

Artha - Wassersense: The new way of water

Semesterprojekt IP5

Windisch, FS24



Vorgelegt von	Sven Ziörjen, Jan Zimmermann
Eingereicht bei	Prof. Dr. Norbert Seyff, Dr. Nitish Patkar
Auftraggeber	Patrick Frei
Projektnummer	24FS IIT20
Datum	16.08.2024

Fachhochschule Nordwestschweiz, Hochschule für Technik, Studiengang Informatik

Abstract

Das Unternehmen Artha verfolgt das Ziel, die Wasseraufbereitung durch den Einsatz neuer Technologien zu optimieren. Es bietet mietbare Systeme für automatisierte Messungen von Wasserdaten aus Klär- und Wasseraufbereitungsanlagen an. Die Qualitätsmessungen werden mit einem innovativen Spektrometer erfasst und lokal auf Laptops gespeichert. Allersings musste die Datenanalyse bisher vor Ort erfolgen und verlangte Zugriff auf den in der Messstation verfügbaren Laptop. Durch die örtliche Abhängigkeit entstand ein hoher Aufwand für Systemadministratoren. Die Kunden von Artha hatten zudem keinen direkten Zugriff auf die Messstation. Das Teilprojekt Watersense wurde entwickelt, um diesen Prozess zu optimieren. Analysen sollten ortsunabhängig und auch durch Arthas Kunden durchgeführt werden können. Zur Entwicklung eines Systems wurden, nebst den durch den Auftraggeber definierten Anforderungen, Konkurrenzprodukte untersucht und Merkmale von benutzerfreundlichen und informativen Messdatenvisualisierungen in der Literatur recherchiert. Um die Systeme bereitzustellen, wurde die geeignetste Hosting-Plattform in Bezug auf Kosten, Wartungsaufwand, KI-Integrationen, Verfügbarkeit und Lage der Daten mithilfe des MAUT Verfahrens ermittelt. Die Ergebnisse flossen in eine neu erstellte Webapplikation ein, die auf der Google Cloud Plattform bereitgestellt wird. Die finale Lösung umfasst eine Applikation, welche Messdaten automatisch in die Cloud hochlädt, die Speicherung der Daten in einem erweiterbaren Datenbankmodell und die Auswertung mithilfe unterschiedlichen Visualisierungen auf einem individuell anpassbaren Dashboard. Das System wurde so konzipiert, dass es in Zukunft um Interpretationen und Vorhersagen basierend auf künstlicher Intelligenz erweitert werden kann. Dank der erfolgreichen Umsetzung von Watersense bietet Artha ihren Systemadministratoren und Kunden die Messungen nach kurzer Zeit online und ortsunabhängig zur Analyse an.

Keywords:

Visualisierungen, Hosting-Plattform, Wasseraufbereitung, Abwasseranalyse, Sensordaten

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	vi
Tabellenverzeichnis	vii
1 Glossar	1
2 Abkürzungsverzeichnis	2
3 Einleitung	3
3.1 Hintergrund und Motivation	3
3.2 Zielsetzung	3
3.3 Fragestellungen	4
3.4 Relevanz und Anwendungsbereich	4
3.5 Vorgehen	5
4 Ausgangslage	7
4.1 Messsystem	7
4.2 Datenzusammensetzung	7
4.3 Spectrum Analyzer Software	8
5 Theoretische Grundlagen	10
5.1 Literaturrecherche zu Verarbeitung von Wasserqualitätsmessungen	10
5.2 Literaturrecherche zur Visualisierung von Wasserdaten	13
5.3 Marktanalyse Visualisierungen	14
6 Konzeptionelle Lösung und Methodik	17
6.1 Benutzergruppen	17
6.2 Persona	17
6.3 Anforderungen	19
6.4 Entwurf der Benutzeroberfläche	20
6.5 Erkenntnisse aus dem Entwurf der Benutzeroberfläche	24
7 Architekturkonzept	25
7.1 Komponenten	25

8	Auswahl Hostinganbieter	27
8.1	Auswahl der verglichenen Anbieter	28
8.2	Auswahl der Kriterien für den Anbietervergleich	28
8.3	Auswertung der Kriterien	29
8.4	Bewertung der Plattformen	31
8.5	Zusammenzug und Empfehlung	33
9	Technische Implementation der Lösung	34
9.1	Datenpipeline im Kontext	34
9.2	Upload-Applikation	35
9.3	Datenbank	38
9.4	Core-Applikation	39
9.5	Webapplikation	41
9.6	Schnittstellen	51
9.7	Erweiterung der Datenstruktur	53
9.8	Erweiterungskonzept – Implementierung weiterer Visualisierungen	53
9.9	Erweiterungskonzept – KI-Integration zur Interpretation von Messdaten	55
10	Validierung	58
10.1	Erfüllung der Anforderungen	58
10.2	Usability Tests	59
10.3	Vergleich mit Konkurrenzprodukten	62
11	Schlussfolgerungen und weiterführende Arbeiten	64
11.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	64
11.2	Zielerreichung	64
11.3	Beantwortung der Fragestellungen	65
11.4	Relevanz der Arbeit	66
11.5	Ausblick und zukünftige Arbeiten	67
11.6	Abschlussbemerkung	67
	Quellenverzeichnis	68
	Ehrlichkeitserklärung	70
A	Anhang Theoretische Grundlagen	71
A.1	Dashboards von Konkurrenzprodukten	71

B	Anhang Anforderungen	76
B.1	Goal Driven Roadmap	76
B.2	Detaillierte Anforderungen als User Stories	77
B.3	Bewertung der Umsetzung der Anforderungen	82
B.4	Protokolle der Usability Tests	90
C	Anhang Hosting-Plattform	116
C.1	Hosting-Plattformen - Literaturrecherche Vorgehen Vergleich	116
C.2	Hosting-Plattformen - Literaturrecherche Kriterienauswahl	117
C.3	Hosting-Plattformen - Detaillierte Auswertung der Kriterien	120

Abbildungsverzeichnis

4.1	Screenshot von einem Liniendiagramm des Spectrum Analyzer Programms des Auftraggebers	8
4.2	Screenshot von einer Heatmap des Spectrum Analyzer Programms des Auftraggebers	9
5.1	Oberflächlicher Wastewater Treatment Process [1]	11
5.2	Intelligenter WWTP Datenverarbeitungs-Prozess [2]	12
6.1	Die Persona des Kläranlagenbetreibers Ivan Zehnder	18
6.2	Die Persona des Systemadministrators Alexander Müller	18
6.3	Screenshot des Dashboards des Prototyps	21
6.4	Screenshot der Detail- und Filterfunktionen des Prototyps	22
6.5	Screenshot einer Ansicht des Prototyps mit hervorgehobenem Vollbild-Knopf	22
6.6	Ansicht des Prototyps im Vollbildmodus	23
7.1	Illustration der groben Systemarchitektur	25
9.1	Datenpipeline im Kontext von Artha	34
9.2	Ablaufdiagramm Upload-Prozess	35
9.3	Entity-Relationship-Diagramm der Datenbank	38
9.4	Screenshot des Dashboards	42
9.5	Hierarchie der im Dashboard verwendeten Webapplikation-Komponenten.	43
9.6	Zwei Screenshots des Dashboards mit unterschiedlichen Bildschirmbreiten.	44
9.7	Screenshot der Line-Chart Komponente	46
9.8	Screenshot der “Letzte Messung” Komponente	47
9.9	Screenshot der Heatmap Komponente	47
9.10	Screenshot der Intensitätsverlauf Komponente	48
9.11	Screenshot des Dashboards im Bearbeitungsmodus	49
9.12	Screenshot des Popups zum Hinzufügen von Visualisierungen	49
9.13	Screenshot des Vollbildmodus	50
9.14	GraphQL Mutation Spezifikation	51
9.15	GraphQL Query Spezifikation	51
9.16	Erweiterbare Datenstruktur von Watersense	53
9.17	Übersicht der Anpassungen für das Hinzufügen einer neuen Visualisierung	55
9.18	Übersicht der Architektur zur KI-Integration	56
A.1	Screenshot von der GEMStat Water Quality Webseite	71
A.2	Screenshot eines Liniendiagramms des Elk Valley Water Quality Hubs	72
A.3	Screenshot eines Balkendiagramms des Elk Valley Water Quality Hubs	72

A.4	Screenshot eines Balkendiagramms des Interactive Beach Water Quality Dashboard Massachusetts	73
A.5	Screenshot der Gauge-Charts vom Programm ArcGIS von Esri	73
A.6	Screenshot des Water Quality Dashboards von Tanvir Ahmed	74
A.7	Screenshot der Gewässer-Wasserqualitätsübersicht von Florida	75
A.8	Screenshot des National Integrated Water Information Systems von Südafrika	75
A.9	Water quality chart of the Department of Planning and Environment of the New South Wales Environment Protection Authority	76

Tabellenverzeichnis

4.1	Aufschlüsselung der Parameter eines Messpunktes	7
5.1	Funktionsübersicht der Konkurrenzprodukte	16
6.1	Übersicht der User Stories mit ihren Captions und Referenzen	19
6.2	Anforderung zur Integration von weiteren Daten	19
6.3	Anforderung zur Erweiterung von KI gestützten Interpretationen	20
8.1	Die für die Kriterienbewertung verwendete Punkteskala	31
8.2	Bewertung der Cloud-Service-Plattformen	32
9.1	Beschreibung der Parameter in der Konfigurationsdatei	36
9.2	Größenverhältnisse der Suchabfragen	39
9.3	Datenbank Indizes für verbesserte Abfragegeschwindigkeit	41
9.4	Beschreibung der vordefinierten GraphQL Query-Abfragen	52
10.1	Zusammenfassung der Noten der User Stories	58
10.2	Zusammenfassung der Noten der konzeptionellen Anforderungen	59
10.3	Durchschnittlicher SUS-Score der einzelnen SUS-Fragen	61
10.4	Funktionsübersicht der Konkurrenzprodukte und von Watersense	62
B.1	User Story 1: Automatisches Hochladen von Messungen	77
B.2	User Story 2: Heatmap	78
B.3	User Story 3: Liniendiagramm	79
B.4	User Story 4: Vergleich von Messungen	80
B.5	User Story 5: Individuelles Dashboard erstellen	81
B.6	User Story 6: Auswahl der Messstation	81
B.7	User Story 7: Detailinformationen als Tooltip	82
B.8	User Story 8: Zoomen bei Ansichten	82
B.9	Bewertung der Umsetzung von User Story 1	83
B.10	Bewertung der Umsetzung von User Story 2	84

B.11	Bewertung der Umsetzung von User Story 3	85
B.12	Bewertung der Umsetzung von User Story 4	86
B.13	Bewertung der Umsetzung von User Story 5	87
B.14	Bewertung der Umsetzung von User Story 6	88
B.15	Bewertung der Umsetzung von User Story 7	89
B.16	Bewertung der Umsetzung von User Story 8	90
C.1	Kategorien und Attribute für die Messung von Cloud-Diensten	117
C.2	Kategorien und QoS für die Messung von Cloud-Diensten	118
C.3	Beschreibung AWS Dienste	119
C.4	Beschreibung der Microsoft Azure Cloud Dienste	119
C.5	Beschreibung der Google Cloud Platform Dienste	120
C.6	Beschreibung der Infomaniak Dienste	120
C.7	Konfigurationen der Dienste, welche die statische Webseite bereitstellen	121
C.8	Konfigurationen der Dienste, welche die Serverapplikation betreiben könnten.	121
C.9	Konfigurationen der Datenbankdienste	122
C.10	Für die Kostenberechnung der virtuellen Maschine bei Infomaniak verwendete Konfiguration	122
C.11	Konfigurationen der Support Angebote	122
C.12	Übersicht zu den einmaligen Kosten in CHF/Monat	123
C.13	Wiederkehrende Kosten der Dienste CHF/Monat	124
C.14	Stack Overflow Metriken zu AWS, Azure Cloud und GCP	124
C.15	Erwartete Downtime in Stunden und Minuten pro Jahr für eine bestimmte Uptime	125
C.16	In den Service Level Agreements festgelegte Uptime-Werte. AWS verpflichtet sich Strafbzahlungen zu machen, wenn die Verfügbarkeit tiefer ist.	126
C.17	In den Service Level Agreements festgelegte Uptime-Werte. Azure verpflichtet sich Strafbzahlungen zu machen, wenn die Verfügbarkeit tiefer ist.	126
C.18	In den Service Level Agreements festgelegte Uptime-Werte. Google Cloud Platform verpflichtet sich Strafbzahlungen zu machen, wenn die Verfügbarkeit tiefer ist.	126
C.19	In den Service Level Agreements festgelegte Uptime-Werte. Infomaniak verpflichtet sich Strafbzahlungen zu machen, wenn die Verfügbarkeit tiefer ist.	127

1 Glossar

Begriff	Definition / Erklärung
Brane Dateien	Von der Messstation erstellte Dateien. Sie enthalten die Daten zu den Messungen.
High Level Sicht	Grobe, nicht besonders detaillierte Übersicht.
Key Performance Indicator	Kennzahl, die die Leistung eines Unternehmens misst.
Quality of Service	Die Qualität einer Dienstleistung.
Wastewater Treatment Plants	Abwasseraufbereitungsanlagen.

2 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
AHP	Analytic Hierarchy Process
AK	Akzeptanzkriterien
ANP	Analytic Network Process
AWS	Amazon Web Services
CSMIC	Cloud Services Measurement Initiative Consortium
EC2	Amazon Elastic Compute Cloud
ERD	Entity-Relationship-Diagramm
F	Funktion
GCE	Google Compute Engine
GCP	Google Cloud Platform
JDBC	Java Database Connectivity
KA	Konzeptionelle Anforderungen
KI	Künstliche Intelligenz
KPI	Key Performance Indicator
LLM	Large Language Model
MAUT	Multi-Attribute Utility Theory
MCDM	Multi-Criteria Decision-Making
ML	Machine Learning
QoS	Quality of Service
RDS	Amazon Relational Database Service
S3	Amazon Simple Storage Service
SLA	Service Level Agreement
SMI	Service Measurement Index
SPA	Single Page Application
SUS	System-Usability-Scale
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
US	User Story
VPS	Virtual Private Server
WWTP	Wastewater Treatment Plants (Abwasseraufbereitungsanlagen)
Z	Ziel

3 Einleitung

3.1 Hintergrund und Motivation

Das Projekt Artha fokussiert sich auf ein zentrales Problem im aktuellen Industrie-Wasseranalyzesystem. Üblicherweise erfolgt stündlich eine Wasserprobeentnahme, deren Resultate erst 24 Stunden später nach einer Laboranalyse vorliegen. Diese Verzögerung führt zu langsamen Reaktionen von Kläranlagen im Falle einer Verschlechterung der Wasserqualität. Die stündlichen Proben beeinflussen zudem die Laborevaluation, da sich die Proben gegenseitig normalisieren und Veränderungen schwer zu detektieren sind. Aus diesem Grund neigen viele Kläranlagen dazu, ihre Filter- und Aufbereitungsanlagen kontinuierlich auf hohem Niveau zu betreiben, um sicherzustellen, dass die gesetzlichen Vorschriften eingehalten werden. Dies führt zu höheren Betriebskosten, als die effektive Wasserqualität erfordern würde.

Das grundlegende Problem für Anlagenbetreiber besteht darin, dass sie keine Möglichkeit haben, schnell und gezielt auf Veränderungen in der Wasserqualität zu reagieren. Nebst der Anwendung für Kläranlagen besteht auch die Anwendung für die Trinkwasserversorgung. Im Falle von Havarien sollen die Betreiber der Aufbereitungsanlagen die Versorgung Ein- und Ausschalten können.

Um diese Herausforderungen zu bewältigen, setzt das Projekt Artha ein fortschrittliches UV-Spektrometer-Messgerät ein, welches das Wasser in genau definierten Zeitintervallen auf Anomalien untersucht. Diese Messintervalle können wenige Minuten bis hin zu mehreren Stunden betragen. Die erfassten Daten werden über einen USB-Anschluss auf ein externes Gerät übermittelt. Von dort aus werden die Daten durch einen Systemadministrator ausgewertet, was eine effiziente, wenn auch lokal begrenzte Erkennung kurzfristiger Veränderungen ermöglicht. Mit dem Messsystem können Betreiber bei Abweichungen von den Normalwerten zeitnah alarmiert werden.

Trotz dieser Lösung stehen dem Projekt Artha einige Herausforderungen gegenüber. Eine davon ist, dass die Daten ausschliesslich auf dem lokalen Gerät vor Ort abrufbar und analysierbar sind. Dies beschränkt die Möglichkeiten der Datenverarbeitung und -verfügbarkeit erheblich, da nur Systemadministratoren Zugriff haben und diese sich zur Analyse vor Ort befinden müssen. Um diese Herausforderung zu bewältigen wurde das Projekt Watersense ins Leben gerufen.

3.2 Zielsetzung

Das Ziel von Watersense ist es, die bisherigen Herausforderungen der lokalen Datenspeicherung in der Trinkwasseranalyse bei der Firma Artha zu bewältigen. Es ermöglicht den Betreibern von Wasseraufbereitungsanlagen einen zeitnahen Zugriff auf die gemessenen Werte ihrer Geräte.

Durch die Implementierung einer neuen Lösung werden die aktuellen Einschränkungen der lokalen Datenspeicherung überwunden, was zu einem Fortschritt in der Flexibilität der Wasserqualitätsüberwachung führt. Die Betreiber können schneller und präziser auf potenzielle Probleme reagieren. Dadurch wird die Sicherheit und die Qualität des Trinkwassers erhöht, was sich positiv auf die Gesundheit der Bevölkerung auswirkt.

Die genauen Ziele (Z) von Watersense sind in den folgenden Abschnitten erläutert.

Z-1: Messdaten zur Weiterverarbeitung bereitstellen

Alle neu erstellten Messungen sind nicht mehr nur lokal auf dem Messgerät verfügbar. Sie sind in einem standardisierten Format auf einem zentralen System gespeichert und über eine spezifizierte Schnittstelle zur Verfügung gestellt, wodurch sie von elektronischen Systemen automatisiert verwendet oder weiterverarbeitet werden können.

Z-2: Ortsunabhängiger Zugriff auf die Messdaten

Die Messdaten sind ortsunabhängig in einem gängigen Browser, wie Chrome, Firefox, Safari, Opera und

Edge abrufbar. Dadurch ist die Untersuchung und Interpretation der Daten auch möglich, wenn sich der Benutzer nicht bei der Messstation befindet. Der Benutzer kann die Messdaten auf einem Computer oder einem Mobilgerät betrachten.

Z-3: Zeitnaher Zugriff auf die Messdaten

Die neusten Messdaten stehen den Benutzern innerhalb von 10 Minuten zur Verfügung, damit Ereignisse schnell untersucht werden können.

Z-4: Messdaten Nutzungsorientiert visualisieren

Die Messdaten sind so aufbereitet, dass sie dem Anwender nützliche Informationen liefern und schnell interpretierbar sind. Trends und Anomalien können aufgezeigt werden, indem direkte Vergleiche von Messdaten möglich sind.

Z-5: System skalierbar entwerfen

Die Systeme passen sich automatisch an steigende Nutzeranfragen an und verarbeiten wachsende Datenmengen effizient, wobei dies durch die ausgewählte Hosting-Plattform und die Softwarearchitektur gewährleistet werden soll.

Z-6: System erweiterbar entwerfen

Die Systeme sind einfach erweiterbar. Neue Visualisierungen können mit wenig Aufwand hinzugefügt werden und es besteht ein Konzept, um KI-Funktionen und weitere Sensordaten zu integrieren.

3.3 Fragestellungen

Wie können verschiedene Anbieter für den Betrieb von Watersense strukturiert und zielführend miteinander verglichen werden?

Mit Watersense soll ein zukunftsorientiertes System bereitgestellt werden, das Nutzern ermöglicht, Messdaten über das Internet abzurufen. Hierfür müssen die Messdaten auf einer Plattform gespeichert werden, die einen zuverlässigen Online-Zugriff ermöglicht und zukünftige Erweiterungen wie KI-Integrationen unterstützt. Um die am besten geeignete Plattform zu identifizieren, ist ein fundierter Vergleich verschiedener Hosting-Anbieter erforderlich. Dazu sollen wichtige Kriterien im Kontext dieses Projektes für die Evaluation identifiziert werden. Diese Fragestellung untersucht zudem, wie ein solcher Vergleich effektiv und strukturiert gestaltet werden kann.

Wie können Visualisierungen in einem Benutzerinterface genutzt werden, um komplexe Wasseranalysedaten für Anwender möglichst benutzerfreundlich und informativ darzustellen?

Eine zentrale Funktion von Watersense ist die Visualisierung von Wasserdaten. Mit dieser Fragestellung wird untersucht, was ein sinnvoller Aufbau der Benutzerinterfaces ist, welche Bestandteile vorhanden sein sollten und wie Darstellungsweisen und Visualisierungen genutzt und kombiniert werden können, um komplexe Wasseranalysedaten möglichst benutzerfreundlich und informativ darzustellen.

3.4 Relevanz und Anwendungsbereich

Das Projekt Watersense soll Wasseraufbereitungsstellen die Grundlage bieten, ihre Ressourceneffizienz zu verbessern. Derzeitige Systeme sind auf zeitverzögerte Laboranalysen angewiesen. Zur Einhaltung von gesetzlichen Anforderungen investieren die Betreiber wegen des Mangels an zeitnahen Informationen oft deutlich mehr Ressourcen zur Wasseraufbereitung als nötig wäre.

Das Projekt Artha will durch zeitnahe und genaue Qualitätsmessungen den Betrieb von Wasseraufbereitungsanlagen optimieren und eine Möglichkeit bieten, Wasserqualität kurzfristig zu analysieren. Mit Watersense können Betreiber ortsunabhängig auf Abweichungen reagieren und Messungen untersuchen. Damit sind Ereignisse auch ausserhalb der normalen Arbeitszeiten schnell erkennbar und können, falls

notwendig behandelt werden. Dies bietet besonders bei der Überwachung der Trinkwasserversorgung einen grossen Nutzen.

3.5 Vorgehen

In diesem Abschnitt wird das allgemeine Projektvorgehen näher erläutert.

3.5.1 Projektmanagement

Die Autoren dieses Berichts haben sich für die agile Arbeitsweise entschieden. Die agile Arbeitsweise ist ein iterativer Prozess, in welchem die Teammitglieder zusammen mit einem Produktverantwortlichen Anforderungen und Lösungen erarbeiten. Die Anforderungen und das Produkt werden im Rahmen der Entwicklung auch regelmässig geprüft und allenfalls geändert. Aufgrund der Erfahrungen mit Scrum¹, haben sich die Autoren für einen an dieses Vorgehensmodell angelehnten Prozess entschieden. Da nur zwei Entwickler an diesem Projekt arbeiten, wurden verschiedene Bestandteile von Scrum in einer vereinfachten Form verwendet.

- **Sprint Reviews** wurden alle zwei Wochen mit dem Auftraggeber und den Coaches als Stakeholder durchgeführt, um den aktuellen Entwicklungsstand aufzuzeigen und eine Rückmeldung einzuholen.
- **Sprint Plannings** wurden in einer angepassten Form durchgeführt. Die Anforderungen wurden alle zwei Wochen zusammen mit dem Kunden überarbeitet und neu priorisiert. Geschätzt wurden die Aufwände für einzelne Anforderungen nicht, wie es bei Scrum üblich ist.
- **Retrospektiven** wurden durch regelmässiges direktes Feedback der Autoren zueinander ersetzt.
- **Daily Standups** wurden unregelmässig und nur bei Bedarf durchgeführt, da die Autoren nicht immer zu den gleichen Zeiten arbeiteten.
- **Der Product Backlog** war durch die Liste der User Stories gegeben.
- **Ein Sprint Backlog** war nicht explizit vorhanden, die Autoren setzen jeweils die am höchsten priorisierten User Stories um.
- **Die Scrum-Rollen:** Sven Ziörjen übernahm die Rolle des Scrum Masters während Jan Zimmermann die Rolle des Product-Owners ausübte. Beide nahmen zusätzlich die Entwicklerrolle ein.
- **Ein Product-Increment** bildete jede abgeschlossene User Story, diese wurden jeweils auf die produktive Umgebung eingeführt.

3.5.2 Requirements-Analyse

Auf Basis eines Interviews mit einem Kläranlagenbetreiber wird eine Persona erstellt, welche als Referenz bei der Anforderungserhebung dient. Die Anforderungen werden mit dem Kunden in Workshops erhoben und anschliessend auf einer Goal-Driven-Roadmap priorisiert. Nach der Priorisierung werden die Anforderungen in Form von User Stories dokumentiert. Diese User Stories dienen als Backlog für die Umsetzung des Projekts.

3.5.3 Konzepterarbeitung

Der Entwurf der Applikationen wird nach der Anforderungsanalyse erstellt. Es umfasst die Architektur des Systems, die verwendeten Technologien, ein Entwurf der Funktionen und einen Prototyp.

