



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 Merkmale	5
2.2.2 Vorteile	8
2.2.3 Herausforderungen	8
2.2.4 Architektur	9
2.2.5 Integration	10
2.3 Docker	12
2.3.1 Docker Image	13
2.3.2 Dockerfile	13
2.3.3 Container	13
2.4 Kubernetes	14
2.4.1 Aufbau	14
2.4.2 Objekte	15
2.4.3 Kubectl	16
2.4.4 Minikube	16
3 Erläuterung Fallstudie	17
3.1 Anwendungseinsatz	17
3.2 Anwendungsfunktionen	17
4 Entwurf der Microservices	18
4.1 Makro-Architektur	18
4.2 Micro-Architektur	21
5 Implementierung	23
5.1 Microservices	23
5.2 Frontend	24

6	Bereitstellung mit Kubernetes	25
6.1	Containerisierung	25
6.2	Bereitstellung	26
6.3	Skalierung	28
7	Schlussbetrachtung	29
7.1	Diskussion	29
7.2	Ausblick	29
	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	12
5	Weg vom Dockerfile zum Container	14
6	Aufbau eines Kubernetes Cluster	15
7	Context Map	19
8	Entwurf des Customer-Relationship-Management-Systems (CRM-Systems) .	20
9	Context Map	21
10	Context Map	21
11	Context Map	22
12	Entwurf des Hexagonale Architektur!s (Hexagonale Architektur!s)	22
13	Entwurf des Hexagonale Architektur!s	23
14	Entwurf des Hexagonale Architektur!s	24
15	Entwurf des Hexagonale Architektur!s	24
16	Entwurf des Hexagonale Architektur!s	26

Tabellenverzeichnis

1 Prozessoren 20

Quellcodeverzeichnis

1	Dockerfile für Kontakt-Microservice	25
2	Dockerfile für Frontend	25
3	Befehl	26
4	Befehl	27
5	Befehl	27
6	Befehl	27
7	Befehl	28
8	Befehl	28

Abkürzungsverzeichnis

USD US-Dollar

CRM-System Customer-Relationship-Management-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

B2C Business-to-Customer

URI Uniform Resource Identifier

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 Brendan Burns und David Oppenheimer, welche Kubernetes mitentwickelten, halten diese Veränderungen sogar für 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 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 im Softwareprozess zu erhöhen. In einer Umfrage geben 83% aller gefragten IT-Entscheidungsträger 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 von Microservices 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 stellt fast alle seine Dienste in Containern bereit und startet so 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. Es ist von großer Bedeutung die Technologien in ihrer Gesamtheit zu verstehen und anwenden zu können. Diese Arbeit wird sich deshalb dem Entwurf und der Bereitstellung von Microservices mit Kubernetes widmen.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, eine moderne Webanwendung, nach aktuellem Stand der Technik, mit einer 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 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 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 Vorteile 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 mit Docker 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.

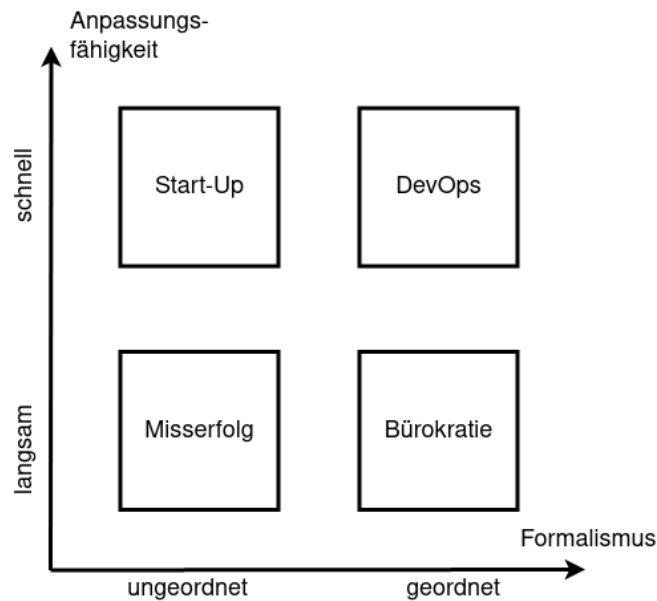


Abbildung 1: Kategorisierung von Unternehmen [Halstenberg et al., 2020, S. 11]

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. Diese Begriffe werden im Folgenden näher behandelt.

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 Prinzipien und Merkmale einer standardisierten Definition vorgezogen. Im Folgenden werden die wichtigsten Merkmale kurz beschrieben.

2.2.1 Merkmale

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.

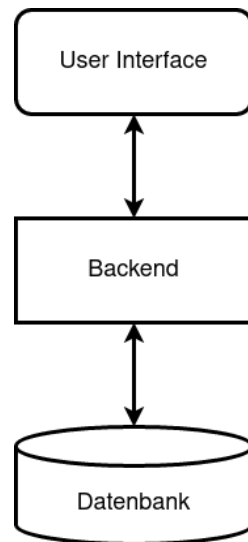


Abbildung 2: Beispielhafter Aufbau einer monolithischen Architektur

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 leichteren 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.

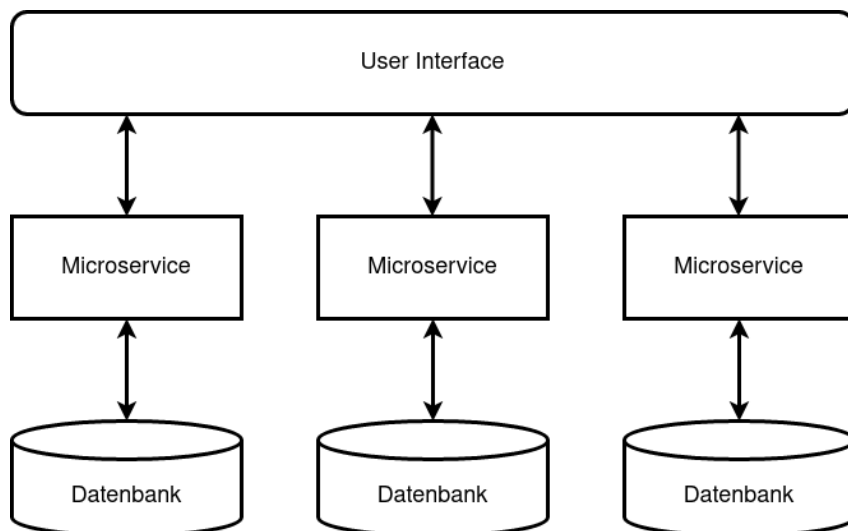


Abbildung 3: Beispielhafter Aufbau einer Microservice-Architektur

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.

