

Project Orion - Kommentar

DOMINIK KELLER, JAKOB KLEMM

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
1 Vision	5
1.1 Adressen	6
1.2 Zentralisierung	8
1.3 Komplexität	10
1.4 Präsentation	10
2 Prozess	11
2.1 Modularität	11
2.2 Präsentation	14
3 Produkt	17
3.1 Actaeon	17
3.2 Anwendungen	20
3.3 Orion	20
4 Ausblick	21
5 Fazit	23
6 Anhang	25
6.1 Projekte	25
6.2 Architektur	31
6.3 Dokumentation	33
6.4 Bestätigung	33

Abstract

Wir leben in einer bequemen Welt. Das wollen wir wenigstens glauben. In Wahrheit leben wir aber in einer idyllischen Illusion. Die unglaublichen Veränderungen unserer Gesellschaft und unseres Alltags hätte sich vor 30 Jahren niemand vorstellen können. Die Geschwindigkeit der Fortschritte hat noch nie gesehene Mengen an Wohlstand und Reichtum geschaffen. Doch im Rausch des Wandels wurden gewisse Entscheidungen, manche bewusst und böswillig, andere aus Not, getroffen, welche uns in unserer modernen, vom Internet vollständig abhängigen Gesellschaft in eine prekäre Situation bringen. Die tiefsten Fundamente der Welt, wie wir sie kennen, sind dem totalen Zusammenbruch gefährlich nahe, und was das System am Laufen hält, sind oftmals monopolistische Megaunternehmen und ihre ungewählten CEO's, die von der Weltherrschaft träumen.

Es ist offensichtlich, dass eine Alternative her muss. Aber während verschiedenste Projekte bereits grosse Fortschritte in den Bereichen der dezentralen Kommunikation und Datenspeicherung machen, bleiben oftmals die Nutzer aus. Denn trotz aller Innovation und aller Vorteile geht es hier um äusserst abstrakte, komplexe Themen, welche Unmengen an Vorwissen und Interesse benötigen, um sie genügend zu verstehen. Project Orion versucht genau da anzusetzen: Nebst einem dezentralen Kommunikationssystem sollen auch verschiedene, praktisch einsetzbare Anwendungen die Prinzipien dezentraler Systeme in die Hände der Endnutzer bringen und dort einen sichtbaren, verständlichen Unterschied machen. Besonders dafür wurde ein 3D Multiplayer Videospiel entwickelt, welches basierend auf einem eigenen dezentralen Kommunikationsprotokoll, die gewohnte Erfahrung bekannter Videospiele liefern soll, ohne dabei in die Fänge der Megaunternehmen zu geraten.

Zusätzlich werden die Entwickelten Werkzeuge mit ihrer Dokumentation und unseren Erfahrungen und Lektionen öffentlich zur Verfügung gestellt, sodass zukünftige Projekte davon profitieren können und die Einstiegshürde für das Gebiet der dezentralen Daten-systeme hoffentlich gesenkt wird.

Vorwort

Die schriftliche Komponente der Maturaarbeit `Project Orion` besteht aus drei verschiedenen Teilen. Da die behandelten Themen äusserst komplex und umfangreich sind, verlangen die Abschnitte der Arbeit verschiedenes Vorwissen und einen unterschiedlichen Zeitaufwand. Deswegen wurde die schriftliche Komponente in drei Subkomponenten aufgeteilt, die sie nach technischem Detailgrad sortiert sind. Wer nur ein oberflächliches Verständnis über die Arbeiten und eine Analyse des Umfelds will, ohne dabei zu technisch zu werden, muss nicht über den Hauptteil dieses Dokuments hinaus. Aber wer vollständigen Einblick in die Errungenschaften und Konzepte erhalten will, muss gewisses Vorwissen und genügend Zeit mitbringen.

- **Schriftlicher Kommentar:** Im Hauptteil dieses Dokuments findet sich eine klassische Besprechung der Arbeit. Begonnen mit einer Zielsetzung und der Vision, bis zur Analyse des Produkts und einem Ausblick in die Zukunft, bekommt man schnell einen guten, aber eher oberflächlichen Einblick in das Projekt. Wer nur über die Vision und den aktuellen Stand wissen will, muss nicht darüber hinaus, aber verschiedene Konzepte und nahezu die gesamte technische Umsetzung sind damit noch nicht abgedeckt.
- **Dokumentation:** Im Anhang dieser Arbeit befinden sich zusätzliche Kapitel, welche nicht unbedingt für einen allgemeinen Überblick über die Arbeit nötig sind, aber tieferen Einblick in die Gedanken und die schlussendliche Umsetzung der vorgestellten Produkte gibt. Für diese Abschnitte wird allerdings gewisses technisches Know-How verlangt. Die Abschnitte sind eher umfangreich, können aber auch gut als eine Art Nachschlagewerk verwendet werden.
- **Code:** Neben der schriftlichen Dokumentation des Projekts existiert eine weitere Form der Dokumentation. Nahezu jede Funktion und jedes Modul über die verschiedenen *Crates* sind dokumentiert. Diese Dokumentationen lassen sich nicht in einem klassisch strukturierten Dokument finden, stattdessen ist die Code-Dokumentation online über automatisch generierte Rust-Dokumentation zu finden. Wer den Code von `Project Orion` verwenden will wird sich dort gut zurecht finden.

Kapitel 1

Vision

1. Oktober 1964 - UCLA an Stanford: LO

1964 rechnete niemand mit der fundamentalen Änderung unserer Lebensweise, die mit dieser einfachen Nachricht in Bewegung gebracht wurde. Eigentlich hätte die erste Nachricht über das ARPANET im Jahre 1964 LOGIN heissen sollen, doch das Netzwerk stürzte nach nur zwei Buchstaben ab. Ob dies als schlechtes Omen für die Zukunft hätte gewertet werden sollen, bleibt eine ungeklärte Frage. Aber das Internet ist hier und es ist so dominant wie noch nie zuvor. Jetzt ist es in der Verantwortung jeder neuen Generation auf diesem Planeten, mit den unglaublichen Möglichkeiten richtig umzugehen und die Vielzahl an bevorstehenden Katastrophen und Gefahren zu navigieren.

Ohne das Internet wäre die Welt wie wir sie kennen, nicht möglich. Unsere Arbeit, Kommunikation und unser Entertainment sind nicht einfach nur abhängig von der enormen Interkonnektivität des Internets, ohne sie würden ganze Industrien und Bereiche unserer Gesellschaft gar nicht erst existieren. Das Internet hatte einen selbstverstärkenden Effekt auf sein eigenes Wachstum. Der um ein Vielfaches schnellere Datenaustausch und die enorme Interkonnektivität führten dazu, dass jede neue Innovation und jede neue Plattform noch schneller noch mehr User erreichte und auf immer unvorstellbarere Grössen anwuchs.

Das ist grundsätzlich nichts Schlechtes. Das Internet hat eine unvorstellbare Menge an Vermögen, Geschwindigkeit und Bequemlichkeit für uns alle geschaffen und wir haben unsere Gesellschaftsordnung daran ausgerichtet. Aber man muss sich fragen, ob wir manche der Schritte nicht doch überstürzt haben. Im Namen des Wachstums und aus FOMO (*Fear Of Missing Out*) wurden Technologien für die Massen zugänglich, die eigentlich nie für solche Grössenordnungen entwickelt wurden. Denn sobald die immer höheren Erwartungen an teils unglaublich fragile Systeme nicht mehr erfüllt werden, kommt es schnell zur Katastrophe. Und durch unsere Abhängigkeit von diesen Systemen steht bei einem solchen Szenario nicht nur der Untergang einiger Produkte oder einzelner Firmen bevor, nein, es könnte zum Kollaps ganzer Länder oder Gesellschaften kommen.

Egal wie sicher und zuverlässig unsere *öffentliche* Infrastruktur auch scheinen mag, es lassen sich doch schnell Risse im System erkennen. Nicht nur an der Oberfläche, sondern auch im Herzen unseres digitalen Leben, gibt es Probleme. Oftmals handelt es sich dabei nicht um *Kleinigkeiten*, *Meinungsverschiedenheiten* oder *Kontroversen*, sondern um physikalische Grenzen, grundlegende Designfehler und das vielseitige Versagen der involvierten Parteien.

In den nächsten Kapiteln sollen einige dieser zentralen Probleme besprochen werden. Dabei soll versucht werden, nicht nur die fehlerhaften Implementierungen zu erklären, sondern auch die dadurch entstandenen Probleme in Verbindung mit unseren täglichen Interaktionen und Verwendungen des Internets zu bringen. In einem nächsten Schritt soll dann eine Lösung besprochen werden: ein System, mit welchem sich möglichst viele der grössten Probleme lösen lassen, und welches tatsächlich praktischen Nutzen bietet.

1.1 Adressen

Das Internet erlaubt einfache, standardisierte Kommunikation zwischen Geräten aller Art. Egal welche Funktion oder Form sie auch haben mögen, es braucht nicht viel, um ein Gerät mit dem Internet zu verbinden. Nebst den benötigten Protokollen, hauptsächlich TCP und UDP wird eine IP-Adresse als eindeutige Identifikation benötigt. Während vor dreissig Jahren wunderbare Systeme und Standards geschaffen wurden, welche seither die Welt grundlegend verändert haben, gibt es doch einige fundamentale Probleme und Limitierungen.

1.1.1 IP-V4

In der Geschichte der Menschheit haben wir aus vielen verschiedenen Gründen Krieg geführt. Für Wasser, Nahrung, Öl, Frieden oder Freiheit in den Krieg zu ziehen, scheint zu einer fernen Welt zu gehören. Aber auch wenn diese grundlegenden Verlangen gedeckt sind, werden schon bald neue Nöte aufkommen. Während *Daten* oft als Gold des 21. Jahrhunderts bezeichnet werden, gibt es noch eine andere Ressource, deren Vorräte wir immer schneller erschöpfen.

