AUTOMATISIERTE LICHTMESSUNG MIT INDOOR-LOKALISATIONSSYSTEM

TECHNISCHER BERICHT

Bachelorarbeit

Autoren
Patrick Scherler
Esteban Luchsinger

Betreuer
Dr. Farhad D. Mehta

Industriepartner
Tobias Hofer
HSi Elektronik AG

HOCHSCHULE FÜR TECHNIK RAPPERSWIL
Oberseestrasse 10, 8640 Rapperswil, Switzerland

I. Inhaltsverzeichnis

II. Abbildungsverzeichnis

III. Tabellenverzeichnis

1 Abstract

2 Management Summary

2.1 Ausgangslage

2.2 Vorgehen, Technologien

2.3 Ergebnisse

2.4 Ausblick

3 Rechtliche Hinweise

4 Ausgangslage und Zielsetzung

Dieses Kapitel befasst sich mit der beim Projektstart bestehenden Ausgangslage beim Auftraggeber und der daraus entstandenen Motivation für diese Arbeit.

4.1 Motivation

Die Firma HSi Elektronik AG (Auftraggeber) führt unter anderem Lichtinstallationen bei Kunden im öffentlichen Bereich durch. Um die geforderten Helligkeitswerte der geltenden Standards garantieren zu können, werden entsprechende Lichtmessungen durchgeführt. Dabei setzt der Auftraggeber auf innovative Technologien, wie die Simulation der Lichtverhältnisse vor und nach der Installation. Die effektiven Messungen werden allerdings noch immer manuell mit einem Luxmeter durchgeführt und dokumentiert.

Gemäss den Standards müssten für die Überprüfung eines einzelnen Raumes Messungen in vordefinierten Abständen und Höhen ausgeführt werden. Manuelle Messungen verursachen hohe Zeitaufwände und sind durch die menschliche Ungenauigkeit fehleranfällig. Aus diesem Grund werden in der Praxis meist stichprobenartig Messungen erstellt, um die Daten der Simulation zu bestätigen.

Eine automatisierte und zuverlässige Lösung für die Lichtmessung würde diesen Prozess nicht nur verkürzen, sondern auch die Qualität und Aussagekraft der Messungen verbessern. Dies könnte in Zukunft auch eine regelkonforme Prüfung der geltenden Standards ermöglichen.

4.2 Zweck und Ziel

Ziel dieser Bachelorarbeit ist das Entwickeln einer praxistauglichen Lösung zur lokationsbasierten Ausführung von Lichtmessungen innerhalb eines Raumes. Die Lösung soll weitestgehend automatisiert sein und zwar vor allem dort, wo menschliche Fehler geschehen können. Dem Vermesser, der die Luxmessungen durchführt sollen möglichst alle benötigten Informationen über eine einfache Benutzerschnittstelle angezeigt werden.

Eine detaillierte Beschreibung mit den einzuhaltenden Punkten und einer Abgrenzung ist in der Aufgabenstellung ausgeführt. Nachfolgend sind als Ergänzung dazu alle Abweichungen der Aufgabenstellung aufgelistet, die zu Beginn der Arbeit so definiert wurden:

Anstatt *Beim Erreichen der Punkte im vordefinierten Raster sollen automatisch Lux-Messungen ausgeführt werden.*

Folgendes *Es werden permanent Lux-Messungen ausgeführt und mit den entsprechenden Positionsdaten verknüpft. Die Messwerte können anschliessend im User Interface gefiltert oder kombiniert werden.*

Grund Es sollen so viele Messwerte wie möglich gesammelt und erst anschliessend bei der Analyse im User Interface gefiltert werden.

4.3 Lieferumfang

Der Lieferumfang dieser Arbeit umfasst folgende Punkte:

- System zur lokationsbasierten Ausführung von Lichtmessungen innerhalb eines Raumes. (Siehe Aufgabenstellung)
- Technischer Bericht mit Architekturdokumentation.
- Source Code Repository und Code Dokumentation.

- Zwischen- und Abschlusspräsentation inkl. Live-Demonstration der Applikation.

