



Hochschule für angewandte Wissenschaften München
Fakultät für Informatik und Mathematik

Bachelorarbeit zum Thema:

Entwurf und Bereitstellung von Microservices mit Kubernetes am Beispiel eines CRM-Systems

Zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Science

Vorgelegt von: Simon Hirner

Matrikelnummer: 02607918

Studiengang: Wirtschaftsinformatik

Betreuer: Prof. Dr. Torsten Zimmer

Abgabedatum: 04.02.2022

Abstract

Bei immer mehr moderne Webanwendungen findet das Architekturmuster der Microservices anwendung. Dieser Trend verändert nicht nur den Entwurf und die Implementierung von Anwendungen, sondern hat auch erhebliche Auswirkungen auf die Bereitstellung und den Betrieb.

In dieser Bachelorarbeit wird der Entwurf und die Bereitstellung von Microservices mithilfe von Kubernetes analysiert.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	I
Tabellenverzeichnis	II
Quellcodeverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Aufbau der Arbeit	3
2 Theoretische Grundlagen	4
2.1 DevOps	4
2.2 Microservices	5
2.2.1 Vorteile	8
2.2.2 Herausforderungen	9
2.2.3 Architektur	10
2.2.4 Integration und Kommunikation	11
2.3 Docker	12
2.3.1 Docker Image	13
2.3.2 Dockerfile	14
2.3.3 Container	14
2.4 Kubernetes	14
2.4.1 Aufbau	15
2.4.2 Objekte	16
2.4.3 Kubectrl	17
2.4.4 Minikube	17
3 Erläuterung Fallstudie	18
3.1 Anwendungseinsatz	18
3.2 Anwendungsfunktionen	18
4 Entwurf der Microservices	18
4.1 Makro-Architektur	19
4.2 Micro-Architektur	19
5 Implementierung	20
5.1 Microservices	20
5.2 Frontend	20

6	Bereitstellung mit Kubernetes	20
6.1	Containerisierung	20
6.2	Bereitstellung	20
6.3	Skalierung	20
6.4	Lastverteilung	20
7	Schlussbetrachtung	21
7.1	Diskussion	21
7.2	Ausblick	21
	Literatur	V
	Selbstständigkeitserklärung	VII

Abbildungsverzeichnis

1	Kategorisierung von Unternehmen [Halstenberg et al., 2020, S. 11]	5
2	Beispielhafter Aufbau einer monolithischen Architektur	6
3	Beispielhafter Aufbau einer Microservice-Architektur	6
4	Vergleich Virtualisierung mittels Hypervisor und Container	13
5	Weg vom Dockerfile zum Container	14
6	Aufbau eines Kubernetes Cluster	16
7	Entwurf des CRM-Systems	19

Tabellenverzeichnis

Quellcodeverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

USD US-Dollar

CRM-System Customer-Relationship-Managment-System

UNIX Uniplexed Information and Computing Service

SOA Serviceorientierte Architektur

API Application Programming Interface

CI Continuous Integration

CD Continuous Delivery

REST Representational State Transfer

HTTP Hypertext Transfer Protocol

URI Unified Resource Identifier

B2C Business-to-Customer

1 Einleitung

“Veränderungen begünstigen nur den, der darauf vorbereitet ist.”

– Pasteur, 1933, S. 348

Die IT-Branche befindet sich in einem erheblichen Wandel. Neue Methoden und Werkzeuge revolutionieren die Software-Welt. Angefangen hat es mit der Verbreitung von Cloud Computing. Bei den damit einhergehenden großen verteilten Systemen wurde es immer schwieriger den Betrieb des Systems von der Architektur des Systems zu trennen. Daraus resultierte DevOps. Ein Ansatz, welcher das stärkere Zusammenarbeiten von Softwareentwicklung und IT-Betrieb fördert und fordert. Mit dem Architekturmuster der Microservices lassen sich die Ziele von DevOps bereits im Entwurf von Anwendungen einbringen. Containervirtualisierung erleichtert die Bereitstellung der einzelnen Microservices und neue Werkzeuge wie Kubernetes helfen dabei die große Anzahl an Containern zu managen. Zusammen bilden all diese Veränderungen den Grundstein für moderne Anwendungen bestehend aus containerisierten Microservices, welche mit Kubernetes verwaltet werden.

Die beiden Softwareentwickler Kubernetes Brendan Burns und David Oppenheimer, welche Kubernetes mitentwickelten, halten diese Veränderungen sogar ähnlich revolutionär wie die Popularisierung der objektorientierten Programmierung [Burns und Oppenheimer, 2016, S. 1]. Der Cloud-Experte John Arundel denkt, dass aufgrund dieser Revolutionen die Zukunft in containerisierten, verteilten Systemen liegt, die auf der Kubernetes-Plattform laufen [Arundel und Domingus, 2019, S. 1].

In dieser Arbeit werden die Revolutionen miteinander verbunden, um die Merkmale und den Nutzen von containerisierten Microservices vom Entwurf bis zur Bereitstellung kennenzulernen. Zu Beginn der Arbeit wird in diesem Kapitel die Motivation, die Zielsetzung sowie der Aufbau der Arbeit beschrieben.

1.1 Motivation

DevOps wird von immer mehr Unternehmen adaptiert, um die Geschwindigkeit und Qualität zu erhöhen. Eine umfangreiche Umfrage geben 83% aller befragten IT-Entscheidungssträger an, dass ihre Organisation bereits DevOps-Praktiken einsetzt [Puppet, 2021, S. 10].

Der Übergang zu Microservice-Architekturen ist in vollem Gange. Vor allem im unternehmerischen Umfeld werden immer mehr monolithische Anwendungen in Microservices aufgespalten. Die Verbreitung wird auch noch in den nächsten Jahren zunehmen und es ist nicht mit einer Trendwende zu rechnen. Das Marktvolumen für Microservices in der Cloud wurde 2020 auf 831 Millionen US-Dollar (USD) geschätzt. Bis zum Jahre 2026 soll der Markt mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 21.7% auf 2701 Millionen USD anwachsen [Mordor Intelligence, 2020, S. 7].

Die Verwendungsweise wird maßgeblich beeinflusst durch neue Technologien [Newman et al., 2015, S. 16]. Containervirtualisierung erleichtert die Bereitstellung der einzelnen Microservices. Container werden auch über Microservices hinweg verwendet und sind aus der heutigen IT-Landschaft nicht mehr wegzudenken. Google startet über zwei Milliarden Container pro Woche [Liebel, 2021, S. 43].

Kubernetes ist der Branchenstandard und die Grundlage für moderne Webanwendungen [Arundel und Domingus, 2019, Vorwort]. Bei einer Umfrage zeigt sich, dass 91% der Befragten Kubernetes zur Containerorchestrierung einsetzen [Cloud Native Computing Foundation, 2020, S. 8]. Alle großen Cloud-Anbieter wie Google Cloud, Amazon Web Services und Microsoft Azure setzen Kubernetes ein.

Es kann also zweifelsfrei behauptet werden, dass Microservices und Kubernetes im Trend sind und in Zukunft auch weiter ansteigen werden. Die Kombination dieser Methoden und Werkzeugen ergänzt sich perfekt und ist die Zukunft für große Systeme. Jedoch sind die Technologien diffizil und bringen neben zahlreichen Vorteilen auch viele Herausforderungen mit sich. Deshalb ist es von großer Bedeutung die Technologien in ihrer Gesamtheit zu verstehen und anwenden zu können. In dieser Arbeit wird sich deshalb der Entwurf und die Bereitstellung von Microservices mit Kubernetes widmen.