4'294'967'296. So viele IP-V4-Adressen wird es jemals geben. IP-V4-Adressen werden für jedes Gerät benötigt, das im Internet kommunizieren will und dienen zur eindeutigen Identifizierung. Aktuell wird die vierte Version (V4) verwendet. In einer Wirtschaft, in der unendliches Wachstum als letzte absolute Wahrheit geblieben ist, kann ein solch hartes Limit verheerende Folgen haben. Besonders wenn die limitierte Ressource so unendlich zentral für unser aller Leben ist wie nichts Anderes. Mit IP-V6 wird zurzeit eine Alternative angeboten, die solche Limitierungen nicht hat. Aber der Wechsel ist eine freiwillige Entscheidung, für die nicht nur alle Betroffenen bereit sein müssen, sondern für die auch jede einzelne involvierte Komponente diese neue Technologie unterstützen muss.

Für jeden Einzelnen kann dies verschiedene Konsequenzen haben:

- Die Preise der Internetanbieter und Mobilfunkabonnemente werden wahrscheinlich langfristig steigen, sobald die erhöhten Kosten für neue Adressen bis zum Endnutzer durchsickern.
- Ein technologischer Wandel wird langfristig von Nöten sein, welcher jeden Einzelnen dazu zwingt, auf neue Standards umzusteigen. Eine solche Umstellung wird den häufigen Problemen grossflächiger technischer Umstellungen nicht ausweichen können.

1.1.2 Routing

Freiheit und Unabhängigkeit sind menschlich. Es darf niemals bestraft werden, nach diesen fundamentalen Rechten zu streben. Und doch führt das egoistische Streben nach Freiheit zu Problemen, oftmals allerdings nicht für die nach Freiheit Strebenden.

Genau diese Situation findet man im aktuellen Konflikt um die Grösse von *Address-Abschnitten* vor. Um dieses Problem richtig zu verstehen, muss als erstes die Funktion der *Zentralrouter* und der globalen Netzwerkinfrastruktur erklärt werden:

Jedes Gerät im Internet ist über Kabel oder Funk mit jedem anderen Gerät verbunden. Da das Internet aus einer Vielzahl von Geräten besteht, wäre es unmöglich, diese direkt miteinander zu verbinden. Daher lässt sich das Internet besser als *umgekehrte Baum-Struktur* vorstellen:

- Ganz unten finden sich die Blätter, die Abschlusspunkte der Struktur. Sie stellen die *Endnutzengeräte* dar. Jeder Server, PC und jedes iPhone. Hier ist es auch wichtig festzustellen, dass es in dieser Ansicht des Internets keine magische *Cloud* oder ferne Server und Rechenzentren gibt. Aus der Sicht des Netzwerks sind alle Endpunkte gleich, auch wenn manche für Konsumenten als *Server* gelten.
- Die Verzweigungen und Knotenpunkte über den Blättern, dort wo sich Äste aufteilen, stellen *Router* und Switches dar. Hier geht es allerdings nicht um Geräte, die sich in einem persönlichen Setup oder einem normalen Haushalt finden. Mit Switches sind die Knotenpunkte (POP-Switches) der Internet-Anbieter gemeint. Diese teilen eingehende Datenströme auf und leiten die richtigen Daten über die richtigen Leitungen.
- Ganz oben findet sich der Stamm. Während ein normaler Baum natürlich nur einen Stamm hat, finden sich in der Infrastruktur des Internets aus Zuverlässigkeitsgründen mehrere. Von diesen *Zentralroutern* gibt es weltweit nur eine Handvoll und sie sind der Grund für das Problem.

Die *Zentralrouter* kümmern sich nicht um einzelne Adressen, sondern um Abschnitte von Adressen, auch *Address Spaces* genannt. An den zentralen Knotenpunkten geht es also nicht um einzelne Server oder Geräte, zu dem etwas gesendet werden muss, stattdessen wird eher entschieden, ob gewisse Daten beispielsweise von Frankfurt a. M.

aus nach Ost- oder Westeuropa geschickt werden müssen.

Im Laufe der Jahre wurden die grossen Abschnitte von Adressen immer weiter aufgeteilt. Internet-Anbieter und grosse Firmen können diese Abschnitte untereinander verkaufen und aufteilen. Und jede Firma will natürlich ihren eigenen Abschnitt, ihren eigenen `Address Space`. Für die Firmen hat dies viele Vorteile, beispielsweise müssen weniger Parteien beim Finden des korrekten Abschnitts involviert sein. Aber für die `Zentralrouter` bedeutet es eine immer grössere Datenbank an Zuweisungen. Dieses Problem geht so weit, dass die grossen `Routingtables` inzwischen das physikalische Limit erreichen, das ein einzelner Router verarbeiten kann.

1.2 Zentralisierung

Die Macht in den Händen einiger weniger Kapitalisten und internationaler Unternehmen ist unvorstellbar gross. Einige wenige CEO's, welche nie gewählt, überprüft oder zur Rede gestellt wurden, sind in voller Kontrolle unserer Leben. Egal welcher politischen, wirtschaftlichen oder gesellschaftlichen Ideologie jemand auch folgt, eine solche Abhängigkeit wirft gewisse Fragen und Probleme auf.

Aber neben den ideologischen Fragen und Sicherheitsbedenken gibt es auch noch sehr praktische Probleme in der Art, wie moderne Internet-Dienste implementiert sind.

1.2.1 Datenschutz

Wenn man nicht für etwas zahlt, ist man das Produkt.

Nach dieser Idee ist man für ziemlich viele Firmen ein Produkt. Doch leider muss man realisieren, dass man selbst bei kostenpflichtigen Diensten als Produkt gesehen wird. Denn das Internet hat einen neuen Rohstoff zur Welt gebracht. Wer viele Daten über Menschen besitzt, bekommt binnen kürzester Zeit Macht.

In ihrer einfachsten Funktion werden Daten für personalisierte Werbung eingesetzt. Damit lassen sich Werbungen zielgerichtet an Konsumenten schicken und der Umsatz, sowohl für Firmen als auch für Anbieter, optimieren.

Werbung ist mächtig und hat einen grossen Einfluss auf den Markt. Aber damit lassen sich lediglich Konsumenten zu Käufen überzeugen oder davon abbringen. Wenn man dies mit dem tatsächlichen Potential in diesen Daten vergleicht, merkt man schnell, wie viel noch möglich ist. Denn die Daten die sich täglich über uns im Internet anhäufen, zeigen mehr als unser Kaufverhalten. Von Echtzeit-Positionsupdates, Anrufen und Suchanfragen bis hin zu privaten Chats und unseren tiefsten Geheimnissen, sind wir meist überraschend unvorsichtig im Umgang mit digitalen Werkzeugen.

Während man davon ausgehen muss, dass Firmen, deren Haupteinnahmequelle Werbung ist, unsere Daten sammeln und verkaufen, gibt es eine Vielzahl an anderen Firmen, die ebenfalls unsere Daten sammeln, obwohl man von den meisten dieser Firmen noch nie gehört hat. Die Liste der potentiellen Mithörer bei unseren digitalen Unterhaltungen ist nahezu unendlich: Internet-Anbieter, DNS-Dienstleister, CDN-Anbieter, Ad-Insertion-Systeme, Analytics-Tools, Knotenpunkte & Datencenter, Browser und Betriebssysteme.

Aus dieser Tatsache heraus lassen sich zwei zentrale Probleme formulieren:

- Selbst für die einfachsten Anfragen im Internet sind wir von einer Vielzahl von Firmen und Systemen abhängig. Dieses Problem wird noch etwas genauer im Abschnitt Abhängigkeit besprochen.
- Wir haben weder ein Verständnis von den involvierten Parteien noch die Bereitschaft, Bequemlichkeit dafür aufzugeben.

1.2.2 Abhängigkeit

In einem fiktionalen Szenario¹ erklärt *Tom Scott* auf seinem YouTube-Kanal, was passieren könnte, wenn eine einzelne Sicherheitsfunktion beim Internetgiganten Google fehlschlagen würde. In einem solchen Fall ist es natürlich logisch, dass es zu Problemen bei den verschiedensten Google-Diensten kommen würde. Aber schnell realisiert man, auf wie vielen Seiten Nutzer die *Sign-In with Google* Funktion benutzen. Und dann braucht es nur eine böswillige Person um den Administrator-Account anderer Dienste und Seiten zu öffnen, wodurch die Menge an Sicherheitsproblemen exponentiell steigt.

Aber es muss nicht immer etwas schief gehen, um die Probleme zu erkennen. Sei es politische Zensur, *Right to Repair* oder *Net Neutralität*, die grossen Fragen unserer digitalen Zeit sind so relevant wie noch nie.

Während die enorme Abhängigkeit als solche bereits eine Katastrophe am Horizont erkennen lässt, gibt es noch ein konkreteres Problem: Den Nutzern (*den Abhängigen*) ist ihre Abhängigkeit nicht bewusst. Wenn sie sich ihren Alltag ohne Google oder Facebook vorstellen, denken sich viele nicht viel dabei. Weniger *lustige Quizfragen* oder Bilder von Haustieren, aber was könnte den schon wirklich Schlimmes passieren?