Zur Erarbeitung des Benutzerinterfaces wird auf Basis der Anforderungen und ein Prototyp erstellt. In diesen Prototyp fliessen auch Erkenntnisse einer Literaturrecherche zu bewährten Visualisierungsmöglichkeiten mit ein. Dieser wird anschliessend mit dem Auftraggeber diskutiert, um Feedback

¹<https://scrumguides.org/scrum-guide.html>, Zugriff am 14.05.2024

einzuholen. Das Feedback wird verwendet, um die Anforderungen entsprechend anzupassen, falls nötig neu zu priorisieren und eine Ausgangslage für die Umsetzung zu schaffen.

3.5.4 Auswahl einer Hostingplattform

Um eine Hosting-Plattform auszuwählen, wird zu Beginn eine Literaturrecherche durchgeführt, in welcher die Autoren verschiedene übliche Vergleichsmethoden für Hosting-Plattformen untersuchen. Aufgrund dieser Recherche wird eine Vergleichsmethode definiert.

Der Entscheid einer Plattform basiert auf dem Vergleich verschiedener Kriterien. Um sinnvolle und bewährte Kriterien zu definieren, führen die Autoren eine weitere Literaturrecherche durch. Der Auftraggeber fügt, falls Bedarf vorhanden ist, zusätzliche Kriterien hinzu, die in den Kriterienkatalog aufgenommen wurden.

Die Plattformen werden anhand der definierten Kriterien untersucht, gegenübergestellt und bewertet. Da je nach Anforderungen und Zielen unterschiedliche Kriterien von Bedeutung sind, wird die Gewichtung der Kriterien dem Auftraggeber überlassen. Eine abschliessende Bewertung wird dem Auftraggeber präsentiert und eine Empfehlung ausgesprochen. Auf Grundlage der Analyse und der Empfehlung trifft der Auftraggeber die endgültige Entscheidung für eine der Plattformen.

3.5.5 Validierung

Die Lösung wird auf verschiedene Weisen validiert. Einerseits werden alle Anforderungen und ihre Akzeptanzkriterien mit den Ergebnissen verglichen. Dabei wird der Grad der Erfüllung der Anforderungen durch die Autoren und den Auftraggeber bewertet. Diese Bewertung Zahl, welche beschreibt, wie gut die Vorstellungen und Wünsche des Auftraggebers in dem entwickelten System und der Benutzeroberfläche der Webapplikation umgesetzt wurden.

Andererseits werden auch Usability-Tests mit Personen durchgeführt, welche keine Erfahrung mit Wasserqualitätsmessungen haben. Für diese Usability-Tests wird ein Drehbuch erstellt, welches als Anleitung für die Durchführungen der Tests dient. Feedback und Eindrücke aus den Tests werden protokolliert und am Ende jedes Tests wird ein System-Usability-Scale (SUS) Fragebogen ausgefüllt. Am Ende der Usability-Tests bietet das zusammengefasste Feedback der Tester und der Durchschnitt der SUS-Scores eine Einschätzung dazu, ob die entwickelte Benutzeroberfläche neben den gewünschten Funktionen auch eine gute Benutzerfreundlichkeit aufweist.

4 Ausgangslage

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der technischen Ausgangslage des Projekts.

4.1 Messsystem

Wie bereits im Kapitel 3 beschrieben, verwendet Artha ein UV-Spektrometer-Messgerät um die Zusammensetzung von einer Wasserquelle zu messen und damit eine Aussage zur Wasserqualität zu ermöglichen. Eingesetzte Geräte befinden sich direkt an den Messstandorten und haben einen direkten Zulauf aus dem Gewässer. Das Messgerät ist an einem Windows-Laptop mit Internetzugriff angeschlossen und erzeugt im Zusammenspiel mit dem Windows-Gerät eine .brane Messdatei. Die Messdatei ist nur auf dem lokalen Speicher des Laptops verfügbar, wodurch eine Person vor Ort sein muss, um Messungen zu untersuchen.

4.2 Datenzusammensetzung

Das eingesetzte Messgerät erzeugt bei jeder Messung eine .brane Datei. Diese beinhaltet nebst 1024 Messpunkten, welche das Spektrum abbilden, auch noch weitere Informationen zu der Messung. Jede Information wird mit einem Schlüsselwort identifiziert, die unterschiedlichen Informationen sind mit Zeilenumbrüchen getrennt. Die gesammelten Informationen können in zwei Gruppen aufgeteilt werden. Es werden einerseits die Metadaten und andererseits die Messung mit den Messpunkten ausgewiesen. Die Metadaten setzen sich aus Informationen über die Konfiguration und Gerätekalibrierung zusammen.

4.2.1 Messinformationen

Zu jedem Messpunkt befinden sich die in Tabelle 4.1 beschriebenen Informationen in den Brane-Dateien.

Bezeichnung	Bedeutung
Dark	Der sogenannte Dunkelstrom ist das Hintergrundrauschen bei Spektromessungen. Er wird durch verschiedene unerwünschte Signale verursacht.
Spektrum	Die gemessene Intensität der Fluoreszenz auf dem Wellenlängenspektrum.
Spektrum - Dark	Das gemessene Fluoreszenzintensität abzüglich des Dunkelstroms. Wird auch korrigiertes Spektrum genannt.
nm	Beschreibt die Wellenlänge der einzelnen Messpunkte in der Einheit Nanometer. Die Werte sind Fließkommazahlen mit bis zu 14 Nachkommastellen und liegen in Normalfall zwischen 240 und 600. Die Werte sind bei unterschiedlichen Messungen im Normalfall nicht identisch doch sie umfassen immer einen ähnlichen Bereich.
Wavenumber	Ist die Umkehrung der Wellenlänge, gibt damit die Anzahl Wellen pro Längeneinheit an.

Tabelle 4.1: Aufschlüsselung der Parameter eines Messpunktes

Die Einheit der Messwerte Dark, Spektrum, Spektrum - Dark und Wavenumber ist AU, was für Arbitrary Units steht. AU wird verwendet, weil einzelne Bestandteile unterschiedlicher Messsysteme nicht die genau gleichen Resultate liefern. Aus diesem Grund können Messwerte von unterschiedlichen Maschinen

nicht direkt miteinander verglichen werden. Dies wird durch die Einheit AU symbolisiert. Messungen mit dem gleichen Gerät, der gleichen Konfiguration und Kalibrierung können jedoch miteinander verglichen werden. Die mit der Einheit AU gemessenen Werte sind ganzzahlig und befinden sich in der Regel zwischen 0 und 60'000 AU-Einheiten.

Relevante Messinformationen

In Absprache mit dem Auftraggeber konnten die Autoren verschiedene Informationen aus den Messdateien als relevant eingrenzen. Bei den Messpunkten sind nur die Wellenlänge (nm) und der Spektrum - Dark Wert für die Analyse ausschlaggebend. Neben den Messpunkten ist für Watersense zudem der Zeitstempel, welcher mit dem Schlüsselwort "DateTime" identifiziert wird, relevant. Auch der Messstandort ist wichtig, dieser wird mit der Seriennummer des Messgeräts "Instrument.Serial" identifiziert. Nicht relevante Informationen umfassen beispielsweise die Softwareversion, Hardwaremodelle oder Gerätetemperaturen.

4.3 Spectrum Analyzer Software

Auf die lokal auf einem Computer verfügbaren Daten greift der Auftraggeber mit dem Tool "Spektrum Analyzer" zu. Mit dem Tool werden die Messungen in zwei verschiedenen Diagrammen untersucht. Sie werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

Liniendiagramm

Vom Auftraggebern werden meist Liniendiagramme zur Darstellung von Messungen genutzt. Sie zeigen die Intensität der Messpunkte über die Wellenlänge an. Die Wellenlänge wird dabei auf der X-Achse und die Intensität auf der Y-Achse abgebildet. Es können auch mehrere Messungen in dem gleichen Diagramm dargestellt werden, um Vergleiche zu ermöglichen. Ein Screenshot in Abbildung 4.1 zeigt diese Darstellung.

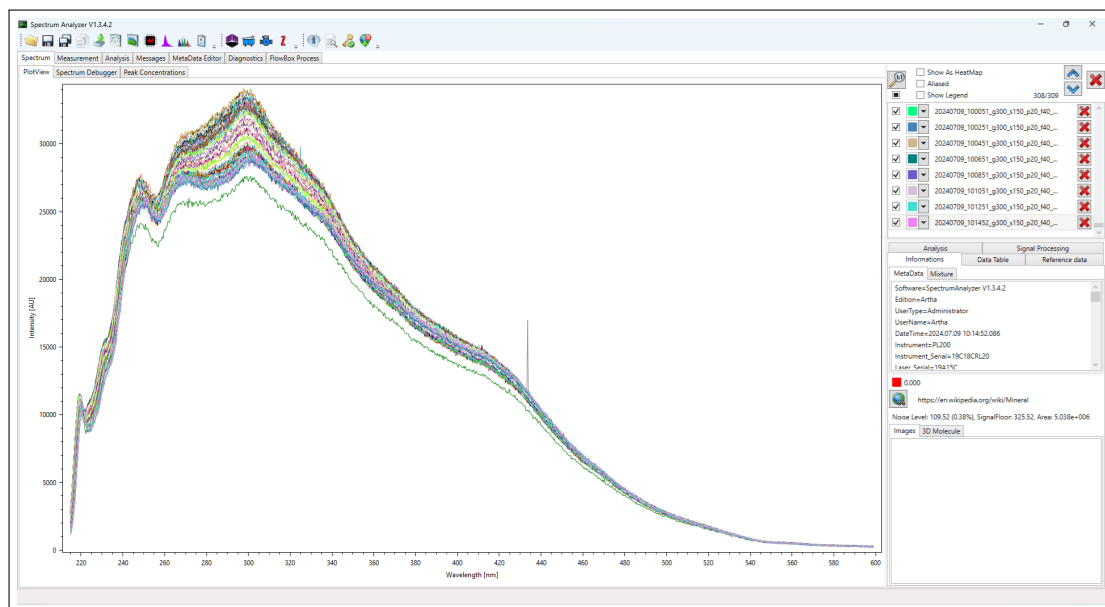


Abbildung 4.1: Screenshot von einem Liniendiagramm des Spectrum Analyzer Programms des Auftraggebers

Eines der grössten Nachteile dieser Darstellung ist, dass die Messungen nur über die Farben in der Legende zu den Linien zugeordnet werden können. Weil sich die Legende ausserhalb des Diagramms befindet und keine weiteren Informationen bei Hover- oder Klick-Ereignissen angezeigt werden, ist es für den Auftraggeber schwierig zu unterscheiden, welche Messung zu welcher Linie gehört.

Heatmap

Der Auftraggeber nutzt Heatmaps zur Darstellung von einer Reihe von Messungen über Zeit. Dies bietet einen Überblick über alle Messwerte in einer Zeitspanne. Dank der abgebildeten Dimension der Zeit können die Benutzer Anomalien oder Trends über Zeit erkennen. Die Intensität der Messpunkte wird dabei in einem Farbverlauf dargestellt. Ein Screenshot von einem solchen Diagramm ist in Abbildung 4.2 ersichtlich.

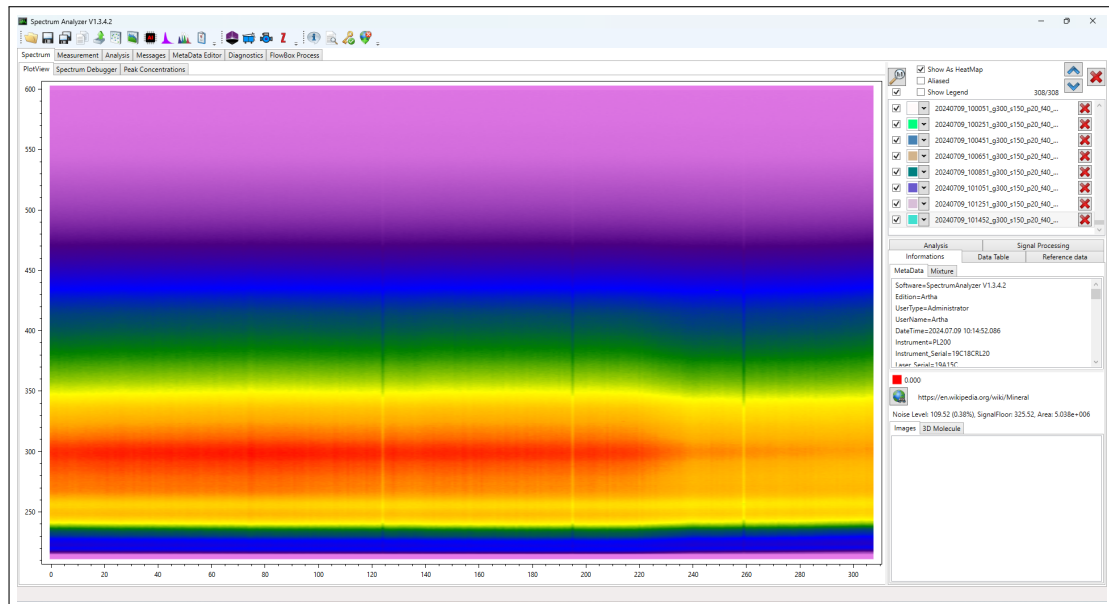


Abbildung 4.2: Screenshot von einer Heatmap des Spectrum Analyzer Programms des Auftraggebers

5 Theoretische Grundlagen

Die Grundaufgabe dieses Projektes ist es, die Brane-Dateien den Benutzern in einer Onlineumgebung zur Verfügung zu stellen. Die Daten sollen dabei visualisiert werden, damit der Benutzer sich einen Überblick zum Zustand der Messstation machen kann. In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen zu der Datenvisualisierung und auch den Anforderungen an die Systemarchitektur untersucht.

Im Rahmen dieser Arbeit wird eine einzelne Darstellung von Messdaten, beispielsweise eine Tabelle oder ein Diagramm als *Visualisierung* oder *Ansicht* bezeichnet. Diese Begriffe werden in dieser Arbeit als Synonyme verwendet.

5.1 Literaturrecherche zu Verarbeitung von Wasserqualitätsmessungen

Die heute geforderten Technologien zur Überprüfung der Wasserqualität und der Definierung von passenden Massnahmen zur Aufbereitung des Wassers sind komplex und setzen einen interdisziplinären Ansatz mit unterschiedlichen Verarbeitungsschritten voraus. Um diese Herausforderungen zu meistern, ist es notwendig, einen nachhaltigen Prozess zur Datenbehandlung zu befolgen, welcher mit dieser Komplexität umgehen kann. Ein solcher Prozess ist notwendig, um automatisierte Entscheidungen und Massnahmen basierend auf Veränderungen der Wasserqualität zu ermöglichen. Artha muss einen datengesteuerten Prozess entwickeln, mit welchem die Kunden ihre eigenen Massnahmen und Prozesse optimieren können. Es wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, um den aktuellen Stand der Technik in der Wasseraufbereitungsindustrie zu ermitteln. Damit soll ein Überblick zu den Anforderungen für einen passenden datengesteuerten Prozess gewonnen werden. Zudem das Ziel auch, einordnen zu können, welche Teile dieses Prozesses mit der Umsetzung des Projekts Wassersense aufgebaut werden sollten. Dafür wurden folgende Suchbegriffe auf der Webseite Google Scholar² abgesetzt:

- “sustainable wastewater data processing”
- “processing sensoric data in cloud”

5.1.1 Digitale Ausrichtung

Wasseraufbereitungsanlagen haben in den letzten Jahren eine digitale Revolution durchgemacht, wobei vor allem zwei Komponenten für diesen Aufschwung gesorgt haben: Die künstliche Intelligenz und Cloud-Plattformen, welche datengetriebene Modellierungen unterstützen. KI ermöglicht Datenanalysetechniken, um die Effizienz und Leistungsfähigkeit der Abwasserbehandlung zu verbessern. Dadurch sind schnellere und genauere Vorhersagen und eine verbesserte Steuerung von Behandlungsprozessen möglich. Dabei werden On-Premises Ressourcen mit Cloud-Umgebungen kombiniert, dies ermöglicht eine flexible Nutzung von Speicher und Rechenkapazitäten. Bei der datengetriebenen Modellierung werden sogenannte Intermediate Process Parameters (IPP) definiert. Dies sind Schlüsseldatenpunkte, die während der Behandlung des Abwassers ausgelesen werden und Einblicke in die Leistung des Aufbereitungsprozesses bieten. Dadurch, dass diese IPP's beinahe zur Echtzeit erhoben werden können, ist es möglich, Abweichungen frühzeitig zu erkennen und sowohl die Betriebseffizienz als auch die Wasserqualität zu erhöhen [1].

Die Sensoren von Wasseraufbereitungsanlagen liefern eine grosse Menge an Daten. Um die Prozesse aufgrund dieser Daten stetig zu verbessern, wird auf künstliche Intelligenz zurückgegriffen. Solche Systeme helfen, effizient Muster in grossen Datenmengen zu erkennen, Vorhersagen zu treffen und Entscheidungen zu automatisieren. Diese Systeme umfassen Datenaufnahme, Datenvorverarbeitung, Modelltraining und den Einsatz der Modelle zur Echtzeit-Entscheidungsfindung [1].

²www.scholar.google.com, Zugriff am 06.08.2024

In der nachfolgenden Abbildung 5.1 aus der Arbeit von Anthony Njuguna, Belaid et al. [1] wird ein oberflächliches Modell dargestellt, welches diesen digitalen Wastewater treatment process (WWTP) einer Kläranlage aufzeigt.

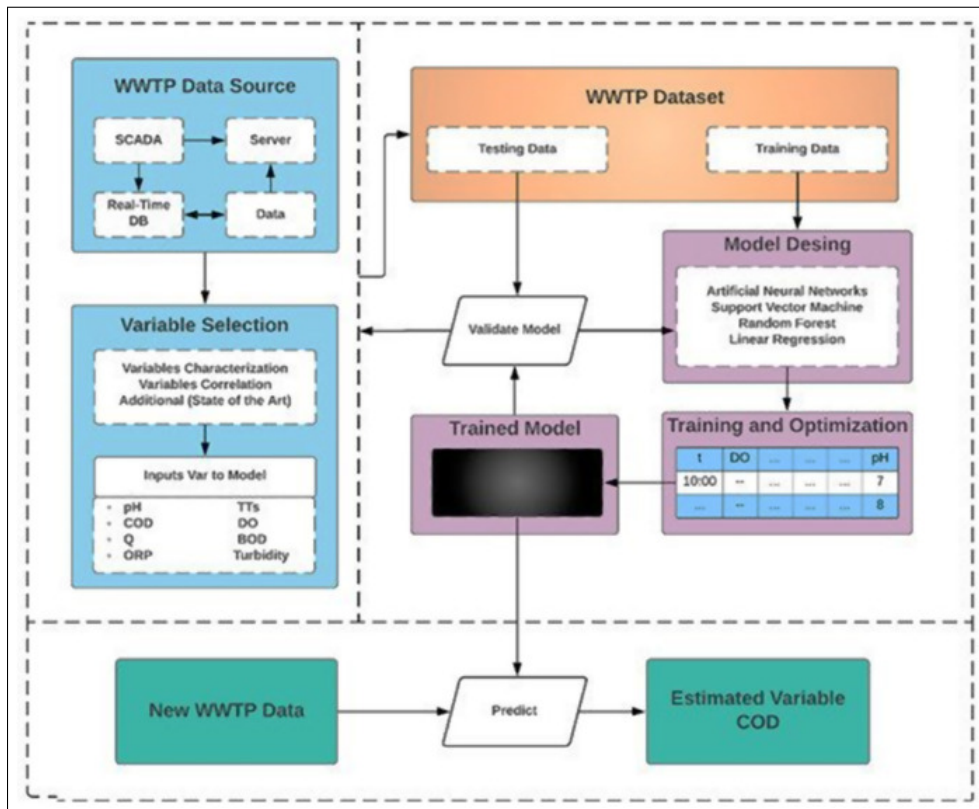


Abbildung 5.1: Oberflächlicher Wastewater Treatment Process [1]

5.1.2 Intelligente Datenpipeline für Kläranlagen

Mit Industrie 4.0 und neuen Technologien können dank datengesteuerter Intelligenz und fortschrittlichen Datenpipelines grosse Verbesserungen bei der Wasseraufbereitung erzielt werden. In der Abbildung 5.2 von Therrien, Nicolaï et al. [2] ist der grobe Ablauf für eine solche intelligente Datenpipeline visualisiert, dieser wird in den nachfolgenden Abschnitten näher erläutert.

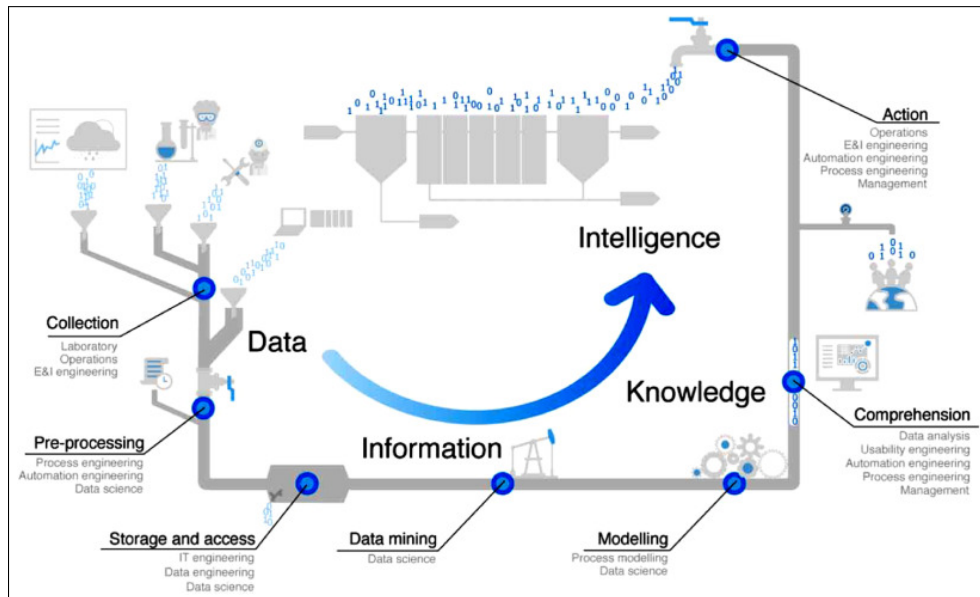


Abbildung 5.2: Intelligenter WWTP Datenverarbeitungs-Prozess [2]

Datenerfassung

Die kontinuierliche und präzise Datenerfassung bildet die Grundlage jeder datengetriebenen Intelligenz. Zahlreiche kommunikationsfähige Sensoren werden in den Kläranlagen installiert, welche verschiedene Parameter messen. Im Rahmen des Projektes Artha sind dies hauptsächlich Intensitäten zu gegebenen Wellenlängen des Spektrums. Diese erfassten Daten sind notwendig für die nachfolgenden Schritte der Datenpipeline.

Vorverarbeitung der Daten

Nach der Erfassung müssen die Daten vorverarbeitet werden, um die Qualität und die Nutzbarkeit sicherzustellen. Dabei werden zusätzlich Metadaten zu der erfolgten Messung extrahiert, um den Kontext der Messung und dessen Herkunft zu verstehen. Basierend auf diesen Metainformationen und den Messdaten werden Validierungen durchgeführt und die Daten bereinigt. Dieser Schritt stellt somit sicher, dass die Messung vollständig ist und für die Analyse verwendet werden kann.

Datenlagerung und Zugriff

Die vorverarbeiteten Daten werden in Datenbanken gespeichert, die für nachfolgende Analyse- und Modellierungsprozesse zugänglich sind. Moderne Speicherlösungen bieten die notwendige Skalierbarkeit und Leistung, um grosse Datenmengen effizient zu verwalten und bereitzustellen. Der schnelle und zuverlässige Zugriff auf die gespeicherten Daten ist entscheidend für die Effizienz der weiteren Analyse.

Datenanalyse und Modellierung

Der Kern der datengetriebenen Intelligenz liegt in der Analyse und Modellierung der erfassten Daten. Mithilfe von Data-Mining werden Muster und Beziehungen in den Daten entdeckt. Maschinelles Lernen und künstliche Intelligenz übernehmen eine zentrale Rolle, um komplexe Zusammenhänge zu erkennen und präzise Vorhersagen zu tätigen.

Interpretation und Entscheidungsfindung

Die Ergebnisse der Datenanalyse müssen interpretiert werden, um wichtige Erkenntnisse zu gewinnen. Diese bilden wiederum die Grundlage für Entscheidungen, um die Betriebsabläufe zu optimieren. Massnahmen zu den identifizierten Schwachstellen und Anomalien können aufgrund der vorliegenden Datenlage definiert werden.

Aktion

Der letzte Schritt in der intelligenten Datenpipeline besteht in der Umsetzung der definierten Massnahmen. Die Erkenntnisse zur Optimierung der Prozesse werden in konkrete Handlungen überführt wie zum Beispiel Anpassung der Betriebsparameter oder Wartungsarbeiten.

Durch eine kontinuierliche Überwachung und Anpassung der Prozesse wird eine ständige Optimierung an sich ändernde Bedingungen gewährleistet.