4.4 Annahmen und Abgrenzungen

Zusätzlich zur Abgrenzung in der Aufgabenstellung wurden zu Beginn der Arbeit mit dem Auftraggeber und dem Betreuer folgende Punkte definiert:

Ansteuerung Die Ansteuerung des Sensors kann notfalls vom Auftraggeber erledigt oder simuliert werden. In dieser Arbeit soll hauptsächlich das Zusammenspiel der verschiedenen Komponenten, die Visualisierung der Sensordaten und die Positionsbestimmung behandelt werden.

Standards Die in der Motivation erwähnten Standards dienen lediglich als Referenz und müssen von der entwickelten Software nicht zwingend eingehalten werden. Eine entsprechende Lösung zur Einhaltung der Standards wäre in Zukunft allerdings denkbar und könnte vom Auftraggeber an seine Kunden als weiteren Service angeboten werden.

4.5 Einschränkungen

Für dieses Projekt gibt es vor allem Einschränkungen im Bereich der Grösse des Systems.

- Das komplette System soll mobil sein, damit es ein Vermesser jederzeit zum Kunden mitnehmen kann.
- Die Sensorkomponente muss möglichst portabel sein, damit diese später auf ein Hilfsmittel, wie beispielsweise eine Drohne, passt.

4.6 Abgrenzung zu anderen bestehenden Lösungen

- Simulationssoftware, die von der HSi eingesetzt wird.

4.7 Stand der Technik

Eine vergleichbare Lösung zur automatisierten Lichtmessung wurde auf dem Markt nicht gefunden. Die Problemstellung scheint zu spezifisch zu sein oder die Anwendungsfälle dafür zu gering. Eine Zerlegung in Einzelprobleme bringt jedoch die nachfolgenden Lösungen hervor.

4.7.1 Lichtmessung

Für Lichtmessungen gibt es bereits diverse Lösungen auf dem Markt. Im professionellen Bereich werden Beleuchtungsstärkemessgeräte (Luxmeter) mit Genauigkeitsklassen und rückführbarer Kalibrierung eingesetzt. Zur Ansteuerung per Software, wie es auch in dieser Arbeit benötigt wird, können Sensoren eingesetzt werden.

Zusätzlich gibt es seit einiger Zeit diverse Luxmeter-Apps, mit denen ein Smartphone als Luxmeter verwendet werden kann. Eine weitere Recherche auf diesem Gebiet scheint allerdings zwecklos, da die Mobiltelefone bereits aufgrund der verbauten Hardware nicht an die Genauigkeit von professionellen Geräten herankommen[1].

4.7.2 Positionsbestimmung

Für die Positionsbestimmung in geschlossenen Räumen wird Pozyx verwendet. Dieses verspricht laut Hersteller zentimetergenaue Positionsbestimmung per UWB. Die Entscheidung für diese Technologie wurde bereits vor Beginn der Arbeit gefällt.

[1] https://www.dial.de/de/article/luxmeter-app-vs-messgeraetsind-smartphones-zum-messen-geeignet/

GPS kommt für die Positionsbestimmung nicht in Frage, da der Empfang in Gebäuden generell stark reduziert bis unmöglich ist.

4.7.3 Kartierung

Die Kartierung umfasst das Verknüpfen der Helligkeitswerte mit den Positionsdaten und der Darstellung im Raum. Dies ist sicherlich der Kern dieser Arbeit.

- Google Maps Indoor
- Pozyx Beta
- elastic.co und GeoHash grid Aggregation (Nachteil: Kosten für Hosting / grosser Ressourcen-Verbrauch)
- HeatmapJS (klein/schlank)

5 Anforderungsanalyse

5.1 Rollen

Folgende Rollen wurden während der Anforderungsanalyse identifiziert:

- Benutzer: Greift auf die Anwendung zu, um bereits erstellte Aufzeichnungen anzuzeigen, zu importieren oder zu exportieren.
- Vermesser: Kalibriert die Sensoren, startet die Messungen und überwacht diese während der Durchführung. Der Vermesser ist ein Benutzer mit erweiterten Anforderungen.