Während es verständlich ist, dass das Benutzen von Google natürlich von Google abhängig ist, so versteht kaum jemand, wie viel unserer täglichen Aktivitäten von Diensten und Firmen abhängen, die selbst wieder von Google abhängig sind. Seien es die Facebook-Server, durch welche keine Whatsapp-Nachrichten mehr geschickt werden könnten, oder die fehlerhafte Konfiguration bei Google, durch welche manche Kunden die Temperatur ihrer Wohnungen auf ihren Nest Geräten nicht mehr anpassen könnten², das Netz aus

¹Tom Scott: Single Point of Failure https://youtu.be/y4GB_NDU43Q, heruntergeladen am 24.05.2020.

²Fastcompany: Google outage <https://www.fastcompany.com/90358396/that-major-google-outage-meant-some-nest-users-couldnt-unlock-doors-or-use-the-ac>, heruntergeladen am 24.10.2021.

internen Verbindungen zwischen Firmen ist komplex und undurchschaubar. Und das nicht nur für die Entnutzer, da oftmals die Firmen selbst von kleinsten Problemen anderer Dienste überrascht werden können. Der wirtschaftliche Schaden solcher Ausfälle ist unvorstellbar, aber noch wichtiger muss die zerstörende Wirkung dieser unvorhergesehenen, scheinbar entfernten Problemen auf Millionen von Menschen bedacht werden.

1.3 Komplexität

In diesem Abschnitt soll noch kurz die unglaubliche Komplexität angesprochen werden, welche die heutige Web-Entwicklung mit sich bringt. Natürlich existieren automatisierte Dienste und Anbieter, die den Prozess vereinfachen. Wer aber Wert auf seine Privatsphäre und auf die Verwendung von open-source Software legt, muss sich um vieles selbst kümmern. Nicht nur die Auswahl an verschiedenen Programmen kann erschlagend wirken, sondern der Fakt, dass diese untereinander kompatibel sein müssen. Zwar reden wir oft von einem Webserver, allerdings sind es tatsächlich viele verschiedene Programme, die alle fehlerfrei miteinander interagieren müssen, um Resultate zu liefern. Dies kann den Einstieg schwer machen, in gefährlicheren Fällen kann es dazu führen, dass Sicherheit und Datenschutz aus Zeit- oder Komplexitätsgründen weggelassen oder vernachlässigt werden.

Dabei geht es oben nur um *klassische* Webseiten oder Webserver. Die Welt der dezentralen Technologien ist im Vergleich dazu wie der wilde Westen, ohne Standards, ohne Kompatibilität oder Regelungen. Dies führt dazu, dass es zwar für gewisse Anwendungen speziell entwickelte Netzwerke gibt, diese allerdings kaum allgemein einsetzbar sind.

1.4 Präsentation

Ein weiteres Problem, das es zu berücksichtigen gibt, ist die Frage, wie man die hier behandelten Probleme technisch nicht versierten Personen erklären kann. Tatsächlich sind sowohl die besprochenen Probleme, als auch deren Lösungsansätze nicht nur abstrakt, sondern dazu noch Teil einer kleinen Nische in der Welt der Informatik. Manche der angesprochenen Probleme wurden bereits von anderen Applikationen zumindest teilweise behandelt, diese haben aber oftmals das Problem, dass sie viel Fachwissen und Aufwand benötigen, um sie effizient und sicher einzusetzen.

Prozess

Oftmals ist es nicht besonders spannend, über den Prozess einer Programmierarbeit zu hören, denn für Aussenstehende scheint sich von Tag zu Tag nichts zu ändern. Sinnvolles kann erst berichtet werden, wenn der Zeitrahmen erhöht wird, sodass grössere Entscheidungen und ihre Konsequenzen sichtbar gemacht werden können. Die Entwicklung und die Produkte dieser Arbeit sollen in zwei Abschnitte getrennt werden, wobei die meisten Produkte aus der zweiten Phase hervorgegangen sind.

2.1 Modularität

Da während dieser ersten Entwicklungsphase viele wichtige Erkenntnisse entstanden, ist es wichtig, die Ideen und die Umsetzung genau zu analysieren. Zwar unterscheiden sich die Ziele und Methoden der beiden Ansätze stark, gewisse Konzepte und einige Programme aber lassen sich für die aktuelle Zielsetzung vollständig übernehmen.

Als Erstes ist es wichtig, die Zielsetzung des Systems, welches hier einfach als “Modularer Ansatz” bezeichnet wird, zu verstehen und die damit entstandenen Probleme genau festzuhalten.

- **Modularität**
Wie der Name bereits verrät, ging es in erster Linie um die Modularität. Ziel war also eine Methode zur standardisierten Kommunikation zu entwickeln, durch welche dann beliebige Komponenten an ein grösseres System angeschlossen werden können. Mit einigen vorgegebenen Komponenten, die Funktionen wie das dezentrale Routing und lokales Routing abdecken, können Nutzer für ihre Anwendungszwecke passende Programme integrieren.
- **Offenheit**
Sobald man den Nutzern die Möglichkeit geben will, das System selbst zu erweitern und zu bearbeiten, muss man quasi zwingend open-source Quellcode zur Verfügung stellen.

Die grundlegende Idee war dieselbe: *Die Entwicklung eines dezentralen vielseitig einsetzbaren Kommunikationsprotokolls*. Da allerdings keine einzelne Anwendung angestrebt wurde,

ging es stattdessen um die Entwicklung eines vollständigen Ökosystems und allgemein einsetzbarer Komponenten.

Im nächsten Abschnitt sollen einige dieser Komponenten und die Entscheidungen, die zu ihnen geführt haben, beschrieben werden. In einem weiteren Abschnitt sollen dann die Lektionen und Probleme dieser erster Entwicklungsphase besprochen werden.

2.1.1 Shadow

Zwar übernahm die erste Implementierung des verteilten Nachrichtensystems, Codename *Shadow*, weniger Funktionen als die aktuelle Umsetzung, für das System als Ganzes war das Programm aber nicht weniger wichtig. Der Name lässt sich einfach erklären: Für normale Nutzer sollte das interne Netzwerk niemals sichtbar sein und sie sollten nie direkt mit ihm interagieren müssen, es war also quasi *im Schatten*. Geschrieben in *Elixir* und mit einem TCP-Interface, konnte *Shadow* sich mit anderen Instanzen verbinden und über eine rudimentäre Implementierung des *Kademlia*-Systems Nachrichten senden und weiterleiten. Um neue Verbindungen herzustellen, wurde ein speziell entwickeltes System mit so genannten *Member-Files* verwendet. Jedes Mitglied eines Netzwerks konnte eine solche Datei generieren, mit welcher es beliebigen andere Instanzen beitreten konnte.

Sobald eine Nachricht im System am Ziel angekommen war, wurde sie über einen *Unix-Socket* an den nächsten Komponenten im System weitergegeben. Dies geschah nur, wenn das einheitlich verwaltete Registrierungssystem für Personen und Dienste, eine Teilfunktion von *Hunter*, ein Resultat lieferte. Ansonsten wurde der interne Routing-Table verwendet. Dieser bestand aus einer Reihe von Prozessen, welche selbst auch direkt die TCP-Verbindungen verwalteten.

2.1.2 Hunter

Während *Shadow* die Rolle des verteilten Routers übernimmt, ist *Hunter* der lokale Router. Es geht bei *Hunter* also nicht darum, Nachrichten an andere Mitglieder des Netzwerks zu senden, sondern sie an verschiedene Applikationen auf der gleichen Maschine zu senden. Jedes beliebige Programm, unabhängig von Programmiersprache und internen Strukturen, müsste dann also nur das verhältnismässig Protokoll implementieren und wäre damit in der Lage, mit allen anderen Komponenten zu interagieren. Anders als *Shadow* wurde *Hunter* komplett in Rust entwickelt und liess sich in zwei zentrale Funktionen aufteilen:

- Zum einen diente das Programm als Schnittstelle zu einer einfachen *Datenbank*, in diesem Fall eine *JSON-Datei*. Dort wurden alle lokal aktiven Adressen und die dazugehörigen Applikationen gespeichert. Ein Nutzer, der sich beispielsweise über einen Chat mit dem System verbindet, wird dort mit seiner Adresse oder seinem Nutzernamen und dem Namen des Chats eingetragen. Wenn dann von einem beliebigen anderen Punkt im System eine Nachricht an diesen Nutzer kommt, wird

der passende Dienst aus der Datenbank gelesen. All dies läuft durch ein *Command Line Interface*, welches dann ins Dateisystem schreibt.

- Das eigentliche Senden und Weiterleiten der Nachrichten war nicht über ein kurzlebiges Programm möglich, da dafür längere Verbindungen existieren müssen. Deshalb muss Hunter als erstes gestartet werden, wobei das Programm intern für jede Verbindung einen dedizierten Thread startet.

Diese klare Trennung der Aufgaben und starke Unabhängigkeit der einzelnen Komponenten erlaubt ein einheitliches Nachrichtenformat, da die einzelnen Komponenten kein Verständnis andere Komponenten oder die Verbindungen haben müssen.

2.1.3 NET-Script

Eine weitere zentrale Komponente des Systems ist eine eigens dafür entwickelte Programmiersprache, welche mit starker Integration in das restliche System das Entwickeln neuer Mechanismen und Komponenten für das System offener machen sollte. Eine einfache lisp-ähnliche Syntax sollte das Entwickeln neuer Programme einfach und vielseitig einsetzbar machen.

2.1.4 Probleme

Die oben beschriebene Architektur hat viele verschiedene Vorteile, allerdings ist sie nicht ohne Probleme. Grundsätzlich geht es bei jedem Programm darum, Probleme zu lösen. Eine der zentraler Ideen war die Modularität, welche es Nutzern erlauben soll, die verschiedenen Komponenten des Systems einfach zu kombinieren. Und auch wenn dieses Ziel auf einer technischen Ebene erfüllt wurde, so ist die Umsetzung alles andere als *einfach*. Die Anzahl möglicher Fehlerquellen steigt mit jeder eingebundenen Komponente exponentiell an, und wenn mindestens vier der Komponenten selbst für die einfachsten Demos benötigt werden, kann nahezu alles schiefgehen. Dazu kommt, dass viele Fehler nicht richtig isoliert und verarbeitet würden, weswegen sich die Probleme durch das System weiter verbreiten würden. Während die Umsetzung also ihre eigentlichen Ziele erfüllt hatte, war sie noch weit davon entfernt, für tatsächliche Nutzer einsetzbar zu sein.