2.2.2 Vorteile

Bei monolithischen Anwendungen, entstehen schnell unerwünschte Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Komponenten. Die vielen Abhängigkeiten sind schwer zu überblicken und die Änderung von einer Komponente wird erschwert, da es zu unerwünschten Nebeneffekten kommen kann. In der Praxis wird so die Architektur von den Monolithen mit der Zeit zunehmend schlechter [Wolff, 2018, S. 3]. Die Microservices besitzen nur eine lose Kopplung über explizite Schnittstellen. Unerwünschte Abhängigkeiten treten dadurch seltener auf. Durch die expliziten Schnittstellen ist es auch einfach einen gesamten Microservice zu ersetzen. Der neue Microservice muss lediglich die selbe Schnittstelle anbieten wie der Alte. Das neu schreiben eines Microservices ist durch die begrenzte Größe in der Regel nicht schwer. Somit können Microservices schneller zu neuen Technologie-Stacks migriert werden. Die Ablösung von großen Monolithen gestaltet sich dagegen häufig als eine fast unmögliche Aufgaben [Newman et al., 2015, S. 29].

Microservices können unabhängig voneinander skaliert werden. So kann eine einzelne Funktionalität, welcher stärker genutzt wird, einzeln hoch skaliert werden, ohne das gesamte System zu skalieren [Wolff, 2018, S. 5]. Flaschenhälse welche eine Anwendung ausbremsen, können somit besser vermieden werden. Die Last kann durch Microservices auch besser verteilt werden, da sie auf unterschiedlichen Rechnern laufen können. Durch Microservices können so Kosten eingespart werden. Es gibt wenige Architekturmuster wie dieses, welche so eng mit Kosteneinsparungen verbunden sind. (Newman et al., 2015, S. 27).

Die Unabhängigkeit der Microservices führt zu einer großen Technologiefreiheit. Die eingesetzten Technologien müssen lediglich die entsprechende Schnittstelle anbieten können [Wolff, 2018, S. 5]. Somit kann für jeden Microservice kompromisslos die am besten geeignete Technologie gewählt werden. Dadurch sinken auch die möglichen Auswirkungen von falschen Entscheidungen bei der Technologieauswahl.

Ein weiterer wesentlicher Grund für Microservices ist Continuous Delivery (CD). Die Microservices können unabhängig voneinander bereitgestellt werden. Tritt bei einer Bereitstellung ein Fehler auf, sind die verbundenen Risiken deutlich geringer. Es ist nicht das gesamte System davon betroffen, sondern nur der entsprechende Service. Dadurch, dass nur der veränderte Microservice neu bereitgestellt werden muss, ist die Bereitstellung schneller als bei einem Monolithen. Vor allem bei geringen Änderungen ist die erneute Bereitstellung eines gesamten Monolithen sehr unliebsam. Außerdem kann zur Absicherung bei Microservices leicht parallel eine alte Version des Microservices betrieben werden. Bei Monolithen wäre in so einem Fall der Ressourcenverbrauch doppelt so hoch, wie die Anwendung eigentlich benötigt.

2.2.3 Herausforderungen

Doch natürlich bringen Microservices wie jedes Architekturmuster auch einige Nachteile mit sich. Die Aufteilung eines Systems in viele Microservices erhöht die Komplexität. Die Beziehungen unter den Microservices können schnell unüberschaubar werden. Welcher

Microservice eine Schnittstelle eines anderen Microservices benutzt oder benötigt kann von außen nicht direkt eingesehen werden. Dies ist aber wichtig, um zu Wissen, welche Microservices von der Änderung einer Schnittstelle betroffen werden. Auch muss dabei geachtet werden, dass es auf Code-Ebene nicht zu ungewollten Abhängigkeiten kommt. Wenn mehrere Microservices die selbe Bibliothek verwenden, geht die Unabhängigkeit verloren und die Microservices müssen unter Umständen gemeinsam bereitgestellt werden [Wolff, 2018, S. 75].

Bei Monolithen können Teile des Codes leicht von einer Komponente in eine Andere verschoben werden kann. Bei Microservices müssen die Teile in einen anderen eigenständiges Programm verschoben werden und der Aufwand ist deutlich höher. Die Auswirkungen von Fehlentscheidungen bei der Einteilung und Abgrenzung sind somit sehr hoch, weil ein Refactoring über mehrere Microservices kompliziert ist.

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.

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.

Microservices besitzen eine höhere technische Komplexität, die sich vor allem auf den Betrieb auswirkt. Der Betrieb von Microservices ist sehr komplex. Die vielen Microservices müssen orchestriert werden.

2.2.4 Architektur

Die Architektur von Microservices lässt sich in zwei Bereiche untergliedern. Die Makro-Architektur befasst sich mit dem Entwurf des Gesamtsystems. Die Micro-Architektur bezieht sich auf die Architektur eines einzelnen Microservices.

Die zentrale Herausforderung der Makro-Architektur ist die Aufteilung in einzelne Microservices [Wolff, 2018, S. 102]. Die Architekturentscheidungen sollten hierbei gut überlegt sein, da das Refactoring zwischen Microservices aufwendig ist. Eine Änderung einer Fachlichkeit soll so idealerweise nur einen Microservice und ein Entwicklerteam betreffen. Wenn eine Aufteilung nach der Fachlichkeit nicht stattfindet können Microservices nicht

ihre Vorteile ausspielen. Jeder Microservice solle also einen fachlichen Kontext darstellen, der eine abgeschlossene Funktionalität darstellt. Es ist hilfreich zu Beginn mit wenigen größeren Microservices zu beginnen und bei der Weiterentwicklung Komponenten in neue Microservices ausgliedert. Eine frühe Aufteilung in zu viele Services birgt die Gefahr einer falschen Aufteilung. Die Makro-Architektur sollte auch eine technologische Basis definieren. Bei der Umsetzung der einzelnen Microservices sollte größtenteils technologische Freiheit bestehen, es sollen jedoch gemeinsame Schnittstellen und Kommunikationsprotokolle festgelegt werden. Außerdem sollte Service Discovery, Lastverteilung und Skalierbarkeit beachtet werden. Durch Service Discovery wird geregelt wie die Microservices sich gegenseitig finden können. Mit Service Discovery sollte auch Lastverteilung eingeführt werden, um Anfragen gleichmäßig auf mehrere Instanzen des selben Microservices zu verteilen. Alle diese Dinge kann Kubernetes übernehmen und werden im nächsten Kapitel erklärt. Für die Skalierbarkeit ist es wichtig, dass mehrere Instanzen vom selben Microservice parallel laufen können. Das bedeutet, dass Microservices keinen Zustand speichern dürfen.