Wissen und Fähigkeiten auf diesem Gebiet sind für die Zukunft unabdingbar.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist es eine mit dem aktuellen Stand der Technik entsprechende moderne Webanwendung nach der Microservice-Architektur zu entwerfen und mithilfe von Kubernetes bereitzustellen. Dazu soll zuerst ein aktueller Stand der Technik beschrieben werden um anschließend eine Fallstudie durchzuführen. Die Fallstudie wird am Beispiel eines Customer-Relationship-Management-Systems (CRM-Systems) durchgeführt. In der Fallstudie soll ein Verfahren vom Entwurf bis zur Bereitstellung in einem DevOps-Umfeld implementiert werden. Um Aussagen zum Anwendungsgebiet und der Realisierung von containerisierten Microservices mit Kubernetes zu treffen, sollen geklärt werden,

- welche Anwendungsmöglichkeiten sowie Vorteile Microservices bieten,
- wobei Containervirtualisierung sowie Kubernetes den Einsatz von Microservices unterstützt,
- wie eine Microservice-Architektur entworfen werden kann,
- wie Microservices mit Kubernetes bereitgestellt werden können und
- welche Nachteile und Herausforderungen sich daraus ergeben.

1.3 Aufbau der Arbeit

Als Erstes wird in Kapitel 2 der aktuelle Stand der Technik beschrieben. Es wird DevOps, das Architekturmuster der Microservices, Containervirtualisierung sowie Kubernetes genauer erklärt. Auf Basis dieser theoretischen Grundlagen wird die Fallstudie durchgeführt. In Kapitel 3 wird zuerst die Problemstellung beschrieben. Danach wird in Kapitel 4 der Entwurf und in Kapitel 5 die Implementierung der Microservices erläutert. Anschließend wird in Kapitel 6 die Bereitstellung mit Kubernetes erklärt. Zum Schluss wird in Kapitel 7 ein Fazit gezogen und die Ergebnisse diskutiert.

2 Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die grundlegenden Begriffe und Konzepte erläutert, welche wichtig für das Verständnis der Arbeit sind. Es wird zunächst der DevOps-Ansatz und das Architekturmuster der Microservices beschrieben. Anschließend wird Containervirtualisierung sowie Kubernetes erklärt.

2.1 DevOps

Alle der in diesem Kapitel beschriebenen Architekturmuster, Methoden und Werkzeuge lassen sich dem DevOps-Ansatz zuordnen. Für das Verständnis der Arbeit ist es also essentiell zu Verstehen was DevOps bedeutet und warum es so populär ist. Wie das Kofferwort "DevOps" bereits andeutet, beschreibt er einen Ansatz für eine effektivere und stärkere Zusammenarbeit zwischen Softwareentwicklung (Development) und IT-Betrieb (Operations). Für DevOps gibt es keine einheitliche Definition. Es ist ein Überbegriff für Denkweisen, Kultur, Methoden, Technologien und Werkzeuge. Der Kundennutzen wird dabei immer in den Mittelpunkt gestellt [Halstenberg et al., 2020, S. 1]. Das Ziel ist es die Softwarequalität zu verbessern und die Geschwindigkeit der Entwicklung und Bereitstellung zu erhöhen [Arundel und Domingus, 2019, S. 6]. Um die Ziele umzusetzen bedient sich DevOps etablierten Methoden und Werkzeuge um daraus einen ganzheitlichen Ansatz zu formulieren.

DevOps wird immer wichtiger, da durch das Aufkommen von Cloud Computing die Entwicklung und der Betrieb von Anwendungen nicht mehr trennbar ist. DevOps in ein Unternehmen einzuführen ist ein langwieriger Prozess, da insbesondere die Unternehmenskultur transformiert werden muss. Vor allem in großen Unternehmen zeigt sich das viele Prozesse schwerfällig geworden sind und nicht mehr dem eigentlichen Kundennutzen dienen. DevOps soll dieses Problem lösen und Unternehmen wieder anpassungsfähiger machen, ohne geordnete Strukturen zu verlieren.

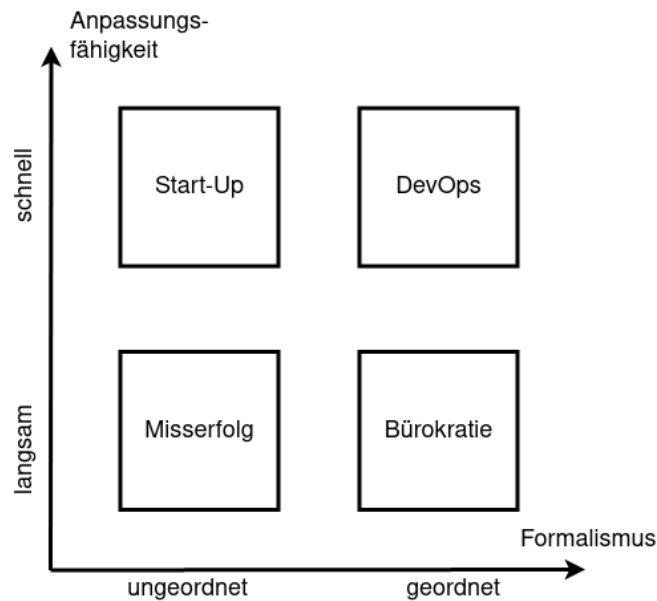


Abbildung 1: Kategorisierung von Unternehmen [Halstenberg et al., 2020, S. 11]

Eine reduzierte Time-to-Market kann durch engere Abstimmung und Automatisierung erreicht werden. Die Time-to-Market gibt an, wie lange es dauert eine Änderung zum Kunden, also auf die Produktionsumgebung, zu bringen. So können Änderungen schnell ausgeliefert werden und Feedback vom Endanwender erreicht schneller die Entwickler. Zur Umsetzung können Methoden wie Continuous-Integration und Continuous-Delivery eingesetzt werden, aber auch Architekturmuster wie Microservices und Werkzeuge wie Docker und Kubernetes können dabei unterstützen.

2.2 Microservices

Im Mittelpunkt dieser Arbeit stehen Microservices. Bei Microservices handelt es sich um ein Architekturmuster zur Modularisierung von Software (Newman et al., 2015, S. 15). Eine einheitliche Definition für Microservices gibt es nicht [Wolff, 2018, S. 2]. Bei der Beschreibung von Microservices werden grundlegende Prinzipien einer standardisierten Definition vorgezogen.

Microservices sind das Gegenteil von klassischen monolithischen Softwarearchitekturen. Ein Monolith ist eine einzelne, zusammenhängende und untrennbare Einheit. Die Erweiterbarkeit und Wartbarkeit von Monolithen ist häufig komplex, da die Codebasis umfangreich ist und mit der Zeit immer stärker wächst. Die Arbeit von mehreren Entwicklerteams ist ineffizient, da ein höher Abstimmungsbedarf nötig ist. Des Weiteren lässt sich die Skalierbarkeit des schwergewichtigen Monolithen sehr beschränkt. Durch Modularisierung einer Anwendung lassen sich diese Probleme abschwächen, können jedoch nicht komplett behoben werden.