Trotzdem wurden die beschriebenen Komponenten vollständig entwickelt, getestet und vorgeführt. Zwar war es umständlich und nur bedingt praktisch einsetzbar, trotzdem war es aber eine technisch neuartige, funktionsfähige Lösung für komplexe und relevante Probleme. Nachdem die erste Entwicklungsphase erfolgreich abgeschlossen wurde, kam allerdings noch ein weiteres Problem auf, welches die folgenden Entscheidungen stark beeinflusst hat. Es ist ein Problem, welches sich auf die grundlegende Natur der Informatik zurückführen lässt:

Anders als in nahezu allen Studienrichtungen, Wissenschaften und Industrien, werden in der Informatik die gleichen Werkzeuge verwendet und entwickelt. Wer die Werkzeuge der Informatik verwenden kann, ist gleichzeitig in der Lage (zumindest bis zu einem gewissen Grad) neue Werkzeuge zu entwickeln. Diese Eigenschaft erlaubt schnelle Iterationen und viele fortschrittliche Werkzeuge, kommen gleichzeitig neue Probleme auf:

- Neue Methoden und Werkzeuge werden mit unglaublicher Geschwindigkeit entwickelt und verbreitet. Wer also nicht mit den neusten Trends mithält, kann schnell abgehängt werden. Dies macht auch das Unterrichten besonders schwer.
- Natürlich werden die Werkzeuge meistens immer besser und schneller, allerdings kommt es oftmals auch zu einer Spezialisierung. Dies führt schnell zu immer spezielleren, exotischeren Lösungen und unzähligen Unterbereichen und immer kleineren Gebieten. So ist beispielsweise der Begriff *dezentrale Datensysteme*, der zwar ein einzelnes Gebiet genau beschreibt, für Aussenstehende mehrheitlich bedeutungslos und sorgt für mehr Verwirrung als Aufklärung.
- Die immer neuen Gebiete und Gruppen können auch schnell zu Elitismus führen, wodurch es für Anfänger schwer sein kann, Zugang zu finden.

Diese Eigenschaften, besonders bei unseren sehr neuartigen Ideen und Mechanismen, machten es schwer, Aussenstehenden die Funktionen und Konzepte zu erklären. Ohne Vorkenntnisse über Netzwerke und Kommunikationssysteme war es nahezu unmöglich, auch nur die einfachsten Ideen zu erklären oder den Inhalt dieser Arbeit darzulegen. Und selbst mit grossem Vorwissen liessen sich nur die absoluten Grundlagen innerhalb absehbarer Zeit erklären. Das Erklären der theoretischen und technischen Grundlagen würde Stunden in Anspruch nehmen.

Da am Ende dieser Arbeit zwingend eine zeitlich begrenzte Präsentation vor einem technisch nicht versierten Publikum steht, mussten nach dieser ersten Entwicklungsphase gewisse Aspekte grundlegend überarbeitet werden, diesmal mit einem besonderen Fokus auf die *Präsentierbarkeit*.

2.2 Präsentation

Auch wenn von der ersten Entwicklungsphase viele Konzepte und sogar einige Umsetzungen übernommen werden konnten, gab es grundlegende Probleme, welche nicht ignoriert werden konnten. Es wurde schnell klar, dass unabhängig von allen technischen Fortschritten eine bessere Art der Präsentation gefunden werden musste. Dabei war es wichtig, die technischen Neuerungen und Besonderheiten nicht zu vergessen. Die Umsetzung der ersten Entwicklungsphase, wie innovativ und attraktiv sie auch wirken mag, ist noch weit davon entfernt, von Endnutzern verwendet oder gar angepasst zu werden. Auch wenn manche der Ideen hier wieder aufgegriffen werden, musste doch ein grösserer Fokus auf die *Präsentierbarkeit* der Fortschritte gelegt werden. Daher wurde die Entscheidung getroffen, die Entwicklung in zwei Bereiche zu unterteilen:

- Ein möglichst vielseitig einsetzbares Nachrichtensystem basierend auf den bereits bekannten Prinzipien wird als Bibliothek für die Anwendungen öffentlich angeboten. Entwickelt in Rust wird Geschwindigkeit und Sicherheit garantiert und es lassen sich möglichst viele Möglichkeiten finden, Integrationen in andere Projekte und Applikationen zu ermöglichen..
- Aufbauend auf diesem Datensystem sollen mit verschiedenen Anwendungen die Vorteile und vielseitige Einsatzmöglichkeiten gezeigt werden. Auch wenn damit

die weltverändernde Revolution noch nicht direkt gestartet wird, so wird ein Aspekt angesprochen, welcher in technischen Kreisen oftmals vergessen geht, nämlich die Frage, wie man komplexe Themen und Programme einfachen Nutzern näher bringt.

Kapitel 3

Produkt

Nun ist es an der Zeit, die Errungenschaften und Produkte des Projektes anzuschauen. Eigentlich müssten auch hier die Programme der ersten Entwicklungsphase besprochen werden, dies geschah allerdings bereits grösstenteils während der Analyse des Arbeitsprozesses. Wer noch mehr über die Programme erfahren will sollte sich am besten den dazugehörigen Bericht durchlesen¹ oder direkt die dabei entstandenen Programme anschauen. Alle lassen sich auf Github finden und sind unter offenen Lizenzen einfach weiterzuverwenden². Auch muss angemerkt werden, dass viele der dabei entstandenen Ideen viel Potential haben und in gewissem Ausmass ihren Weg bereits in die Produkte der zweiten Phase gefunden haben.

Dieses Kapitel ist in zwei Abschnitte geteilt:

- **Actaeon** beschreibt das dezentrale Datensystem, die Rust Bibliothek sowie einige der einfachen Anwendungen, wie zum Beispiel ein Chat-Client die ohne grossen Aufwand darauf aufgebaut werden können.
- Da das Videospiel als Vorzeigbeispiel für das gesamte Projekt entwickelt wurde, erhielt es den gleichen Namen wie die gesamte Arbeit.

Hier muss nochmals der Umfang dieser Arbeit angesprochen werden. Dieses Dokument soll mit möglichst wenig Vorwissen verständlich sein und nur oberflächlich die technischen Feinheiten ansprechen. Wer genauere Informationen zur Umsetzung sucht oder tatsächlich mit den Bibliotheken arbeiten will, sollte sich die technische Dokumentation oder Code-Dokumentation durchlesen.

3.1 Actaeon

Actaeon stellt das Herzstück des gesamten Projekts dar. Als Rust Bibliothek ist es in alle anderen Anwendungen eingebunden und ermöglicht dezentrale Kommunikation unabhängig der Anwendung.

¹Github: Engine: Orion Bericht, <https://github.com/EngineOrion/kommentar/blob/54489464214ed7833f182df09aab29eae4a591e4/EngineOrion.pdf>.

²Github: <https://github.com/EngineOrion>

Als erstes muss aber wahrscheinlich kurz der Name angesprochen werden, da sich auch hier einiges an Bedeutung dahinter versteckt. In der griechischen Mythologie ist Actaeon (auch Aktaion) ein Jäger, der mit seinen Hunden durch den Wald streift und die Göttin der Jagt beim Bad in einer Quelle überrascht. Die Göttin verwandelt Actaeon in einen Hirsch, der daraufhin von seinen eigenen Hunden in Stücke gerissen und gefressen wird. Der Philosoph Peter Sloterdijk, der sich dabei auf Giordano Bruno bezieht, deutet die Geschichte von Actaeon als Gleichnis für die menschliche Suche nach Wahrheit. Ein Blick auf die ganze, göttliche Wahrheit ist für einen Menschen nicht möglich. Wer das versucht, wird vom Jäger zum Gejagten, wird von der Vielzahl alles Seienden, den Hunden, verschlungen. Die Wahrheit ist nur zu finden als Teil einer Einheit, die die gesamte Natur in ihrer ganzen Vielfalt umfasst. So ist Actaeon als Namensgeber für ein Projekt der dezentralen Kommunikation bestens geeignet.³

Nun müssen einige Grundlagen erklärt werden, welche hoffentlich die folgenden Abschnitte verständlich machen:

Nahezu alle Applikationen in Project Orion sind in der Programmiersprache Rust geschrieben. Als zentrales Verbindungstück zwischen allen Applikationen hängen alle Programme von Actaeon ab. Um die Verwaltung der internen Abhängigkeiten einfacher zu machen, wurde Actaeon mit dem offiziellen Rust *Package-Manager* `crates.io`⁴ veröffentlicht. Dies erlaubt es jedem Rust Entwickler Actaeon einfach in eigene Programme zu integrieren, dafür ist lediglich eine Zeile Code nötig:

```
actaeon = "0.2.1"
```

Damit wird Actaeon als Abhängigkeit definiert und der Nutzer hat nun vollen Zugang zu allen Funktionen, die Actaeon zu bieten hat. Da es sich hier um eine Bibliothek handelt, welche dann in andere Programme eingebunden werden soll, ist es nicht von Nöten, die interne Funktionsweise vollständig zu verstehen. In der technischen Dokumentation werden die Ideen und Entscheidungen, die zu Actaeon führten genauer angeschaut. Hier soll es allerdings hauptsächlich um einen groben Überblick gehen, sowie um die API, mit welcher mit der Bibliothek interagiert werden kann.