5.2 Funktionale Anforderungen

Die Funktionen, die die Anwendung unterstützen soll:

#	Anforderung	Beschreibung	Rolle
1	Messung visualisieren	Als Benutzer möchte ich alle Messwerte einer Messung als Visualisierung anzeigen können, um deren Zusammenhänge zu verstehen.	Benutzer
2	Messwerte filtern	Als Benutzer möchte ich in der Visualisierung einen Filter setzen können, um die Messwerte nach ihren Abständen zu gruppieren.	Benutzer
3	Messung speichern	Als Benutzer möchte ich eine Messung speichern können, um die gesammelten Daten zu einem späteren Zeitpunkt zu betrachten.	Benutzer
4	Messung starten	Als Vermesser möchte ich eine Messung über die Benutzerschnittstelle starten können, damit die Messwerte aufgezeichnet werden.	Vermesser
5	Messung abschliessen	Als Vermesser möchte ich eine laufende Messung über die Benutzerschnittstelle abschliessen können, um die Aufzeichnung weiterer Messwerte zu beenden.	Vermesser
6	Messung fortfahren	Als Vermesser möchte ich eine bereits abgeschlossene Messung über die Benutzerschnittstelle fortfahren können, um sie durch weitere Messwerte zu erweitern.	Vermesser
7	Messung exportieren	Als Benutzer möchte ich im System vorhandene Messungen in einem textbasierten Format exportieren können, um sie extern zu sichern.	Benutzer
8	Messung importieren	Als Benutzer möchte ich eine nicht mehr im System vorhandene Messung importieren können, um sie wieder anzuzeigen.	Benutzer
9	Positionierungssystem konfigurieren	Als Vermesser möchte ich das Positionierungssystem über die Benutzerschnittstelle konfigurieren können, um die Messung schneller aufzusetzen.	Vermesser
10	Lichtsensor kalibrieren	Als Vermesser möchte ich den Lichtsensor über die Benutzerschnittstelle kalibrieren können, um ungenaue Messungen zu vermeiden und Korrekturen vorzunehmen.	Vermesser
11	Anmeldung durchführen	Als Benutzer möchte ich mich anmelden können, um auf die Daten meiner Installationen zugreifen zu können.	Benutzer
12	Abmeldung durchführen	Als Benutzer möchte ich mich nach der Anmeldung abmelden können, um die Daten meiner Installationen für unbefugte unzugänglich zu machen.	Benutzer

13	Instrumente testen	Als Vermesser möchte ich die Konfiguration und Kalibrierung der Sensoren vor Beginn der Messung testen können, um fehlerhafte Messungen zu vermeiden.	Vermesser

Tabelle 1 Funktionale Anforderungen des Flux-Coordinators

Das Formulieren der CRUD-Methoden (Create, Read, Update, Delete) wurde der Einfachheit halber weggelassen. Diese werden bei Bedarf implementiert.

Die Priorisierung der Anforderungen entspricht der Reihenfolge in der Tabelle. Es gibt keine optionalen Anforderungen, sondern lediglich die Priorisierung und eine zeitlich begrenzte Entwicklungszeit.

5.3 Nicht funktionale Anforderungen

Die folgenden nichtfunktionalen Anforderungen sind nach ISO 9126 [1] gruppiert.