5.2 Literaturrecherche zur Visualisierung von Wasserdaten

Um zu untersuchen, welche Visualisierungsmethoden bereits in der Literatur verwendet wurden und wie Visualisierungen von Wasserqualitätsmessdaten am besten umgesetzt werden, wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Dafür wurden folgende Suchbegriffe auf der Webseite Google Scholar³ abgesetzt:

- “water quality visualization”
- “water quality dashboard”
- “visualize sensor data”
- “visualize anomalies in sensor data”

Viele der bestehenden Arbeiten zu Visualisierungsmöglichkeiten von Wasserqualitätsmessungen beschäftigen sich mit der Visualisierung von einfachen ein- oder zweidimensionalen Daten. Die Datenlage besteht oft aus genauen Messwerten zu bestimmten Stoffen, welche von einem Anwender als simple Zahlen interpretiert werden können. Im Rahmen der Recherche wurden auch Arbeiten zur Visualisierung von Sensormessungen untersucht, welche sich oft mit umfangreicheren, mehrdimensionalen Datensätzen auseinandersetzen.

5.2.1 Relevante Komponenten für Sensormessungen

Bei Sensormessungen gibt es verschiedene Komponenten, welche bei der Visualisierung der Daten berücksichtigt werden sollten. Die folgenden Abschnitte beleuchten die von Richter [3] als relevant beschriebenen Komponenten. Wenn diese Komponenten in Visualisierungen vorhanden sind, sind einige der wichtigsten Informationen nebst den eigentlichen Messungen dargestellt.

Zeitliche Komponente

In der Arbeit von Richter [3] wird erwähnt, dass bei der Verarbeitung und Interpretation von Sensordaten die Zeitkomponente äusserst wichtig ist. Ohne diese verlieren viele Sensordaten ihre Bedeutung, Vorhersagen und Schlussfolgerungen können nicht gemacht werden.

Räumliche Komponente

Die räumliche Komponente ist bei Sensormessungen häufig von Bedeutung. Als absolute Position eines Sensors wird der genaue geographische Standort bezeichnet und ist oft durch Koordinaten beschrieben. Eine relative Position beschreibt einen Standort bei einem anderen Objekt, beispielsweise einem Messgerät [3].

³www.scholar.google.com, Zugriff am 10.07.2024

5.2.2 Aufbau von Benutzeroberflächen

Visual Information Seeking Mantra

Nach Shneiderman [4] wird ein Mantra zur Erstellung eines Interfaces für visuelle Daten als das “Visual Information Seeking Mantra” vorgestellt. Es lautet wie folgt:

Overview first, zoom and filter, then details-on-demand [4]

Es bedeutet, dass zuerst eine Übersicht mit den meisten Daten gegeben werden sollte. Anschliessend kann auf genauere Werte gezoomt und gefiltert werden. Schlussendlich können weitere Details zu bestimmten Werten angezeigt werden.

Multiple View Systems

Gemäss Wang Baldonado, Woodruff et al. [5] ist es zudem wichtig, dass die Benutzer die Möglichkeit haben, verschiedene Perspektiven zu den gegebenen Daten zu erhalten. Sogenannte “Multiple View Systems” bieten die Möglichkeit, Daten von einer einzelnen Entität in verschiedenen Ansichten zu betrachten. Damit kann die Interpretation der Daten erleichtert werden und bestimmte Zusammenhänge können hervorgehoben werden.

Rule of Parsimony

Die “Rule of Parsimony”, wie sie von Wang Baldonado, Woodruff et al. [5] beschrieben ist, besagt, dass “Context Switching” die Benutzer manchmal an der Interpretation von Daten hindert. “Context Switching” kann bei dem Benutzer stattfinden, wenn unterschiedliche Ansichten, welche nebeneinander dargestellt sind, die Benutzerfreundlichkeit einschränken. Die Verfügbarkeit von mehreren Ansichten, welche die Informationen unterschiedlich darstellen, führt in solchen Fällen dazu, dass der Benutzer kognitiv gefordert wird, wenn seine Aufmerksamkeit von einer Ansicht zur anderen wechselt. Es macht es dem Benutzer schwieriger, sich auf das Wesentliche zu fokussieren.

Rule of Decomposition

Bei der Umsetzung einer Benutzeroberfläche sollte auch die Regel “Rule of Decomposition” nach Wang Baldonado, Woodruff et al. [5] berücksichtigt werden. Sie besagt, dass komplexe mehrdimensionale Daten in einfachere Ansichten mit weniger Dimensionen zerlegt werden sollten, um die Daten und Relationen zwischen Dimensionen besser interpretierbar zu machen. Dabei können unterschiedliche Dimensionen kombiniert werden, um verschiedene Ansichten anzubieten [5].

Visualisierung von Trends

In der Arbeit von Boyer, Sterling et al. [6] werden verschiedene Möglichkeiten zur Visualisierung von Wasserqualitätsdaten untersucht. Die Autoren empfehlen, die Dimension der Zeit auch abzubilden, um den zeitlichen Verlauf von Messwerten zu visualisieren und somit Trends erkennbar zu machen.

Visualisierung von Anomalien

Boyer, Sterling et al. [6] haben auch die Visualisierung von Anomalien untersucht. Dafür empfehlen sie, die Abweichung eines Werts zum monatlichen Durchschnitt abzubilden.

5.3 Marktanalyse Visualisierungen

Mit verschiedenen Suchabfragen wurden existierende Visualisierungen von Wasseranalyse-Daten untersucht. Folgende Abfragen wurden auf der Webseite Google⁴ abgesetzt, um Konkurrenzprodukte zu finden.

- “water quality dashboard”
- “water quality screen”
- “water quality view”

⁴www.scholar.google.com, Zugriff am 26.07.2024

Eine genauere Beschreibung der untersuchten Konkurrenzprodukte und deren Einsatzgebiete findet sich im Anhang A.1.

5.3.1 In Konkurrenzprodukten verwendete Visualisierungen

In diesem Abschnitt werden die unterschiedlichen Visualisierungsmethoden zur Darstellung von Wasserqualitätsdaten in Konkurrenzprodukten beschrieben. Obwohl die Ursachen für Wasserqualitätsmessungen bei vielen untersuchten Webseiten variierten, ist das Ziel der Konkurrenzprodukte jeweils gleich: Die Qualität von Wasser mit durchgeführten Messungen zu visualisieren.

Grundsätzlich wurden die Informationen immer in Form von Diagrammen visualisiert. Eine Vielzahl von Diagrammen wurden dabei verwendet, diese werden in den folgenden Abschnitten beschrieben.

Balkendiagramme

Balkendiagramme werden in den meisten Dashboards verwendet. Die zugrunde liegenden Daten verfügen üblicherweise über zwei Dimensionen und repräsentieren dabei Messwerte zu einem bestimmten Zeitpunkt. Die Balken können mit Farben auch in unterschiedliche Sektionen unterteilt werden. Damit kann eine dritte Dimension visualisiert werden. Diese dritte Dimension kann beispielsweise die Klassifizierung der Messwerte in unterschiedliche Qualitätsstufen sein. Das Balkendiagramm erlaubt auch das Einblenden eines Schwellwerts.

Liniendiagramme

Mit Liniendiagrammen können Zeitverläufe von Messwerten dargestellt werden. Liniendiagramme ermöglichen es, mit mehreren Linien viele Informationen kompakt im gleichen Diagramm darzustellen. Die Diagramme können zudem mit Trendlinien oder Schwellwerten versehen werden.

Kuchendiagramme

Kuchendiagramme werden häufig verwendet, um eine Menge in Kategorien zu unterteilen und die Anteile dieser Kategorien (üblicherweise Wasserqualitätskategorien) anzuzeigen.

Gauge-Charts

Gauge-Charts können durch ihren Zeiger nur eine Dimension an Daten darstellen. Dadurch werden diese grösstenteils verwendet, um einen aktuellen Messwert zu visualisieren. Die Farbgebung des Zeigers und des Hintergrunds kann den Betrachter durch eine passende Einfärbung auf kritische Werte aufmerksam machen.

Karten

Um Messungen von verschiedenen Standorten darzustellen, können Karten verwendet werden. Die Karten werden mit Markierungen oder Kuchendiagrammen versehen, welche Messwerte repräsentieren.

5.3.2 Funktionsübersicht

Die Wahl der für Visualisierungen verwendeten Diagramme hängt oft von der Datenform von den entsprechenden Messungen ab. Viele Plattformen messen die Konzentration von bestimmten Stoffen, in diesen Fällen kann die Qualität einer Messung oft mit einer einzigen Zahl abgebildet werden. Müssen Messinformationen aber zwei- oder dreidimensional abgebildet werden, sind Kuchendiagramme oder Gauge-Charts oft ungeeignet. Um die Konkurrenzprodukte gegenüberzustellen, wird nicht untersucht,

welche Diagramme verwendet werden, sondern welche Informationen aus den Visualisierungen gelesen werden können und welche Funktionen die Webseiten besitzen. Die Tabelle 5.1 listet die Konkurrenzprodukte und ihre Funktionsübersicht auf. Die Funktionen werden in der Tabelle mit Funktionsnummern referenziert, folgende Auflistung beschreibt die Funktionen (F):

- (F-1) Einzelne Messwerte auslesen:** Einzelne Messungen können dargestellt werden.
- (F-2) Qualitätsverläufe darstellen:** Qualitätsverläufe können in Form von Messverläufen dargestellt werden.
- (F-3) Detailinformationen darstellen:** Details zu einzelnen Messungen wie Metainformationen oder genaue Messwerte können angezeigt werden.
- (F-4) Historische Daten anzeigen:** Auch vergangene Messungen können dargestellt werden.
- (F-5) Kritische Zustände hervorheben:** Kritische Zustände werden beispielsweise farblich hervorgehoben.
- (F-6) Trends hervorheben:** Trends können speziell hervorgehoben werden, beispielsweise mit Trendlinien.
- (F-7) Verschiedene Messungen vergleichen:** Einzelne Messungen von unterschiedlichen Zeitpunkten können verglichen werden.
- (F-8) Für Mobilgeräte optimiert:** Die Webseite ist auf Mobilgeräten ohne Einschränkungen der Kernfunktionalität nutzbar.
- (F-9) Mehrere Visualisierungsmöglichkeiten:** Kann der Benutzer Messwerte auf unterschiedliche Darstellungsweisen abbilden?
- (F-10) Kurzfristige Verfügbarkeit von Daten:** Sind Messdaten spätestens am nächsten Tag auf der Webseite verfügbar?

Produkt	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	F-6	F-7	F-8	F-9	F-10	Anzahl Funktionen
GEMStat Water Quality Dashboard	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	4
Elk Valley Water Quality Hub	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	6
Interactive Beach Water Quality Dashboard Massachusetts	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	7
ArcGIS Water Quality Status Dashboard	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	3
Water Quality Dashboard - Field Agencies von Tanvir Ahmed	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	5
Protecting Florida Together - Water Quality Status Dashboard	Nein	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Nein	Ja	Nein	Ja	4
National Integrated Water Information System South Africa	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	4
Flood Recovery Program for Water Quality Monitoring - East Cost Project	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	6

Tabelle 5.1: Funktionsübersicht der Konkurrenzprodukte

Der Vergleich zeigt, dass angebotenen Funktionen zwischen den Konkurrenzprodukten stark variieren. Besonders die Features, kritische Zustände hervorzuheben und Detailinformationen anzuzeigen, werden oft angeboten. Das Konkurrenzprodukt Interactive Beach Water Quality Dashboard Massachusetts bietet die meisten, während ArcGIS Water Quality Status Dashboard am wenigsten Funktionen anbietet. Es fällt auf, dass besonders viele Webseiten nur eingeschränkt auf Mobilgeräten bedienbar sind, weil diese nicht für die Anzeige auf kleinen Bildschirmen optimiert wurden.

6 Konzeptionelle Lösung und Methodik

Dieses Kapitel beleuchtet den konzeptionellen Entwurf, ohne spezifische Technologien für das spätere Produkt zu bestimmen. Das Konzept basiert auf den Anforderungen und die Personas, welche auch in diesem Kapitel beschrieben sind.

6.1 Benutzergruppen

Für dieses Projekt wurden zwei Benutzergruppen definiert. Die erste Benutzergruppe sind die Endbenutzer, welche die Messdaten analysieren und interpretieren. Diese sind in der Regel Fachangestellte in Kläranlagen oder Trinkwasseraufbereitungsstellen. Sie benutzen das System zur Überwachung der Wasserqualität und sind die Primärbenutzer des Systems.

Die zweite Benutzergruppe sind die Administratoren, welche das System betreuen. Die Systemadministratoren verantworten die korrekte Funktionsweise und die Wartung des Systems und sind damit die Sekundärbenutzer des Systems. Diese Benutzergruppe setzt sich ausschliesslich aus dem Auftraggeber zusammen.

6.2 Persona

Um die Anforderungen des Projekts zu erfassen, musste zu Beginn eine Requirements-Analyse durchgeführt werden. Die Autoren haben sich zu der Definition von einer Persona pro Benutzergruppe entschieden, damit diese als Leitfaden bei der Planung und Entwicklung dienen können. Die Personas stellen sicher, dass die Anforderungen aus der Sicht der Benutzer formuliert werden. Dies trägt dazu bei, das entwickelte Produkt benutzerfreundlich und bedürfnisorientiert zu entwerfen und zu entwickeln.

6.2.1 Persona Primärbenutzer: Kläranlagenbetreiber

Der Auftraggeber hat die Autoren an einen Kläranlagenbetreiber vermittelt, welcher bereit war, ein Interview durchzuführen. Die Autoren haben dabei untersucht, wie der Kläranlagenbetreiber zurzeit arbeitet, was die Tätigkeiten von ihm und seinem Team sind, wie er die Wasserqualität aktuell überwacht und wie seine Fähigkeiten mit elektronischen Systemen sind. Die Ergebnisse dieses Interviews wurden analysiert und zu der in Abbildung 6.1 dargestellten Persona⁵ zusammengefasst.

⁵Bild mit ChatGPT (<https://www.chatgpt.com>) generiert, Zugriff am 23.07.2024

Ivan Zehnder



„Trotz meines ausgelasteten Arbeitsalltags interessiere ich mich für alle Möglichkeiten, unsere Prozesse zu optimieren.“

Alter: 42 Jahre

Anstellung: Leiter ARA Belp

Wohnort: Köniz, BE

Ziele

- Ressourcen optimieren
- Teamzufriedenheit hoch halten
- Einarbeitungszeit minimieren

Frustpunkte

- Ursache-Wirkung in ökologischen Prozessen unbekannt
- Hohe Arbeitsauslastung

Benutzte Diagrammtypen

- Heatmap
- Liniendiagramme
- Kalenderansicht

Profil

Markus ist Leiter einer Abwasserreinigungsanlage. Er legt einen Fokus auf Innovation und Prozessoptimierung. Er ist bereit, neue Verfahren und Tools zu verwenden, wenn damit finanzielle oder personelle Ressourcen eingespart werden können.


In seinem Arbeitsalltag kann er sich nicht viel Zeit nehmen und Trends zu interpretieren. Er will aus diesem Grund bei der Benutzung eines Systems zur Qualitätsüberwachung möglichst viele Informationen hochaufgelöst sehen können. Zudem will er Zustände auch direkt miteinander vergleichen können. Er will sein Team nicht an neue Visualisierungen gewöhnen müssen und bevorzugt daher die von ihm bereits eingesetzten Diagrammtypen.

Abbildung 6.1: Die Persona des Kläranlagenbetreibers Ivan Zehnder

6.2.2 Persona Sekundärbenutzer: Systemadministrator

Um die in Abbildung 6.2 dargestellte Persona⁶ der Systemadministratoren zu definieren, haben die Autoren diese basierend auf Interviews und diversen Sitzungen mit dem Auftraggeber erstellt. Wie bereits erwähnt ist er derzeit der einzige Systemadministrator und somit die einzige Person in dieser Benutzergruppe.

Alexander Müller



„Ich stelle sicher, dass die Benutzer von Watersense ihre Wasserqualität dynamisch und effizient überwachen können.“

Alter: 32 Jahre

Anstellung: Systemadministrator bei der Firma Artha

Wohnort: Thun, BE

Ziele

- Die Kunden sehen die für sie relevanten Wasserdaten
- Die Entwicklung von Watersense wird zusammen mit Artha vorangetrieben

Frustpunkte

- Datenanalyse nur vor Ort möglich
- Manuelle Datenanalyse schwierig

Motivationen

- Artha kann eine Marktlücke füllen
- Vertrauensgewinn der Benutzer dank stabiler Systeme

Profil

Alexander ist ein Systemadministrator von Artha und damit auch von Watersense. Sein Fokus liegt bei der Kundenzufriedenheit und der Weiterentwicklung des Systems. Zurzeit muss er, wenn er Wasserqualitätsmessungen untersuchen will, zu der Messstation fahren. Seine Kunden haben keinen direkten Zugriff auf die Messungen und können auftretende Ereignisse noch nicht selber untersuchen.

Um die Kunden zufriedenzustellen, will er ihnen ein dynamisches und ortunabhängiges System bieten, welches mit neuen Kundenwünschen auch weiter wachsen kann. Ausserdem will er die Interpretierbarkeit der Daten verbessern, indem er diese mit anderen Sensordaten und KI-Systemen kombiniert.

Abbildung 6.2: Die Persona des Systemadministrators Alexander Müller

⁶Bild mit ChatGPT (<https://www.chatgpt.com>) generiert, Zugriff am 23.07.2024

6.3 Anforderungen

Zu Beginn des Projekts wurde mit dem Auftraggeber eine Goal-Driven Roadmap erstellt. Sie ist im Anhang B.1 verlinkt und diente dazu, alle gewünschten Features aufzulisten, zu priorisieren, zu planen und den Rahmen für die umzusetzenden Anforderungen in diesem Projekt zu definieren. Auf Basis der Aufgabenstellung und des in der Roadmap definierten Umsetzungsrahmens wurden eine Reihe von Anforderungen für dieses Projekt erstellt. Die Anforderungen werden in Form von User Stories (US) beschrieben und sind in der Tabelle 6.1 zusammengefasst. Die detaillierten User Stories sind im Anhang unter B.2 ersichtlich. Die Anforderungen an das System wurden mit dem Auftraggeber abgestimmt und als vollständig und umsetzbar bestätigt.

Userstory-ID	Beschreibung	Referenz
US-1	Automatisches Hochladen von Messungen	B.1
US-2	Heatmap	B.2
US-3	Liniendiagramm	B.3
US-4	Vergleich von Messungen	B.4
US-5	Individuelles Dashboard erstellen	B.5
US-6	Auswahl der Messstation	B.6
US-7	Detailinformationen als Tooltip	B.7
US-8	Zoomen bei Ansichten	B.8

Tabelle 6.1: Übersicht der User Stories mit ihren Captions und Referenzen

6.3.1 Konzeptionelle Anforderungen

Nebst funktionalen Anforderungen aus Nutzersicht wurden weitere konzeptionelle Anforderungen (KA) beschrieben, um die Ziele aus Kapitel 3.2 abzudecken.

KA-1	Betrifft Z-6
Beschreibung	Das System soll die Integration zusätzlicher Informationen wie Wetter-sensordaten ermöglichen. Dafür soll es um weitere Messdaten erweitert werden können.
Akzeptanzkriterien	Es liegt ein Konzept vor, welches die Erweiterung der verarbeiteten In-formationen zulässt. Dafür soll ein Beispiel mit Wettersensordaten inte-griert sein.

Tabelle 6.2: Anforderung zur Integration von weiteren Daten

KA-2	Betrifft Z-6
Beschreibung	Das System soll um KI-gestützte Interpretationen erweitert werden können, um den Anwendern eine vereinfachte Datenanalyse zu ermöglichen.
Akzeptanzkriterien	Es liegt ein Konzept zur Erweiterung des Systems um KI-Analysen vor.

Tabelle 6.3: Anforderung zur Erweiterung von KI gestützten Interpretationen

6.4 Entwurf der Benutzeroberfläche

Dieses Kapitel beschreibt, wie die Benutzeroberfläche entworfen worden ist. Der Entwurf der Benutzeroberfläche wurde in Form eines Prototyps umgesetzt, um erstes Feedback des Auftraggebers abzuholen.

6.4.1 Vorgehen

Um die Benutzeroberfläche zu entwerfen und Feedback bei dem Benutzer einzuholen, wurde ein HiFi-Prototyp erstellt. Dank diesem konnte schnell viel qualitatives Feedback eingeholt werden, um die Benutzeroberfläche zu verbessern. Bei der Entwicklung des Prototyps wurden die im Abschnitt 6.3 definierten Anforderungen soweit möglich umgesetzt. Es wurde gleichzeitig darauf geachtet, dass die in Kapitel 5 beschriebenen Erkenntnisse respektiert wurden, um einen grösstmöglichen Nutzen für die Benutzer zu schaffen.

6.4.2 Entwurf der Benutzeroberfläche

Die Literaturrecherche und die Marktanalyse haben verschiedene wichtige Aspekte für den Aufbau der Visualisierungen aufgezeigt, welche sich die Autoren bei der Umsetzung des Prototyps als Ausgangslage genommen haben. Der Auftraggeber wünscht sich zudem, einzelne Messungen zweidimensional und mehrere Messungen mit der zusätzlichen Zeitdimension dreidimensional anzeigen zu können. Dieser Wunsch wurde auch bei dem durchgeführten Interview vom potentiellen zukünftigen Anwender geäußert und ist somit ein Wunsch der Persona Ivan Zehnder.

Die Autoren haben sich bei der Umsetzung des Prototyps für eine Angular-Webapplikation entschieden. Folgende Gründe haben zur Entscheidung beigetragen:

- Die Autoren haben bereits viel Erfahrung mit Angular und können den Prototyp somit schnell und mit wenig Aufwand erstellen.
- Verschiedene Diagramm-Bibliotheken können für den Einsatz in der endgültigen Applikation getestet und verglichen werden.
- Falls die Webapplikation auch in Angular geschrieben wird, könnten gewisse Teile des Prototyps wiederverwendbar sein.

Screenshots des Prototyps sind in den nachfolgenden Abschnitten abgebildet, um den Entwurf der Benutzeroberfläche aufzuzeigen.

Dashboard

Das Dashboard des Prototyps ist in Abbildung 6.3 sichtbar. Das Dashboard wurde als Hauptseite der Applikation geplant. Es bietet allen Benutzern direkt eine Übersicht über verschiedene Messungen und zeigt mit dem untersten Diagramm auch die momentane Situation in Form der aktuellsten Messung auf. Damit wird der Punkt "Overview first" aus dem Visual Information Seeking Mantra aus Abschnitt 5.2.2 berücksichtigt.

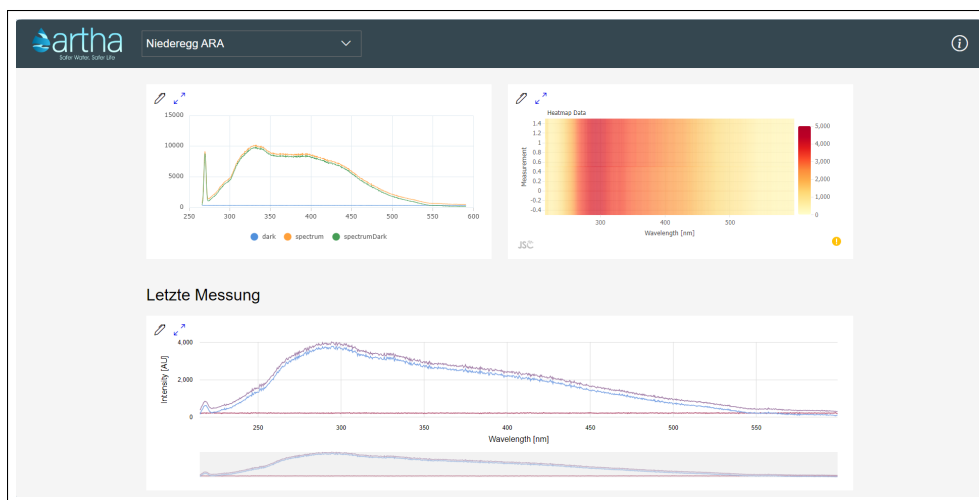


Abbildung 6.3: Screenshot des Dashboards des Prototyps

Das Dashboard ist als Multiple View System, wie dies in Abschnitt 5.2.2 beschrieben wird, entworfen. Der Benutzer erhält die Möglichkeit, unterschiedliche Ansichten zu verwenden, um die Messungen zu visualisieren. Anwender können mehrere Ansichten nebeneinander auf einer Seite darstellen, dadurch können sie die Daten besser miteinander vergleichen. Der Benutzer kann das Dashboard selber konfigurieren, damit er die Ansichten auswählen kann, welche für ihn am nützlichsten sind. Um dies zu erreichen, wird das Dashboard dynamisch und anpassbar implementiert. Ansichten können hinzugefügt, ausgetauscht und entfernt werden.

Abschnitt 5.2.1 beschreibt die räumliche Komponente von Sensormessungen als relevant für die Visualisierung solcher Daten. Im Rahmen dieser Arbeit ordnet die relative Position der Messungen diese einem Sensor und damit einer Messstation zu. Zusammen mit der zeitlichen Komponente kann diese Messstation einem Messstandort zugeordnet werden. Weil die Persona Ivan Zehnder als Primärbenutzer des Systems nur Zugriff auf Daten von einem Standort haben muss, fließen die Messungsstandorte nicht in die Visualisierungen mit ein. Eine Sensorauswahl in der Navigation des Prototyps lässt den Benutzer entscheiden, auf welcher Messstation die im Dashboard angezeigten Visualisierungen basieren.