Wahrscheinlich lohnt es sich aufzulisten, welche Funktionen die Bibliothek übernimmt, und welche weiterhin vom Nutzer verlangt werden. Actaeon übernimmt:

- Verbindungen (stateful & stateless): Das System entscheidet intern selbständig, wie Nachrichten versendet werden sollen. Entweder es werden einzelne Nachrichten an andere Mitglieder geschickt, oder es kann eine langlebige Verbindung aufgebaut werden, welche für mehrere Nachrichten verwendet werden kann.
- Adressen: Anstelle von IP-Adressen oder UUIDs verwendet das System ein eigenes, vielseitiges Adresssystem. Dieses wird auf verschiedene Arten eingesetzt:
 - Identifikation: Jede Adresse identifiziert ein Objekt (Nutzer oder Thema) eindeutig. Dabei gibt es zwar keinen Mechanismus um dies zu garantieren, die

³Sloterdijk, Peter: Den Himmel zum Sprechen bringen, 2020, S321.

⁴Crates.io: <https://crates.io/>

kleine Wahrscheinlichkeit einer Kollision über die 32 Bytes reicht allerdings aus.

- Routing: Mit den Adressen lässt sich ebenfalls rechnen, wobei es hauptsächlich um die Kademlia XOR-Operation geht. Damit werden Distanzen und die Wege sowie Orte für Nachrichten bestimmt.
- Verschlüsselung: Dank der Familie der NaCl-Verschlüsselungsbibliotheken ist es möglich, öffentliche und private Schlüssel mit einer Länge von nur 32 bytes zu haben. Damit lassen sich im System Nachrichten automatisch End-zu-End verschlüsseln, ohne einen dedizierten Mechanismus zum Austausch von öffentlichen Schlüsseln zu benötigen.
- Signaling: In Netzwerken ist es immer eine wichtige Frage, wie neue Nutzer beitreten können. Actaeon verlangt dabei lediglich die Kontaktdaten von einem bekannten Mitglied des Systems und kümmert sich dann um den Rest.
- Form: Durch regelmässige Abfragen und Überprüfungen können Mitglieder automatisch neue Mitglieder finden und sie in ihren lokalen Routing-Table einbauen.

Der Nutzer muss sich dabei um lediglich einen zentralen Aspekt selber kümmern: Die Verbindungsdaten für ein beliebiges Mitglied eines Clusters müssen bekannt sein, sodass das System eine erste Verbindung aufbauen kann. Auch wenn gewisse Automatisierung noch möglich ist, wird dieser Schritt niemals vollständig aus den Händen der Nutzer genommen werden können, ohne nicht dabei einen zentralen Registrierungspunkt einzubauen. Auch wird aktuell noch von Nutzern verlangt, dass sie öffentlich erreichbare Verbindungsdetails angeben. Das bedeutet, Nutzer müssen sich selbst um Portforwarding und ihre öffentlich zugängliche Adresse kümmern.

Natürlich übernimmt die Bibliothek noch viele weitere Funktionen, ein genauerer Funktionsumfang findet sich in der technischen Dokumentation. Nun muss man sich fragen, welche Funktionen potentielle Nutzer überhaupt übernehmen müssen. Dafür lohnt es sich die einfachste Beispielanwendung anzuschauen (Dieser Code ist ebenfalls im README und der Dokumentation zu finden):

```
use actaeon::{
    config::Config,
    node::{Center, ToAddress},
    Interface,
};
use sodiumoxide::crypto::box_;

fn main() {
    let config = Config::new(20, 1, 100, "example.com".to_string(), 4242);
    let (_, secret) = box_::gen_keypair();
    let center = Center::new(secret, String::from("127.0.0.1"), 1234);

    let interface = Interface::new(config, center).unwrap();
```

```
let mut topic = interface.subscribe(
    &"example"
    .to_string()
    .to_address()
    .unwrap()
);

let _ = topic.broadcast("hello world".as_bytes().to_vec());
}
```

Nebst der Konfiguration, welche sowohl direkt erstellt, als auch von einer Datei geladen werden kann, muss nur ein `Interface` erstellt werden. Bei diesem Schritt werden dann intern verschiedene Threads gestartet und die Initialisierung des Routing-Tables (Bootstrapping) beginnt. Der Nutzer muss sich dabei um nichts kümmern, ausser potentiell aufkommende Fehler handhaben. Das zweite wichtige Element ist dabei das `Topic`, denn die meisten Interaktionen des Nutzers finden über ein solches Thema statt. Für genauere Informationen empfiehlt sich die technische Dokumentation. Als einfache Zusammenfassung lässt sich sagen: Unter einem Thema werden Nachrichten gesammelt, welche laut dem Nutzer zusammengehören. Dabei ist wichtig festzustellen, dass die Wahl der Themen vollkommen in der Hand des Nutzers liegt, die Bibliothek hat keinen Einfluss darauf. Sobald aber ein solches Thema erstellt wurde, gibt es eigentlich nur zwei wichtige Aktionen:

- Senden: Schickt eine Nachricht an alle Nutzer, welche ebenfalls ein Thema mit gleicher Adresse erstellt haben.
- Empfangen: Hört auf einkommende Nachrichten von beliebigen anderen Mitgliedern zu diesem Thema.

Nur mit diesen beiden Operationen ist die Menge an potentiellen Applikationen nahezu unbegrenzt, denn nahezu alle Interaktionen, Programme und Netzwerke lassen sich irgendwie mit diesen beiden Befehlen umsetzen. Natürlich gibt es noch mehr interne Funktionen und auch mehr Möglichkeiten für den Nutzer, diese gehen aber über den Umfang dieses Dokuments hinaus.

3.2 Anwendungen

3.2.1 Chat

3.2.2 Arrow

3.3 Orion

TODO: Dominik Orion

Ausblick

Auch wenn sind die geschaffenen Produkte und Programme ihren Zweck erfüllen und eine nutzbare Demo möglich machen, so gibt es einige Punkte, die noch nicht umgesetzt wurden.

- Actaeon:

Nebst den technischen Feinheiten, wie eine Möglichkeit einzelne Threads unabhängig voneinander neuzustarten oder eine zusätzliche Ebene der Verschlüsselung, gibt es einige grössere, strukturelle Probleme, welche noch angesprochen werden müssen. Besonders die mehrfach angesprochenen Probleme im Zusammenhang mit IP-Adressen haben mit unseren Arbeiten keine abschliessene Lösung gefunden. Die Errungenschaft hier ist Unabhängigkeit, denn das Netzwerk ist nicht an gewisse Adress-Systeme gebunden oder auf nur eines limitiert. Auch wenn diese gewonnene Unabhängigkeit eine Errungenschaft für sich ist, so werden die allermeisten Nutzer weiterhin problematische Systeme, besonders IP-V4, verwenden. Zwar ist es fragwürdig, wie viel eine zeitlich stark limitierte Arbeit in einem so umfangreichen Feld tatsächlich erreichen kann, es würde sich allerdings lohnen, zumindest eine existierende Alternative, wie beispielsweise CJDNS anzubieten. Obwohl das System sich dynamisch an neue Netzwerkformen anpassen kann, ist es möglich, dass durch die Verschiebung der Address-Bereiche ein neues Mitglied für Themen und Daten zuständig ist. Aktuell werden bereits vorhandene Daten dabei noch nicht verschoben. Auch existiert aktuell noch keine Möglichkeit, schädliche Mitglieder zu blockieren oder zu erkennen. Das aktuelle Netzwerk ist also anfällig gegen potentielle Angriffe oder Sabotage. Und auch wenn Actaeon in der Lage ist, schnell Nachrichten zu verarbeiten, so kommt dies mit eher hohen Leistungsansprüchen. Ohne Rusts neuste `async-await`-Syntax beansprucht die Bibliothek mehrere Threads für sich und braucht diese für die gesamte Laufzeit. Trotz gewisser Mängel und Kritikpunkte ist das gesamte System im aktuellen Zustand aber funktionsfähig und nützlich.

- Orion:

Natürlich sind bei einem Videospiel die Möglichkeiten nahezu unlimitiert, allerdings existieren auch hier einige interne, technische Probleme. Nebst der offensichtlichen Frage der Performance gibt es auch ein grundlegendes Problem, welches

die aktuelle Umsetzung davon abhalten würde, verbreiteter eingesetzt zu werden: Auch wenn ein *offizieller* Client existiert, so hält einen Entwickler nichts davon ab, eine alternative Umsetzung zu erstellen. Daran ist an sich nichts falsch, allerdings kann eine solche Offenheit schnell ausgenutzt werden, um beispielsweise unfaire Vorteile im Spiel zu erhalten. Wer also das Spiel als einfachen Zeitvertreib ausprobieren will oder etwas Spass sucht wird zufriedengestellt sein, als seriöses Spiel, vergleichbar mit kommerziellen Alternativen ist es allerdings noch nicht geeignet.

- Weiteres:

Natürlich beschränkt sich der Umfang des Projekts nicht nur auf Videospiele oder Chat Programme. Eine Vielzahl anderer Anwendungen lässt sich mit der actaeon Bibliothek bauen. Dank einer offenen Lizenz gibt es ebenfalls die Hoffnung, dass andere Personen in der Zukunft Programme für das Ökosystem bauen.