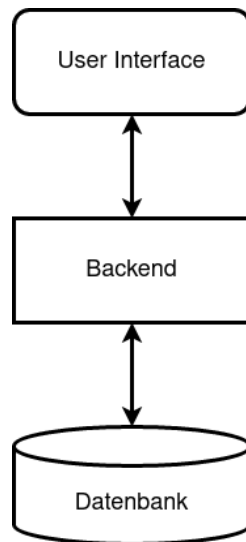


Abbildung 2: Beispielhafter Aufbau einer monolithischen Architektur

Genau hier setzen Microservices an. Obwohl der Begriff Microservices noch relativ jung ist, sind die dahinterstehenden Konzepte bereits deutlich älter [Newman et al., 2015, S. 15]. Zur Verständlichkeit und leichten Weiterentwicklung werden große Systeme werden schon lange in kleine Module unterteilt. Die Besonderheit von Microservices liegt darin, dass die Module einzelne Programme sind. Das Architekturmuster der Microservices zählt zu den verteilten Systemen. Die einzelnen Microservices laufen zumeist auf vielen unterschiedlichen Rechnern und kommunizieren über das Netzwerk.

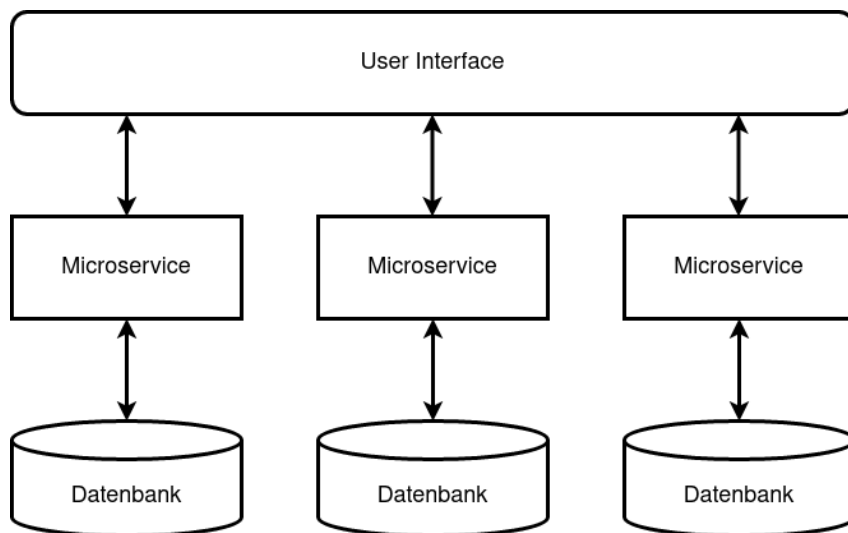


Abbildung 3: Beispielhafter Aufbau einer Microservice-Architektur

Ein einzelner Microservice soll eine Aufgabe bestmöglich erledigen. Dieser Ansatz ist angelehnt an die UNIX-Philosophie: "Mache nur eine Sache und mache sie gut"[Salus,

1994]. Jeder Microservice bildet so eine klar definierte Funktion des Gesamtsystems ab. Die Microservices müssen eigenständig sein, sodass sie unabhängig voneinander verändert und bereitgestellt werden können. Die Kommunikation zwischen den Microservices erfolgt ausschließlich über das Netzwerk mittels sprachunabhängiger Schnittstellen, sogenannte Application Programming Interfaces (APIs) [Trempe, 2021, S. 64].

Die Größe eines Microservices ist nicht zwangsläufig entscheidend [Wolff, 2018, S. 2]. Der Name "Microservices" deutet bereits an, dass es sich um kleine Services handelt, jedoch ist eine genaue Festlegung der Größe nicht sinnvoll [Newman et al., 2015, S. 22]. Eine Messung der Größe durch die Anzahl der Codezeilen wäre zwar denkbar, jedoch hängen derartige Kriterien stark von der verwendeten Programmiersprache ab. Stattdessen sollte sich die Größe an fachliche Gegebenheiten anpassen. Je kleiner die Services gestaltet werden, umso stärker kommen die in den nachfolgenden Abschnitten beschriebenen Vor- und Nachteile zur Geltung. Eine Obergrenze für die Größe eines Microservices stellt die Teamgröße dar. An einem Microservice darf immer nur ein Entwicklerteam arbeiten [Newman et al., 2015, S. 23]. Kann der Microservice nicht mehr von einem Team alleine entwickelt und gewartet werden, so ist er zu groß. Ein Microservice sollte auch nur so groß sein, dass er von einem Entwickler allumfassend verstanden werden kann. Ein Microservice sollte jedoch auch nicht zu klein gewählt werden, da ansonsten der Aufwand für die Bereitstellung der vielen Microservices sehr groß wird und die Kommunikation über das Netzwerk ansteigt.

Um von Microservices zu profitieren müssen Strukturen in Unternehmen überarbeitet werden. Das Gesetz von Conway besagt, dass durch die Kommunikationsstrukturen einer Organisation auch die Struktur der Systeme, welche die Organisation entwirft, vorgegeben wird [Conway, 1968]. Bei monolithischen Anwendungen werden die Entwicklerteams häufig nach ihrem Fachbereich aufgeteilt. Es bilden sich so beispielsweise Teams spezialisiert auf das Frontend, das Backend und die Datenbank. Die entwickelte Anwendung wird, nach dem Gesetz von Conway, auch aus diesen drei Bereichen bestehen. Wenn nun ein neues Feature umgesetzt werden soll, müssen sich alle drei Teams miteinander absprechen. Um eine Microservice-Architektur umzusetzen muss also auch die Struktur des Unternehmens verändert werden. Die Entwicklerteams müssen crossfunktional mit Spezialisten aus verschiedenen Fachbereichen aufgebaut werden. Der Vorteil ist, dass Änderungen so häufig nur ein Entwicklerteam betreffen und der Koordinationsaufwand sinkt.

Microservices werden häufig mit Serviceorientierte Architektur (SOA) in Verbindung gebracht. Microservices übernehmen viele Prinzipien von SOA. SOA ist ein Ansatz mit dem Ziel Funktionalitäten von betrieblichen Anwendungen durch Services von außerhalb zugreifbar zu machen [Wolff, 2018, S. 2]. Ein Service bildet in diesem Kontext einen Geschäftsprozess ab. Dadurch soll Flexibilität und Wiederverwendbarkeit in der IT von Unternehmen erhöht werden. Es gibt also durchaus viele Parallelen zu Microservices, jedoch setzen sie an verschiedenen Ebenen an. Während Microservices ein konkretes Architekturmuster für ein einzelnes System ist, beschreibt SOA wie viele Systeme in einem Unternehmen miteinander interagieren können.

2.2.1 Vorteile

Das Aufteilen von Software bringt wichtige Vorteile mit sich.

Modularisierung Bei klassischen Software-Monolithen, welche aus Komponenten zusammengestellt wird, entstehen schnell unerwünschte Abhängigkeiten. Die viele Abhängigkeiten erschweren die Wartung oder Weiterentwicklung. Da die einzelnen Microservices eigene Programme sind, herrscht eine starke Modularisierung. Die Programme sind eigenständig und kommunizieren nur über explizite Schnittstellen. Ungewollte Abhängigkeiten entstehen hier deutlich schwerer. (Wolff, 2018, S. 3)

In der Praxis wird die Architektur von Deployment-Monolithen meistens zunehmend schlechter. (Wolff, 2018, S. 3)

Austauschbarkeit Da Microservices nur über eine explizite Schnittstelle genutzt werden, können sie einfach durch einen Service, der die selbe Schnittstelle anbietet ersetzt werden. Bei der Ersetzung ist der neue Service nicht an den Technologie-Stack des alten Service gebunden. Auch die Risiken werden geringer, da bei schwerwiegenden Fehlentscheidungen in der Entwicklung, ein Austausch mit weniger Aufwand verbunden ist. (Wolff, 2018, S. 4) Sie können auch deutlich schneller eingesetzt werden. (Time to Market)

Das gesamte neu schreiben eines Microservices ist in der Regel nicht besonders schwer. Viele Unternehmen scheitern an der Wartung oder Erweiterungen von alten monolithischen Systemen (Newman et al., 2015, S. 29). Da Problem ist das die Ablösung dieser großen Systeme eine fast unmöglichen Mammutaufgabe ist.