Die Standortinformationen können in Zukunft verwendet werden, um den Zugriff der Benutzer auf die für ihn relevanten Messdaten zu beschränken. Im Rahmen dieses Projekts wird vom Auftraggeber allerdings explizit auf die Implementation von Zugriffsrechten verzichtet, um den Fokus auf die Datenverfügbarkeit und möglichst effektive Visualisierungen zu legen.

Zoom, Filter und Details-on-demand in den Ansichten

Die konfigurierbaren Ansichten auf dem Dashboard sollen verschiedene Funktionen beinhalten. Bei den Ansichten, bei denen es sinnvoll ist, soll zoomen und auch filtern möglich sein. Die Ansichten sollen zudem die Möglichkeit bieten, Details zu den Messungen anzuzeigen, wenn der Benutzer mit der Maus über die entsprechenden Messwerte fährt. Die Detail- und Zoom-Funktionen sind im Prototyp-Screenshot 6.4 erkennbar. Damit werden die Punkte “Zoom”, “Filter” und “Details-on-demand” aus dem Visual Information Seeking Mantra aus Abschnitt 5.2.2 berücksichtigt.

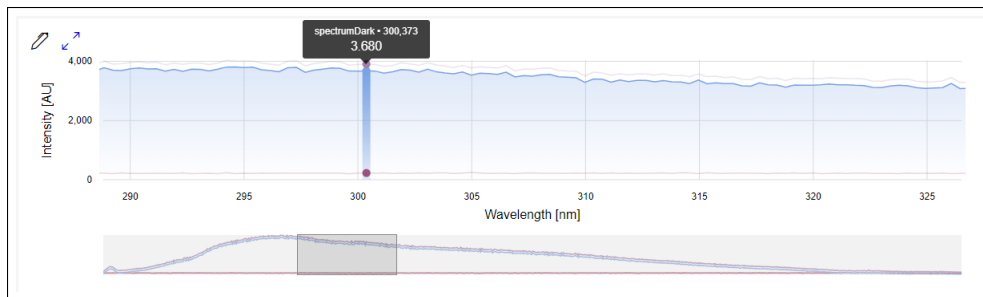


Abbildung 6.4: Screenshot der Detail- und Filterfunktionen des Prototyps

Vollbildfunktion für einzelne Ansichten

Um der im Abschnitt 5.2.2 erwähnten Regel “Rule of Parsimony” zu folgen und dem Benutzer die Möglichkeit zu geben, eine einzelne Ansicht in den Fokus zu rücken, wird eine Vollbildfunktion für einzelne Ansichten implementiert. Damit kann der verfügbare Platz auf dem Bildschirm der Benutzer optimal genutzt werden und es wird den Anwendern die Option geboten, “Context Switching” zu verhindern, wenn sie ihre Aufmerksamkeit auf eine einzelne Ansicht beschränken wollen. Der Knopf für die Vollbildfunktion im Prototypen ist in Abbildung 6.5 mit einem roten Kreis hervorgehoben. Screenshot 6.6 zeigt die den Prototyp, wenn eine Ansicht im Vollbildmodus geöffnet ist.

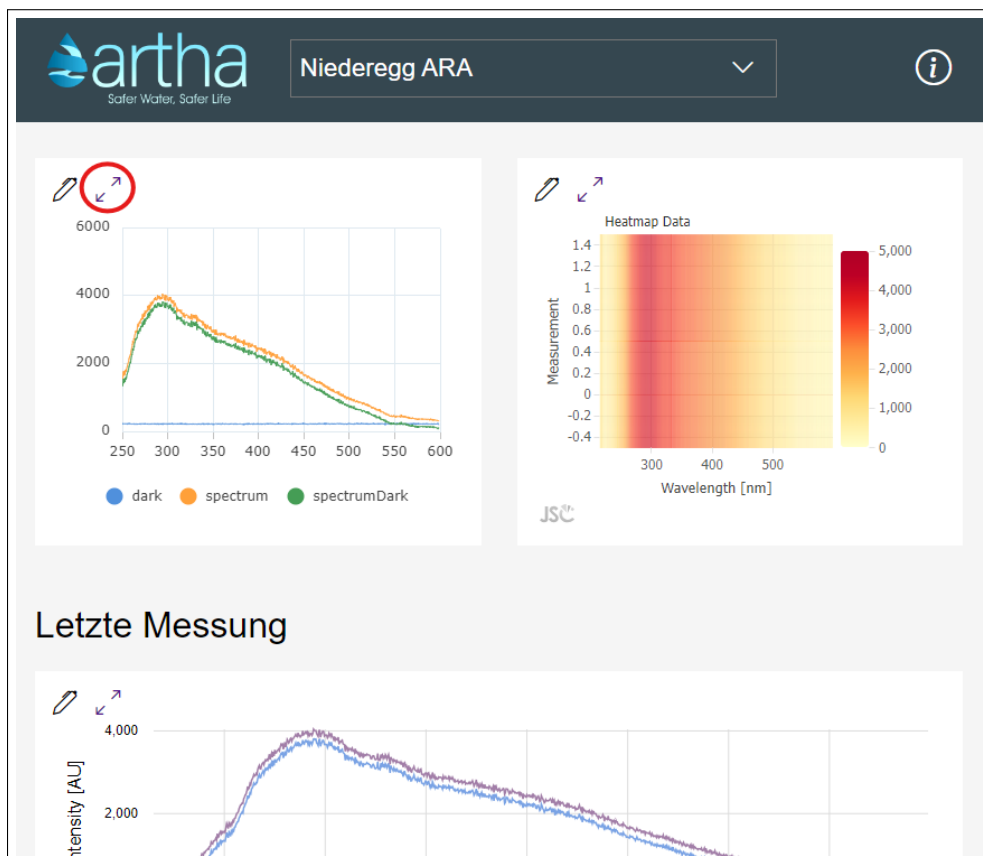


Abbildung 6.5: Screenshot einer Ansicht des Prototyps mit hervorgehobenem Vollbild-Knopf

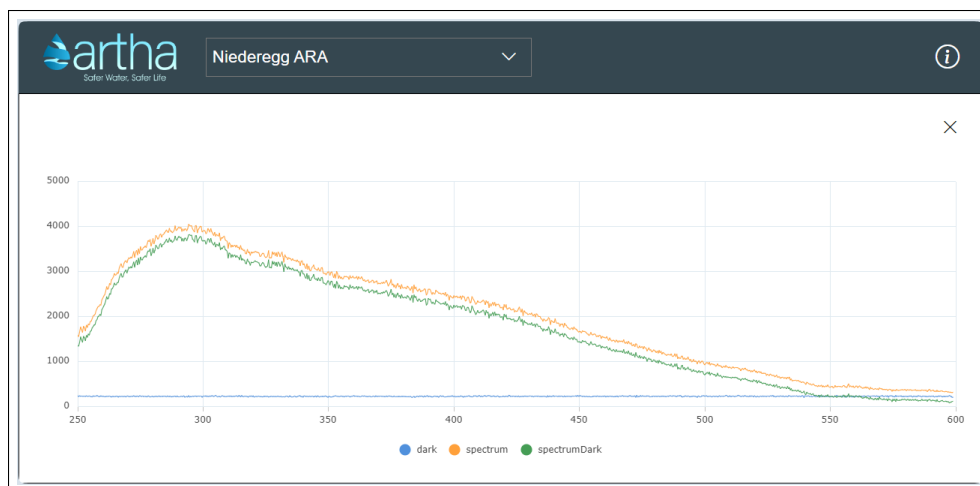


Abbildung 6.6: Ansicht des Prototyps im Vollbildmodus

6.4.3 Ansichten

Dem Benutzer werden verschiedene Ansichten zur Verfügung gestellt, um die Messungen zu visualisieren. Die Markanalyse hat verschiedene Diagrammtypen aufgezeigt, welche für die Darstellung von Wasserqualitätsdaten verwendet werden können. Mit der Literaturrecherche wurden zudem verschiedene Kriterien und Empfehlungen gefunden, um die Benutzeroberfläche zu gestalten.

In der Literaturrecherche wurde in Abschnitt 5.2.1 festgestellt, dass Visualisierungen von Sensormessungen von der Darstellung einer zeitlichen Komponente profitieren. Die zeitliche Komponente ist bei den in diesem Projekt durchgeführten Messungen relevant, da diese einem Zeitpunkt zugeordnet werden können müssen. Ansonsten können keine Aussagen über Zustände und Zustandsverläufe an bestimmten Zeitpunkten gemacht werden, wodurch die Visualisierungen deutlich an Bedeutung verlieren. Aus diesem Grund ist die zeitliche Komponente in allen im Prototyp vorgeschlagenen Visualisierungen vorhanden.

Die im Abschnitt 5.2.2 erwähnte Regel “Rule of Decomposition” wurde befolgt, indem die insgesamt vierdimensionalen Daten, bestehend aus Standort, Zeitpunkt, Wellenlänge und Intensität, auf allen Visualisierungen zu drei bzw. zwei Dimensionen reduziert werden. Bei der Umsetzung des Prototyps wurden die in den Anforderungen gewünschten Diagramme implementiert, diese werden in den folgenden Abschnitten weiter ausgeführt.

Liniendiagramm

Diese Ansicht verwendet der Auftraggeber bereits in seinem Spectrum Analyzer Programm. Sie zeigt die Intensität der Messpunkte einer Messung über die Wellenlänge an. Die Wellenlänge wird dabei auf der X-Achse und die Intensität auf der Y-Achse abgebildet. Er wünschte sich explizit dieselbe Ansicht und auch die Funktionalität, mehrere Messungen in dem gleichen Diagramm darstellen zu können, um diese direkt vergleichen zu können und Trends oder Anomalien erkennbar zu machen.

Heatmap

Diese Ansicht wurde explizit vom Auftraggeber und auch der Persona Ivan Zehnder gewünscht. Heatmaps wurden dem Prototyp hinzugefügt, um einen schnellen Überblick über einen Bereich von Messungen zu ermöglichen. Die Wellenlänge wird auf der X-Achse und die Zeit auf der Y-Achse abgebildet. Die Z-Achse bildet die Intensität der Messpunkte ab und wird dabei in einem Farbverlauf dargestellt. Der Arbeitgeber nutzt auch diese Ansicht bereits in seinem Spectrum Analyzer Programm.

6.5 Erkenntnisse aus dem Entwurf der Benutzeroberfläche

Der Prototyp hat den Autoren dabei geholfen, Erkenntnisse bei eigener Untersuchung und in Feedback-Runden mit dem Auftraggeber zu sammeln. Diese sind in den folgenden Punkten zusammengefasst:

- Der Auftraggeber hat die Ansichten als nützlich empfunden. Besonders die Verfügbarkeit von Heatmaps und Liniendiagrammen wurde als positiv bewertet.
- Die Möglichkeit, mehrere Ansichten auf einem Dashboard zu haben, schätzte der Auftraggeber für Vergleiche von Messungen als nützlich ein.
- Der Auftraggeber befürwortete die Vollbildfunktion, mit welcher er einzelne Diagramme näher untersuchen kann.
- Die Bedeutung der Achsen sollte in Diagrammen stets klar sein, um die Interpretation zu erleichtern. Dies kann durch Achsenbeschriftungen, Legenden oder Tooltips erreicht werden.
- Ansichten mit Liniendiagrammen zur Darstellung einzelner Messungen sollten die Möglichkeit bieten, mehrere Messungen im gleichen Diagramm darzustellen.
- Tooltips und Zoom-Funktionen in Diagrammen sind nützlich für die genauere Untersuchung von Ereignissen oder Abweichungen.
- Bei den Visualisierungen wären Hinweise zur Funktionsweise nützlich, um die Benutzer bei der Interpretation zu unterstützen.
- Um die Visualisierungen sinnvoll auf Mobilgeräten nutzen zu können, sollten die Diagramme ab einer bestimmten Grösse auf die wichtigsten Informationen reduziert werden. Besonders Achsenbeschriftungen und Legenden wirken auf Mobilgeräten störend und hindern bei der Anzeige der Daten.

Die genannten Erkenntnisse bilden eine wertvolle Grundlage für die Implementation der endgültigen Benutzeroberfläche. Sie wurden bei der Umsetzung von Watersense überall, wo es sinnvoll war, berücksichtigt.

7 Architekturkonzept

Vor der Umsetzung wurde ein Konzept zur Bereitstellung aller notwendigen Systeme erarbeitet. In diesem Kapitel werden die geplanten Komponenten und ihr Zusammenspiel beschrieben. Es dient als konkreten Lösungsansatz für die Umsetzung und stellt zudem die Grundlage, um einen geeigneten Hostingsanbieter auswählen zu können.

7.1 Komponenten

Die einzelnen Komponenten und ihre Schnittstellen sind in der Abbildung 7.1 illustriert. Die Abbildung bietet einen groben Überblick, welcher durch die weiteren Abschnitte vertieft beschrieben wird.

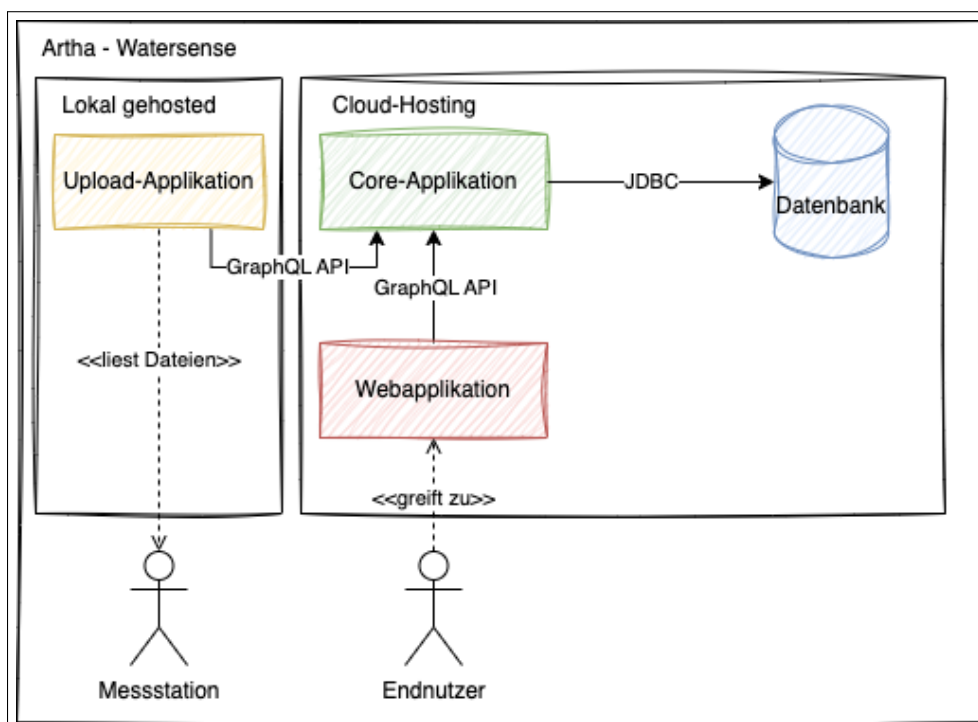


Abbildung 7.1: Illustration der groben Systemarchitektur

7.1.1 Datenbank

Die Messungen und deren Metadaten werden in einer SQL-Datenbank gespeichert. Aufgrund ihrer Erfahrung mit dieser Datenbank wählten die Autoren PostgreSQL.

Funktion: Speicherung der Messdaten

Die SQL-Datenbank ist an die Core-Applikation angebunden und ermöglicht die effiziente Speicherung der Messdaten. Indizes beschleunigen Abfragen und der JSON-Datentyp erlaubt flexible Strukturen.

7.1.2 Core-Applikation

Eine Java Spring-Applikation stellt eine GraphQL-Schnittstelle bereit, um Messungen zu empfangen und anderen Applikation zur Verfügung zu stellen.

Funktion: Hochladen der Messdaten

Die Core-Applikation empfängt Messdaten über die GraphQL-Schnittstelle. Zudem überprüft sie, ob eine bestimmte Messung bereits abgespeichert wurde und validiert die Messung auf Inkonsistenzen. Hochgeladene Daten werden in der SQL-Datenbank gespeichert.

Funktion: Bereitstellung der Messdaten

Die Core-Applikation ruft Messdaten aus der SQL-Datenbank ab und stellt sie über die GraphQL-Schnittstelle bereit.

7.1.3 Webapplikation

Eine Angular Single Page Application (SPA) greift über die GraphQL-Schnittstelle der Core-Applikation auf die Messungen zu und stellt diese dem Benutzer dar. Die Applikation wird als statische Webseite bereitgestellt.

Funktion: Benutzeroberfläche bereitstellen

Die Benutzeroberfläche wird als Webseite zur Verfügung gestellt, wobei Datenabfragen und -modifikationen an die Core-Applikation übermittelt werden.

Funktion: Messdaten abrufen

Die Webapplikation ruft die Messdaten per GraphQL-Anfragen von der Core-Applikation ab. GraphQL ermöglicht es, die Menge der gelieferten Daten je nach Anfrage zu optimieren, um Ladezeiten zu minimieren und die Schnittstelle flexibel zu halten.

7.1.4 Upload-Applikation

Die Upload-Applikation lädt neue Brane-Dateien als JSON hoch, damit die Core-Applikation diese verarbeiten kann. Da diese Applikation lokal auf dem Computer der Messstation läuft, ist sie unabhängig von der Wahl des Cloud-Anbieters oder virtueller Maschinen.

Funktion: Neue Dateien in Ordner erkennen

Die Upload-Applikation erkennt neue Brane-Messdateien in einem vorbestimmten Ordner auf dem Messcomputer. Diese lose Kopplung zu der auf demselben Gerät ausgeführten Messapplikation verhindert, dass die beiden Applikationen sich untereinander beeinflussen und allenfalls behindern.

Funktion: Dateien hochladen

Die Upload-Applikation lädt die Daten selbstständig vom lokalen Computer der Messstation zum Applikationsserver hoch. Die Schnittstelle kann leicht für andere Datenstrukturen erweitert werden. Der Upload erfolgt periodisch und zeitnah, um den Benutzern aktuelle Daten zur Verfügung zu stellen.

8 Auswahl Hostinganbieter

Für diese Arbeit werden sowohl eine Web- als auch eine Core-Applikation entwickelt, die den Nutzern online zur Verfügung stehen, damit diese die Messdaten von Artha-Messstationen untersuchen und mit ihnen interagieren können. Für die Wahl einer geeigneten Plattform dieser Applikationen und der Datenbank wünschte der Auftraggeber einen Vergleich verschiedener Anbieter und eine Empfehlung. Eine zentrale Anforderung des Auftraggebers war es, insbesondere Lösungen mit KI-Integration zu untersuchen.

Die Auswahl einer Hosting-Plattform ist ein komplexes Problem, da mehrere Kriterien berücksichtigt und gegenübergestellt werden müssen. In der Literatur wird ein solches Vorgehen als Multi-Criteria Decision Making (MCDM) bezeichnet. Den Vergleich mehrerer Plattformen ist schwierig, weil einige der Kriterien miteinander in Konflikt stehen können und weil für einzelne Kriterien nur unpräzise Daten zur Verfügung stehen [7].

Das durchgeführte Vorgehen für die Auswahl einer geeigneten Hosting-Plattform ist im Abschnitt 3.5.4 beschrieben. Die Ergebnisse der einzelnen Vorgehensschritte sind in den folgenden Abschnitten beschrieben.

8.0.1 Auswahl des Vorgehens für den Anbietervergleich

Um ein geeignetes Vorgehen für den Anbietervergleich zu finden, führten die Autoren eine umfassende Literaturrecherche durch. Die Autoren suchten nach bewährten Methoden, um MCDM Probleme zu lösen. Im Rahmen der Recherche wurden folgende Suchbegriffe auf Google Scholar⁷ eingegeben:

- “Cloud Provider Evaluation”
- “TOPSIS Select Cloud Provider”
- “MAUT Cloud Service Provider”
- “Multi-Attribute Utility Theory Cloud Service Provider”
- “Multi-Attribute Utility Theory MAUT Cloud Service Provider”

Die in dieser Literaturrecherche gefundenen Vorgehensweisen werden im Anhang im Abschnitt C.1 detailliert beschrieben.

Entscheid Vorgehen für Anbietervergleich

Da das Modell MAUT bewährt und weit verbreitet ist, haben die Autoren entschieden, dieses Modell für die Auswahl einer Hosting-Plattform zu verwenden. MAUT bietet mehrere Vorteile gegenüber anderen Methoden:

- **Einbeziehung des Auftraggebers:** Es ermöglicht die Einbeziehung des Auftraggebers, indem dieser die Gewichtungen für die Kriterien festlegen kann.
- **Einfache Bewertung der Alternativen:** Alternativen können im Gegensatz zu anderen Modellen einfach bewertet werden.
- **Effizienz bei der Kriterienreduzierung:** Eine effiziente Entscheidungsfindung ist auch bei einer geringeren Anzahl von Kriterien möglich.
- **Transparenz:** Das Modell bietet klare und nachvollziehbare Entscheidungsprozesse.
- **Flexibilität:** MAUT ist an verschiedene Entscheidungsszenarien und Gewichtungen anpassbar.

Diese Vorteile machen MAUT zu einer geeigneten Wahl für die Auswahl der optimalen Hosting-Plattform.

⁷www.scholar.google.com, Zugriff am 16.04.2024

8.1 Auswahl der verglichenen Anbieter

Der Auftraggeber äusserte ausdrücklich den Wunsch einer Cloud-Umgebung, um den Betrieb der Applikationen sicherzustellen. Das Hauptargument gegen eine vom Auftraggeber gehostete Serverumgebung war, dass kein Team für die Wartung der Infrastruktur zur Verfügung steht, weswegen eine möglichst wartungsfreie Hosting-Plattform verwendet werden soll. Durch die Nutzung einer Cloud-Umgebung umgeht der Auftraggeber die Notwendigkeit der Wartung von Infrastruktur und virtuellen Maschinen.

Der Auftraggeber stellte explizit die Anforderung, dass die sensiblen hydrogeologischen und biogeochemischen Messungen ausschliesslich in der Schweiz verarbeitet und gespeichert werden, um das Schweizer Datenschutzgesetz einzuhalten. Daher wurden nur Hosting-Plattformen mit Standorten in der Schweiz berücksichtigt.

Die Autoren mussten sich für verschiedene Umgebungen entscheiden, welche verglichen werden sollten. Die Anbieter Microsoft Azure Cloud, Amazon Web Services (AWS) und Google Cloud Platform (GCP) wurden gewählt, weil diese laut Tsung, Liu et al. [8] weit verbreitet sind und einen Grossteil des Marktes abdecken. Diese weit verbreiteten Anbieter wurden bevorzugt, da die Autoren zu Beginn des Projekts keine Erfahrung mit Hostinganbietern hatten und so von einem breiten Angebot an Anleitungen und Unterlagen profitieren konnten.

Obwohl vom Auftraggeber nicht explizit gewünscht, wurden auch mietbare virtuelle Webserver in Betracht gezogen, da die Autoren dieser Variante einen entscheidenden Preisvorteil zumuteten. Die Autoren entschieden sich, die mietbaren virtuellen Maschinen von Infomaniak in den Vergleich miteinzubeziehen.

Die detaillierten Dienste, die für diesen Variantenentscheid ausgewählt wurden, werden im Anhang im Abschnitt C.2.1 genauer beschrieben.

8.2 Auswahl der Kriterien für den Anbietervergleich

Um die Kriterien für den Vergleich der Hostinganbieter zu definieren wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Wie von Ramamurthy, Saurabh et al. [9] beleuchtet, gibt es zwei Arten von Kriterien, welche bei der Auswahl eines Cloudservice Providers und damit auch einer Hosting-Plattform berücksichtigt werden sollten: quantitative Kriterien wie die Kosten oder Latenz und qualitative Kriterien wie die Qualität des technischen Supports oder die Wartbarkeit. Das Ziel der Recherche war es, eine Gruppe umfassender, praxisnaher, relevanter und bewährter Kriterien zu identifizieren. Zusammen mit dem Auftraggeber wurde diese Liste auf fünf Kriterien eingegrenzt, um die Auswahl der geeignetsten Hosting-Plattform den Bedürfnissen des Projekts anzugleichen.

Im Rahmen der Recherche wurden folgende Suchbegriffe auf Google Scholar⁸ eingegeben:

- “Cloud Hosting Criteria”
- “Cloud Hosting Selection”
- “Cloud Hosting Evaluation”

Die Ergebnisse der Literaturrecherche werden im Anhang im Abschnitt C.2 aufgelistet.

8.2.1 Definierter Kriterienkatalog

Nachfolgend werden die für den Variantenentscheid ausgewählten Kriterien aufgelistet und erläutert. Diese basieren einerseits auf Kriterien aus der Literaturanalyse, andererseits wurden auf Wunsch des Arbeitgebers zusätzliche Kriterien hinzugefügt.