Fazit

Verteilte und dezentrale Datensysteme sind trotz ihrer Wichtigkeit nur ein kleines Nischengebiet in der Welt der Informatik. Und obwohl unsere Abhängigkeit von Netzwerken und Kommunikationssystemen grosse Probleme für alltägliche Situationen und Menschen bringt, lassen sich die Wenigsten auf ein tiefgreifendes Gespräch über die Probleme der Zentralrouter ein. Doch wenn diese Debatte nur in den Büros der Megaunternehmen geführt wird, könnten sich die Fortschritte des Internets schnell in eine finstere Dystopie verwandeln. Nebst den offensichtlichen Problemen und Gefahren übermässiger Zentralisierung und der damit verbundenen Abhängigkeit darf nicht vergessen werden, dass kollaborative, dezentrale Systeme Unmengen von Vorteilen mit sich bringen. Seien es zensursichere Speicher- und Nachrichtensysteme oder die schiere Grösse von beispielsweise Videospielen, die ohne einen zentralen Knotenpunkt möglich werden, existiert noch viel ungeschöpftes Potential.

Project Orion hat weder alle der genannten Probleme gelöst, noch das volle Potential ausgenutzt und eine umfangreiche Alternative entwickelt. Stattdessen entstanden aus diesem Projekt verschiedene *relativ* einfache, verständliche und nutzbare Demos, welche nicht nur reale Probleme lösen, sondern dazu einen Einblick in die Welt der dezentralen Datensysteme bieten. Mithilfe von umfangreicher Dokumentation und einfachen Erklärungen soll zusätzlich der Einstieg in die Welt der dezentralen Kommunikationssysteme einfacher gemacht werden. Da alle entstandenen Programme öffentlich zugänglich sind und unter freien Lizenzen weiterverbreiten werden können, existiert ebenfalls die Hoffnung, dass das Ökosystem in Zukunft durch weitere Applikationen erweitert wird. Mit insgesamt etwa 12000 Zeilen Code über 350 Commits sind mit diesem Projekt verschiedene, umfangreiche Programme entstanden, welche realen Nutzen bieten und vielseitig einsetzbar sind.

Anhang

6.1 Projekte

In diesem Abschnitt sollen einige Projekte in ähnlichen Gebieten genauer angeschaut werden. Dabei soll es lediglich um technisch ähnliche Arbeiten gehen, die Welt der Videospiele ist gross und vielseitig. Allerdings wurde im Rahmen dieser Recherche kein Projekt gefunden, welches eine identische Zielsetzung oder ähnliche Produkte aufweist. Um aber die Wahl der Projekte richtig zu verstehen, muss man die Vision hinter Project Orion im Blick behalten. Denn es wird schnell klar, dass es für nahezu alle beschriebenen Probleme entweder temporäre Lösungen oder einzelne Projekte zur Umgehung der Probleme gibt. Daneben existieren auch grundlegendere Neuentwicklungen bekannter Systeme, welche einzelne Probleme lösen, meist aber andere Ziele haben.

6.1.1 Kademlia

Wie geht man grundsätzlich gegen die totale Abhängigkeit von Internetanbietern und zentralen Routern vor?

Man kann ja nicht einfach seine eigenen Router aufsetzen und einen alternativen Dienst anbieten. Neben den technischen Schwierigkeiten würde ein solcher Schritt auch überhaupt nichts das eigentliche Problem bekämpfen.

Der Trick, der bei Systemen wie Kademlia verwendet wird, ist es, Router vollständig zu eliminieren. Dies ist möglich, indem jedes Mitglied des Netzwerks neben seinen normalen Funktionen gleichzeitig auch noch als Router agiert. Strenggenommen werden in Kademlia Router also nicht wirklich eliminiert, lediglich zentrale Router fallen weg.

In einem früheren Abschnitt wurden die Probleme der *Zentralrouter* bereits angesprochen. Wenn jetzt aber jedes Mitglied in einem Netzwerk plötzlich als Router agiert und es keine zentrale Instanz gibt, trafe die Problematik der *Zentralrouter* plötzlich auf alle Server zu. Genau da kommt Kademlia ins Spiel. Aber was genau ist Kademlia eigentlich?

Laut den Erfindern, *Petar Maymounkov* und *David Mazières*, ist es

ein Peer-to-peer Nachrichten System basierend auf XOR-Metrik.¹

Was genau bedeutet das und wie lässt sich eine XOR-Metrik für verteilte Datensysteme einsetzen?

Da die einzelnen Server nicht in der Lage sind, Informationen über das komplette Netzwerk zu speichern oder zu verarbeiten, funktionieren Kademlia-Systeme grundlegend anders. Anstelle der hierarchischen Anordnung der Router ist jedes Mitglied eines Systems gleichgestellt. Dabei kümmert sich jedes Mitglied auch nicht um das komplette System, sondern nur um sein direktes Umfeld. Während dies für kleinere Systeme gut funktioniert und vergleichbare Geschwindigkeiten liefert, skaliert es nicht so einfach für grosse Systeme. Genau dafür gibt es die XOR-Metrik.

1. Distanz Die XOR-Funktion, die in der Informatik an den verschiedensten Orten auftaucht, wird verwendet, um die Distanz zwischen zwei Zahlen zu berechnen. Die Zahlen repräsentieren dabei Mitglieder im Netzwerk und sind je nach Variante im Bereich $0..2^{160}$ (20 Bytes) oder $0..2^{256}$ (32 Bytes). Mit einem so grossen Bereich lässt sich auch das Problem der limitierten IP-Adressen lösen. Auch wenn es kein tatsächlich unlimitiertes System ist, so gibt es doch mehr als genug Adressen.

Wenn mit XOR-Funktionen einfach die Distanz zwischen zwei Zahlen berechnet wird, stellt sich die Frage, wieso nicht einfach die Differenz verwendet wird. Um dies zu beantworten, muss man sich die Eigenschaften der XOR-Funktion etwas genauer anschauen:

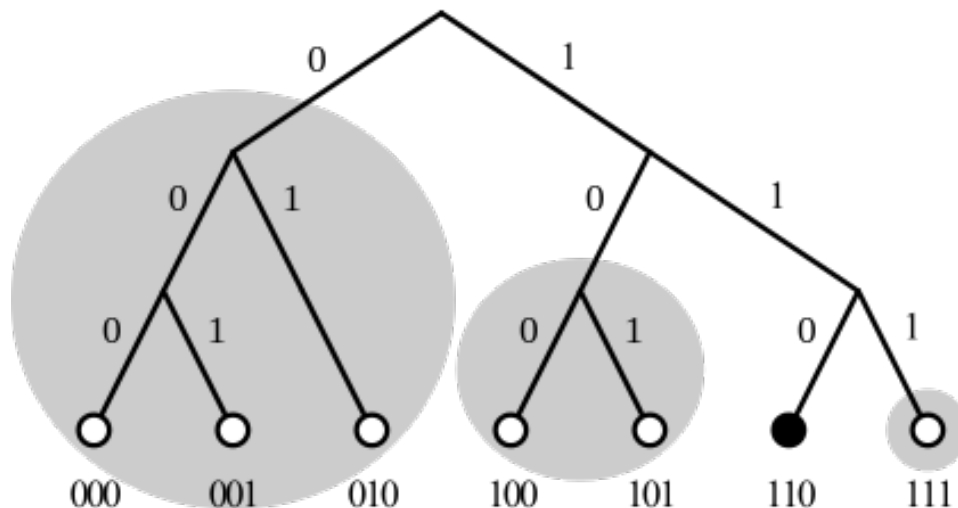
- a) $xor(x, x) = 0$: Das Mitglied mit seiner eigenen Adresse ist zu sich selbst am nächsten. Mitglieder werden hier als Namen für Server in einem Kademlia-System verwendet.
- b) $xor(x, y) > 0$ wenn $x \neq y$: Die Funktion produziert nie negative Zahlen und nur mit zwei identischen Parametern kann man 0 erhalten.
- c) $xor(x, y) = xor(y, x)$: Die Reihenfolge der Parameter spielt keine Rolle.
- d) $xor(x, z) \leq xor(x, y) + xor(y, z)$: Die direkte Distanz zwischen zwei Punkten ist am kürzesten oder gleich kurz wie die Distanz mit einem zusätzlichen Schritt dazwischen, also einem weiteren Sprung im Netzwerk.
- e) Für ein gegebenes x und eine Distanz l gibt es nur genau ein y für das $xor(x, y) = l$ gilt.

Aber wieso genau funktioniert dies? Wieso kann man XOR, eine Funktion zur Berechnung der Bit-Unterschiede in zwei Binärzahlen, verwenden, um die Distanz

¹Kademlia: Whitepaper: <https://pdos.csail.mit.edu/~petar/papers/maymounkov-kademlia-lncs.pdf>, heruntergeladen am: 30.05.2020.

zwischen zwei Punkten in einem verteilten Datensystem zu berechnen?

Um dies zu verstehen, hilft es, sich das System als umgekehrten Baum vorzustellen. Untergeordnet zum zentralen Punkt zu oberst stehen alle Mitglieder im System. Mit jeder weiteren Abzweigung zweier Teilbäume halbiert sich die Anzahl. Man wählt am einfachsten zwei Abzweigungen pro Knoten, da sich damit die Werte direkt als Binärzahlen darstellen lassen, wobei jeder Knotenpunkt einfach eine Stelle in der langen Kette aus 0 oder 1 darstellt. Der ganze Baum sieht dann wie folgt aus²:



Beispielhafte Darstellung eines einfachen Kademlia-Systems

Mit dieser Sicht auf das System beschreibt die XOR-Funktion die Anzahl der unterschiedlichen Abbiegungen im Baum und somit die Distanz. Zwar mag es auf den ersten Blick nicht intuitiv wirken, wieso man XOR anstatt einfach der Differenz verwendet, allerdings funktioniert die Funktion mit Binärzahlen in einem solchen Baum einiges besser.