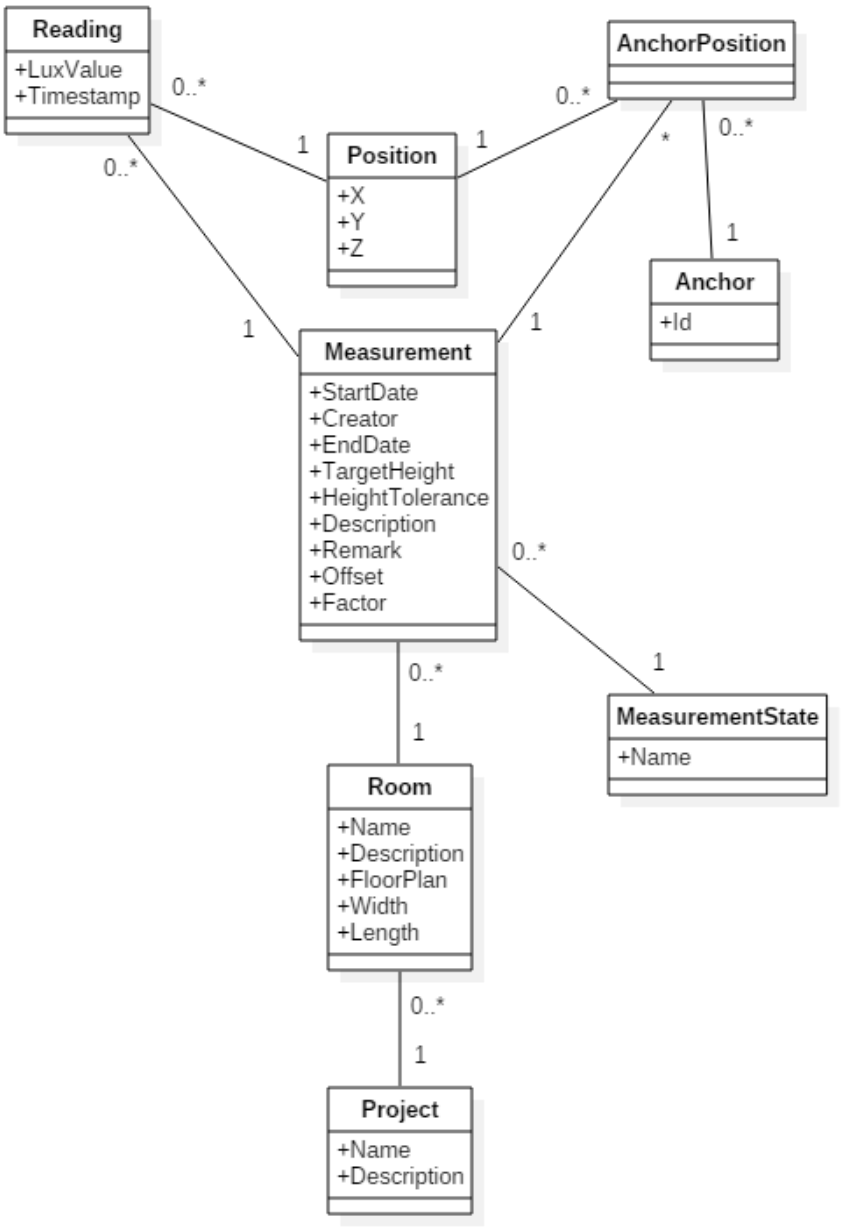
#	Anforderung	Kategorie
1	Sensoren lassen sich austauschen, ohne dafür die Serverkomponente anpassen zu müssen.	Maintainability
2	Ein Benutzer muss auf das User Interface zugreifen können, ohne zusätzliche Software auf seinem Client Gerät installieren zu müssen.	Usability
3	Die Messwerte müssen bei einer Round-Trip-Time von unter 25 ms in mindestens 90% der Anfragen in weniger als 1 Sekunde angezeigt werden.	Efficiency
4	Die Server-Komponente muss auf einer von den Sensoren getrennten Plattform ausgeführt werden können.	Portability
5	Das User Interface soll auf den gängigen Plattformen (PC, Laptop, Tablet) verwendet werden können.	Portability
6	Die Funktionalität des Systems muss vor nicht-authentifizierten Zugriffen geschützt sein.	Security
7	Die aufgezeichneten Messwerte müssen unverändert persistiert werden. Eventuelle Faktoren oder Filter müssen zusätzlich zu den Rohdaten abgelegt werden.	Functionality

Tabelle 2 Nichtfunktionale Anforderungen des Flux-Coordinators

6 Analyse

6.1 Domainanalyse

Das nachfolgende Domain-Modell zeigt die wesentlichen konzeptionellen Klassen und ihre Zusammenhänge. Es soll einen Überblick über die Problemdomäne schaffen.



Nachfolgend sind einige Klassen und Beziehungen genauer beschrieben:

Auf den ersten Blick ist das Attribut *TargetHeight* der Klasse *Measurement* identisch mit dem *Z*-Attribut der Klasse *Position*. Die *TargetHeight* muss jedoch zu Beginn einer Messung definiert werden und beschreibt somit die Soll-Höhe der auszuführenden Messung. Der *Z*-Wert beschreibt hingegen den effektiv von der Positionierungssoftware gemessenen Wert.