Um unabhängige Bearbeitung zu gewährleisten, wäre es auch ratsam jeden Microservice mit einer UI auszustatten. Dann sind können alle Änderungen, egal ob sie UI, Logik, oder Datenbank betreffen, von einem Entwicklerteam umgesetzt werden. Allerdings kann eine UI, die Größe des Microservices aufblähen. Da heutzutage meist von Unterschiedlichen Frontends, wie Webseiten, mobile Apps und nativen Anwendungen, auf die selben Services zugegriffen, kann es sinnvoll sein die UI auszugliedern. Die Integration von vielen einzelnen UIs gestaltet sich als komplex. Es gibt aber mittlerweile den Micro-Frontends, welcher den Microservice Ansatz auf Frontends überträgt.

Die Micro-Architektur besitzt keine Relevanz für das Gesamtsystem. Sie ist von außen nicht sichtbar, lediglich die festgelegten Schnittstellen. Entwicklerteams sollten möglichst viel Freiheit bei den Architekturentscheidungen eines einzelnen Microservices haben. Dadurch können sie die best mögliche Lösung für den entsprechenden Microservice entwerfen. Während Microservices untereinander lose gekoppelt sind, sollten die Komponenten eines Microservices eine starke Kopplung aufweisen. Dadurch wird gewährleistet, dass die Bestandteile wirklich zusammengehören. Außerdem sollten die Microservices Zustandslos sein, da die Skalierbarkeit sonst nicht gegeben ist.

Damit Microservices sich gegenseitig zuarbeiten können müssen sie miteinander kommunizieren. Das Wichtigste dabei ist, dass die Microservices ihre Unabhängigkeit voneinander wahren. Zu viele Verbindungen zwischen Microservices sind ein Hinweis auf eine schlechte Aufteilung. Auch zyklische Abhängigkeiten sind zu vermeiden, da dort ohne weitere Abstimmung Änderungen in einem der beiden Services nicht möglich sind.

2.2.5 Integration

Die Integration und Kommunikation der einzelnen Microservices wird in diesem Abschnitt noch etwas genauer erläutert. Sie ist einer der wichtigsten Aspekte bei der Umsetzung

von Microservices. Damit Microservices sich gegenseitig zuarbeiten können müssen sie miteinander kommunizieren. Die weitgehende Unabhängigkeit der einzelnen Microservices muss jedoch bewahrt werden. Die Integration der Services ist auf drei verschiedenen Ebenen denkbar.

Auf der UI-Ebene können

UI

Datenbank Dafür ist es ratsam, dass jeder Microservice eine eigene Datenbank besitzt, auf die nur er zugreift. 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 höher Abstimmungsaufwand nötig.

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, zukunftsicher 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.

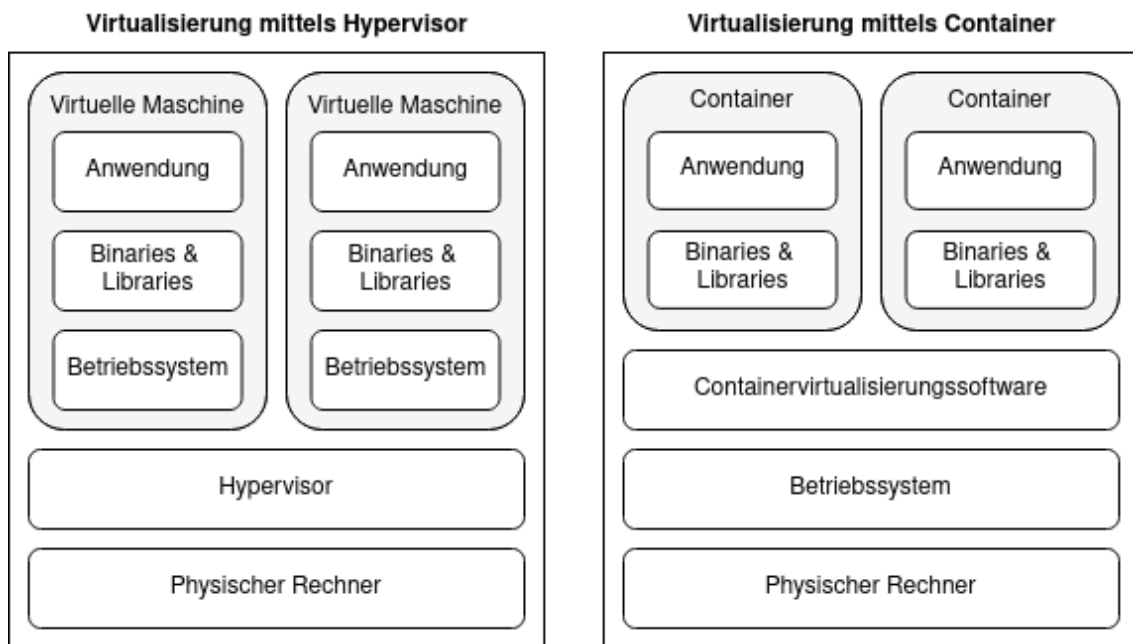


Abbildung 4: Vergleich Virtualisierung mittels Hypervisor und Container

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 Con-

tainervirtualisierung. 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 Registries 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.