Skalierbarkeit Durch die Unabhängigkeit der Microservices können sie auch unabhängig voneinander skaliert werden. So kann eine einzelne Funktionalität, welche stärker genutzt wird, skaliert werden, ohne das gesamte System zu skalieren. (Wolff, 2018, S. 5)

Dadurch können gezielt Flaschenhälse in der Anwendung entsprechend hochskaliert werden. Beim Einsatz von Cloudanbietern wie AWS ist es möglich eine Skalierung nach dem genauen Bedarf vorzunehmen. So wird nur die tatsächlich Gebrauchte Leistung des Systems bezahlt. Aber auch bei on-Premise Lösungen profitiert man von einer effektiveren Lastausnutzung. Auch die Verteilung der Last ist einfacher, da die Services auf unterschiedlichen Maschinen laufen.

Es gibt wenige Architekturmuster wie dieses, welche so eng mit Kosteneinsparungen verbunden sind. (Newman et al., 2015, S. 27).

Technologiefreiheit Des Weiteren führt die Unabhängigkeit auch zu einer großen Technologiefreiheit. Die verwendeten Technologien müssen schließlich nur in der Lage sein die explizite Schnittstelle anzubieten. (Wolff, 2018, S. 5)

Statt auf einen Technologie-Stack als Kompromiss zu verwenden, kann für jeden Service die am besten geeigneten Technologien ausgewählt werden.

Außerdem können neue Technologien auch leichter angewendet werden. Bei einer großen monolithischen Anwendung ist eine Umstellung auf beispielsweise ein neue Programmiersprache ein schwieriger und langwieriger Prozess. Bei Microservices kann die neue Sprache zuerst an einem einzelnen Service getestet werden und dann schrittweise das ganze System umgestellt werden. Oder eben nur die Services für welche die neue Sprache auch wirklich Vorteile besitzt. (Newman et al., 2015, S. 25).

Ein Nebeneffekt von dieser Technologiefreiheit ist auch, dass die Auswirkungen von falschen Entscheidungen über die Einführung von neuen Technologien deutlich reduziert.

Continuous Delivery Ein wesentlicher Grund für die Einführung ist Continuous Delivery. Die kleinen Microservices können leichter deployt werden und das Deployment bietet weniger Gefahren und ist einfacher abzusichern, als bei einem Monolithen. (Wolff, 2018, S. 5)

Das schnelle und größtenteils automatisierte Ausliefern von Software ist wichtig. In der der schnelllebigen Zeit ist man nur im Vorteil wenn neue Features und Fehlerbehebungen so schnell wie ihren Weg zum Benutzer finden. Microservices können schneller und leichter deployt werden als große Monolithen. Vor allem bei geringen Änderungen von einigen Codezeilen ist der gesamte Deployment Prozess von Monolithen sehr nervig.

Durch Ihre Unabhängigkeit können nur einzelne Services nach Änderungen neu bereitgestellt werden. Auch hier ist sind die Auswirkungen von Fehlern geringer. Ist eine Auslieferung fehlerhaft ist nicht das ganze System davon betroffen, sondern lediglich ein Service. Auch kann bei Microservices leicht noch eine alte Version desselben Services betrieben werden, bis die fehlerfreie Funktion der neuen Version gewährleistet ist. Bei einem Monolithen wäre der Ressourcenverbrauch in so einem Fall doppelt so hoch, wie die eigentliche Anwendung benötigt.

2.2.2 Herausforderungen

Doch natürlich haben Microservices wie jedes Architekturmuster auch einige Nachteile. Die Aufteilung eines Systems in viele Microservices erhöht die Komplexität.

Versteckte Beziehungen Die Beziehungen von Microservices können schnell unüberschaubar werden. Ob und welche Funktionen ein Microservice von anderen Microservices in Anspruch nimmt sind nicht direkt ersichtlich. Ein genaues Monitoring ist hierbei nötig. Auch auf Code-Ebene kann es zu ungewollten Abhängigkeiten kommen, wenn mehrere Microservices die selbe Bibliothek verwenden. Unter Umständen müssen bei Änderungen an dieser Bibliothek die Services gemeinsam ausgeliefert werden und die Unabhängigkeit geht verloren (Wolff, 2018, S. 75).

Refactoring Während bei Softwaremodulen leicht Teile des Codes von einem Modul in ein anderes verschoben werden können ist es bei Microservices deutlich schwieriger. Wenn eine Funktionalität in einen anderen Microservice verschoben werden muss, dann ist ein höherer

Aufwand erforderlich. Deshalb ist es wichtig die Makro-Architektur von Microservices mit bedacht zu wählen. Änderungen auf dieser Ebene sind im Nachhinein deutlich aufwendiger.

Architektur Die Architektur ist wichtiger als bei anderen Systemen.

Betrieb

Verteilte Systeme Microservices sind verteilte Systeme und bringen auch die damit verbundenen Nachteile mit sich. Da die Kommunikation mit den Microservices über das Netzwerk läuft, ist die Antwortzeit der Microservices von der Latenz abhängig. Da wird vor allem dann problematisch wenn ein Microservice viele Dienste von anderen Microservices in Anspruch nimmt. Deshalb sollten Microservices untereinander möglichst wenig kommunizieren müssen. Besitzen zwei Microservices viele Abhängigkeiten, kann dies ein Hinweis auf eine falsche Einteilung der Microservices sein. Des Weiteren muss das Netzwerk die höhere Last durch die Aufrufe standhalten. Außerdem ist Kommunikation über das Netzwerk immer unzuverlässig.

Technologie-Komplexität Die technologische Freiheit der Microservices kann schnell zu einer Herausforderung werden. Wenn jeder Microservice einen komplett unterschiedlichen Technologie-Stack verwendet, steigt die Komplexität des Gesamtsystems. Auch wird der Wechsel von Mitarbeitern zu anderen Teams schwieriger. Es bietet sich also an den Technologie-Stack einzuschränken und übergreifende Richtlinien für alle Microservices zu bestimmen.

2.2.3 Architektur

Die Architektur bei Microservices ist das Finden von Kompromissen. Die einzelnen Entwicklerteams sollten viel Freiheit haben, um die nach ihrer Meinung am Besten geeigneten Technologien für ihren Service zu verwenden. Es macht jedoch Sinn gewisse Vorgaben und Rahmenbedingungen vorzugeben. Die Beschränkung auf eine Auswahl von beispielsweise fünf Programmiersprachen macht Sinn, um Wissen nicht zu weit zu verstreuen. Für die Schnittstellen ist es sinnvoll einige wenige Schnittstellenarten festzulegen, die von allen Services verwendet wird.

Die Mikroarchitektur, also die Architektur mit der ein einzelner Service implementiert wurde, sollte von außen nicht sichtbar sein und besitzt somit für das Gesamtsystem keine Relevanz.

