10/APracticalModelForMeasuringMaintainability.pdf>.
- [34] S. T. Albin, *The art of software architecture: design methods and techniques*. Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, Indiana, Mar. 2003, vol. 9, ISBN: 9780471468295.
- [35] P. C. Len Bass, *Software Architecture in Practice*. Pearson Education (US), Sep. 2012, ISBN: 9780321815736.
- [36] E. W. Nick Rozanski, *Software Systems Architecture: Working with Stakeholders Using Viewpoints and Perspectives*. Nov. 2011, ISBN: 9780132906074.

- [37] R. K. Humberto Cervantes, *Designing Software Architectures: A Practical Approach*. Addison-Wesley Professional, 2016, ISBN: 9780134390789.
- [38] IEEE, "Standard glossary of software engineering terminology", ISO/IEC/IEEE std. 42010, 2011.
- [39] 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>.
- [40] B. Horowitz, "Mra, part 5: Adapting the twelve-factor app for microservices", *Nginx, Inc.*, Jul. 2016.
- [41] K. Hoffman, *Beyond the Twelve-Factor App – Exploring the DNA of Highly Scalable, Resilient Cloud Applications*. O'Reilly Media, Inc., Apr. 2016, ISBN: 9781491944011.
- [42] L. Wang, G. von Laszewski, M. Kunze, and J. Tao, "Cloud computing: A perspective study", pp. 1–11, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00354-008-0081-5>.
- [43] D. Chappell, "A short introduction to cloud platforms – an enterprise-oriented view", Aug. 2008.
- [44] A. Apostu, F. C. Puican, G. Ularu, G. Suci, and G. Todoran, "Study on advantages and disadvantages of cloud computing – the advantages of telemetry applications in the cloud", 2013.
- [45] J. F. S. William Y. Chang Hosame Abu-Amara, *Transforming Enterprise Cloud Services*. 2010, ISBN: 9789048198450.
- [46] A. DadGar, "Why policy as code?", *HashiCorp, Inc.*, Jan. 2018. [Online]. Available: <https://www.hashicorp.com/blog/why-policy-as-code/>.
- [47] Developers.nl. (2019). Documentatie interne systemen developers.nl.