⁸www.scholar.google.com, Zugriff am 14.04.2024

Kosten

Obwohl der finanzielle Aspekt für den Auftraggeber nicht an erster Stelle steht, ist der Preisunterschied der Anbieter bei der Entscheidungsfindung trotzdem wichtig. Die für Artha gewählte Lösung sollte wirtschaftlich betrieben werden können. Laut Siegel, Perdue [10] sind die Kosten zudem einer wenn nicht sogar der wichtigste Faktor bei der Auswahl einer Hosting-Plattform.

Wartungsaufwand /-komplexität

Angesichts begrenzter Ressourcen für Wartungsarbeiten ist es wichtig, den Wartungsaufwand effizient zu halten. Dazu sollten verfügbare Tools, der angebotene Support und die Unterstützung durch eine etablierte Community berücksichtigt werden, um einen reibungslosen Betrieb sicherzustellen. Basierend auf der Literaturrecherche im Abschnitt C.2 setzt sich dieses übergeordnete Kriterium aus folgenden Kriterien zusammen: Benutzerfreundlichkeit und Unternehmensleistung

KI-Werkzeuge

Die Integration von KI-Werkzeugen stellt einen wichtigen Aspekt dar. Eine zukünftige Integration kann nicht nur Leistungsfähigkeit der aktuellen Lösung verbessern, sondern auch deren zukünftige Wettbewerbsfähigkeit gewährleisten. Dieses Kriterium wurde durch den Arbeitgeber ergänzt.

Verfügbarkeit

Eine zuverlässige Verfügbarkeit der Dienste ist von entscheidender Bedeutung, um einen unterbrechungsfreien Betrieb der Webapplikation und die Kundenzufriedenheit gewährleisten zu können. Dieses Kriterium basiert auf den Kategorien Verantwortlichkeit und Versicherung, die in Abschnitt C.2 beschrieben sind.

Lage der Server und Daten

Aufgrund der Sensibilität der verarbeiteten Daten und der Einhaltung rechtlicher Anforderungen ist die Wahl eines geeigneten Standorts für die Server und Daten von grösster Bedeutung. Eine Standortwahl in der Schweiz gewährleistet die Einhaltung der schweizerischen Datenschutzverordnung und stärkt das Vertrauen der Nutzer in die Sicherheit ihrer Daten. Dieses Kriterium stützt sich auf die von Siegel, Perdue [10] als wichtig eingestuft Kategorien Sicherheit und Datenschutz.

8.3 Auswertung der Kriterien

Die verschiedenen Plattformen wurden basierend auf den Kriterien verglichen und gegenübergestellt, um ihre Leistung und Eignung für das Projekt zu bewerten. Nachfolgend werden die Erkenntnisse des im Anhang C.3 befindlichen detaillierten Vergleichs zusammengefasst.

8.3.1 Kosten

Die Preise der Anbieter AWS, Azure, GCP und Infomaniak wurden am 06.04.2024 auf deren offiziellen Webseiten abgefragt, wobei die Dienste für statische Webseiten, Serverapplikationen und Datenbanken preislich verglichen wurden. Weil die effektiv notwendigen Ressourcen erst im späteren Projektverlauf klarer werden, dienen die aktuellen Preise nur als Einschätzung.

AWS: Bietet günstige Preise für das Hosting statischer Webseiten und die günstigsten Preise für den Kunden-Support, ist jedoch bei Serverapplikationen und Datenbanken etwas teurer. Insgesamt sind die Gesamtkosten die zweithöchsten.

Azure: Die Preise basieren auf leicht abweichenden Konfigurationen, da keine exakt passenden Konfigurationen für die Vergleichskriterien angeboten werden. Insgesamt sind die Kosten am höchsten. Azure bietet jedoch umfassenden Kunden-Support und zusätzliche Features, wie die einfache Enterprise-Integration für Windows, an.

GCP: Ist kostengünstig bei allen Diensten und bietet im Vergleich zu den anderen Anbietern den tiefsten Preis für Datenbanken und statisches Webseiten-Hosting.

Infomaniak: Bietet feste Preise, die zu insgesamt niedrigen Kosten führen. Allerdings ist Infomaniak bei der Ressourcenallokation weniger flexibel und erlaubt es nicht, Ressourcen nachträglich zu reduzieren. Im Vergleich zu den anderen Anbietern ist das Angebot kostengünstiger, bietet jedoch nur eine virtuelle Maschine an. Viele zusätzliche Funktionalitäten, die von den anderen Anbietern bereitgestellt werden, fehlen somit und mehr technisches Know-How ist notwendig zur Integration mehrerer Systeme auf der gleichen Maschine.

8.3.2 Wartungsaufwand

Der Wartungsaufwand ist grundsätzlich nur schwer einzuschätzen und es finden sich auch keine verlässlichen Informationen zum Vergleich von Anbietern. Aus diesem Grund werden hier die Community und der angebotene Support berücksichtigt.

AWS: Hat eine grosse Community mit 216.000 Fragen und 26.000 Mitgliedern auf Stack Overflow. Der Support ist vergleichbar mit Azure und GCP, bietet jedoch keine herausragenden Unterschiede bezüglich Erreichbarkeit und Antwortzeiten.

Azure: Verfügt über mehr Fragen (256.000) als AWS, jedoch weniger Mitglieder (19.000) auf Stack Overflow. Azure bietet einen soliden Support mit schnellen Antwortzeiten an. Somit ist dieses Support-Angebot ähnlich wie das von AWS und GCP.

GCP: Hat die grösste Community mit 332.000 Fragen und 54.400 Mitgliedern auf Stack Overflow. GCP bietet im Support schnellere Antwortzeiten im Vergleich zu AWS und Azure, die Unterstützung ist jedoch nur über ein Ticketing-System erreichbar.

Infomaniak: Hat eine kleinere Community und keine Präsenz auf Stack Overflow. Der Support ist sehr gut erreichbar und bietet schnelle Reaktionszeiten, ist jedoch im Vergleich zu den anderen Anbietern am teuersten.

8.3.3 Verfügbarkeit

AWS: Bietet hohe Verfügbarkeitsgarantien mit Uptime-Werten zwischen 99.5% und 99.9%, wobei die Verfügbarkeit für die Dienste EC2 und S3 etwas niedriger ist als für den Relational Database Service (RDS) und Machine Learning.

Azure: Gewährleistet die höchste Verfügbarkeit unter den grossen Anbietern mit Uptime-Werten von 99.9% bis 99.995%, insbesondere bei Azure SQL Database.

GCP: Bietet ebenfalls hohe Verfügbarkeitsgarantien mit Uptime-Werten von 99.9% bis 99.95%, wobei Cloud SQL und Cloud Storage besonders zuverlässig sind.

Infomaniak: Bietet die höchste Verfügbarkeit mit einer Uptime von über 99.99%, allerdings werden alle Dienste auf derselben virtuellen Maschine betrieben, wodurch bei deren Nichtverfügbarkeit keiner der Dienste erreichbar ist.

8.3.4 KI-Werkzeuge

Abschnitt C.3.4 im Anhang bietet eine detaillierte Übersicht der KI-Dienste der verschiedenen Anbieter. Nachfolgend werden die Erkenntnisse zusammengefasst.

GCP: Führend im Bereich KI und ML dank der benutzerfreundlichen Vertex AI Plattform, die umfassend in Googles KI-Ökosystem integriert ist. GCP weist in Tests eine höhere Performance als Azure und AWS auf.

AWS: Bietet ebenfalls starke KI- und ML-Werkzeuge, jedoch ohne die spezialisierte Fokussierung auf optimierte Prozesse wie bei GCP. Die Leistung ist konkurrenzfähig, aber im Vergleich zu GCP etwas geringer.

Azure: Bietet leistungsfähige KI- und ML-Tools, die im Vergleich zu GCP und AWS etwas weniger performant sind, aber dennoch gute Ergebnisse liefern.

Infomaniak: Bietet seit 2024 einen AI-as-a-Service-Dienst an, der auf natürliche Sprachverarbeitung spezialisiert ist. Für komplexe Mustererkennung und umfassende KI-Anwendung müssen externe Tools und APIs verwendet werden, da die eigene Lösung in ihrem Einsatzbereich beschränkt ist.

8.3.5 Lage der Daten

Alle Hosting-Plattformen haben Rechenzentren in der Schweiz und garantieren, dass die Daten dort verarbeitet und gespeichert werden.

8.4 Bewertung der Plattformen

In diesem Kapitel wird die Methodik zur Festlegung der Punkte- und Gewichtungsskala für die Bewertung der Kategorien spezifiziert. Die Punktzahl pro Kategorie und Plattform ist jeweils das Produkt der Gewichtung und den zugewiesenen Punkten.

8.4.1 Punkteskala

Die Punkteskala wird verwendet, um die unterschiedlichen Kriterien und Gewichtungen in die Bewertung der Plattformvarianten einfließen zu lassen. Die Tabelle 8.1 beschreibt die Punkteskala.

Sehr schlecht	Schlecht	Neutral	Gut	Ausgezeichnet
0	2	5	8	10

Tabelle 8.1: Die für die Kriterienbewertung verwendete Punkteskala

8.4.2 Gewichtungsskala

Die Gewichtungsskala wird verwendet, um die relative Bedeutung jeder Kategorie bei der Bewertung der Plattformvarianten festzulegen. Die Summe aller Gewichtungen beträgt 100%, jeder Kategorie wird ein Prozentsatz zugewiesen, welcher ihren Beitrag zur Gesamtbewertung widerspiegelt. Die Gewichtungen werden durch den Auftraggeber festgelegt.

8.4.3 Bewertung der Varianten

In diesem Kapitel werden die einzelnen Plattformen innerhalb der Kategorien gegenübergestellt und bewertet.

Kategorie	Gew.	AWS		Azure Cloud		GCP		Infomaniak	
	G	P	G * P	P	G * P	P	G * P	P	G * P
Wartungsaufwand /-komplexität	20%	7	1.4	8	1.6	9	1.8	8	1.6
KI-Werkzeuge	40%	8	3.2	8	3.2	9	3.6	2	0.8
Verfügbarkeit	15%	8	1.2	9	1.35	8	1.2	10	1.5
Lage der Server und Daten	25%	10	2.5	10	2.5	10	2.5	10	2.5
Total	100%		8.30		8.65		9.10		6.40
Preis pro Monat		259.47 CHF		265.04 CHF		201.58 CHF		90.14 CHF	

Tabelle 8.2: Bewertung der Cloud-Service-Plattformen

8.4.4 Sensitivitätsanalyse mit alternativem Szenario

Um die Robustheit und Zuverlässigkeit des Variantenentscheids zu überprüfen wurde von den Autoren ein alternatives Szenario definiert. Die Sensitivitätsanalyse hat das Ziel, zu überprüfen, wie empfindlich die Entscheidungsergebnisse gegenüber Veränderungen der Gewichtungen der Kriterien sind. In dem vom Arbeitgeber definierten Szenario hat das KI-Kriterium einen sehr hohen Stellenwert. Daher haben die Autoren zusätzlich überprüft, welche Hosting-Plattform am besten geeignet ist, wenn das Kriterium “KI-Werkzeuge” von 40% auf 20% reduziert wird. Gleichzeitig wurden die Kriterien “Wartungsaufwand/-komplexität” auf 30% und “Verfügbarkeit” auf 25% erhöht.

Der Nutzenwert P einer Alternative kann allgemein durch die folgende Summenformel berechnet werden:

$$P(\text{Alternative}) = \sum_{i=1}^n w_i \times x_{i,\text{Alternative}} \quad (8.1)$$

wobei:

$P(\text{Alternative})$ = Nutzenwert der Alternative

w_i = Gewichtung des Kriteriums i

$x_{i,\text{Alternative}}$ = Bewertung der Alternative in Bezug auf Kriterium i

n = Anzahl der Kriterien

$$P(\text{AWS}) = 7 \times 0.3 + 8 \times 0.2 + 8 \times 0.25 + 10 \times 0.25 = 8.2$$

$$P(\text{Azure}) = 8 \times 0.3 + 8 \times 0.2 + 9 \times 0.25 + 10 \times 0.25 = 8.75$$

$$P(\text{GCP}) = 9 \times 0.3 + 9 \times 0.2 + 8 \times 0.25 + 10 \times 0.25 = \mathbf{9.0}$$

$$P(\text{Infomaniak}) = 8 \times 0.3 + 2 \times 0.2 + 10 \times 0.25 + 10 \times 0.25 = 7.8$$

Die Reihenfolge der Hosting-Plattformen bleibt gleich, aber die Gesamtnutzenwerte ändern sich leicht. Diese Analyse hat gezeigt, dass GCP in beiden Gewichtungsszenarien am besten abschneidet, wodurch die Wahl dieser Plattform als robust bezeichnet werden kann.

8.5 Zusammenzug und Empfehlung

Die Bewertung der verschiedenen Hosting-Optionen basiert auf den vom Auftraggeber priorisierten und gewichteten Kriterien. Google Cloud Platform erhält, unter anderem dank ihren starken KI-Werkzeugen, die höchste Punktzahl. Abgesehen davon sind die Alternativen funktionsmässig vergleichbar. Die KI-Werkzeuge sind es, welche die Infomaniak bei der Punktberechnung negativ beeinflussen, da lediglich ein sehr neuer LLM-Dienst angeboten wird. Dies ist auch erkennbar im alternativen Szenario der Sensitivitätsanalyse.

Die Lösung von Infomaniak wird im Rahmen des Projekts als die einfachste und am schnellsten einzurichtende Lösung eingeschätzt. Dies weil weniger unterschiedliche Komponenten verwaltet werden müssen und weil die Autoren mit virtuellen Maschinen vertraut sind.

Ein wichtiger Aspekt ist die Verfügbarkeit, bei der Infomaniak im Vergleich zu den grossen Cloud-Anbietern besser abschneidet. Zudem kann der fehlende Community-Support von Infomaniak durch die Qualität des Kundensupports ausgeglichen werden. Die Google Cloud Platform weist bei dem Wartungsaufwand aufgrund der grossen und hilfsbereiten Community jedoch die beste Punktzahl auf.

Basierend auf der Analyse zeigt sich, dass AWS ein umfassendes Angebot an Services bietet, während die anderen Anbieter weniger breit aufgestellt sind. Azure zeichnet sich durch hervorragende Integrationen mit Enterprise-Diensten wie Office 365 aus, was für kleine Unternehmen jedoch weniger relevant ist.

Basierend auf diesen Kriterien empfehlen die Autoren die Verwendung von Google Cloud Platform. GCP bietet nicht nur die beste Gesamtleistung, sie ist auch kostengünstiger als die anderen grossen Anbieter. Infomaniak mag zwar die kostengünstigste Option sein, jedoch bietet sie auch weniger Integrationsmöglichkeiten und bietet keinen kompetitiven KI-Dienst.

9 Technische Implementation der Lösung

In diesem Kapitel wird die Umsetzung der verschiedenen im System zusammenspielenden Komponenten beschrieben. Es wird aufgezeigt, wie die Daten von den Messgeräten auf den Server übermittelt, dort verarbeitet und gespeichert werden. Zudem wird die Webapplikation als Benutzeroberfläche beschrieben, welche diese Daten in unterschiedlichen Visualisierungen darstellt.

9.1 Datenpipeline im Kontext

Nachfolgend ist in der Abbildung 9.1 dargestellt, welche der im Kapitel 5.1.2 erwähnten Datenpipeline-Schritte bereits durch Artha abgedeckt sind und welche durch Watersense abgedeckt werden.

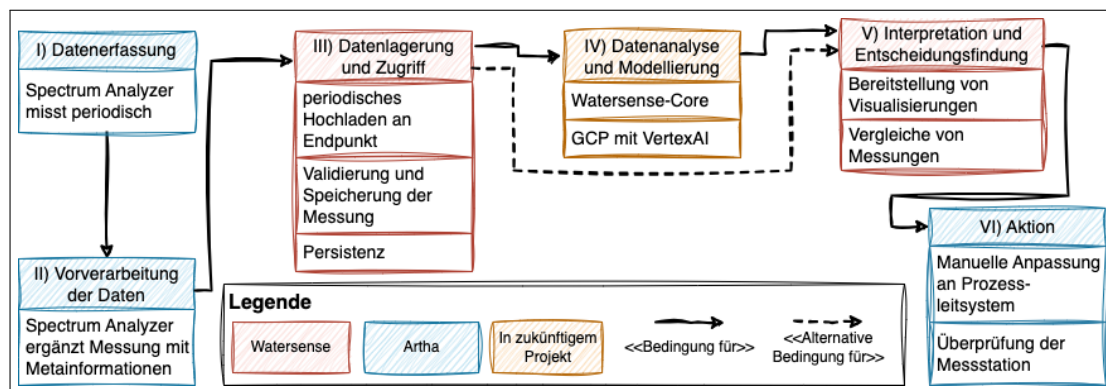


Abbildung 9.1: Datenpipeline im Kontext von Artha

Die blau und rot gekennzeichneten Schritte werden durch Artha implementiert, wobei die roten Schritte mit dem Projekt Watersense umgesetzt werden. Die Datenanalyse und Modellierung (IV) ist orange gekennzeichnet, diese soll in einem zukünftigen Projekt umgesetzt werden. Im Rahmen des Projektes Watersense wird lediglich ein Konzept zur Integration von KI geschrieben.

Die Datenerfassung (I) und die Vorverarbeitung der Daten (II) geschehen bei der lokalen Messstation mit dem Spectrum Analyzer. Hierbei werden Messungen mit zusätzlichen Metainformationen ergänzt. Die Datenlagerung und der Zugriff der Daten (III) wird mittels Watersense ermöglicht, wobei der Hochladungsprozess periodisch erfolgt. Zudem werden die Daten validiert und auf mögliche Duplikate geprüft. Bei der Interpretation und Entscheidungsfindung (V) werden die definierten Benutzergruppen durch bereitgestellte Visualisierungen unterstützt. Diese lassen auch Vergleiche zwischen einzelnen Messungen zu. Die Aktion (VI) der definierten Massnahmen befindet sich ausserhalb des Projektrahmens von Watersense. Hierbei gibt es zwei übergeordnete Aktionen: Einerseits manuelle Eingriffe durch den Betriebsangestellten, um auf Veränderungen der Wasserqualität zu reagieren und andererseits die Wartung der Messstation durch Systemadministratoren.

9.2 Upload-Applikation

Die Upload-Applikation wurde in Python entwickelt und mit dem PyInstaller-Plugin in eine ausführbare Datei für Linux-, macOS- und Windows-Betriebssysteme paketierte. Beim Auftraggeber wurde bis zum Ende dieses Projekts ausschliesslich ein Windows-Laptop mit dem Windows-Executable der Upload-Applikation verwendet. Die Applikation läuft als Dienst auf einem Computer, der mit der Messstation verbunden ist, und überwacht einen definierten Ordner. Alle .brane-Dateien, die sich in diesem Ordner oder in einem tiefer verschachtelten Verzeichnis befinden, werden erfasst. Gefundene Messdateien werden gelesen und an den definierten Endpunkt übertragen. Die Upload-Applikation speichert den Zeitstempel der zuletzt erfolgreich gesendeten Messung in einer Datei, um sicherzustellen, dass jeder Datensatz nur einmal übertragen wird. Um Messungen aus der Vergangenheit hochzuladen, reicht es, den Zeitstempel in der Datei `timestamp.json` entsprechend anzupassen. Wird er in die Vergangenheit gesetzt, werden alle nachfolgenden Messungen nochmal für den Upload berücksichtigt.

Im Unterverzeichnis `.watersense-uploader` des Benutzerverzeichnisses des angemeldeten Nutzers befindet sich eine Konfigurationsdatei, mit der die Einstellungen der Applikation während der Laufzeit angepasst werden können. Die Konfigurationsattribute werden im Abschnitt 9.2.1 näher erläutert. Weil das Intervall und die Anzahl der hochzuladenden Messungen pro Iteration verändert werden können, ist es möglich, die Upload-Applikation zur Laufzeit an die spezifischen Bedürfnisse des Auftraggebers anzupassen. Je mehr Messungen hochgeladen werden müssen, desto kleiner wird das Intervall gewählt. Kürzere Intervalle ermöglichen eine schnellere Übertragung der Messdaten an den entsprechenden Endpunkt. Wird der Upload-Prozess jedoch zu häufig gestartet, besteht die Gefahr, dass er läuft, ohne dass neue Messdaten vorliegen. In diesem Fall werden Ressourcen verschwendet. Es liegt in der Verantwortung des Systemadministrators, eine Konfiguration auszuwählen, die seinem Messverhalten entspricht.

Der Prozess wird detailliert in der Abbildung 9.2 dargestellt.

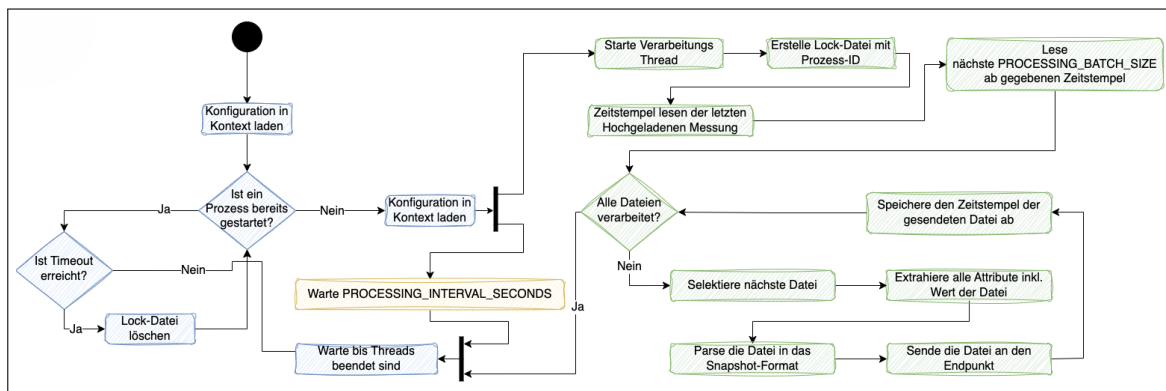


Abbildung 9.2: Ablaufdiagramm Upload-Prozess

9.2.1 Parameter für die Konfiguration

In der Tabelle 9.1 sind die Attribute der Konfigurationsdatei detailliert beschrieben.

Attribut	Beschreibung
brane_source	Wurzelverzeichnis, das alle Dateien der Messungen enthält.
brane_extension	Dateiendung der Messdateien.
graphql_endpoint	Adresse des Servers, an den die Dateien gesendet werden sollen.
timestamp_pattern	Zeitformat, das für die lokale Speicherung der zuletzt verarbeiteten Datei und für die Protokollausgabe verwendet wird.
lock_timeout_seconds	Definiert das Timeout in Sekunden für den aktuell laufenden Verarbeitungsprozess.
processing_interval_seconds	Bestimmt, nach wie vielen Sekunden spätestens ein neuer Verarbeitungsprozess gestartet wird.
processing_batch_size	Legt die Anzahl der zu verarbeitenden Dateien pro Prozessdurchlauf fest.
spectrometer_point.spectrum	Name des Spektrum Attributs in der Messdatei.
spectrometer_point.dark	Name des Dunkelrauschens Attributs in der Messdatei.
spectrometer_point.spectrum_dark	Name des Spektrum - Dark Attributs in der Messdatei.
spectrometer_point.nanometer	Name des Wellenlänge Attributs in der Messdatei.
spectrometer_point.wave_number	Name des Wellenzahl Attributs in der Messdatei.

Tabelle 9.1: Beschreibung der Parameter in der Konfigurationsdatei

Zu erwähnen sind die engen Zusammenhänge zwischen “lock_timeout_seconds”, “processing_interval_seconds” und “processing_batch_size”. Es muss möglich sein, innerhalb des gesetzten “processing_interval_seconds” die mit der Zahl “processing_batch_size” definierte Anzahl von Messungen zu verarbeiten. Wenn dies nicht eingehalten werden kann, werden die lokalen Ressourcen des Gerätes im Dauerzustand beansprucht. Zudem muss darauf geachtet werden, dass das “lock_timeout_seconds” mindestens gleich gross definiert ist wie “processing_interval_seconds”. Bei falscher Konfiguration wird der Prozess frühzeitig beendet. Unabhängig der Konfiguration ist allerdings sichergestellt, dass keine Messungen doppelt verarbeitet oder übersprungen werden.

Beispielkonfiguration für einen lokalen Endpunkt

Nachfolgend ist eine Beispieldatei aufzufinden, welche für die lokale Entwicklung verwendet werden kann. Mit dieser Konfiguration werden alle 10 Minuten 800 .brane Dateien an den Endpunkt `http://localhost:8080/graphql` übermittelt. Nach spätestens 20 Minuten wird ein Verarbeitungsprozess abgebrochen.

```
{
  "brane_source": "<<USER-HOME>>/watersense-uploader/data",
  "brane_extension": "brane",
  "graphql_endpoint": "http://localhost:8080/graphql",
  "timestamp_pattern": "%Y-%m-%d %H:%M:%S.%f",
  "lock_timeout_seconds": 1200,
  "processing_interval_seconds": 600,
  "processing_batch_size": 800,
  "spectrometer_point": {
    "spectrum": "Spectrum",
    "dark": "Dark",
    "spectrum_dark": "Spectrum - Dark",
    "nanometer": "nm",
    "wave_number": "Wavenumber"
  }
}
```

9.3 Datenbank

Eine mit den Google Cloud Dienst “Cloud SQL” betriebene PostgreSQL Datenbank wird zur Speicherung der Messungen verwendet. Dadurch verfügt die Datenbank über eine hohe Verfügbarkeit und Skalierbarkeit. Jede Messung wird jeweils vollständig mit allen Informationen gespeichert, auch wenn viele Metainformationen zurzeit nicht genutzt werden. Die Verfügbarkeit dieser Informationen könnte künftig für ML oder anderen Aufgaben von Bedeutung sein.