Die fachliche Architektur, also die Aufteilung in verschiedene Bereiche, die jeweils von einem Microservice umgesetzt werden. Wo bei dieser Aufteilung die Grenzen gezogen werden ist eine der zentralen Herausforderungen (Wolff, 2018, S. 102). Das entscheidende Kriterium für die Aufteilung ist, dass Änderungen möglichst nur einen Service betreffen und somit von nur einem Team durchgeführt werden können. Dadurch ist wenig Abstimmung zwischen den Entwicklerteams notwendig und die Vorteile der Microservices kommen erst

richtig zur Geltung. Jeder Microservice sollte also einen fachlichen Kontext darstellen, der eine abgeschlossene Funktionalität darstellt.

Natürlich sind die Microservices nie vollständig voneinander unabhängig. Es wird Services geben, die die Funktionalität anderer Services aufrufen. Zu viele solcher Verbindungen führen jedoch zu einer hohen Abhängigkeit und widersprechen dem Microservice-Ansatz. Eine lose Kopplung, also nur wenige Abhängigkeiten, sind erstrebenswert, da so sich Änderungen so nur auf einen Service auswirken. Benötigt ein Microservice viele Funktionalitäten von einem anderen Microservice, kann das ein Hinweis auf eine schlechte Aufteilung sein, und die Services sollten an einer anderen Stelle aufgeteilt werden oder womöglich direkt zusammen gelegt werden. Innerhalb eines Microservice sollten die Komponenten und Module des Programms jedoch eine starke Kopplung besitzen. Dadurch wird gewährleistet, dass die Bestandteile wirklich zusammengehören.

Zyklische Abhängigkeiten sind auch zu vermeiden, da dort ohne weitere Abstimmung Änderungen in einem der beiden Services nicht möglich sind.

Ein bewährter Ansatz für den Anfang der Architektur ist es, mit großen Services zu beginnen und diese aufzuteilen. Einen großen Service aufzuteilen ist einfach. Die Gesamtarchitektur von vielen kleinen Services zu überarbeiten ist jedoch sehr komplex.

Herausforderung: Microservice-Systeme sind schwer änderbar (auf Makro-Ebene)

Architektur eines Microservice: Erklärung Schichtenarchitektur, wenige Vorgaben, wird vom Team gehandhabt

Für die Skalierbarkeit ist es wichtig, dass mehrere Instanzen vom selben Microservice gestartet werden können. Das bedeutet, dass Microservices keinen Zustand speichern dürfen. Es ist ratsam, dass jeder Microservice eine eigene Datenbank besitzt. Das führt zu einer dezentralen Datenbankstruktur im System. Dadurch sind die Datenschemata weniger komplex und genau auf die Anforderungen des einen Microservices spezialisiert. Wenn Datenbanken von mehreren Microservices verwendet werden, ist bei Änderungen an der Datenbank ein höherer Abstimmungsaufwand nötig.

Die lose gekoppelten Microservices dürfen keinen Zustand speichern. Nur so können mehrere Instanzen vom selben Microservice gestartet werden und die

2.2.4 Integration und Kommunikation

Microservices müssen miteinander kommunizieren. Die Integration der Services ist auf drei verschiedenen Ebenen denkbar.

UI

Datenbank

Microservices Zuletzt müssen natürlich auch Microservices direkt miteinander kommunizieren, um so Funktionalität von anderen Services aufzurufen. Die meist verbreitetste Technologie ist HTTP REST. Es gibt auch weitere Ansätze wie SOAP oder Message-Systeme. Als Application Programming Interface (API) wird eine Programmierschnittstelle bezeichnet. Diese Schnittstellenart, erlaubt anderen Programmen die Anbindung an ein System. Bei der Schnittstelle, die in diesem Projekt entworfen wird, handelt es sich um eine sogenannte Programmierschnittstelle. Mit einer API wird sichergestellt, dass die Unternehmensinfrastruktur flexibel, zukunftssicher und nicht abhängig von einer einzigen Technologie bleibt. Auch können mit einer API ganz einfach Daten freigegeben und universell zur Verfügung gestellt werden. [Kofler, 2018, S. 95ff]

Die API in diesem Projekt soll nach dem REST-Architekturstil erstellt werden. Representational State Transfer (REST) ist ein weit verbreitetes Paradigma, welches die Struktur und das Verhalten von Schnittstellen vereinheitlichen soll. Eine REST-API verwendet HTTP-Anfragen mit verschiedenen HTTP-Anfragemethoden, um auf Daten zuzugreifen. Jeder Endpunkt einer REST-API muss eine eindeutige Adresse, den Uniform Resource Locator (URL), besitzen. [Fielding, 2000, S. 76ff]

REST basiert auf den folgenden sechs Prinzipien:

- Client-Server: Ein Server stellt einen Dienst bereit, der bei Bedarf vom Client angefragt wird.
- Zustandslosigkeit: Jede Anfrage eines Clients ist in sich geschlossen und enthält alle benötigten Informationen.
- Caching: HTTP-Caching soll verwendet werden.
- Einheitliche Schnittstelle: Die Ressourcen sollen klar adressierbar sein und alle Nachrichten sollen selbstbeschreibend sein.
- Mehrschichtige Systeme: Die Systeme sollen mehrschichtig aufgebaut sein.
- Code on Demand: Nur im Bedarfsfall wird Code an den Client zur lokalen Ausführung übermittelt.

2.3 Docker

Anwendungen mit Microservice-Architektur verwenden heutzutage häufig Containervirtualisierung zur Bereitstellung. Durch die leichtgewichtige Containervirtualisierung können mehrere isolierte Instanzen eines Betriebssystems auf dem selben Kernel ausgeführt werden. Dadurch sind die Container ressourcenschonender als die herkömmliche Virtualisierung mittels Hypervisor, bei dem jede virtuelle Maschine ein eigenes vollständiges Betriebssystem ausführt. Außerdem verbraucht der Hypervisor selbst auch Rechenleistung und Arbeitsspeicher.