2. Routing-Table In einem Kademlia-System hat jedes Mitglied eine gewisse Anzahl anderer Mitglieder, mit denen es sich verbunden hat. Da Kademlia ein sehr umfangreiches, kompliziertes Protokoll und System beschreibt, sollen hier nur einige zentrale Funktionen besprochen werden, die für diesen ersten Prototypen von Engine: Orion relevant sind. Besonders beim Routing Table lassen sich einige Abschnitte weglassen, welche zwar für die Optimierung und Skalierung eines Systems wichtig, allerdings für das Analysieren eines einfachen, kleinen Systems wie Engine: Orion irrelevant sind.

Einfach formuliert speichert der Routing Table die verbundenen Mitglieder. Eine eingehende Nachricht wird dann mithilfe dieser Liste, sowie der XOR-Metrik ans richtige Ziel geschickt. Um das System zu optimieren und die Anzahl der benötigten Sprünge klein zu halten, wird ein spezielles System verwendet, um zu entscheiden, welche Mitglieder im Routing-Table gespeichert werden sollen:

²Wikipedia: Kademlia <https://en.wikipedia.org/wiki/Kademlia>, heruntergeladen am: 30.05.2020.

- a) Sehr nahe an sich selbst (in der obigen Darstellung also: wenige Sprünge im Baum) werden alle Mitglieder gespeichert.
- b) Je weiter weg sich die Mitglieder befinden, desto weniger werden gespeichert.

Die optimale Anzahl der gespeicherten Mitglieder hängt von den Zielen und Ansprüchen an das System ab. Grundlegend muss man die Frage beantworten, mit wie vielen Unterbäumen Verbindungen gehalten werden sollen. Zwar mag dies etwas abstrakt wirken, es lässt sich aber mit dem eben eingeführten Modell eines umgekehrten Baumes gut erklären:

- In der obersten Ebene trennt sich der Baum in zwei vollständig getrennte Teile, was sich mit jeder weiteren Ebene wiederholt.
- Die einzige Möglichkeit vom einen *Ende* des Baums zum anderen zu kommen, ist über den obersten Knoten. Um also in die andere Hälfte zu kommen, braucht man mindestens eine Verbindungsstelle in der anderen Hälfte.
- Deshalb braucht ein `Routing-Table` nicht nur kurze Verbindungen zu nahen Punkten, sondern auch einige wenige Verbindungen zu Mitgliedern in der anderen Hälfte.
- Mit nur einer weit entfernten Adresse hat man eine Verbindung in *eigene* und die *andere* Hälfte. Hat man zwei solche Verbindungen auf die andere Seite hat man schon Verbindungen in jeden Viertel des Baumes.
- Man muss also entscheiden, wie fein man die andere Hälfte aufteilen will. (Eine genaue Unterteilung bedeutet wenige Sprünge aber grosse `Routing-Tables`, eine grobe Unterteilung genau das Umgekehrte).

Zwar hat ein vollständiges `Kademlia`-System noch komplexere Elemente, wie `k-Buckets`, welche den `Routing-Table` optimieren, allerdings sind diese für die grundlegende Funktionsweise des Systems irrelevant.

Die dynamische Regulation des `Routing-Tables` muss allerdings noch erwähnt werden:

- Sobald die definierte Maximalgrösse erreicht ist, werden keine neuen Verbindungen akzeptiert.
- Zwar können existierende Einträge durch Neue ersetzt werden, allerdings werden dabei nicht alte, sondern inaktive Einträge entfernt. Für ein `Kademlia`-System werden also auch Mechanismen benötigt, um die Zustände aller Verbindungen periodisch zu überprüfen.

6.1.2 BitTorrent

Dezentralisierung hat viele Vorteile und muss langfristig flächendeckend eingesetzt werden. Aktuell sind die meisten Industrien und Produkte noch nicht so weit. Trotzdem gibt es einige Anwendungen und Gruppen bei denen solche Systeme bereits seit Jahren Ver-

wendung finden.

Beispielsweise im Zusammenhang mit (*mehr oder weniger legalen*) Verbreiten von Materialien wie Filmen oder Musik wird eines der grössten global verteilten Systeme eingesetzt. Natürlich gibt es hunderte von verschiedenen Programmen, Ideen und Umsetzungen, wobei die meisten Nachfolger von Napster sind.

Im preisgekrönten Film *The social network* erhält man Einblick in den Lebensstil von Sean Parker, einem der Gründer von Napster. Es mag überraschen, wie jemand wie Parker, der nur wenige Jahre zuvor mit Napster die komplette Musikindustrie in Unruhe gebracht hatte, eine so zentrale Rolle in Facebook, einem der zentralisiertesten Megaunternehmen der Welt, einnehmen konnte.

Auch wenn es noch nicht *vollständig* dezentralisiert ist, erlaubte es Napster Nutzern, Musik über ein automatisiertes System mit anderen Nutzern zu teilen und neue Titel direkt von den Geräten anderer Nutzer herunterzuladen. Dabei gab es allerdings immer noch einen zentralen Server, der die Titel sortierte und indizierte.

Napster musste am Ende abgeschaltet werden, nachdem die Klagen der Musikindustrie zu belastend wurden. Auch wenn das Produkt abgeschaltet wurde, liess sich nichts mehr gegen die Idee unternehmen.

Über viele Iterationen und Generationen hinweg wurden die verteilten Systeme immer weiter verbessert, jegliche zentrale Server entfernt und in die Hände immer mehr Nutzer gebracht. Heute läuft ein Grossteil des Austauschs über BitTorrent.

BitTorrent baut auf der gleichen grundlegenden Idee wie Napster auf: Nutzer stellen ihren eigenen Katalog an Medien zur Verfügung und können Inhalte von allen anderen Mitgliedern im System herunterladen. Anders als Napster gibt es bei BitTorrent keine zentrale Komponente, stattdessen findet selbst das Indizieren und Finden von Inhalten dezentralisiert statt³. Dafür wird über das Kademlia-System aktiv bekannt gegeben, wer welche Inhalte zur Verfügung stellt, wobei einzelne Mitglieder speichern können, wer die gleichen Inhalte anbietet. Neben Dezentralisierung und Sicherheit lassen sich über BitTorrent tatsächlich gute Geschwindigkeiten erreichen, da sich Inhalte von mehreren Anbietern gleichzeitig herunterladen lassen. Da es sich bei BitTorrent eigentlich um ein grosses Dateisystem handelt, lassen sich direkt die SHA1-Hashwerte der Inhalte als Kademlia-Adressen verwenden.

6.1.3 Tox

Im Sommer 2013 veröffentlichte Edward Snowden schockierende Geheimnisse über massive Spionage Programme der NSA, mit welchen nahezu aller digitaler Verkehr, ohne Rücksicht auf Datenschutz oder Privatsphären mitgelesen, ausgewertet und gespeichert

³BitTorrent: Mainline DHT: https://www.cs.helsinki.fi/u/lxwang/publications/P2P2013_13.pdf, heruntergeladen am: 4.06.2020.

wurde. Nahezu jede Person mit war betroffen und das genaue Ausmass ist bis heute noch schwer greifbar. Vielen wurde aber klar, dass sichere, verschlüsselte Kommunikation nicht mehr nur etwas für Kriminelle und *Nerds* war, sondern dass jeder Zugang zu verschlüsselter, sicherer und dezentraler Kommunikation haben sollte. In einem Thread auf 4chan kamen wurden viele dieser Bedenken gesammelt und es kam die Idee auf, selbst eine Alternative zu herrkömmlichen Chat Programmen wie Skype zu entwickeln. Aus dieser Initiative heraus entstand `Tox`, wobei die Namen vieler der ursprünglichen Entwickler bis heute unbekannt sind. Damals war das Ziel die Entwicklung einer sicheren Alternative zu Skype zu entwickeln, allerdings hat sich der Umfang des Projekts inzwischen ausgeweitet. Im Zentrum der Arbeiten steht das `Tox Protocol`, welches dann von verschiedenen, unabhängigen Programmen umgesetzt wird. Zwar ist Chat weiterhin eine zentrale Funktion, es wird aber auch Video- und Audiokommunikation sowie Filesharing gearbeitet.

Basierend auf der bekannten `NaCl`-Bibliothek⁴ wird die gesamte Kommunikation über das `Tox Protocol`³ zwingend End- zu Endverschlüsselt. Intern wird ein dezentrales Routing System basierend auf Kademila verwendet, mit welchem Kontakt zwischen Nutzern (Freunden) aufgebaut wird. Während im Kademila Whitepaper Adressen mit einer Länge von 20 Bytes definiert werden, nutzt `Tox` 32 Bytes. Dies vereinfacht die Verschlüsselung stark, da `NaCl` Schlüssel verwendet, welche ebenfalls 32 Bytes lang sind. Nebst der eingesparten Verhandlung von Schlüsseln und der zusätzlichen Kommunikation bindet diese Idee die Verschlüsselung direkt stärker in das Routing System ein, denn es werden keine zusätzlichen Informationen zum Verschlüsseln einer Nachricht gebraucht und sie kann direkt mit der Adresse des Ziels verschlüsselt werden.

Es ist allerdings wichtig festzustellen, dass `Tox` Kademila lediglich als Router verwendet. Kontakt zwischen zwei Nutzern wird komplett dezentral hergestellt, sobald diese sich allerdings gefunden haben wechseln zu einer direkten Kommunikation über UDP. Zwar erlaubt diese zweiteilung der Kommunikation schnellen Datenverkehr sobald sich zwei Nutzer gefunden haben (so ist beispielsweise Video- und Audiokommunikation möglich), es kommen aber auch einige neue Probleme auf:

- Anders als beispielsweise im Darknet über das Onion-Routing von Aussen klar erkennbar, mit wem jemand kommuniziert. Natürlich ist der Inhalt weiterhin verschlüsselt, aber ein solches System setzt in erster Linie auf Sicherheit und Geschwindigkeit und nicht auf Anonymität.
- Auch muss man bedenken, dass nicht jedes Gerät im Internet in der Lage ist direkte Verbindungen mit jedem anderen Gerät aufzubauen. Besonders Firewalls können schnell zu Problemen führen. Um den Aufwand für die Nutzer zu minimieren wird `UDP hole punching`² verwendet, allerdings existieren auch dafür gewisse Kriterien und Probleme.