Das Attribut *HeightTolerance* definiert die Toleranz für Abweichungen von der gewünschten Messhöhe (*TargetHeight*). Dieser Wert muss bei unterschiedlichen Traversierungs-Hilfsmitteln gegebenenfalls angepasst werden, da nicht immer dieselbe Präzision erreicht werden kann. Eine zu kleine Toleranz bedeutet das Wegwerfen vieler Messwerte und würde die Kartierung des Raumes verlangsamen. Eine zu grosse Toleranz ergibt Messwerte, die sich in der aufgenommenen Höhe stark unterscheiden. Dies könnte die Aussagekraft der Messung verschlechtern.

Die Beziehung zwischen *Measurement* und *AnchorPosition* definiert für eine Messung beliebig viele Antennen des Positionierungssystems. Laut dem Hersteller des Positionierungssystems Pozyx sind mit entsprechender Programmierung unbegrenzt viele Antennen möglich[2].

6.1.1 Ubiquitous Language

Nachfolgend sind die wichtigsten Begriffe der Problemdomäne für den Kontext dieser Arbeit definiert. Dies ist ein bewährtes Vorgehen im Domain-Driven Design (DDD) [1].

Begriff	**Erklärung**
Project	Logische Gruppierung von Messungen (Measurement) und deren Räumen (Room) die zu einem gemeinsamen Auftrag gehören
Room	Zu vermessender Raum oder Bereich eines Raumes innerhalb eines Gebäudes
Measurement	Einzelne Messdurchführung innerhalb eines Raumes (Room) mit beliebig vielen Messwerten (Reading).
Reading	Einzelner Messwert als Kombination aus Helligkeitswert in Lux und relativer Position innerhalb des Raumes als kartesische Koordinaten
Anchor	Referenzpunkt des Positionierungssystems innerhalb des Raumes
Kartierung	Das Vermessen eines Raumes heisst Kartierung.
Floor Plan	Die Karte des zu kartierenden Raumes.

Tabelle 3 Definition der Ubiquitous Language

6.2 Entwicklungsumgebung

6.3 Lichtmessungen durchführen

6.4 Human Error (Menschliche Fehler)

https://en.wikipedia.org/wiki/Human_error

6.5 Positionserkennung

6.6 Integration der Sensordaten

6.7 User Experience

[2] https://www.pozyx.io/Documentation/where_to_place_the_anchors (Kommentar von Pozyx Labs)