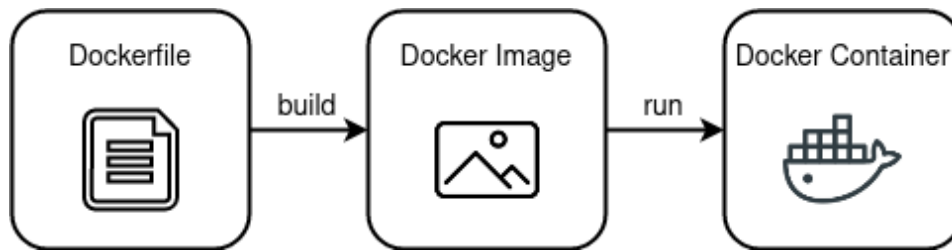


Abbildung 5: Weg vom Dockerfile zum Container

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 dem die Nodes kommunizieren. Auch externe Komponenten können mit dem API-Server kommunizieren und so Informationen abfragen oder das Cluster konfigurieren. Der Controller Manager steuert über den API-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/>

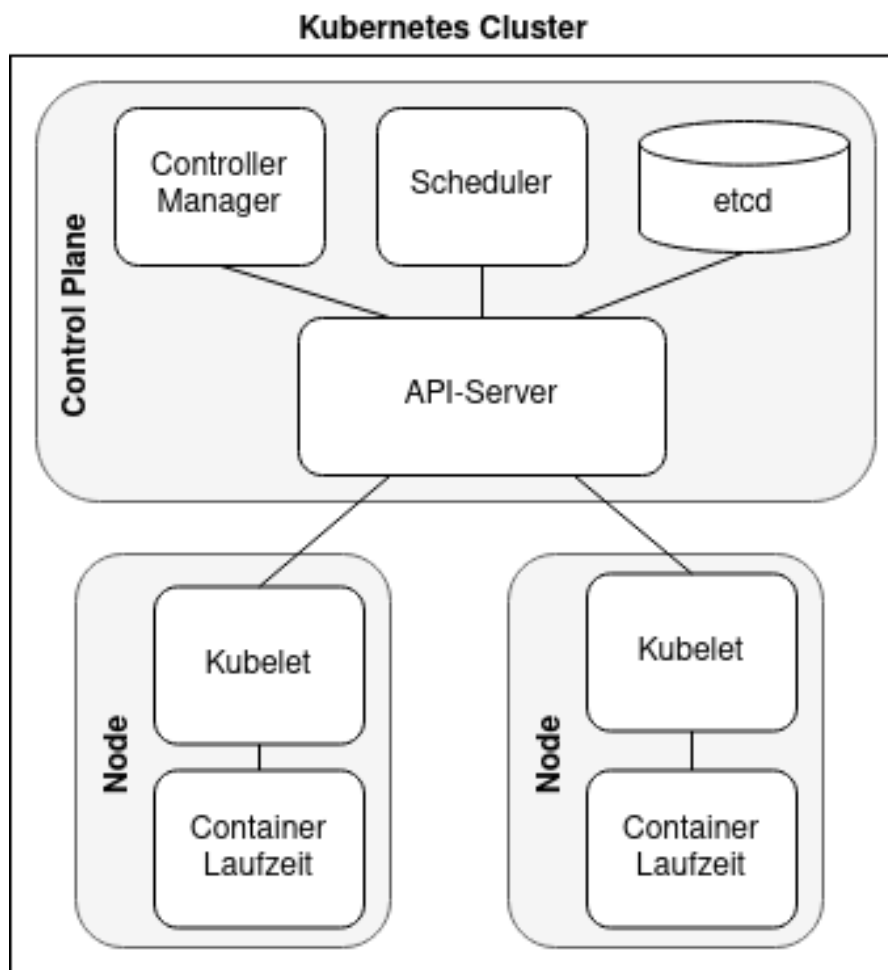


Abbildung 6: Aufbau eines Kubernetes Cluster

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. Pods sind temporäre Ressourcen, sie können gestartet und gestoppt werden und das auf allen Nodes im Cluster. Durch Skalierung kann es viele gleichartige Pods geben. Ein Service stellt einen festen Endpunkt bereit, unter dem alle dieser Pods erreichbar sind. Die Lastverteilung auf die einzelnen Pods wird von Kubernetes übernommen. Kubernetes hat viele Erweiterungen. Die Services sind dem Control Plane bekannt und somit übernimmt er die Service Discovery. DNS!
- : 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

Alle Funktionen sollen über eine grafische Benutzeroberfläche mit dem Webbrowser bedienbar sein. Darüber hinaus sollen alle Funktionen auch über eine REST-API aufrufbar sein. Die Anwendung sollte flexibel skaliert werden können.

Die Zugriffskontrolle und Benutzersicherheit wird bei der Anwendung nicht beachtet.

4 Entwurf der Microservices

An dieser Stelle sei auch erwähnt, dass der gesamte Quellcode im folgenden GitHub Repository einsehbar ist: github.com/SimonHirner/bachelor-thesis.

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 Gesamtsystem. In der Mikro-Architektur geht es um den Aufbau der einzelnen Microservices.

4.1 Makro-Architektur

Für die Makro-Architektur ist die genaue Umsetzung der einzelnen Microservices nicht relevant. Die Makro-Architektur ist besonders wichtig, da Veränderungen hier zu einem späteren Zeitpunkt sehr aufwendig werden können. Das Wichtigste ist die Aufteilung in Microservices nach der Fachlichkeit. Das CRM-System lässt sich in drei fachliche Bereiche unterteilen: Kontaktverwaltung, Interaktionsverwaltung und Chancenverwaltung. Die Microservices werden nach den Bereichen aufgeteilt. Jeder dieser drei Bereiche besitzt ein eigenes Datenobjekt. Das ist ein weiterer Hinweis für eine gute Aufteilung. Die Microservices machen ihre Dienste über REST-Schnittstellen verfügbar. Für die Skalierbarkeit ist es wichtig, dass die Microservices selbst keinen Zustand sind. Alle persistenten Daten werden in Datenbanken gehalten.