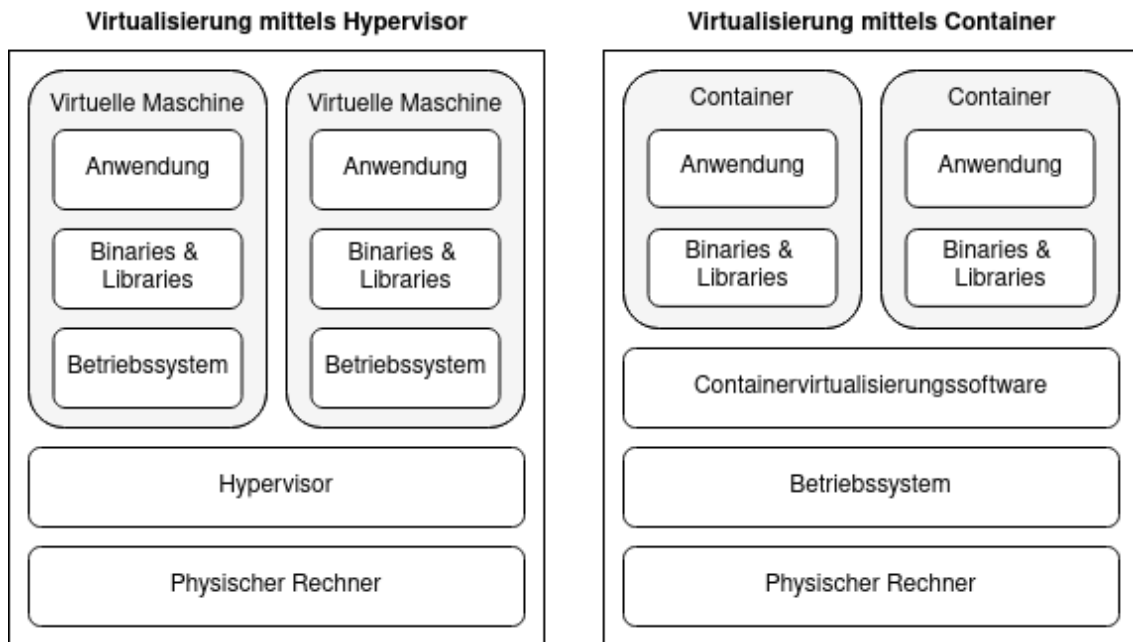


Abbildung 4: Vergleich Virtualisierung mittels Hypervisor und Container

Für die Ausführung einer Anwendung werden Abhängigkeiten wie Bibliotheken, Compiler und Interpreter benötigt. Des Weiteren muss die Anwendung richtig konfiguriert werden. Vor allem bei einer Microservice-Architektur kann das ein Problem werden, da die Microservices über große Netzwerke verteilt auf verschiedenartigen Rechnern bereitgestellt werden sollen. Containervirtualisierung löst dieses Problem, mit einem standardisierten Image-Datei, das die Anwendung mitsamt aller Abhängigkeiten und Konfigurationen beinhaltet [Arundel und Domingus, 2019, S. 9]. Diese Image-Datei läuft unabhängig von der Plattform auf jedem Rechner, sofern die zugehörige Containervirtualisierungssoftware installiert ist.

Eine freie Software zur Containervirtualisierung ist Docker. Es ergänzt die Containervirtualisierung mit benutzerfreundlichen Werkzeugen und ist der Branchenstandard für Containervirtualisierung. Docker basiert auf der Virtualisierung mit Linux-Containern. Durch herkömmliche Virtualisierung kann Docker jedoch auch auf anderen Betriebssystemen betrieben werden. Im Folgenden werden die wichtigsten Begriffe und Funktionen von Docker näher beschrieben.

2.3.1 Docker Image

Ein Docker Image ist das Speicherabbild eines Containers. Das Image beinhaltet alle Informationen, die zum Starten eines Containers notwendig sind. Bei Docker besteht das Image aus mehreren Schichten. Jede Schicht repräsentiert eine Abhängigkeit oder Konfiguration, welche für die Anwendung benötigt wird. Docker optimiert automatisch den verwendeten

Speicherplatz durch Wiederverwendung, wenn zwei Images eine gleiche Schicht verwenden. Die Docker Images sind portabel. Über zentrale Registrys können die Images verwaltet, gespeichert und verteilt werden. Docker Hub ist die größte öffentliche Registry mit einer Vielzahl an Images, die von anderen Benutzern bereitgestellt werden. Beim Ausführen eines Images wird auf Basis des Images ein Container gestartet. Das Image ist wiederverwendbar und es können beliebig viele Container aus einem Image erzeugt werden.

2.3.2 Dockerfile

Ein Dockerfile ist eine Textdatei mit mehreren Befehlen, die ein Docker Image beschreiben. Aus einem Dockerfile kann das entsprechende Image gebaut werden. Dazu werden die einzelnen Befehle abgearbeitet und für jeden Befehl eine neue Schicht in dem zugehörigen Image angelegt. Begonnen wird meistens mit einem Basis-Image, welches bereits vorhanden ist. Danach folgen spezifische Änderungen, damit die gewünschte Anwendung ausgeführt werden kann.

2.3.3 Container

Ein Container ist die aktive Instanz eines Images. Er besitzt eine begrenzte Lebensdauer und wird, nachdem der in ihm laufende Prozess abgeschlossen ist, beendet. Container sind in der Regel unveränderlich. Soll ein Container geändert werden, so wird der alte Container gegen einen neuen ausgetauscht. Jeder Container besitzt sein eigenes Dateisystem, Anteil an CPU, Speicher und Prozessraum. Er besitzt auch seine eigenen Bibliotheken, Compiler und Interpreter und ist so unabhängig von allen Softwareversionen, die auf dem eigentlichen Betriebssystem installiert sind. Lediglich der Kernel wird geteilt und bildet somit die einzige Abhängigkeit.

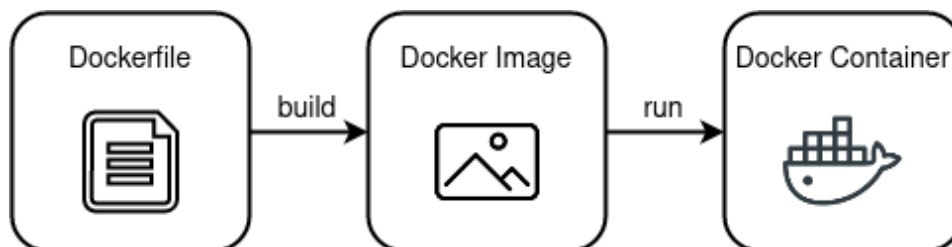


Abbildung 5: Weg vom Dockerfile zum Container

2.4 Kubernetes

Wenn Microservices in Containern bereitgestellt werden, wird es schnell nicht mehr möglich, die Container manuell bereitzustellen. Auch die Skalierung und die Lastverteilung gestaltet sich als aufwendig. Die Open-Source-Plattform Kubernetes versucht diese Probleme zu lösen. Der Name "Kubernetes" stammt aus dem griechischen und bedeutet soviel wie Steuermann. Kubernetes hilft bei der Koordination und Sequenzierung verschiedener Aktivitäten. Darüber hinaus unterstützt die Plattform bei der Verwaltung der verfügbaren Ressourcen und bei

einer effizienten Lastverteilung [Arundel und Domingus, 2019, S. 11]. Kubernetes bietet somit viele Funktionen, die helfen eine Microservice-Architektur umzusetzen. Häufig wird Kubernetes mit Docker verwendet, es unterstützt aber auch andere Anwendungen zur Containervirtualisierung.

2.4.1 Aufbau

Die größte Organisationseinheit der Plattform ist ein Kubernetes Cluster. Ein Cluster besteht aus mindestens einem Control Plane und einem Node. Der Control Plane verwaltet sämtliche Nodes. Um Ausfallsicherheit zu gewährleisten können auch mehrere Control Planes in einem Cluster betrieben werden. Ein Control Plane enthält eine Key-Value-Datenbank etcd. In ihr wird die gesamte Konfiguration des Clusters gespeichert. Des Weiteren enthält der Control Plane einen API-Server, mit der die Nodes kommunizieren. Auch externe Komponenten können mit acAPI-Server kommunizieren und so Informationen abfragen oder das Cluster konfigurieren. Der Controller Manager steuert über den acAPI-Server die einzelnen Nodes. Des Weiteren besitzt der Control Plane einen Scheduler, der die Last verteilt und überwacht.

In der Regel besteht ein Cluster aus vielen Nodes. Dabei kann es sich um physische Rechner aber auch um virtuelle Maschinen handeln. Auf den Nodes laufen die Container mit den eigentlichen Anwendungen. Außerdem besitzt jeder Node einen Kubelet. Dieser Kubelet kommuniziert mit dem Controller Manager und verwaltet den Status der Container auf dem jeweiligen Node.