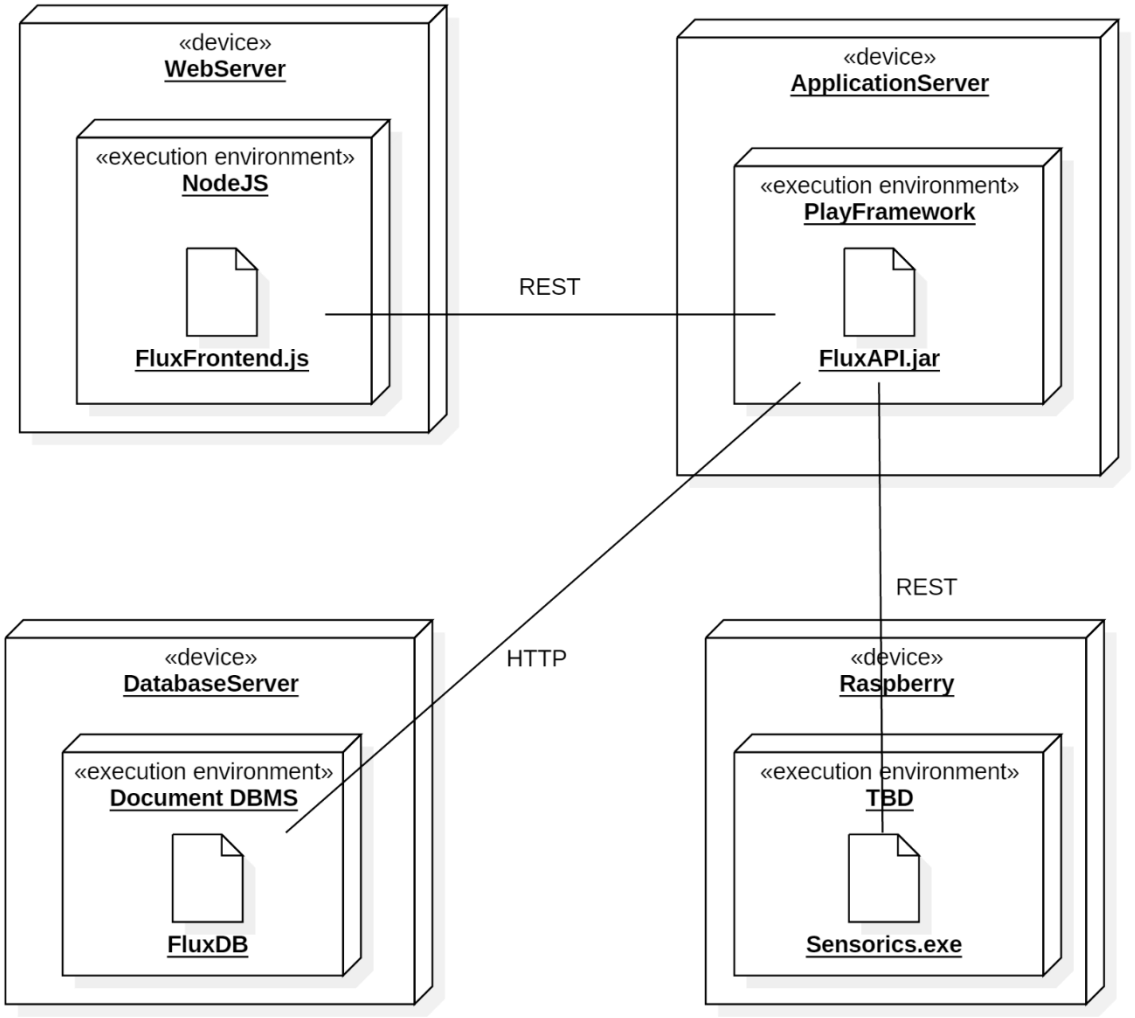
7 Realisierung

Die Realisierungsphase

7.1 Architektur

Wichtige Architekturentscheidungen dokumentieren.

Das System soll möglichst so aufgebaut werden, dass der Auftraggeber es in allen möglichen Situationen verwenden kann. Aus diesem Grund wurde das System als verteiltes Software System konzipiert. Durch die Aufteilung in verschiedene Subsysteme, lassen sich diese auch problemlos parallel entwickeln.