Ein Entity-Relationship-Diagramm (ERD) der Datenbankstruktur ist in Abbildung 9.3 ersichtlich.

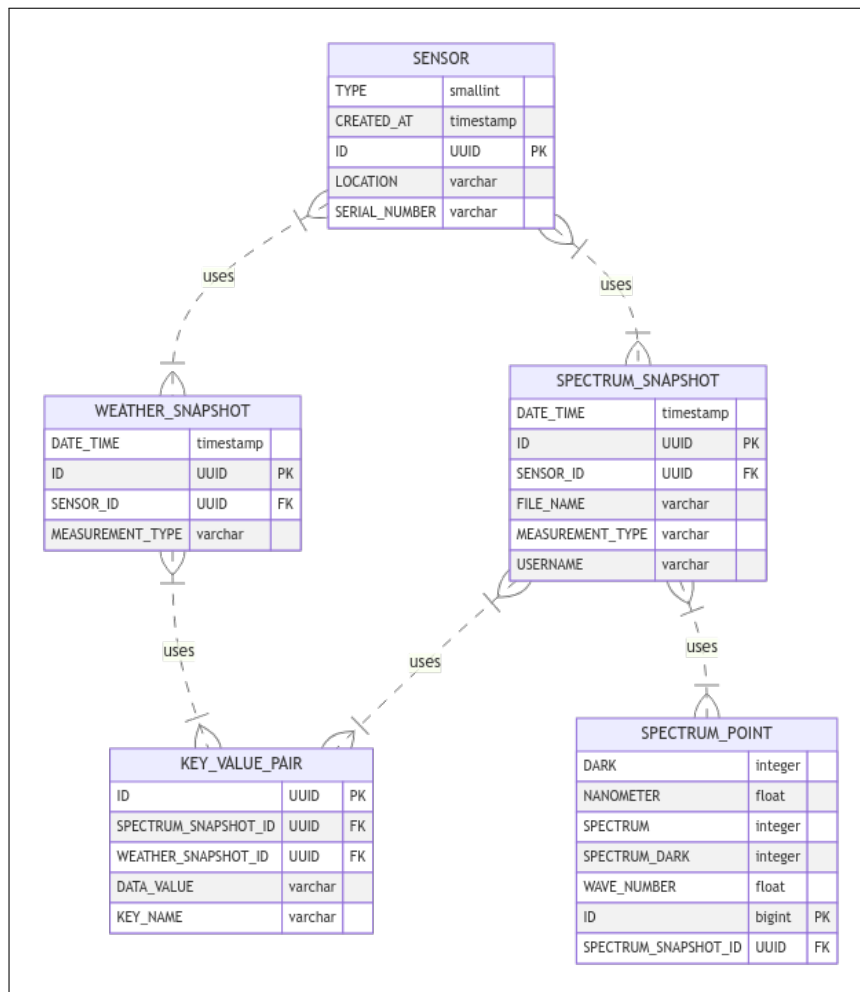


Abbildung 9.3: Entity-Relationship-Diagramm der Datenbank

Die zentralen Tabellen sind `spectrum_snapshot` und `spectrum_point`. Während in `spectrum_snapshot` eine einzelne Spektrum-Messung aufgezeichnet wird, sind in `spectrum_point` die einzelnen Punkte des Spektrums abgebildet. Pro aufgezeichnete Wellenlänge des Spektrums werden der Dark-Wert, der Spektrum-Wert sowie dessen Korrektur (Spektrum - Dark) gespeichert. Dieses ERD zeigt zudem, wie weitere Sensormessungen am Beispiel von `weather_snapshot` abgebildet werden können. Genauere Erläuterungen sind in Abschnitt 9.7 beschrieben. Damit ist sichergestellt, dass die aktuelle Datenstruktur um zukünftige Entitäten erweitert werden kann. Eine Messaufzeichnung beinhaltet immer eine Referenz zu einem `sensor`-Datensatz und kann Referenzen zu `key_value_pair` für eventuelle Meta-Informationen besitzen.

9.4 Core-Applikation

Die Core-Applikation wurde in Java geschrieben und basiert auf dem Spring-Boot Framework. Diese wird in einem Docker-Container ausgeführt, welcher mit dem Google Cloud “Cloud-Run” Dienst betrieben wird. Durch die Verwendung von Docker-Containern ist die Applikation unabhängig vom Betriebssystem und sehr portabel. Dies bietet dem Auftraggeber auch die Möglichkeit, bei Bedarf mit wenig Aufwand auf einen anderen Hosting-Anbieter wechseln zu können. Mit dem “Cloud-Run” Dienst wird zusätzlich sichergestellt, dass die Applikation in einen Stand-By Modus wechselt, wenn über einen längeren Zeitraum keine Requests eintreffen. Dieser Zustand wird von der Google Cloud Plattform nicht verrechnet, somit sind die Kosten bei GCP für die Core-Applikation tiefer. Der Container der Core-Applikation hat Zugriff auf die Google Cloud SQL Datenbank, um Messungen von der Upload-Applikation zu speichern. Dafür, und um zu visualisierende Daten aus der Datenbank an die Benutzeroberfläche zu übertragen, bietet die Core-Anwendung eine GraphQL-Schnittstelle an. Diese wird im Abschnitt 9.6 genauer beschrieben.

9.4.1 Performance

Während der ersten Tests mit dem Auftraggeber wurde festgestellt, dass die Performance der Suchabfragen nicht zufriedenstellend war. Das Problem war, dass Suchabfragen für Zeiträume von mehr als einer Woche zu viele Datenpunkte aus der Datenbank abgerufen haben. Die Datenmenge hatte dabei Probleme und Abstürze in der Core-Applikation und im Browser der Benutzer verursacht. In den nachfolgenden Paragraphen ist der verfolgte Lösungsansatz zu diesem Problem beschrieben.

Grössenverhältnisse der Datenbankabfragen

Die Grössenverhältnisse der Abfragen über einen definierten Zeitraum werden in unterstehenden Tabelle aufgelistet, um das Ausmass der Datenmengen nachvollziehbar zu machen.

Zeitraum	Anzahl Datenpunkte	Grösse in MB
Eine Minute	1024	0.083
Eine Stunde	30'720	2.49
Ein Tag	737'280	59.76
Ein Woche	5'160'960	418.32
Ein Monat	22'118'400	1'792.8

Tabelle 9.2: Grössenverhältnisse der Suchabfragen

Unschärfe bei Abfragen mit grossem Zeitraum

Um dieser Problematik entgegenzuwirken, wurden Datensätze bei umfangreichen Abfragen zusammengefasst. Wichtig zu erwähnen ist, dass hierbei eine Unschärfe der Daten bewusst und in Absprache mit dem Auftraggeber implementiert wurde. Umso grösser der Zeitraum, desto kleiner ist das Level of Detail. Das Verhalten ist mit folgenden SQL-Statements sichergestellt:

```

SELECT
    dateTimeFormatted,
    AVG(avgSpectrumDark),
    nanometerInt
FROM (
    SELECT
        TO_CHAR(ss.dateTime, :dateFormat) AS dateTimeFormatted,
        AVG(sp.spectrumDark) AS avgSpectrumDark,
        ROUND(sp.nanometer) AS nanometerInt
    FROM
        SpectrumSnapshot ss
        JOIN ss.points sp
        LEFT JOIN ss.sensor s
    WHERE
        ss.dateTime BETWEEN :startDate AND :endDate
        AND s.serialNumber = :serialNumber
    GROUP BY
        TO_CHAR(ss.dateTime, :dateFormat),
        ROUND(sp.nanometer),
        ss.dateTime
) subquery
GROUP BY
    dateTimeFormatted,
    nanometerInt
ORDER BY
    dateTimeFormatted,
    nanometerInt;

```

Als Parameter wird nebst Start- und End-Zeitpunkt und der Seriennummer des Sensors auch ein Datumsformat mitgegeben. Dieses wird automatisch aufgrund des eingegebenen Zeitraumes ermittelt. Für Zeiträume von bis zu sechs Stunden werden alle Daten auf Minuten-Basis, Zeiträume von bis zu zwei Tagen auf Stunden-Basis, Zeiträume von bis zu zwei Monaten auf Tages Basis und alle grösseren Zeiträume auf Monats-Basis zusammengefasst. Dabei werden immer die Durchschnittswerte der Zeiträume pro Wellenlänge berechnet und zurückgegeben.

Weil die Wellenlängen Fließkommazahlen sind, welche zwischen mehreren Messungen abweichen können, werden diese auf ganze Zahlen gerundet, damit eine sinnvolle Gruppierung und Berechnung des Durchschnitts möglich wird.

Es ist also festzuhalten, dass für Abfragen über grösseren Zeiträume zwei unterschiedliche Unschärfen eingebaut wurden. Einerseits die Rundung der Wellenlänge auf ganze Zahlen und andererseits die Durchschnitts-Berechnung der Intensitäten über Zeitintervalle.

Optimierungen durch Indizes

Die Datenbankabfragen wurden durch passende Indizes zusätzlich optimiert, um die Abfragegeschwindigkeit zu steigern. Diese Indizes werden in der Tabelle 9.3 aufgelistet. Neben gängigen Indizes auf Attribute einer Tabelle wurde auch ein funktionsbasierter Index auf `round(nanometer)` verwendet.

Name	Tabelle	Attribute
idx_key_value_pair_spectrum_snapshot_id	key_value_pair	spectrum_snapshot_id
key_value_pair_pkey	key_value_pair	id
inx_serial_number	sensor	serial_number
sensor_pkey	sensor	id
idx_fb_spectrum_point_nanometer_rounded	spectrum_point	round(nanometer)
idx_spectrum_snapshot_id	spectrum_point	spectrum_snapshot_id
spectrum_point_pkey	spectrum_point	id
idx_sensor_id	spectrum_snapshot	sensor_id
idx_spectrum_snapshot_date_time	spectrum_snapshot	date_time
idx_spectrum_snapshot_date_time_sensor_id	spectrum_snapshot	date_time, sensor_id
idx_spectrum_snapshot_file_name	spectrum_snapshot	file_name
spectrum_snapshot_pkey	spectrum_snapshot	id

Tabelle 9.3: Datenbank Indizes für verbesserte Abfragegeschwindigkeit

Durch die Umsetzung dieser beiden Optimierungen konnte die Ladezeit erheblich reduziert werden.

9.5 Webapplikation

Die Webapplikation wurde in Angular 17 gebaut. Um diese zu betreiben wird sie zuerst zu HTML-, JS- und CSS-Dateien transpiliert. Diese Webseite wird mit dem HTTP-Server Nginx in einem Docker-Container betrieben. Der Container läuft in einer Google Cloud Run Instanz.

Die Webapplikation basiert aktuell auf nur zwei Routen. Die erste Route “/dashboard” zeigt das Dashboard, welches auch als Startseite dient und im Abschnitt 9.5.1 beschrieben wird. Die zweite Route “/fullscreen” dient für die Vollbildansicht und wird in Abschnitt 9.5.6 ausgeführt.

9.5.1 Dashboard

Das Dashboard ist die zentrale Übersicht in der Webapplikation. Eine Messstation kann in der Navigation über ein Dropdown Eingabefeld ausgewählt werden. Es ist nicht möglich, Messungen von unterschiedlichen Standorten gleichzeitig auf dem Dashboard darzustellen, da diese Funktion für die definierte Persona Ivan Zehnder kein Mehrwert bieten würde. Die Kernfunktion des Dashboards ist die Anzeige der durchgeführten Messungen in verschiedenen Visualisierungen. Das Dashboard ist dynamisch aufgebaut und erlaubt mit einem Bearbeitungsmodus dem Benutzer, sein Dashboard individuell zu konfigurieren.

Der Bearbeitungsmodus wird in Abschnitt 9.5.5 näher beschrieben. Ein Screenshot des Dashboards ist in Abbildung 9.4 ersichtlich.



Abbildung 9.4: Screenshot des Dashboards

Die Struktur des Dashboards ist Reihenweise definiert. Es können beliebig viele Reihen mit Visualisierungen hinzugefügt werden. In jeder Reihe können maximal drei Visualisierungen nebeneinander positioniert werden. Die Grösse der Visualisierungen ist nicht manuell anpassbar, da das Grössenverhalten so definiert ist, dass die Visualisierungen auf Bildschirme beliebiger Grösse ansprechend dargestellt werden. Um dem Benutzer trotzdem die Möglichkeit zu bieten, einzelne Messungen genauer zu betrachten, können diese im Vollbildmodus geöffnet werden. Der Vollbildmodus wird in Abschnitt 9.5.6 beschrieben.

Weil keine Benutzerverwaltung vorhanden ist, wird der Zustand des dynamischen Dashboards im Browser Cache zwischengespeichert. Er wird mit einem zweidimensionalen Array in dem ChartProviderService repräsentiert. Alle Modifikationen am Dashboard spiegeln sich in diesem Array wider und werden mit Observables an die Komponenten weitergeleitet. Der Zustand in den Komponenten ist damit nur sekundär, Anpassungen am Dashboard werden über den ChartProviderService durchgeführt. Das Datenmodell des Dashboards ist wie folgt definiert:

```
{ component: ChartReference, inputs: any }[][];
```

Dabei ist “ChartReference” ein Typ, welcher die Komponenten der Ansichten mittels Strings repräsentiert. Die Charts werden zur Speicherung des Zustands des Dashboards auf diese Weise in ein serialisierbares Format transformiert. Wenn das Dashboard aus dem Speicher geladen wird, werden die Referenzen wieder in die entsprechenden Komponenten transformiert. Die “inputs” sind die gespeicherten Zustände innerhalb der Ansichten. Diese werden automatisch als Input-Parameter in die Komponenten eingegeben, wenn die Komponenten dynamisch initialisiert werden.

Die unterschiedlichen Visualisierungen erhalten bei der Initialisierung des Dashboards eindeutige IDs in Form von UUIDs. Diese IDs ermöglichen es, einzelne Visualisierungen zu identifizieren. Sie werden auch verwendet, um Angular das Caching von einzelnen Visualisierungen zu ermöglichen. Dadurch

konnte die Performance der Webapplikation deutlich verbessert werden, da Angular die Komponenten nicht bei jeder Anpassung des Dashboards neu erstellen muss.

Um die Zustände auch nach dem Neuladen der Seite zu erhalten, werden die Zustände in den LocalStorage des Webbrowsers gespeichert. Wenn die Seite und damit das Dashboard neu geladen wird, werden die Zustände aus dem LocalStorage wiederhergestellt. Jede Anpassung an Ansichten oder am Dashboard wird automatisch gespeichert, damit können keine Änderungen verloren gehen.

Die Angular Komponenten-Hierarchie inklusive Abhängigkeiten zu dem zuvor erwähnten ChartProviderService ist in Abbildung 9.5 dargestellt. Es ist auch die Abhängigkeit auf den GraphDataService abgebildet, der Service wird in Abschnitt 9.5.4 genauer beschrieben.

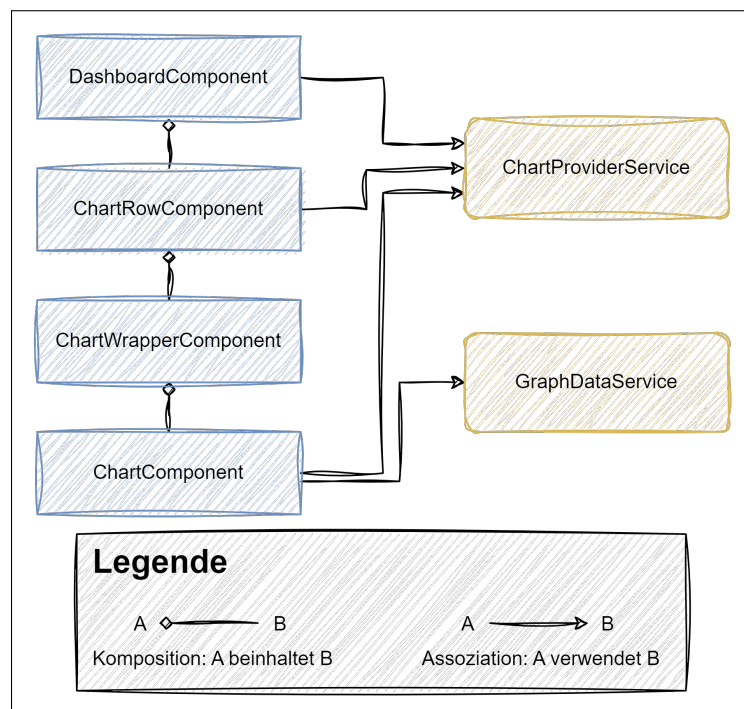


Abbildung 9.5: Hierarchie der im Dashboard verwendeten Webapplikation-Komponenten.

Die ChartComponent ist in dieser Visualisierung eine allgemeine Bezeichnung für spezifische Visualisierungen, wie beispielsweise die LineChartComponent oder die HeatMapComponent. In der zweidimensionalen Array-Struktur des ChartProviderService beschreibt die erste Dimension die Reihen, also die ChartRow-Komponenten. Die zweite Dimension beschreibt die Visualisierungen in den Reihen, also die spezifischen Chart-Komponenten. Diese sind jeweils in ChartWrapperComponent gekapselt, um das korrekte Grössenverhalten zu gewährleisten und standardisierte Funktionen wie das Öffnen im Vollbildmodus zentral zu definieren.

9.5.2 Responsive Design

Die Webapplikation und alle Visualisierungen wurden responsive umgesetzt. Damit können Messungen auch mit Smartphones oder Tablets untersucht werden. Die im Abschnitt 9.5.1 erwähnte reihenweise Anordnung von Visualisierungen wird ab der bestimmten Bildschirmbreite von 850px zu einer vertikalen Anordnung. Um die einzelnen Visualisierungen responsive zu machen, werden die Legenden und Achsenbeschriftungen bei kleinen Darstellungsgrössen ausgeblendet. Diese Elemente nahmen bei kleinen Darstellungen zu viel Platz der Ansicht ein. Es wurde sichergestellt, dass alle ausgeblendeten Informa-

tionen über Tooltips angezeigt werden. Die Screenshots in Abbildung 9.6 zeigen ein Beispiel dazu, wie sich das Dashboard und die Ansichten bei unterschiedlichen Bildschirmbreiten verhalten.

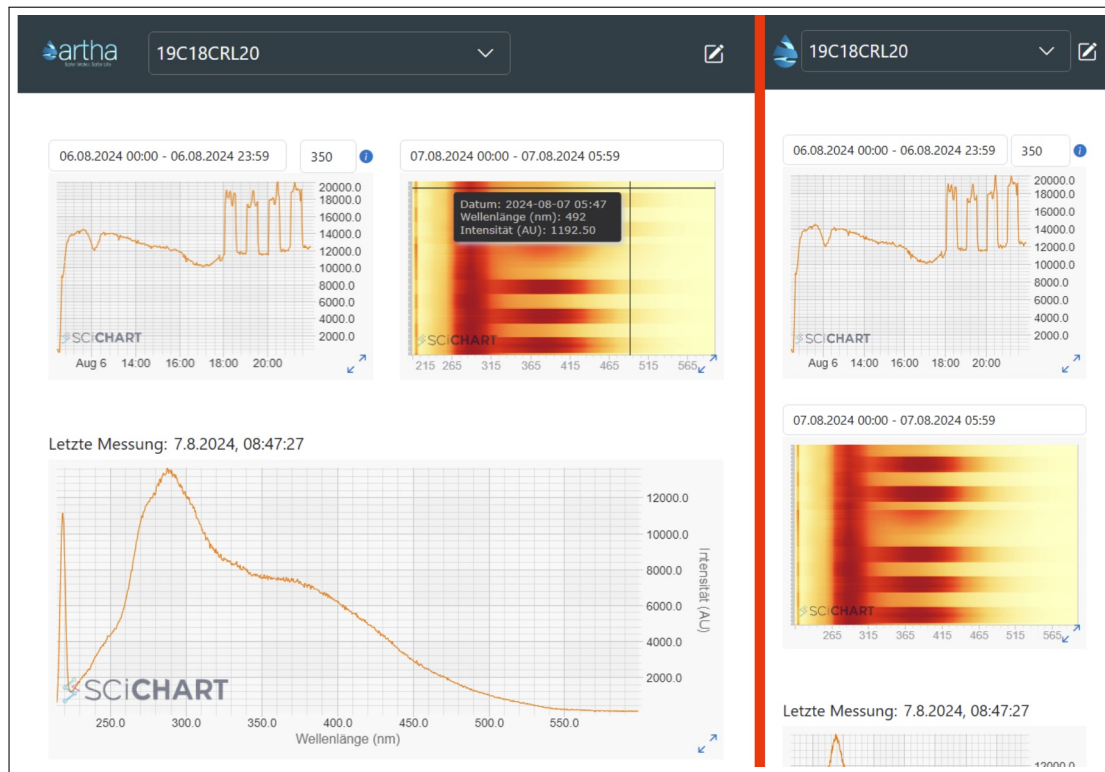


Abbildung 9.6: Zwei Screenshots des Dashboards mit unterschiedlichen Bildschirmbreiten.

9.5.3 Visualisierungskomponenten

Jede einzelne Visualisierung ist in einer eigenen Angular-Komponente implementiert. Die Komponenten laden die benötigten Daten selber direkt von den entsprechenden Services. Weil die Ansichten gemäss den Anforderungen hauptsächlich auf Diagrammen basieren, wurden verschiedene Bibliotheken zur Visualisierung dieser Diagramme verglichen. Dies mit dem Ziel, die geeignetste Bibliothek für die Umsetzung der Anforderungen zu finden. Die Bibliotheken AGCharts⁹, ChartJS¹⁰, JS-Charting¹¹, SciChart¹² und NgxCharts¹³ wurden von den Autoren für den Einsatz in der Webapplikation evaluiert. Die Performance kristallisierte sich, neben der Benutzerfreundlichkeit, dem Feature-Umfang, der Lizenz und dem Stil, als das Hauptkriterium für die Auswahl einer Bibliothek heraus. Die meisten Bibliotheken beanspruchten mit der Informationsmenge der Messungen zu viel Zeit um die Werte anzuzeigen. SciChart bietet die beste Performance mit einem umfangreichen Angebot an geeigneten Diagrammtypen. Die Bibliothek offeriert auch eine Vielzahl an Anpassungsmöglichkeiten, um die Diagramme an die Bedürfnisse des Auftraggebers anzupassen.

Die Autoren haben absichtlich auf die Verwendung mehrerer unterschiedlicher Bibliotheken verzichtet, um die Wartbarkeit der Webapplikation zu erhöhen. Die Verwendung von nur einer Bibliothek reduziert die Grösse des Applikationsbundles, die Abhängigkeiten und die damit verbundene Anzahl durchzuführenden Updates. Zudem erhöht dies auch die Wartbarkeit der Applikation, da die Entwickler nur eine Bibliothek zur Darstellung von Diagrammen beherrschen müssen. Es besteht auch ein Konfliktpotenzial beim Einsatz verschiedener Bibliotheken, dieses wird mit dem Einsatz von nur einer Bibliothek eliminiert.

Die Visualisierungskomponenten definieren ihre Filter- und Auswahlmöglichkeiten für Messungen selber. Der Zustand dieser Eingabefelder für Benutzer ist in den Komponenten gespeichert und wird aber jeweils auch an den ChartProviderService zur Speicherung im Browser Cache weitergeleitet.

In den folgenden Abschnitten sind die verschiedenen als eigene Komponenten implementierten Visualisierungen beschrieben.

Übergreifende Eigenschaften

Alle in den Ansichten verwendeten Diagramme unterstützen Tooltips. Diese Tooltips zeigen die genauen Werte der Messungen an, wenn der Benutzer mit der Maus über das Diagramm fährt oder per Touch-Eingabe darauf tippt. Ausserdem bieten auch all diese Diagramme die Zoom-Funktionalität an. Ein Bereich innerhalb des Diagramms kann mit einer Click-and-Drag-Geste ausgewählt werden, um diesen Bereich zu vergrössern. Die Zoom-Funktionalität bietet dem Benutzer die Möglichkeit, spezifische Teile der Messungen genauer zu untersuchen. Mit einem Doppelklick wird der Zoom zurückgesetzt.

Wie in Abschnitt 4.2.1 beschrieben, ist der Wert “Spectrum - Dark” von zentraler Bedeutung und widerspiegelt die gemessene Fluoreszenzintensität auf dem Wellenlängenspektrum. Dieser Wert wird auf der Webapplikation als “Intensität” bezeichnet.