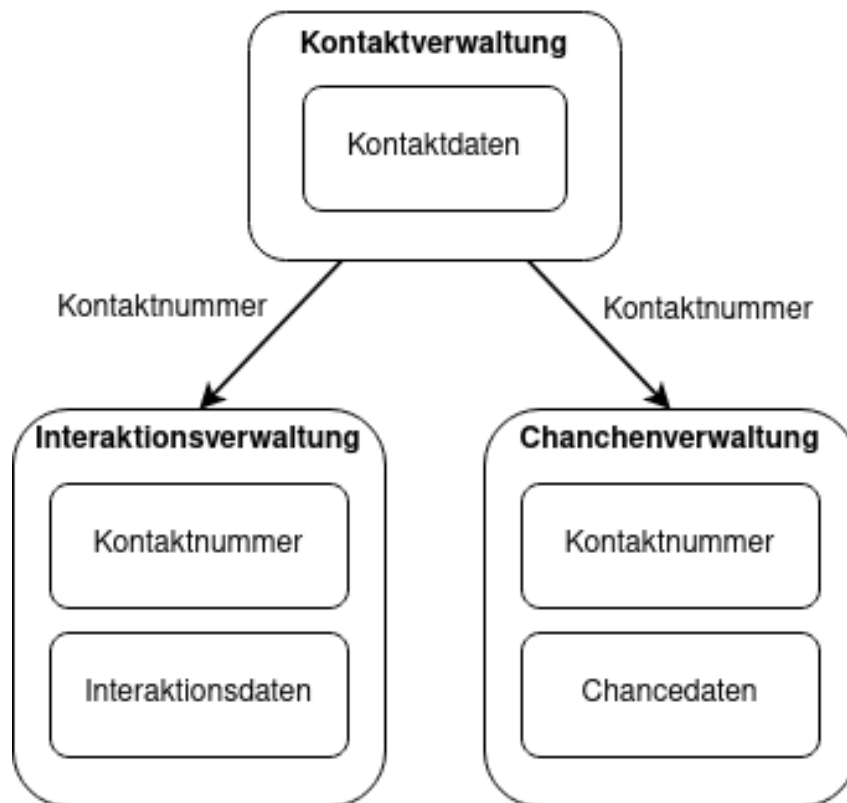


Abbildung 7: Context Map

Alle der drei eingeteilten Microservices sollen eine eigene Datenbank erhalten. Dadurch sind die Datenschemata übersichtlich und Änderungen haben nur unmittelbare Auswirkungen auf einen Microservice.

Das Frontend wird monolithisch aufgebaut und integriert alle Funktionalitäten der Microservices. Das Frontend ist dadurch einheitlich. Das System könnte auch um andere Frontends erweitert werden. Das Frontend wird dabei eine clientseitige Webanwendung, welche die REST-Schnittstellen der Microservices konsumiert.

Da sich Interaktionen und Verkaufschancen einem Kontakt bzw. Kunden zuordnen lassen sollen, ist eine Abhängigkeit zwischen diesen Microservices zu erwarten. Auch die Kommunikation zwischen Microservices soll über die gleichen REST-Schnittstellen laufen. Daraus ergibt sich der folgende Entwurf.

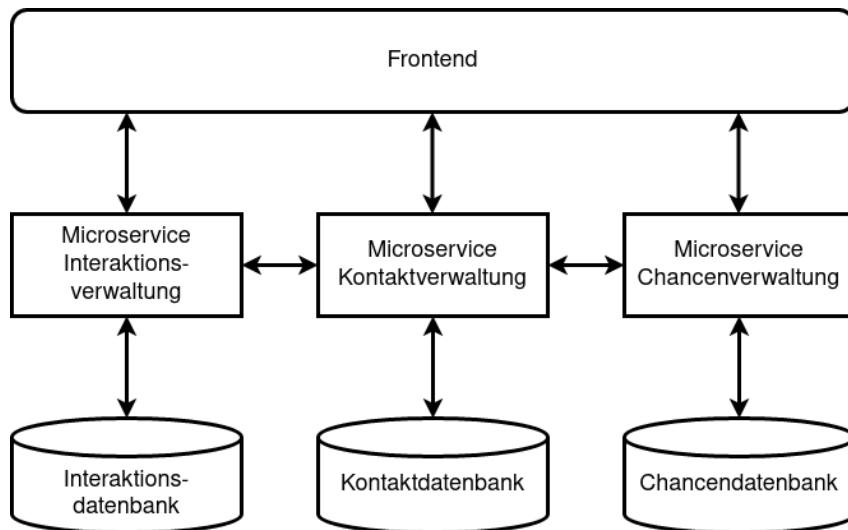


Abbildung 8: Entwurf des CRM-Systems

Die REST-Schnittstellen sollten einheitlich über alle Microservices hinweg sein. Die folgende Tabelle zeigt unter welchen Endpunkten, mit welchen HTTP-Methoden und welchen Parametern die REST-APIs aufrufbar sein sollen.

Endpunkt	HTTP-Methode	Parameter	Beschreibung
/contacts	GET	-	Gibt alle Kontakte zurück
/contacts	POST	neuer Kontakt	Fügt einen neuen Kontakt hinzu
/contacts/{ID}	GET	-	Gibt einen Kontakt zurück
/contacts/{ID}	PUT	veränderter Kontakt	Ändert einen Kontakt
/contacts/{ID}	DELETE	-	Löscht einen Kontakt

Tabelle 1: Prozessoren

Für das Frontend wird React verwendet. [React Erklärung] Für alle drei Microservices wird derselbe Technologie-Stack verwendet, um den Entwicklungsaufwand geringer zu halten. Es wird Java mit dem Framework Spring Boot verwendet. Als Datenbank wird MongoDB eingesetzt. [MongoDB Erklärung] Darüber hinaus wird Swagger in die Microservices integriert. Bei Swagger handelt es sich ein Werkzeug zur sprachunabhängigen Spezifikation von APIs. Swagger kann durch eine Abhängigkeit zu Spring Boot hinzu gefügt werden. Es erstellt automatisch eine Webseite mit der Dokumentation unserer API. Um das Monitoring, Service Discovery, Load Balancing wird mit Kubernetes gelöst. Unser System muss diese Aufgaben also nicht selbst bewältigen und diese Bestandteile werden erst in der Bereitstellung konfiguriert.

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. Die folgenden Domänenmodelle zeigen, welche Daten von den entsprechenden Microservices verwaltet werden müssen.