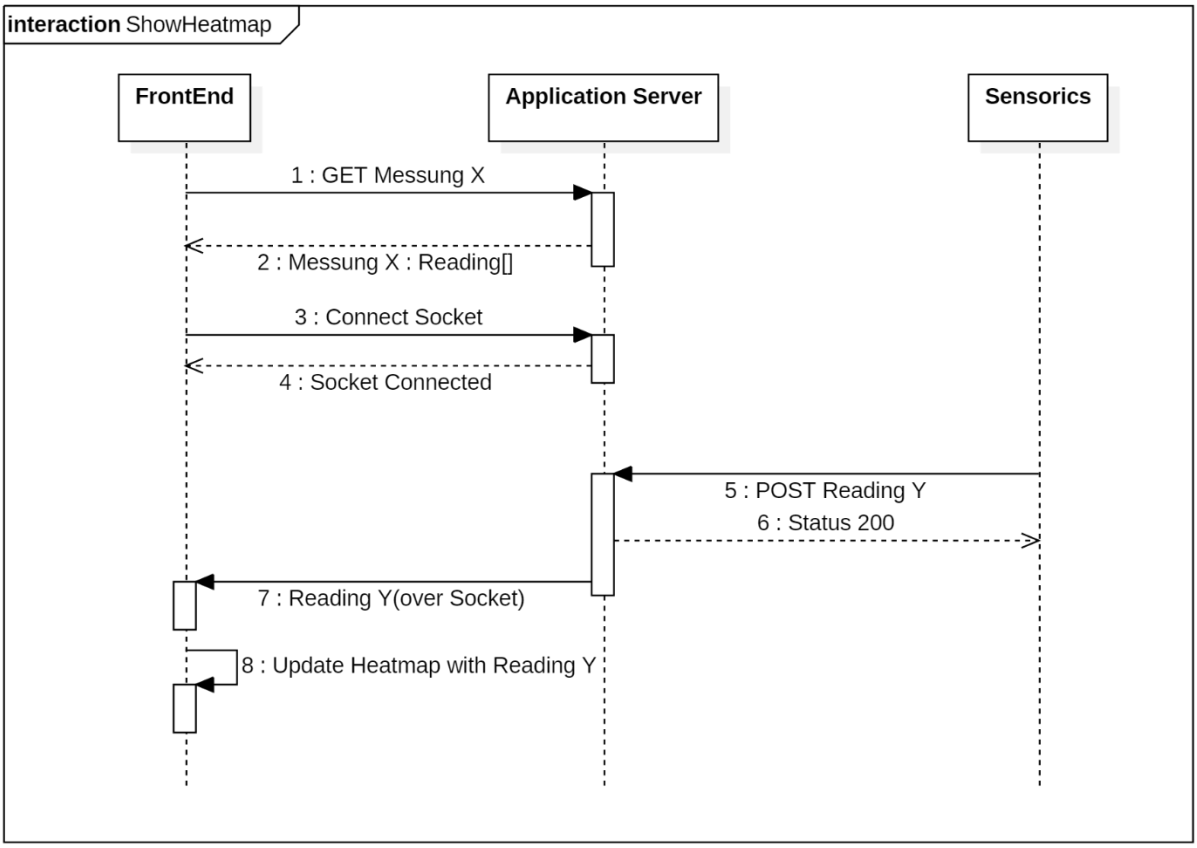
7.1.1 Frontend

Das Frontend ist für das Rendern der von der API gelieferten Daten zuständig. Dafür wird die Frontend Library ReactJS verwendet. Durch das Lokale Rendern auf dem Client, lässt sich die Reaktionszeit des UIs vermindern, was zu einer besseren Nutzererfahrung führt.

Anzeigen der Heatmap

Die Heatmap lädt am Anfang die schon auf der Datenbank verfügbaren Messungen von der Schnittstelle. Anschliessend öffnet der Client eine Socketverbindung zum Application Server. Diese Socketverbindung wird gebraucht, damit die neuen Messungen der Sensoren direkt und fast

in Echtzeit auf das Frontend übertragen werden. Der Socket wird wieder geschlossen, sobald der Benutzer die Kartenansicht verlässt.



7.1.2 Application Server

Als Knotenpunkt für alle verteilten Komponenten dient eine Applikationsschnittstelle (API). Die Schnittstelle wird auf einem Application Server gehostet. Die Schnittstelle wird basierend auf dem REST Prinzip aufgebaut, sodass die Kommunikation zu und vom Application Server über http Anfragen stattfindet. Als Datenformat soll das JSON Format dienen, weil dieser sich mittlerweile in der Webentwicklung durchzusetzen scheint. XML wäre für dieses Projekt unnötig kompliziert, da die erweiterte Funktionalität, wie zum Beispiel XLink Attribute für diese Arbeit keine Vorteile bringen. Die einfache Objektserialisierung von JavaScript in JSON und die Verwendung einer dokumentbasierten Datenbank, welche die Daten im BSON Format speichert [2] (und in JSON ausgibt) ergeben weitere Vorteile. Das Entwicklerteam hat wenig Erfahrung mit YAML und die Vorteile von YAML sind nicht so offensichtlich, wie bei JSON.

7.1.3 Sensoren

Die Sensoren werden von einem Raspberry Pi gesteuert. Dieser Client übermittelt die Daten an die Schnittstelle über http POST Requests, sobald sie bereitstehen. Wichtig ist, dass die Sensordaten des Luxmeters und des Positionierungssystems lokal auf dem Client zusammen verschmolzen und mit einem Timestamp versehen werden.