⁹<https://charts.ag-grid.com>, Zugriff am 28.07.2024

¹⁰<https://www.chartjs.org>, Zugriff am 28.07.2024

¹¹<https://jscharting.com>, Zugriff am 28.07.2024

¹²<https://www.scichart.com/>, Zugriff am 28.07.2024

¹³<https://swimlane.gitbook.io/ngx-charts>, Zugriff am 28.07.2024

Line-Chart

Diese Visualisierung erlaubt es den Benutzern, Messungen in einem Liniendiagramm darzustellen. Die Messungen werden anhand des Messzeitpunktes ausgewählt, wobei mehrere Messungen selektiert werden können. Jede Messung wird als Linie in einem Koordinatensystem dargestellt. Die X-Achse repräsentiert die Wellenlänge in Nanometern, die Y-Achse zeigt die gemessene Intensität. Ein Screenshot dieser Visualisierung ist in Abbildung 9.7 ersichtlich.

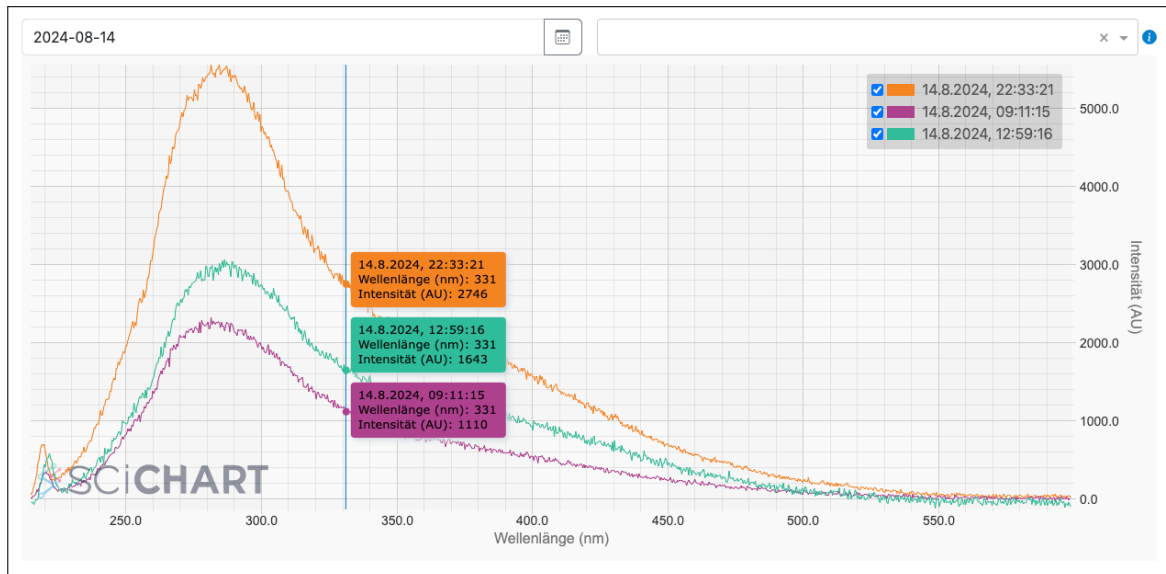


Abbildung 9.7: Screenshot der Line-Chart Komponente

Um die Messungen auszuwählen, können diese über eine Mehrfachauswahl nach Messzeitpunkt gefiltert und selektiert werden. Die Autoren haben versucht, alle Messungen gleichzeitig über die Mehrfachauswahl verfügbar zu machen, allerdings konnte der Browser dies aufgrund der grossen Anzahl an Messungen nicht bewerkstelligen. Aus diesem Grund existiert neben der Mehrfachauswahl eine Datumsauswahl, um Messungen in die Mehrfachauswahl zu laden. Nachdem ein Datum ausgewählt wurde, können die Messungen dieses Tages auch in der Mehrfachauswahl ausgewählt werden. Eine Legende bietet die Möglichkeit, einzelne Messungen ein- und auszublenden. Den Benutzern sind die Informationen der Legende auch in einem Tooltip angezeigt.

Um den Zusammenhang der Datums- und Messungsauswahl zu erläutern, wird dem Benutzer ein Info-Symbol neben den Eingabefeldern dargestellt. Bei Hover oder Toucheingabe des Symbols erscheint ein Tooltip, welches die Funktionsweise der Eingabefelder erklärt.

Letzte Messung

Als Ergänzung zum Line-Chart wurde auch die “Letzte Messung”-Ansicht implementiert. Diese zeigt die letzte Messung der ausgewählten Messstation in einem Liniendiagramm an, wodurch die Visualisierung keine Auswahlfelder benötigt. Das Diagramm zur repräsentation der Messung ist gleich aufgebaut wie beim Line-Chart. Es zeigt jedoch höchstens eine Messung an und benötigt aus diesem Grund keine Legende. Die Ansicht aktualisiert sich jede Minute und stellt sicher, dass die zuletzt hochgeladene Messung angezeigt wird. Über dem Diagramm wird der Messzeitpunkt der letzten Messung angezeigt, ein Screenshot findet sich in Abbildung 9.8.

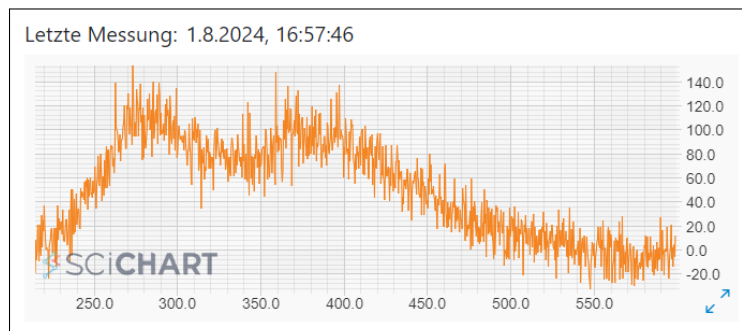


Abbildung 9.8: Screenshot der “Letzte Messung” Komponente

Heatmap

Diese Visualisierung ist in Abbildung 9.9 sichtbar und zeigt den Benutzern den Intensitätsverlauf über mehrere Messungen pro Wellenlänge an. Sie besteht aus einer Heatmap und einem Eingabefeld, mit dem der Benutzer einen Zeitabschnitt auswählen kann, um die Messungen in der Heatmap zu visualisieren.

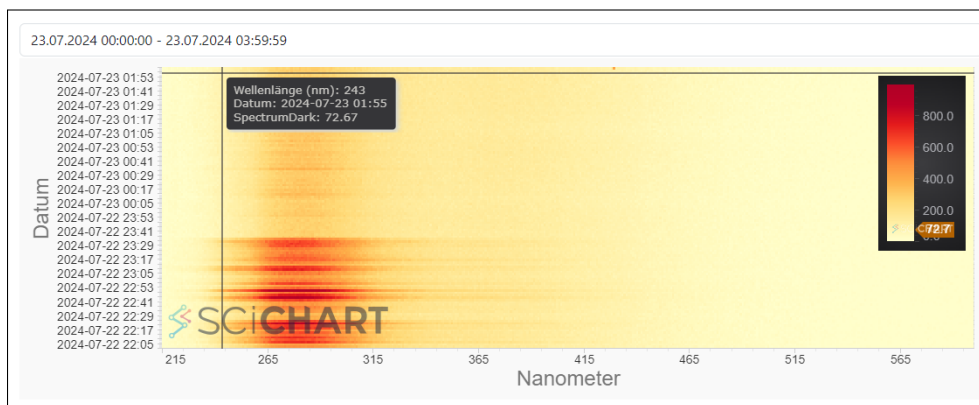


Abbildung 9.9: Screenshot der Heatmap Komponente

Die X-Achse der Heatmap repräsentiert die Wellenlänge in Nanometern, die Y-Achse den Messzeitpunkt. Die Intensität der Messungen wird durch die Einfärbung der Koordinate dargestellt. Farbverläufe zeigen Trends und Anomalien auf. Die Intensitätsskala ist linear und reicht von hellgelb für niedrige Intensitäten bis dunkelrot für hohe Intensitäten. Zu beachten ist, dass der Farbverlauf linear zu den jeweils vorhandenen Minimalwert und Maximalwert bestimmt ist. Wenn die Visualisierung nicht genügend Platz bietet, werden die Achsenbeschriftung der Y-Achse und die Legende ausgeblendet, um die Heatmap in den Fokus zu setzen. Die entsprechenden Informationen sind aber auch im Tooltip der Heatmap verfügbar.

Intensitätsverlauf

Obwohl dies in den Anforderungen nicht definiert war, wurde auch eine Ansicht implementiert, welche einen Intensitätsverlauf abbildet. In diesem Fall wird die Dimension der Wellenlänge auf einen einzelnen Wert reduziert, bei der Ansicht wurde also die Regel “Rule of Decomposition” berücksichtigt, um einen anderen Blickwinkel auf die Daten zu ermöglichen und Zusammenhänge aufzudecken. Diese Visualisierung zeigt den Benutzern in einem Liniendiagramm den Verlauf der Intensität einer Wellenlänge über die Zeit. Die X-Achse repräsentiert den Messzeitpunkt, die Y-Achse die Intensität, damit sind die im Diagramm dargestellten Dimensionen anders als die der Line-Chart Ansicht. Die Visualisierung bietet dem Benutzer die Möglichkeit, den untersuchten Zeitraum und eine bestimmte Wellenlänge auszuwählen. Diese Ansicht ist besonders für die Analyse von Trends, wiederholenden Mustern und Anomalien geeignet. Ein Screenshot dieser Visualisierung wird in Abbildung 9.10 gezeigt.

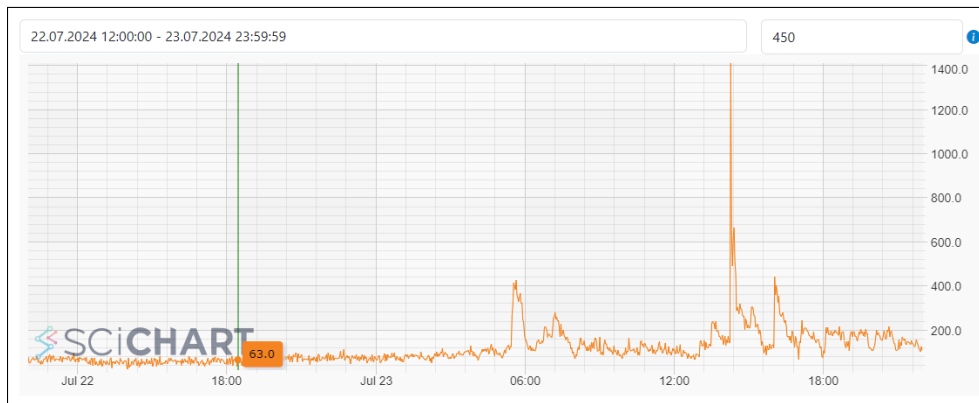


Abbildung 9.10: Screenshot der Intensitätsverlauf Komponente

9.5.4 Zugriff auf die Core-Applikation

Die Webapplikation greift über die GraphQL-Schnittstelle auf die Core-Applikation zu, um die Messungen zu erhalten. Dafür wird die Apollo-Client-Bibliothek¹⁴ verwendet. Diese Bibliothek erstellt GraphQL-Anfragen und hilft dabei, die Antwortdaten zu verarbeiten. Um einen einheitlichen Zugriff auf die Messdaten zu haben, werden die Abfragen in einen eigenen Service gekapselt. Der GraphDataService abstrahiert in der Webapplikation damit die Schnittstelle zu der Core-Anwendung. Mit Observables werden die Antwortdaten asynchron in die Komponenten geladen.

9.5.5 Bearbeitungsmodus

In der Navigation kann der Bearbeitungsmodus aktiviert und deaktiviert werden. Der Modus fügt Knöpfe zum Dashboard hinzu, um neue Visualisierungen hinzuzufügen. Ein Screenshot eines Dashboards im Bearbeitungsmodus ist in Abbildung 9.11 ersichtlich.

¹⁴<https://www.apollographql.com/>, Zugriff am 29.07.2024



Abbildung 9.11: Screenshot des Dashboards im Bearbeitungsmodus

Beim Klick auf einen Knopf um Visualisierungen hinzuzufügen, erscheint ein Popup mit der Auswahl eines hinzuzufügenden Typs, was in Abbildung 9.12 als Screenshot dargestellt ist. Dabei kann auch gleich die Positionierung der neuen Ansicht bestimmt werden. Ausserdem erscheinen bei den Visualisierungen rote Knöpfe, um die Visualisierung zu entfernen.



Abbildung 9.12: Screenshot des Popups zum Hinzufügen von Visualisierungen

9.5.6 Vollbildansicht

Jede Visualisierung kann per Knopfdruck im Vollbildmodus untersucht werden. Dabei wird die Unterseite “/fullscreen” aufgerufen. Abbildung 9.13 zeigt ein Screenshot einer im Vollbildmodus geöffneten Ansicht.

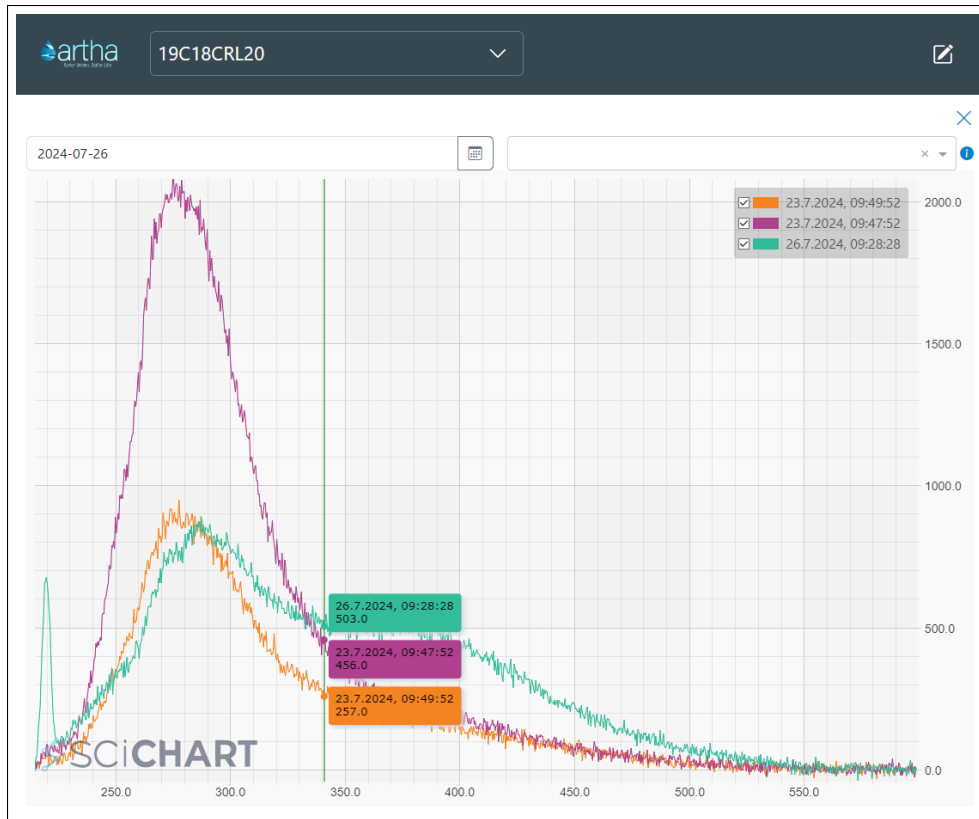


Abbildung 9.13: Screenshot des Vollbildmodus

Der Vollbildmodus bietet dem Benutzer die Möglichkeit, eine Visualisierung genauer zu betrachten und seine Aufmerksamkeit gänzlich dieser zu widmen. Der Vollbildmodus ist auch für die Präsentation bestimmter Messungen geeignet. Durch den Vollbildmodus ist es für den Benutzer nicht notwendig, alle Visualisierungen auf dem Dashboard in einem grossen Format abzubilden.

9.6 Schnittstellen

In diesem Abschnitt werden die verschiedenen Schnittstellen zwischen den Komponenten beschrieben.

GraphQL

Für die Webapplikation und die Upload-Applikation wird eine GraphQL Schnittstelle bereitgestellt. Diese ermöglicht es, unterschiedliche Datenabfragen mit dynamischen Endpunkten zu unterstützen. So können neue Visualisierung zusätzliche Informationen von Messungen in die Webapplikation laden, ohne dass Anpassungen an der Core-Applikation notwendig sind. Die Upload-Applikation nutzt dabei ausschliesslich die Mutation-Spezifikation, welche in Abbildung 9.14 detailliert dokumentiert ist. Das Frontend hingegen verwendet ausschliesslich Query-Spezifikationen, um Datenabfragen durchzuführen. Die entsprechende Query-Spezifikation ist in Abbildung 9.15 dargestellt, welche mit dem GraphQL Schema Visualizer¹⁵ erstellt wurden.

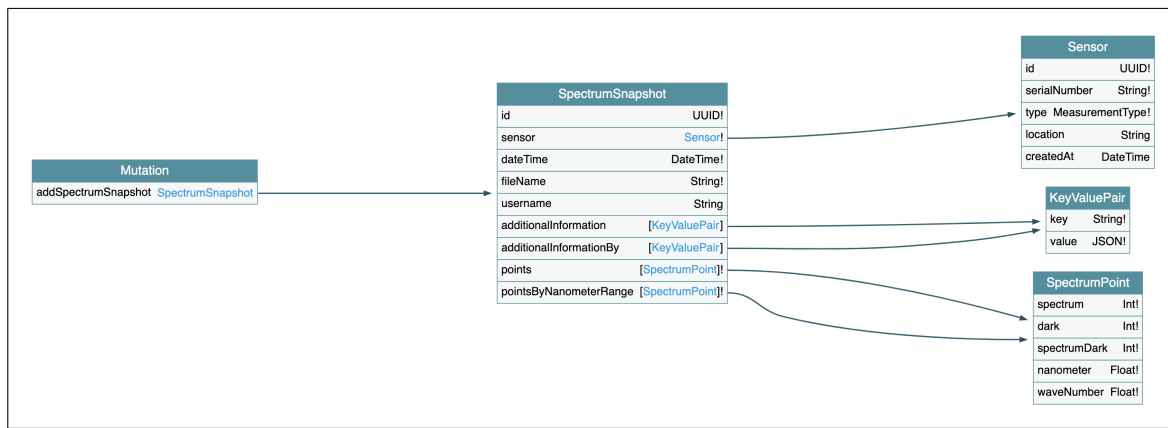


Abbildung 9.14: GraphQL Mutation Spezifikation

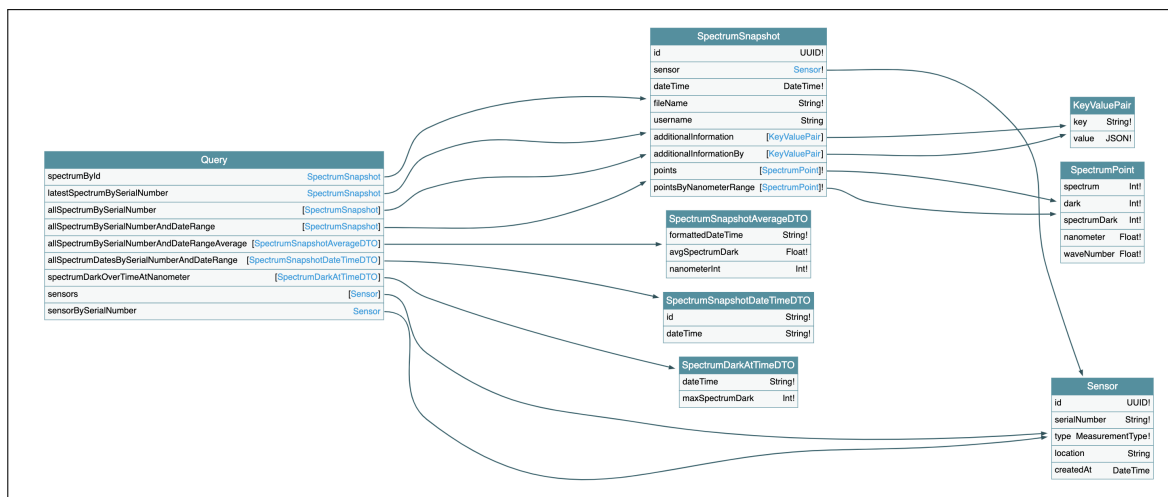


Abbildung 9.15: GraphQL Query Spezifikation

Bei den vordefinierten Query-Abfragen wird zwischen allgemeinen und spezifischen Abfragen unterschieden. Die spezifischen Abfragen wurden entwickelt, um Abfragen, welche eine grosse Anzahl an Messungen laden, zu optimieren. Dadurch werden sowohl der Browser des Endnutzers, die Core-Applikation als auch die Netzbandbreite weniger belastet. Die nachfolgende Tabelle 9.4 bietet eine detaillierte Beschreibung der verfügbaren Abfragen:

¹⁵GraphQL Schema Visualizer: <https://graphql-kit.com/graphql-voyager/>, Zugriff am 09.08.2024

GraphQL Query-Abfrage	Beschreibung	Typ
spectrumById	Ruft ein spezifisches Spektrum basierend auf einer eindeutigen UUID ab.	Allgemein
latestSpectrumBySerialNumber	Ruft die letzte Spektrum-Messung eines Sensors anhand der Seriennummer ab.	Allgemein
allSpectrumBySerialNumber	Ruft alle Spektrum-Messungen eines Sensors anhand der Seriennummer ab.	Allgemein
allSpectrumBySerialNumber AndDateRange	Ruft alle Spektrum-Messungen eines Sensors innerhalb eines definierten Zeitraums anhand der Seriennummer ab.	Allgemein
allSpectrumBySerialNumber AndDateRangeAverage	Ruft alle Spektrum-Messungen eines Sensors innerhalb eines definierten Zeitraums ab und berechnet den Durchschnitt pro Wellenlänge in einem definierten Zeitintervall, wie Minuten oder Tagen.	Spezifisch
allSpectrumDatesBySerialNumber AndDateRange	Ruft alle Zeitpunkte von Messungen innerhalb eines definierten Zeitraums und einer Seriennummer ab.	Spezifisch
spectrumDarkOverTimeAtNanometer	Ruft die korrigierten SpektrumDark-Werte von Spektrum-Messungen innerhalb eines definierten Zeitraums und einer spezifischen Wellenlänge ab.	Spezifisch

Tabelle 9.4: Beschreibung der vordefinierten GraphQL Query-Abfragen

JDBC

Zwischen Core-Applikation und Datenbank wird eine JDBC Schnittstelle verwendet. Die Implementation und Übersetzung von SQL Statements wird mit den Bibliotheken `spring-boot-starter-data-jpa` und `org.postgresql` sichergestellt. Als `ConnectionPool` wird HikariCP mit einer maximalen Pool-Size von 15 eingesetzt. Diese Einschränkung stellt sicher, dass die Anzahl Verbindungen auf die Datenbank beschränkt sind und nicht mehr Verbindungen aufgebaut werden, als die Datenbank anbietet. Diese Konfiguration muss unter Berücksichtigung der multiplen Instanzen der Core-Applikation gewählt werden.

9.7 Erweiterung der Datenstruktur

In diesem Kapitel wird beleuchtet, wie neue Sensoren und die damit verbundenen Messungen in das bestehende Datenmodell zu integrieren sind. In Abbildung 9.16 wird das bestehende Datenmodell für Spektrum-Messungen mit Aufzeichnungen zu Wetterdaten ergänzt. Dieses Konzept deckt die konzeptionelle Anforderung KA-1, beschrieben in Abschnitt 6.3.1, ab.

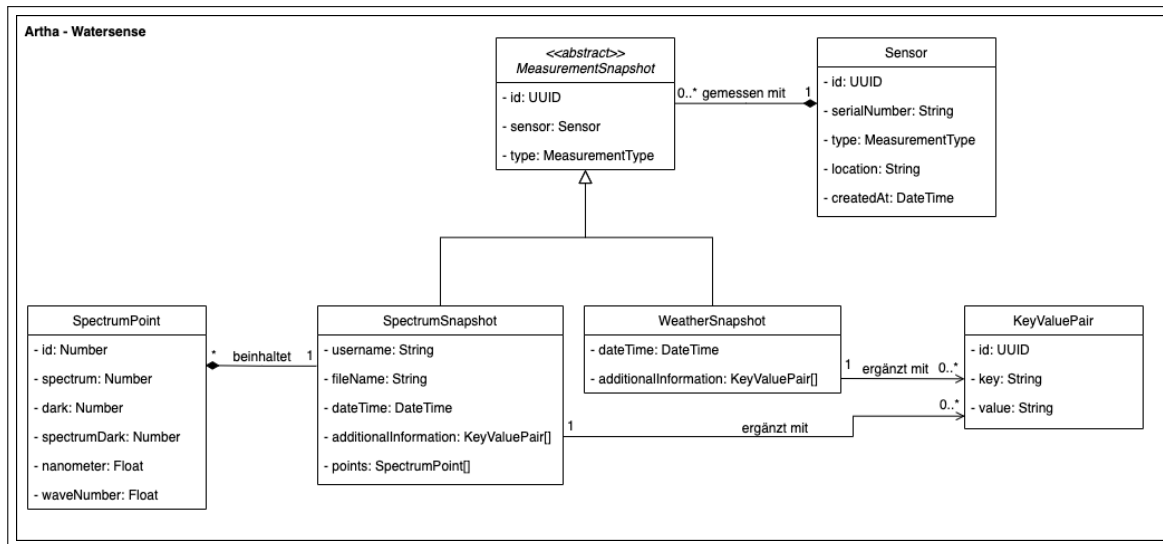


Abbildung 9.16: Erweiterbare Datenstruktur von Wassersense

Die neuen Wetterdaten erben von der übergeordneten Klasse “MeasurementSnapshot”, somit besteht stets eine Referenz zu einem typisierten Sensor. Eine Wettermessung besteht aus vielen Meta-Informationen wie zum Beispiel Temperatur, Luftdruck oder Luftfeuchtigkeit. Diese Werte können als “KeyValuePair” Liste abgebildet werden. Neue Messungstypen müssen jedoch nicht immer zusätzliche Meta-Informationen beinhalten, weswegen das Attribut “additionalInformation” nicht in der Basisklasse enthalten ist. Jede Messung muss einem Sensortyp zugeordnet werden können. Dazu muss die Enumeration MeasurementType um diesen neuen Sensortyp ergänzt werden.