<https://kubernetes.io/docs/concepts/overview/components/>

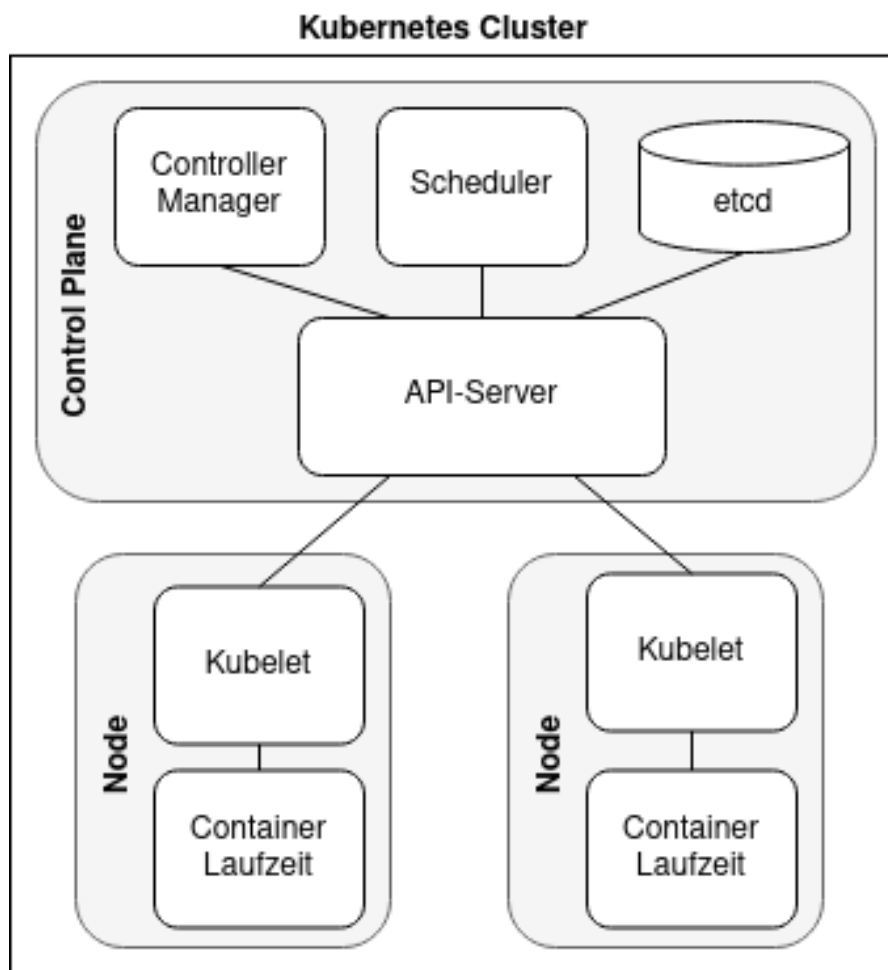


Abbildung 6: Aufbau eines Kubernetes Cluster

2.4.2 Objekte

Kubernetes stellt eine Reihe von abstrakten Objekten zur Verfügung, mit denen der Status des Systems dargestellt wird und welche es erleichtern eine Microservice-Architektur zu bauen [Hightower et al., 2018, S. 13]. Diese Objekte werden in Manifesten beschrieben. Bei den Manifesten handelt es sich um YAML-Dateien. Die Manifeste sind deklarativ aufgebaut, das bedeutet der gewünschte Ausgangszustand wird beschrieben. Nachdem das Manifest übergeben wurde, führt Kubernetes die entsprechenden Aktionen aus, um den beschriebenen Zustand zu erreichen.

Pods sind die kleinste einsetzbare Einheit von Kubernetes. Ein Pod repräsentiert eine einzelnen Container oder eine Gruppe von Containern. Alle Container in einem Pod laufen immer auf dem gleichen Node. Um eine Menge zusammengehöriger Pods zu verwalten, gibt es Deployments. Deployments repräsentieren eine Anwendung.

- Pods sind die kleinste einsetzbare Einheit. Ein Pod besteht aus einem Container oder

mehreren zusammengehörigen Containern.

- : Namespaces werden zur logischen Unterteilung des Clusters verwendet. Sie können zur Isolation verschiedener Entwicklerteams oder Anwendungsmodulen genutzt werden.
- : Services bieten Adressen und Lastverteilung für einen Pod oder mehrere gleichartige Pods.
- : Volumes bieten persistenten Speicher, der auch nach der Lebenszeit eines Pods bestehen bleibt.
- : ConfigMaps ermöglichen das Speichern von Konfigurationsdaten als Key-Value-Paare. Sie können beispielsweise von Pods als Umgebungsvariablen konsumiert werden.
- Deployments repräsentieren eine zustandslose Anwendung beziehungsweise eine Microservice. Durch Deployments kann eine Menge an zusammengehörigen Pods verwaltet und konfiguriert werden.
- StatefulSets sind vergleichbar mit Deployments, jedoch für zustandsbezogene Anwendungen.
- Labels können anderen Objekten zugeordnet werden, um diese zu Gruppieren.

Die Kubernetes Objekte werden durch Ressourcen-Manifeste beschrieben. Manifeste sind deklarativ und üblicherweise im YAML-Dateiformat.

2.4.3 Kubectl

Kubectl ist der offizielle Kubernetes-Client und dient der Steuerung von Kubernetes. Bei Kubectl handelt es sich um ein Befehlszeilenwerkzeug für die Interaktion mit dem API-Server des Control Planes. Mit kubectl können beispielsweise Objekte verwaltet werden und der Status des gesamten Clusters untersucht werden.

2.4.4 Minikube

Minikube ist ein Werkzeug, um ein lokales Kubernetes Cluster zu betreiben. Minikube erstellt ein Cluster bestehend aus nur einem Node in einer virtuellen Maschine. Der Node fungiert dabei sowohl als Control Plane sowie auch als Node. Minikube unterstützt mittlerweile auch den Betrieb mit mehreren Nodes. Des Weiteren kann das gesamte Cluster selbst auch in einem Docker Container anstatt in einer virtuellen Maschine betrieben werden. Minikube erstellt beim Start automatisch eine kubectl-Konfiguration, welche auf das Cluster zeigt und somit über kubectl-Befehle gesteuert werden kann.

3 Erläuterung Fallstudie

Nachdem die theoretischen Grundlagen nun erläutert worden sind, wird mit der Fallstudie begonnen. Für die Fallstudie soll ein vereinfachtes CRM-System entwickelt und bereitgestellt werden. Ein CRM-System ist eine Software für das Kundenbeziehungsmanagement. In diesem Kapitel werden die Anforderungen an das CRM-System beschrieben.

3.1 Anwendungseinsatz

Das CRM-System soll für das Business-to-Customer (B2C) Umfeld entwickelt werden. Die Kernfunktionalität des zu erstellenden CRM-Systems ist das Anlegen, Anzeigen, Bearbeiten und Löschen von Kontakten, Interaktionen und Verkaufschancen. Die Software soll mit einer Microservice-Architektur umgesetzt werden und containerisiert mit Kubernetes bereitgestellt werden. Das System soll über eine grafische Benutzeroberfläche mit einem Webbrowser bedienbar sein.