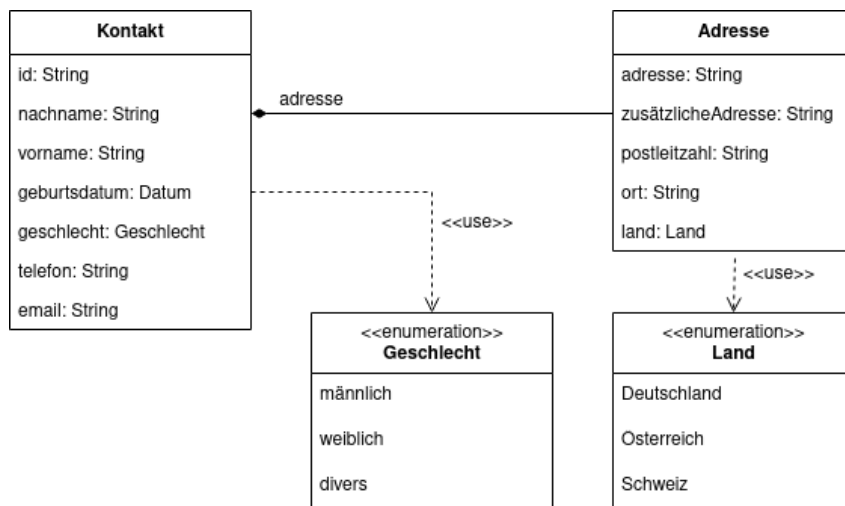


Abbildung 9: Context Map

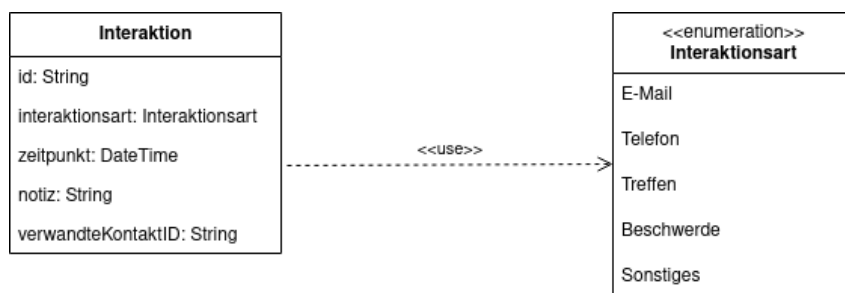


Abbildung 10: Context Map

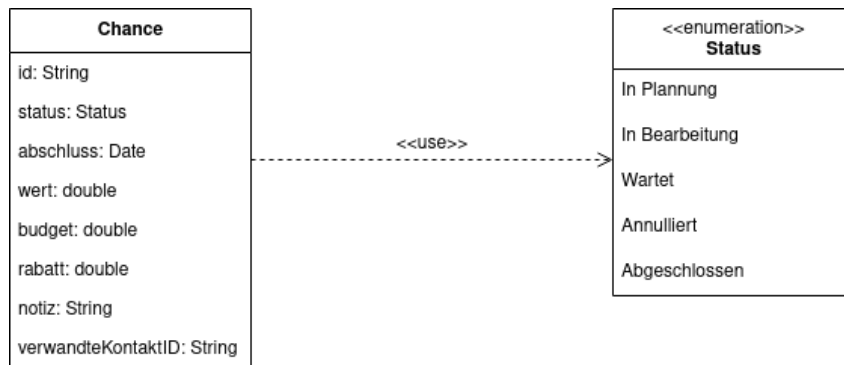


Abbildung 11: Context Map

Für die Architektur der Microservices wird eine hexagonale Architektur (Ports und Adapter) verwendet. Eine Hexagonale Architektur bietet sich

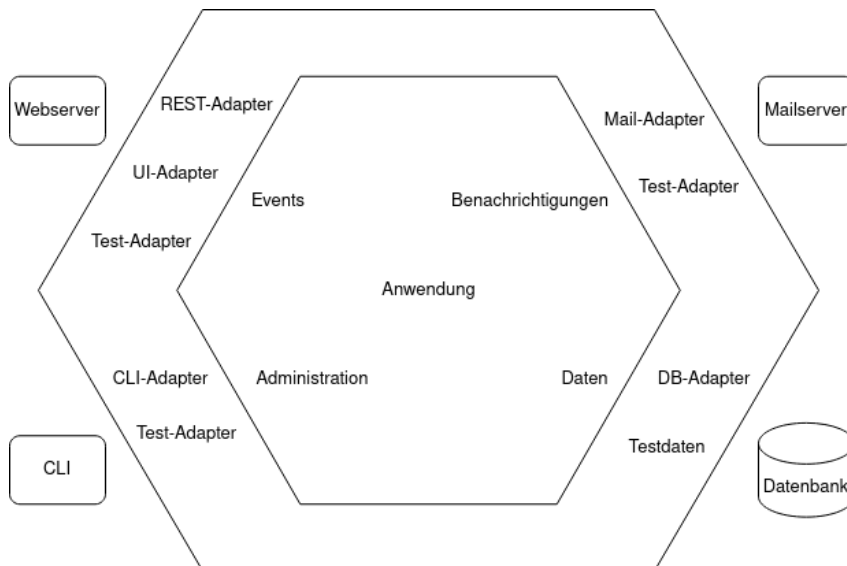


Abbildung 12: Entwurf des **Hexagonale Architektur**'s

5 Implementierung

In diesem Kapitel wird das CRM-System dem Entwurf nach implementiert. Als Erstes wird die Implementierung der Microservices erklärt, da alle drei durch den gleichen Technologie-Stack sehr ähnlich sind. Anschließend wird das Frontend, welches alle Microservices integriert, implementiert.

5.1 Microservices

Alle drei Microservices benötigen die Uniform Resource Identifier (URI) ihrer Datenbank, um mit ihr eine Verbindung aufzubauen. Der Interaktions-Microservice und der Verkaufschancen-Microservice brauchen darüber hinaus die Adresse des Kontakt-Microservices, um mit diesem zu kommunizieren. Diese Verbindungsinformationen werden den Anwendungen über Umgebungsvariablen übergeben. Später bei der Bereitstellung kann mit Kubernetes den Containern die passenden Umgebungsvariablen übergeben werden.