Das `Tox Protocol` bietet eine einheitliche Spezifikation mit der eine grosse Auswahl an Problemen gelöst werden können. Wer eine sichere, dezentrale Alternative zu Whatsapp sucht könnte an `Tox` gefallen finden. Seit einigen Jahren gibt es aber Bedenken über die

Sicherheit und aktuelle Richtung des Projekts, sowie Berichte von internen Konflikten, besonders im Zusammenhang mit Spendengeldern.

6.2 Architektur

6.2.1 Verschlüsselung

Zwar ist es bei weitem nicht, dass moderne dezentrale Systeme das Internet oder ein ähnliches Austauschsystem als Grundlage verwenden, allerdings ist dies in nahezu allen Fällen, besonders bei den beliebten und weit verbreiteten Fällen. Das Internet ist für fehlende Sicherheit und Gefahren bekannt, daher ist es von Nöten, dass sich jede Applikation selbst um Verschlüsselungen und Sicherheit kümmert. Allerdings ist es wichtig, *die passende Verschlüsselung* zu wählen. Hier wird nun ein Ansatz beschrieben, welcher sich besonders gut für gewisse *Kademlia*-inspirierte Systeme eignet. Dieser Ansatz beruht auf der Verschlüsselungs-Bibliothek *NaCl*, beziehungsweise deren modernen Abzweig *libsodium*. Während klassische Verschlüsselungsmethoden sehr lange Schlüssel benötigen, gibt es gewisse Kombinationen von Algorithmen, welche mit sehr kurzen Schlüsseln Sicherheit gewährleisten können. Besonders geht es dabei um *curve25519xsalsa20poly1305*, einer Kombination aus den Algorithmen *Curve25519*, *Salsa20* und *Poly1305*. Während das innere Zusammenspiel dieser Algorithmen sehr komplex ist, ist das Resultat ein Algorithmus, wessen Schlüssel jeweils nur eine Länge von *32 bytes* haben.

Eigentlich beschreibt *Kademlia* Adressen mit einer Länge von *160 bits* oder *20 bytes*, allerdings ist es ohne grosse Probleme möglich, die Adressen Länge auf *32 bytes* zu verlängern. Dies erlaubt es uns, die Verschlüsselung und das Adresssystem direkt miteinander zu verbinden. Das mag auf den ersten Blick etwas umständlich und unlogisch wirken, es erlaubt allerdings, ohne weitere Operationen verschlüsselte Nachrichten an einen Nutzer zu schicken, wobei lediglich dessen Adresse bekannt sein muss. Insgesamt fällt damit viel Komplexität weg und macht das erstellen, verifizieren und finden von Adressen viel einfacher.

6.2.2 PubSub

Ein einfaches, aber vielseitig einsetzbares Nachrichtenübermittlungsmuster ist die Idee eines *Publish/Subscribe Systems*. Ein solches System lässt sich mit nur zwei Aktionen beschreiben:

- Nutzer können ein gewisses Thema abonnieren, bedeutet sie folgen einem gewissen Schlüssel und erhalten Nachrichten von diesem.
- Jeder Nutzer kann dann in den Themen denen er abonniert hat Nachrichten schicken. Diese werden dann automatisch an alle abonnierten Nutzer verteilt.

Mit diesen beiden Mechaniken lassen sich die meisten Funktionen in modernen Applikationen beschreiben. Sei es ein Chat- oder Emailsysteem, ein komplexer Datenverarbei-

tungsmechanismus oder ein Datennetzwerk, alle lassen sich relativ einfach mit diesen beiden Funktionen modellieren.

1. Dezentraler PubSub Offensichtlich kann selbst die beste, fehlerfrei optimierte Implementierung der oben beschriebenen Prinzipien nicht gegen die bereits angesprochenen, fundamentalen Probleme lokal gebundener Programme vorgehen. Daher ist es in einem nächsten Schritt von Nöten, die Ideen hinter dezentralisierten PubSub-Systemen anzuschauen. Das mag im ersten Moment komplex klingen, ist aber tatsächlich unglaublich einfach. Man muss sich lediglich einen PubSub als zwei getrennte Unterkomponenten vorstellen:

- Themen lassen sich vereinfacht als Einträge in einer Datenbank beschreiben. Die Identifikation der Themen ist dabei der Schlüssel, wobei die Abonnenten als dazugehörige Felder ausgedrückt werden können. Oben wurde allerdings bereits ein System beschrieben, welches zuverlässig dezentral Daten speichern kann. Wenn man in der beschriebenen Kademlia Implementierung die Checksumme des Inhalts mit der Checksumme des Themenschlüssels ersetzt, lässt sich Kademlia ohne weitere Veränderungen für einen dezentralen PubSub einsetzen.
- Danach bleibt natürlich noch das Problem der Nachrichtenverbreitung. Dafür gibt es allerdings verschiedene Möglichkeiten:
 - Die Nachrichten werden direkt an das zuständige Mitglied gesendet, von dort werden sie weitergeleitet. Vorteilhaft an diesem Konzept ist natürlich, dass die Verwender des Systems unglaublich einfach gehalten werden können. Sie müssen lediglich Nachrichten an eine Adresse schicken, das System kümmert sich dann von alleine um die Weiterverbreitung. Damit geben die Nutzer allerdings auch gewisse Kontrolle auf, denn sie können nicht direkt einsehen, an wen ihre Nachrichten verteilt werden. In einer solchen Situation gibt es zusätzlich noch gewisse technische Bedenken im Zusammenhang mit der Verschlüsselung.
 - Gegen gesetzt dazu könnten auch die Aktionen des Abonnierens und Deabonnierens als Nachrichten im System verbreitet werden. Jeder abonnierte Nutzer wird somit also über neue Abonnenten informiert und speichert deren Details lokal. Zwar erhöht dies die Komplexität enorm, erlaubt aber schnellere Übertragung und genauer Kontrolle über die Auswahl der Abonnenten.

2. Probleme Zwar gibt es viel Gutes über PubSubs als Systemkonzept zu sagen, allerdings müssen auch einige Probleme angesprochen werden:

- Wie bereits eben angesprochen kann es zu gewissen Unklarheiten und Problemen im Zusammenhang mit der Verschlüsselung der Nachrichten in dezentralen Systemen kommen. Da Nachrichten meist über das offene Internet übertragen werden und daher Verschlüsselung nahezu zwingend benötigt wird, muss man sie auch hier berücksichtigen. Wie bereits im Abschnitt zur Verschlüsselung angesprochen, sollen Nachrichten mit dem öffentlichen Schlüssel, welcher auch gleichzeitig die Adresse darstellt, des Empfängers verschlüs-

selt werden. Beim durchgehen der oben beschriebenen Architekturen wird ein Problem offensichtlich: Wenn ein Thema ein normaler Empfänger im System ist, muss seine öffentliche Adresse verwendet werden. Allerdings wurde definiert, dass sich die Adresse eines Themas die Checksumme eines bekannten Schlüssels darstellt. Die Adressen in einem solchen System lassen sich allgemein aber durch einen gegebenen privaten Schlüssel ableiten. Umgekehrt ist es natürlich nicht möglich, ein geheimer Schlüssel lässt sich nicht aus nur dem öffentlichen errechnen. Hier wird also eigentlich ein System verlangt, bei welchem der private Schlüssel durch eine Checksumme errechnet wird, wobei der daraus entstehende öffentliche Schlüssel als Adresse verwendet wird. Gleichzeitig darf der private Schlüssel nicht bekannt sein, sonst wäre die gesamte Verschlüsselung sinnlos. Es wird schnell offensichtlich, dass solche Bedingungen nie erfüllt werden können.

- Da es sich bei der Liste der Abonnenten um Daten handelt, welche während der Laufzeit gespeichert und verwaltet werden müssen, bringt man plötzlich eine Vielzahl neuer Probleme ins Spiel. So müssen die Daten repliziert und gesichert werden, da ein einzelnes Mitglied jeder Zeit unerreichbar sein könnte, sie müssen verifiziert werden, da man kein Vertrauen in die Mitglieder des Systems haben darf und sie müssen trotz häufiger Änderungen konstant gehalten werden. Das Gebiet der dezentralen oder verteilten Datenbanken alleine ist sehr gross und komplex, wenn man also plötzlich nebst einem Nachrichtensystem ohne verteilte Zustände auch noch eine verteilte Datenbank verwalten muss, übersteigt dies meist die erhoffte Komplexität vieler Projekte.

6.3 Dokumentation

6.4 Bestätigung

Bestätigung

Ich/Wir erkläre/-n hiermit, dass meine/unsere Maturaarbeit von mir/uns verfasst oder entwickelt und nicht als Ganzes oder in Teilen kopiert wurde.

Aus Quellen übernommene Teile sind – nach den entsprechenden Regeln – als Zitate erkennbar gemacht. Alle Informationsquellen sind in einem Literaturverzeichnis aufgeführt.

Vorname/-n, Name/-n:

Dominik Keller, Jakob Klemm

Abteilung/-en:

G4a

Maturaarbeit:

Project Orion

Ort, Datum:

Baden, Schweiz, 7. 11. 2021

Unterschrift/-en:

Jakob Klemm

Eine Kopie der Bestätigung geben Sie – mit Originalunterschrift versehen – bei der Schlusspräsentation im November ab.