3.2 Anwendungsfunktionen

Das CRM-System soll die folgenden primären Funktionen implementieren:

- Kontakte sollen mit Namen, Geburtsdatum, Geschlecht, Telefonnummer, E-Mail-Adresse und Adresse angelegt, angezeigt, geändert und gelöscht werden können
- Interaktionen mit einem Kontakt sollen mit Art der Interaktion, Datum, Uhrzeit, Notizen und dem zugehörigen Kontakt angelegt, angezeigt, geändert und gelöscht werden können
- Mögliche Verkaufschancen sollen mit Status, voraussichtlichem Abschlussdatum, Verkaufswert, Rabatt, Budget des Kunden, Notizen und dem zugehörigen Kontakt angelegt, angezeigt, geändert und gelöscht werden können
- Benutzung aller Funktionen über eine grafische Benutzeroberfläche mit einem Webbrowser
- Benutzung aller Funktionen über eine REST-API

Die Zugriffskontrolle und Benutzersicherheit wird bei der Anwendung nicht beachtet.

4 Entwurf der Microservices

Als Erstes wird die Architektur der Microservices festgelegt. Bei der Architektur kann zwischen Makro-Architektur und Mikro-Architektur unterschieden werden. Die Makro-Architektur befasst sich mit dem Microservice-System als Ganzes. In der Mikro-Architektur geht es um den Aufbau der einzelnen Microservices.

4.1 Makro-Architektur

Die Makro-Architektur befasst sich mit dem Entwurf des Gesamtsystems. Die Aufteilung der Funktionalitäten auf die Microservices und die Kommunikationstechnologien für die Integration der einzelnen Microservices ist hier von Interesse. Wie genau die einzelnen Microservices umgesetzt werden und welcher Technologie-Stack verwendet wird, ist für das Gesamtsystem nicht relevant.

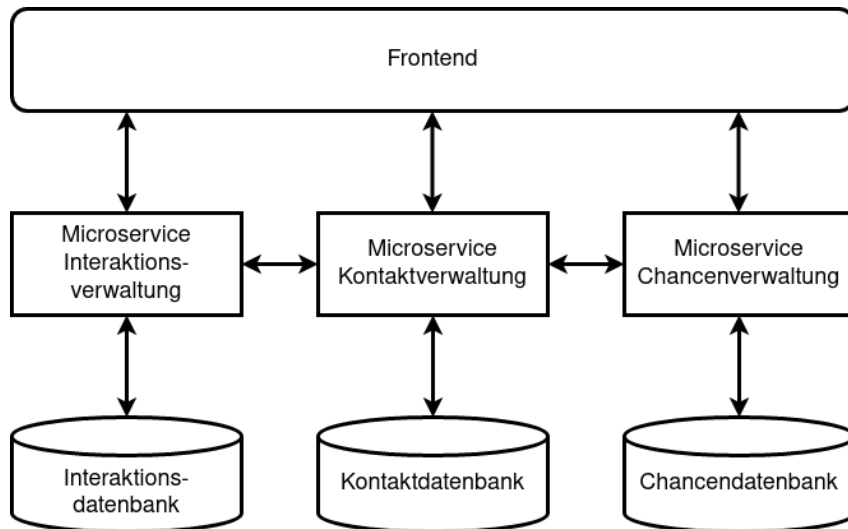


Abbildung 7: Entwurf des CRM-Systems

4.2 Micro-Architektur

Die Mikro-Architektur befasst sich mit der Architektur eines einzelnen Microservice. Für das Gesamtsystem ist die Architektur eines einzelnen Microservice nicht von Bedeutung. Aus diesem Grund besitzt man eine große Freiheit bei der Auswahl. Es sollte die Architektur, welche am Einfachsten alle Anforderungen bietet. Der ausgewählte Technologie-Stack schränkt natürlich die möglichen Architekturen auch weiter ein.

Unser System besteht aus drei Microservices und einem Frontend. Das Frontend dient lediglich zur Visualisierung und Verbindung aller Funktionen der drei Microservices. Da eine Frontend

Für die Architektur der Microservices wird eine hexagonale Architektur verwendet. Eine Hexagonale Architektur bietet sich

5 Implementierung

5.1 Microservices

5.2 Frontend

Das Frontend. Das Frontend soll später auch mit Kubernetes bereitgestellt werden, es wird aber nicht als Microservices angesehen.

6 Bereitstellung mit Kubernetes

6.1 Containerisierung

6.2 Bereitstellung

6.3 Skalierung

6.4 Lastverteilung

7 Schlussbetrachtung

7.1 Diskussion

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.

7.2 Ausblick

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.

Literatur

- Pasteur, L. (1933). *Oeuvres de Pasteur*. Paris, Médiathèque scientifique de l'Institut Pasteur. Verfügbar 26. Januar 2022 unter <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k6211139g>
- Burns, B. & Oppenheimer, D. (2016, Juni). Design Patterns for Container-based Distributed Systems. 8th USENIX Workshop on Hot Topics in Cloud Computing (HotCloud 16), USENIX Association. <https://www.usenix.org/conference/hotcloud16/workshop-program/presentation/burns>
- Arundel, J. & Domingus, J. (2019). *Cloud Native DevOps mit Kubernetes: Bauen, Deployen und Skalieren moderner Anwendungen in der Cloud* (1. Auflage). Heidelberg, dpunkt.verlag.
- Puppet. (2021). *State of DevOps*. Verfügbar 26. Januar 2022 unter <https://puppet.com/resources/report/2021-state-of-devops-report/>
- Mordor Intelligence. (2020). *Global Cloud Microservices Market*. Hyderabad. Verfügbar 26. Januar 2022 unter <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/cloud-microservices-market>
- Newman, S., Lorenzen, K. & Newman, S. (2015). *Microservices: Konzeption und Design* (1. Aufl.). Frechen, mitp-Verl.
- Liebel, O. (2021). *Skalierbare Container-Infrastrukturen: Das Handbuch für Administratoren* OCLC: 1241672797.
- Cloud Native Computing Foundation. (2020, 17. November). *Cloud Native Survey*. San Francisco. Verfügbar 26. Januar 2022 unter <https://www.cncf.io/blog/2020/11/17/cloud-native-survey-2020-containers-in-production-jump-300-from-our-first-survey/>
- Halstenberg, J., Pfitzinger, B. & Jestädt, T. (2020). *DevOps: ein Überblick*. Wiesbaden [Heidelberg], Springer Vieweg.
- Wolff, E. (2018). *Microservices: Grundlagen flexibler Softwarearchitekturen* (2., aktualisierte Auflage). Heidelberg, dpunkt.verlag.
- Salus, P. H. (1994). *A Quarter Century of UNIX*. Reading, Mass, Addison-Wesley Pub. Co.
- Tremp, H. (2021). *Architekturen verteilter Softwaresysteme: SOA & Microservices - Mehrschichtenarchitekturen - Anwendungsintegration*. Wiesbaden [Heidelberg], Springer Vieweg.
- Conway, M. (1968). How Do Committees Invent? *Datamation*. Verfügbar 27. Januar 2022 unter http://www.melconway.com/Home/Committees_Paper.html
- Kofler, T. (2018). *Das digitale Unternehmen: systematische Vorgehensweise zur zielgerichteten Digitalisierung*. Berlin [Heidelberg], Springer Vieweg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57617-5>

- Fielding, R. (2000). *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures*. University of California. Verfügbar 28. Januar 2022 unter <https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.htm>
- Hightower, K., Burns, B. & Beda, J. (2018). *Kubernetes: eine kompakte Einführung* (T. Demmig, Übers.; 1. Auflage). Heidelberg, dpunkt.verlag.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen Hilfsmittel als die angegebenen verwendet habe.

München, den 29. Januar 2022

S. Hüner