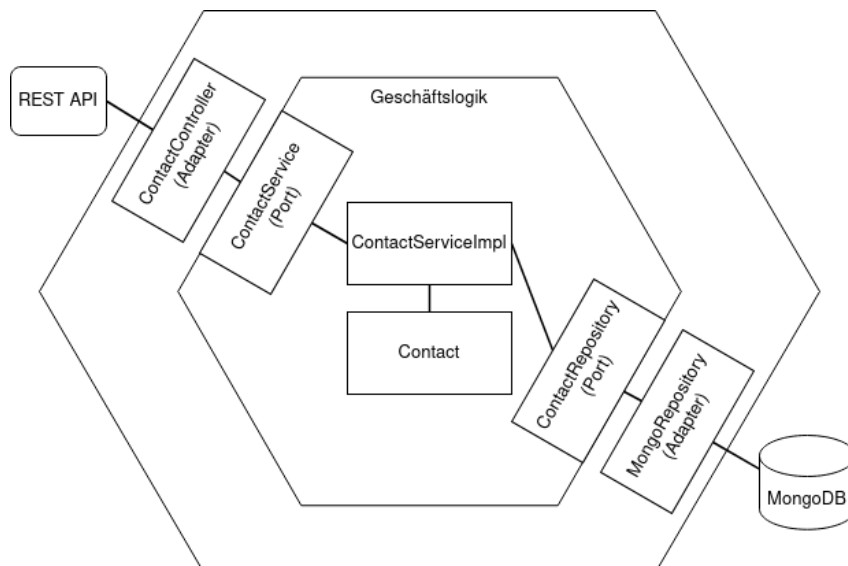


Abbildung 13: Entwurf des **Hexagonale Architektur!**s

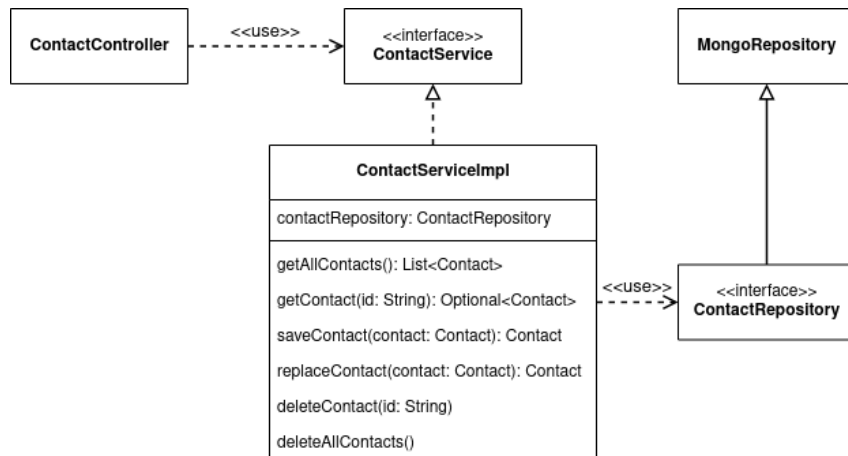


Abbildung 14: Entwurf des **Hexagonale Architektur!**s

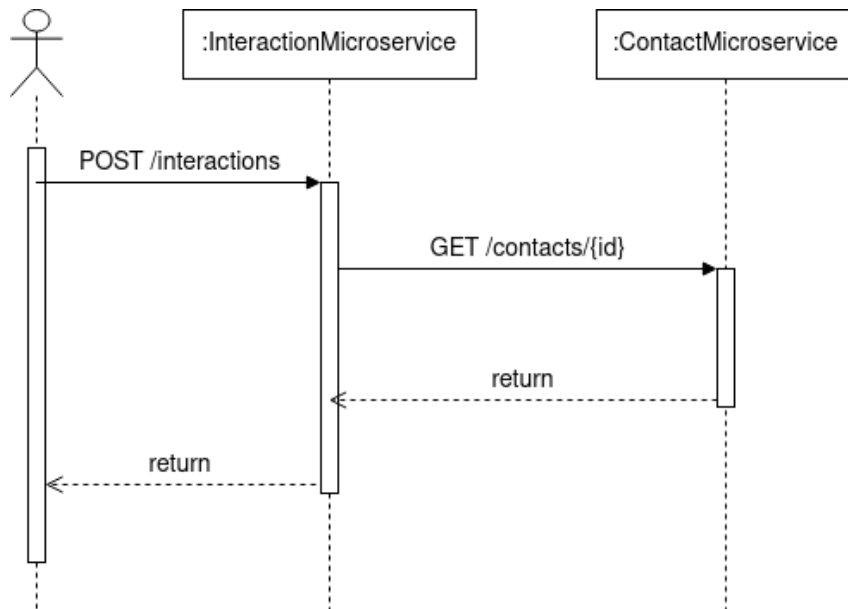


Abbildung 15: Entwurf des **Hexagonale Architektur!**s

5.2 Frontend

Das Frontend. Das Frontend soll später auch mit Kubernetes bereitgestellt werden, es wird aber nicht als Microservices angesehen. Das Frontend benötigt die URI aller Services. Auch hier werden die Verbindungsinformationen über eine Umgebungsvariable übergeben.

6 Bereitstellung mit Kubernetes

Im letzten Teil der Fallstudie wird das fertige CRM-System nun mit Kubernetes bereitgestellt.

6.1 Containerisierung

Um die Microservices und das Frontend in Pods in einem Kubernetes Cluster laufen zu lassen, müssen sie erst mit Docker containerisiert werden. Dazu wird als Erstes ein Dockerfile für jeden Microservice erstellt. Anschließend kann aus dem Dockerfile ein Docker Image gebaut werden, mit dem dann ein entsprechender Container gestartet werden kann.

Dockerfiles besitzen eine eigene Syntax. Ein großgeschriebener Befehl wird gefolgt von einem oder mehreren Parametern. Es ist aufgebaut wie eine Anleitung, welche Schritt für Schritt abgearbeitet wird. Die Dockerfiles der Microservices haben alle den selben Aufbau, da alle drei Projekte auch die selben Aufbau und die selben Technologien verwenden. Der erste Befehl in den Dockerfiles bestimmt, auf welchem Docker Image unser eigenes Image basieren soll. Hier wird ein Image mit einer Java-Plattform verwendet, welches automatisch aus dem öffentlichen DockerHub heruntergeladen wird. Anschließend wird die JAR-Datei der Anwendung in das Image kopiert. Als letzter Befehl wird festgelegt, dass die JAR-Datei beim Start des Containers ausgeführt werden soll.

```
1 FROM openjdk:11-jdk-slim
2 ARG JAR_FILE=target/*.jar
3 COPY ${JAR_FILE} app.jar
4 EXPOSE 8080
5 ENTRYPOINT ["java", "-jar", "/app.jar"]
```