Hinweis: Der Grund, weshalb POST und nicht PUT Anfragen verwendet werden ist, dass PUT Anfragen idempotent sein soll. Dabei ist es «good practice», wenn der Client dem Server bei einer PUT Anfrage auch den Namen gibt, unter welchem die Ressource zugreifbar sein soll. Im Fall der Messwerte, behält aber ultimativ der Application Server die Hoheit über die Datenhaltung.

7.1.4 Datenbank

Die Datenbank speichert die gesammelten Messwerte und enthält auch die Metadaten, über Projekte und Räume. Wegen der Komplexität der relationalen DBMS im Deployment, wurde entschieden ein dokumentbasiertes DBMS zu verwenden. Die verwendete Datenstruktur lässt sich ausserdem sehr gut in Dokumente aufteilen. Das Fehlen eines ORM wird sich ausserdem positiv auf die Produktivität im Projekt auswirken.

Dokumentbasiertes Database Management System

Eine Anforderung an das Projekt ist eine einfache Bereitstellungsstrategie. Relationale DBMS (RDBMS) sind erfahrungsgemäss schwieriger bereitzustellen, wie dokumentbasierte DBMS. Der Application Server bietet eine Schnittstelle im JSON Format an, weshalb sich eine Datenhaltung in JSON zusätzlich lohnt. Ein Objektrelationales Mapping erübrigt sich, was eine zusätzliche Entlastung für die Wartung des Projektes mit sich bringt und die Produktivität des Teams steigert.

References vs Embedded Documents

Zwar entfällt bei einer dokumentbasierten Datenbank das Erstellen eines Schemas im traditionellen Sinn, doch die optimale Aufteilung der Daten spielt dennoch eine grosse Rolle. In MongoDB werden die Daten in Datenbank, Collections und Documents aufgeteilt. Diese drei Kategorien lassen sich grob in Datenbank, Tabellen und Zeilen für RDBMS übersetzen. Für dokumentbasierte DBMS muss jedoch gegenüber traditionellen RDBMS ein Umdenken stattfinden. Zum Beispiel sind in dokumentbasierten DBMS denormalisierte Daten öfter erwünscht, als in RDBMS.

Ein Document in MongoDB kann eingebettete Dokumente mit verwandten Daten enthalten. Generell ist es besser, Dokumente in andere Dokumente einzubetten, anstatt eine Referenz zu einem anderen Dokument (möglicherweise in einer anderen Collection) zu speichern. Es gibt jedoch Einschränkungen bei eingebetteten Dokumenten zu beachten. So ist die Dokumentgrösse auf 16 MB begrenzt, was beim Sammeln einer grossen Anzahl an Messwerten ein Problem darstellen könnte.

Referenzen bieten eine grössere Anpassbarkeit, als eingebettete Dokumente.

Das Mapping der Datenbank mit den Workflowobjekten sieht wie folgt aus:

Database	Die Datenbank beinhaltet die gesamten Daten des Systems.
Collection	Eine Collection (analog zu Tabelle in RDBMS) teilt die verschiedenen Dokumente in Kategorien auf. Bei dokumentbasierten Datenbanken muss eine Balance zwischen dem Hinzufügen aller Werte in einem einzelnen Document oder dem Aufteilen der Werte in verschiedene Collections. Ein Document wird nämlich immer vollständig herausgegeben. Ein «herauspicken» von Daten innerhalb eines Documents gestaltet sich als schwierig.

Es gibt folgende Collections: project und reading.

Document Ein Document beinhaltet einen konkreten Wert (analog zu Zeilen in RDBMS). Ein Beispiel für ein Dokument ist ein konkretes Projekt oder eine Messung.

7.2 Probleme & Lösungsansätze

7.3 Ergebnis

8 Schlussfolgerung und Ausblick

8.1 Beurteilung der Ergebnisse

8.2 Mehr Titel...

9 Literaturverzeichnis

[1] International Organization for Standardization, «Software engineering -- Product quality -- Part 1: Quality model,» 2001.

[2] E. Evans, Domain-Driven Design. Tackling Complexity in the Heart of Software, Addison-Wesley, 2003.

[3] MongoDB Inc, "JSON and BSON," MongoDB Inc, [Online]. Available: https://www.mongodb.com/json-and-bson. [Accessed 11 03 2018].

Anhang

A. Beispielanhang

B. Glossar