Quellcode 1: Dockerfile für Kontakt-Microservice

Das Frontend benötigt ein eigenes Dockerfile. Dieses hat einen mehrstufigen Aufbau. Im ersten Stufe, der Build-Stage, wird unsere React-Anwendung gebaut. Um die fertig gebaute Webanwendung an einen Browser auszuliefern wird ein Webserver benötigt. In der zweiten Stufe des Dockerfiles basiert auf einem Image mit dem Webserver Nginx. Die React-Anwendung aus der Build-Stage wird nun in das finale Image kopiert.

```
1 FROM node:alpine as build
2 WORKDIR /app
3 COPY package*.json ./
4 RUN npm install --silent
5 COPY . .
6 RUN npm run build
7
8 FROM nginx:alpine
9 WORKDIR /usr/share/nginx/html
```

```
10 RUN rm -rf ./*
11 COPY --from=build /app/build .
12 ENTRYPOINT ["nginx", "-g", "daemon off;"]
```

Quellcode 2: Dockerfile für Frontend

Für die Datenbanken müssen keine eigenen Dockerfiles erstellt werden. Hier reichen unveränderte Images, welche aus dem DockerHub heruntergeladen werden können, aus. Mit dem folgenden Befehl kann aus dem Dockerfile nun ein Docker Image gebaut werden.

```
1 docker build -t contact-microservice:latest .
```

Quellcode 3: Befehl

6.2 Bereitstellung

Für jede Datenbank wird eine Anwendung

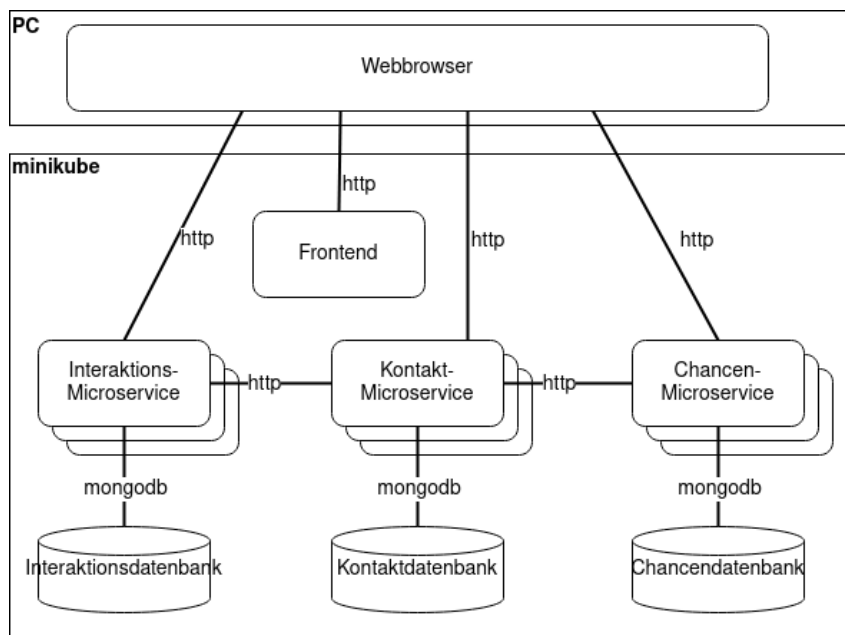


Abbildung 16: Entwurf des **Hexagonale Architektur!**s

Jetzt müssen die fertigen Images in unserem Kubernetes Cluster bereitgestellt werden. Dafür werden YAML-Dateien erstellt, in denen die gewünschten Kubernetes Objekte beschrieben werden. Für jeden der drei Microservices und das Frontend muss ein Service und ein Deployment erstellt werden. Das Deployment repräsentiert die Anwendung. Mit Parametern kann festgelegt werden wie viele Pods mit der Anwendung gestartet werden sollen.

```
1 apiVersion: apps/v1
2 kind: Deployment
3 metadata:
4   name: contact-service
5 spec:
6   replicas: 1
7   template:
8     metadata:
9       labels:
10        app: contact-service
11     spec:
12       containers:
13         - name: contact-service
14           image: contact-microservice:latest
15           imagePullPolicy: IfNotPresent
16           ports:
17             - containerPort: 8080
18           env:
19             - name: MONGODB_HOST
20               valueFrom:
21                 configMapKeyRef:
22                   name: contact-db-config
23                   key: host
```

Quellcode 4: Befehl

```
1 apiVersion: v1
2 kind: ConfigMap
3 metadata:
4   name: contact-service-config
5 data:
6   host: contact-service
```

Quellcode 5: Befehl

Nach der Erstellung der Services wird die Service Discovery und Lasterverteilung von Kubernetes übernommen.

```
1 kind: Service
2 apiVersion: v1
3 metadata:
4   name: contact-service
5 spec:
6   selector:
7     app: contact-service
8   ports:
9     - protocol: TCP
10      port: 8080
```

```
11     nodePort: 30010
12     type: NodePort
```

Quellcode 6: Befehl

Nun müssen nur noch alle YAML-Dateien über den folgenden kubectl-Befehl angewendet werden. Kubernetes sorgt nun dafür, dass die beschriebenen Objekte erstellt werden.

```
1 kubectl apply -f contact-microservice.yaml
```

Quellcode 7: Befehl

6.3 Skalierung

Um die Vorteile von unseren Microservices auszunutzen, sollen die Microservices nun horizontal skaliert werden. Auch dafür wird eine YAML-Datei erstellt, in der ein HorizontalPodAutoscaler-Objekt für jeden Microservice beschrieben wird. In der Datei wird angegeben, welches Deployment skaliert werden soll. Als Metrik, wann hochskaliert werden soll, kann die CPU-Auslastung des Pods verwendet werden. Darüber hinaus wird angegeben wie viele Pods von dem entsprechenden Microservice minimal und maximal ausgeführt werden sollen.

```
1 apiVersion: autoscaling/v1
2 kind: HorizontalPodAutoscaler
3 metadata:
4     name: contact-service
5 spec:
6     scaleTargetRef:
7         apiVersion: apps/v1
8         kind: Deployment
9         name: contact-service
10    minReplicas: 2
11    maxReplicas: 4
12    targetCPUUtilizationPercentage: 80
```

Quellcode 8: Befehl

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 30. Januar 2022

S. Hüner