9.8 Erweiterungskonzept – Implementierung weiterer Visualisierungen

Die Applikationen wurden so entworfen, dass mit wenig Aufwand neue Visualisierungen implementiert werden können. Damit wird eine einfache Erweiterbarkeit des Dashboards sichergestellt. In diesem Abschnitt ist beschrieben, welche Schritte notwendig sind, um eine neue Visualisierung hinzuzufügen.

9.8.1 Voraussetzungen

Um neue Ansichten hinzufügen zu können, muss ein Entwickler Schreibzugriff auf den Quellcode der Webapplikation und auf das Google Cloud Projekt haben. Er muss fähig sein, ein ausführbares Docker-Image zu erstellen und dieses Image auf der Google Cloud Run Instanz zu deployen. Falls die neue Visualisierung Daten aus der Datenbank benötigt, welche mit der aktuell angebotenen GraphQL-Schnittstelle nicht zufriedenstellend abgefragt werden können, muss der Entwickler auch in der Lage sein, die GraphQL-Schnittstelle der Core-Applikation zu erweitern. In diesem Fall muss er auch Schreibzugriff auf den Quellcode der Core-Applikation haben.

9.8.2 Anpassungen in der Webapplikation

Um eine neue Visualisierung hinzuzufügen, muss der Entwickler eine neue Angular-Komponente erstellen. Platziert wird diese in einem neuen Ordner unterhalb der folgenden, bereits existierenden Ordnerstruktur: “src/app/components/chart/chart-type/”.

TypeScript-Datei der Komponente

Alle Parameter der Angular-Komponente, welche zwischengespeichert werden sollen, werden in einem Interface in demselben Ordner definiert. Das Interface erbt vom Interface ChartInputs. Im folgenden Codebeispiel ist das entsprechende Interface der Visualisierung des Intensitätsverlaufs ersichtlich.

```
export interface SpectrumOverTimeInputs extends ChartInputs {
  startTime?: Date,
  endTime?: Date,
  nanometer?: number
}
```

Weiter müssen alle im Interface definierten Parameter in der Komponente als Input-Parameter definiert werden. Zusätzlich müssen für Sci-Charts auch folgende Parameter auf der Komponente definiert werden:

```
@Input() id!: string;
readonly htmlIdPrefix = 'myChart_';
```

Als Wert des Feldes “htmlIdPrefix” kann ein beliebiges Präfix zur Referenzierung des Sci-Chart-Elements im HTML-Dokument gewählt werden. Um Zustände der Ansicht zwischenspeichern, wird ein Objekt des neu erstellten Interfaces an den ChartProviderService übergeben. Es folgt ein Beispiel dazu, wobei “instanceOfMyInputsInterface” mit dem Objekt des Interfaces ersetzt werden muss:

```
this.chartProviderService
  .updateChartInputs(instanceOfMyInputsInterface);
```

Wenn die Komponente dynamisch auf dem Dashboard geladen wird, wird automatisch versucht, diese mit einem gespeicherten Zustand aus dem ChartProviderService zu initialisieren. Falls ein gespeicherter Zustand existiert, wird dieser über Inputs in die Angular Komponente übergeben.

HTML-Datei der Komponente

Die HTML-Datei kann grundsätzlich frei gestaltet werden. Falls ein SciChart verwendet wird, muss aber darauf geachtet werden, dass dessen HTML ID wie folgt zusammengesetzt wird, da das Benutzen des Objekts “id” zu einer invaliden HTML-ID führen kann:

```
id="{{htmlIdPrefix + id}}"
```

Zusätzliche Anpassungen

Um die neue Visualisierung abschliessend hinzuzufügen, erfordert es noch wenige weitere Anpassungen.

- Die neue Komponente muss in der Datei “src/app/components/chart/chart-type/ChartComponentType.ts” der Typendefinition ChartType hinzugefügt werden.
- In derselben Datei müssen die Mapping-Funktionen “referenceToComponent” und “chartToReference” sowie der Typ “ChartReference” um die neue Visualisierung erweitert werden.
- In der Datei “src/app/components/chart/chart-type/SelectableCharts.ts” muss das Array “selectableCharts” mit der neuen Visualisierung erweitert werden. Dieses Array wird verwendet, um die Visualisierungen im Bearbeitungsmodus hinzufügen zu können.

Alle durchzuführenden Anpassungen zur Erweiterung der Webapplikation um eine neue Ansicht sind in der Darstellung in Abbildung 9.17 zusammengefasst.

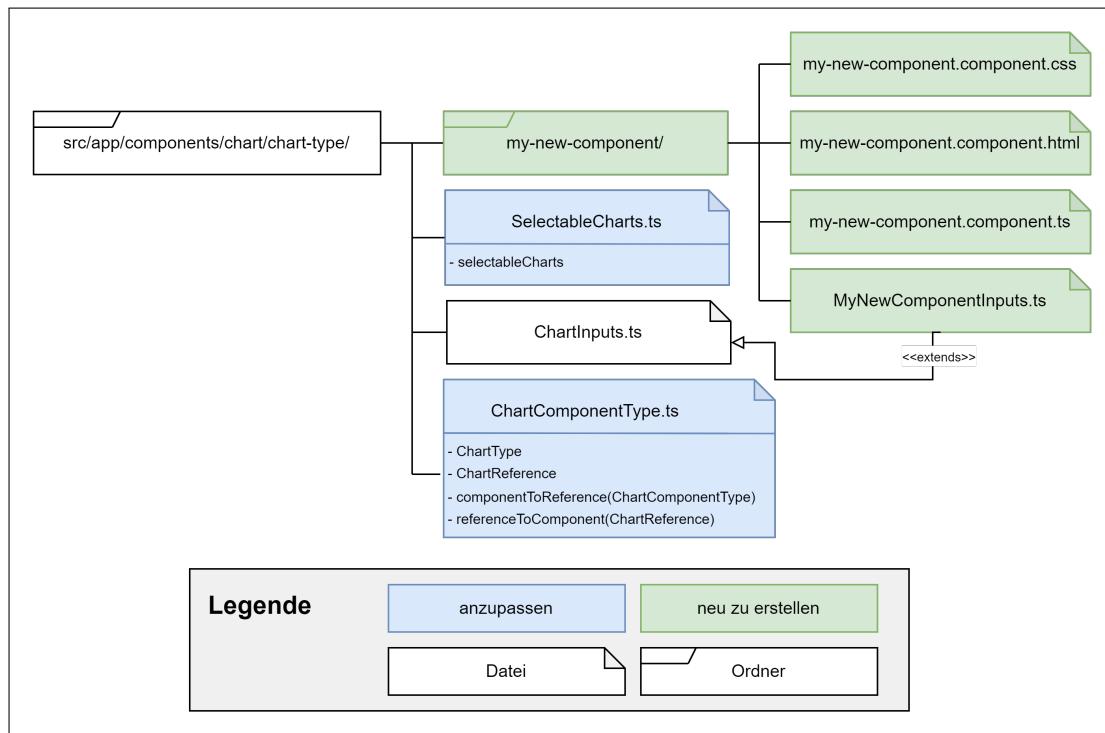


Abbildung 9.17: Übersicht der Anpassungen für das Hinzufügen einer neuen Visualisierung

9.9 Erweiterungskonzept – KI-Integration zur Interpretation von Messdaten

Wasserqualität und deren Analyse ist ein komplexes Feld, da viele verschiedene Variablen und Einflüsse die Qualität beeinträchtigen können. Aus diesem Grund sind menschliche Interpretationen oft schwierig und ungenau. Indem künstliche Intelligenz in das bestehende System eingeführt wird, bieten sich neue Möglichkeiten bei der automatisierten Analyse der Messdaten an. KI-Systeme sind in der Lage Muster, Trends und Anomalien in umfangreichen Daten mit komplexen Zusammenhängen zu finden. Mit der Implementierung eines solchen Systems sind potenziell sogar Vorhersagen über zukünftige Ereignisse oder Veränderungen der Wasserqualität auf Basis von aktuellen Messdaten möglich.

Im Rahmen dieser Arbeit beschränken sich die Autoren darauf, die technische Umsetzbarkeit der KI-Integration zu beschreiben. Die Auswahl der durchzuführenden Analysen und KI-Modelle und die Implementierung der Algorithmen sind nicht Teil dieses Projekts. Dieses Erweiterungskonzept dient dazu, aufzuzeigen, dass mit den gewählten Technologien und der Architektur des Systems eine Integration von KI-Systemen möglich ist. Dieses Konzept deckt die konzeptionelle Anforderung KA-2, beschrieben in Abschnitt 6.3.1, ab. Dafür wird eine beispielhafte Architektur mit den Diensten der Google Cloud Plattform beschrieben. Eine Übersicht dieser Architektur ist in Abbildung 9.18 dargestellt, sie wird in den Abschnitten 9.9.1-9.9.6 genauer erläutert.

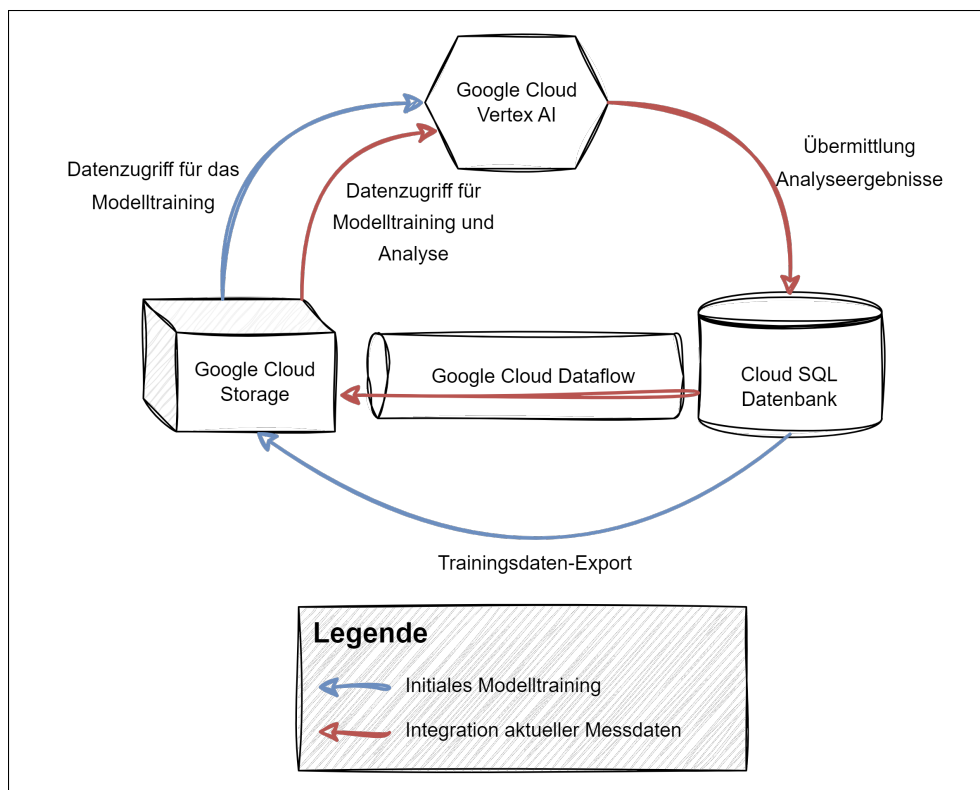


Abbildung 9.18: Übersicht der Architektur zur KI-Integration

Die beschriebene Architektur zeigt auf, dass mit der Wahl der Google Cloud Platform ein Hosting-Anbieter gewählt wurde, welcher eine nahtlose Erweiterung des Watersense Systems mit KI-Systemen ermöglicht.

9.9.1 KI-Dienst für die Interpretation von Messdaten

Google Cloud Platform bietet viele verschiedene Dienste für KI-Anwendungen an. Für dieses Konzept haben sich die Autoren für den Google Cloud Dienst Vertex AI¹⁶ entschieden. Dies, weil der Dienst für viele verschiedene Anwendungsfälle genutzt werden kann. Der Dienst unterstützt unter anderem TensorFlow, PyTorch, Llama und Scikit-learn Modelle und kann diese in grossem Massstab trainieren und ausführen. Mit der richtigen Modellwahl können unterschiedlichste Daten in verschiedensten Grössen genutzt werden.

9.9.2 Datenexport

Die Daten in der Google Cloud SQL Datenbank müssen der KI Plattform zugänglich gemacht werden. Es ist nicht üblich, einem KI-System für das Trainieren eines Modells direkten Datenbankzugriff auf ein produktives System zu geben, weswegen die Trainingsdaten exportiert werden sollten. Das Trainieren eines Modells mit direktem Datenbankzugriff würde die Datenbank zusätzlich belasten, dies könnte Folgen bei der Benutzerfreundlichkeit des Systems und der Webapplikation haben. Aus diesem Grund sieht dieses Konzept vor, die Daten für die initiale Erarbeitung eines Modells über die im Google Cloud SQL Dienst integrierte Export-Funktionalität zu exportieren. Dabei werden die Daten in ein CSV-Format umgewandelt und im Google Cloud Storage¹⁷ Dienst in einem sogenannten Storage Bucket gespeichert.

¹⁶<https://cloud.google.com/vertex-ai>, Zugriff am 03.08.2024

¹⁷<https://cloud.google.com/storage>, Zugriff am 03.08.2024

Beim Export werden die Daten mit einer SQL Query in ein für KI-Training geeignetes Format gefiltert und transformiert. Falls notwendig, können die Daten im Anschluss innerhalb des Storage Buckets weiter aufbereitet werden.

9.9.3 Modelltraining

Die exportierten Daten werden für den Trainingsprozess vom Vertex AI Dienst aus dem Google Cloud Storage geladen. Mit den Daten werden verschiedene KI-Modelle trainiert, optimiert und evaluiert. Die geeignetsten Modelle für die entsprechenden Anwendungsfälle werden gewählt und in der Vertex AI Model Registry gespeichert.

9.9.4 Integration aktueller Messdaten

Um die Modelle nach dem initialen Training mit weiteren Informationen aus der Google Cloud SQL Datenbank zu trainieren, Messungen zu klassifizieren oder Vorhersagen zu treffen, müssen aktuelle Daten aus der Datenbank an die KI-Modelle weitergeleitet werden. Dafür wird der Google Cloud Dataflow¹⁸ Dienst verwendet. Dieser liest regelmässig neue Messdaten aus der Datenbank aus und leitet diese in einen Bucket des Google Cloud Storage weiter. Dataflow wird auch zur Datentransformation und -filterung genutzt. Mit entsprechenden Vertex AI Pipelines werden die neuen Daten automatisiert an die bestehenden Modelle weitergeleitet. Diese neuen Daten trainieren die Modelle weiter und verbessern damit deren Genauigkeit.

9.9.5 Übermittlung der Analyseergebnisse

Mit einer Vertex AI Pipeline Komponente wird eine Verbindung von dem KI-Modell zu der Google Cloud SQL Datenbank erstellt. Damit werden Vorhersagen, Klassifizierungen oder andere Analyseergebnisse von den Vertex AI Pipelines direkt an die Google Cloud SQL Datenbank zurückgeschrieben. Die Webapplikation ruft die gewonnenen Erkenntnisse nach der Erweiterung der GraphQL-Schnittstelle via Core-Applikation aus der Datenbank ab und zeigt sie den Benutzern an. Um die Ergebnisse anzuzeigen, wird eine neue Ansicht gemäss 9.8 erstellt.

9.9.6 Erweiterbarkeit

Die beschriebene Lösungsarchitektur ist nicht auf Spektrum-Messdaten beschränkt und kann bei der Verfügbarkeit von weiteren Sensordaten oder anderer Informationen mit diesen erweitert werden.

¹⁸<https://cloud.google.com/dataflow>, Zugriff am 03.08.2024

10 Validierung

In diesem Kapitel wird untersucht, ob die Lösung die Projektanforderungen erfüllt und wie die Qualität des resultierenden Systems ist.

10.1 Erfüllung der Anforderungen

Dieser Abschnitt dient dazu, die in Kapitel 6.3 definierten Anforderungen mit den Ergebnissen zu vergleichen. Die Ergebnisse entsprechen dem im Kapitel 9 beschriebenen System. Die Autoren gaben zu jeder Anforderung jeweils eine Bewertung ab, wie gut diese erfüllt wurde. In einem Austausch mit dem Auftraggeber wurde auch seine Bewertung und Feedback zu den Anforderungen eingeholt.

Bei der Bewertung der Anforderungserfüllung wurde eine Skala von 1 bis 5 verwendet. Sie ist wie folgt definiert:

- 1: Die Anforderungen wurden in keinem Umfang erfüllt.
- 2: Die Anforderungen wurden nur teilweise erfüllt.
- 3: Die Anforderungen wurden knapp erfüllt.
- 4: Die Anforderungen wurden gut erfüllt.
- 5: Die Implementation übertrifft die Anforderungen.

Die ausführliche Bewertung der Umsetzung der User Stories durch die Autoren und den Auftraggeber findet sich in Anhang B.3. Die Tabelle 10.1 fasst die Ergebnisse zusammen.

User Story	Note (Autoren)	Note (Auftraggeber)
US-1: Automatisches Hochladen von Messungen	4	4
US-2: Heatmap	4	5
US-3: Liniendiagramm	5	4
US-4: Vergleich von Messungen	5	5
US-5: Individuelles Dashboard erstellen	5	5
US-6: Auswahl der Messstation	4	4
US-7: Detailinformationen als Tooltip	4	5
US-8: Zoomen bei Ansichten	4	4

Tabelle 10.1: Zusammenfassung der Noten der User Stories

Alle Akzeptanzkriterien und User Stories wurden vollständig erfüllt. Bei der Hälfte der User Stories wurden die Erwartungen gemäss Auftraggeber übertroffen. Die durch die Autoren bewertete Gesamtnote beträgt 4.375, die des Auftraggebers liegt bei 4.5 von insgesamt 5 Punkten. Damit kann festgehalten werden, dass der Umfang des Systems die funktionalen Anforderungen des Projekts Watersense erfüllt und dass Anforderungen in gewissen Bereichen sogar übertroffen wurden.

10.1.1 Erfüllung der konzeptionellen Anforderungen

Die im Kapitel 6.3.1 festgehaltenen konzeptionellen Anforderungen werden mit den Ergebnissen aus Kapitel 9 gegenübergestellt. Da diese Anforderungen auf konzeptioneller Basis beruhen und zur Interpretation technisches Know-How benötigen, haben nur die Autoren eine Bewertung zur Erfüllung dieser Anforderungen abgegeben. Dabei wurde dieselbe Skala aus Abschnitt 10.1 verwendet.

Anforderung	Note (Autoren)	Begründung
KA-1: Erweiterbarkeit mit neuen Sensoren	4	Neue Sensoren oder Messinformationen können schnell durch ein erweiterbares Datenmodell und eine flexible GraphQL-Schnittstelle hinzugefügt werden. Zudem wurde auch sichergestellt, dass neue Visualisierungen mit wenig Aufwand hinzugefügt werden können, dies zeigt Abschnitt 9.8. Das konzipierte Datenmodell der Datenbank ist erweiterbar, wie aus Abschnitt 9.3 hervorgeht und ein Erweiterungskonzept mit einer beispieldmässigen Erweiterung des Datenmodells mit Wettersensoren ist in Abschnitt 9.7 festgehalten. Das damit verbundene Akzeptanzkriterium wurde somit erfüllt.
KA-2: KI-Interpretationen	4	Bei der Literaturanalyse zur Verarbeitung von Wasserqualitätsmessungen in Abschnitt 9.1 wurde unter anderem auch festgehalten, wo in der Datenpipeline von Artha KI-Systeme eingesetzt werden können. Nach dem Entscheid für GCP als Cloud-Plattform wurde ein spezifisches Erweiterungskonzept ausgearbeitet und im Kapitel 9.9 festgehalten. Das beschriebene Akzeptanzkriterium dieser Anforderung wurde somit erfüllt.

Tabelle 10.2: Zusammenfassung der Noten der konzeptionellen Anforderungen

Alle Akzeptanzkriterien der konzeptionellen Anforderungen wurden erfüllt und die entsprechenden Konzepte sind im Bericht dokumentiert.

10.2 Usability Tests

In Abschnitt 5.2 wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, um eine möglichst effektive und angenehme Benutzeroberfläche zu entwerfen. Auf Grundlage dieser Recherche wurde das in Kapitel 6.4 beschriebene Konzept der Benutzeroberfläche erstellt. Aufbauend auf diesem Konzept wurde die endgültige Benutzeroberfläche entworfen. Die entstandene Benutzeroberfläche wird in diesem Abschnitt mittels Usability Tests auf ihre Benutzerfreundlichkeit untersucht.

Um aussagekräftige Resultate bei diesen Tests zu erhalten, sollten nur Testpersonen verwendet werden, welche die Applikation noch nicht kennengelernt haben. Weil die Autoren keine solchen Benutzer aus der primären Benutzergruppe zur Verfügung gehabt haben, wurden die Usability Tests mit Personen durchgeführt, welche keinen Bezug zu Wasserqualitätsmessungen haben.

Bei den Tests wurden den Testpersonen verschiedene Aufgaben gestellt, welche sie mit der Webapplikation lösen mussten. Da die Applikation auch auf mobilen Geräten genutzt werden sollte, wurde ungefähr die Hälfte der Tests auf portablen Geräten (Smartphones) durchgeführt. Die Personen wurden beobachtet, ihre Kommentare und Fragen wurden aufgeschrieben. Nach den Tests wurde ein System-Usability-Scale (SUS) Fragebogen mit den Testpersonen ausgefüllt, um einen SUS-Score für die Applikation zu berechnen. Das Drehbuch und die Protokolle der Usability-Tests befinden zusammen mit den Durchführungsprotokollen im Anhang B.4.

10.2.1 Usability Test Resultate

Nach den Usability Tests konnten alle Testpersonen das System erfolgreich und ohne Schwierigkeiten bedienen. Allerdings gab es verschiedene Testschritte, bei denen die Testpersonen ohne weitere Instruktionen Schwierigkeiten hatten. Folgende Probleme sind wiederholt aufgefallen:

- Die Zoom-Funktion war auf Mobilgeräten unintuitiv. Die Personen sind sich Zweifingergesten gewohnt, weswegen die implementierte Rubber Band Zoom-Funktion unintuitiv wirkte. Ausserdem wurde auch die mit einem Doppelklick ausführbare Zoom-Reset Funktion nicht immer gefunden.
- Auf Smartphones waren die Knöpfe, um Ansichten auf dem Dashboard neben anderen Ansichten hinzuzufügen, etwas verwirrend. Dies, weil es auf den kleinen Bildschirmen nicht möglich war, Ansichten auch effektiv nebeneinander anzeigen zu lassen. Nebeneinander platzierte Ansichten rutschten auf Smartphones untereinander.

Grundsätzlich waren alle Testpersonen am Ende der Tests äusserst zufrieden mit den Funktionen und der Bedienbarkeit der Webapplikation. Sie haben viel positives Feedback gegeben und können die Anwendung nach der Durchführung der Tests selbstbewusst bedienen.

10.2.2 SUS-Score

Die mit SUS erhaltenen Resultate sind in Tabelle 10.3 aufgeführt. Das Total bei SUS-Scores berechnet sich aus der Summe der Fragen multipliziert mit 2,5. Der Score liegt zwischen 0 und 100, Scores zwischen 70 und 85 werden als gut bezeichnet, solche über 85 als exzellent¹⁹.

¹⁹<https://www.interaction-design.org/literature/article/system-usability-scale>, Zugriff am 14.08.2024

Frage	Durchschnittlicher Score Mobilgerät (0-4)	Durchschnittlicher Score Computer (0-4)
1. Ich würde dieses System nutzen, um mir einen Überblick über Messungen zu verschaffen.	4	3.3
2. Ich fand dieses System unnötig komplex.	3.5	3.6
3. Ich fand die Benutzung des Systems einfach.	4	3
4. Ich bräuchte Unterstützung, um das System zu nutzen.	2.5	3
5. Ich fand die unterschiedlichen Funktionen gut integriert.	3.5	3
6. Ich fand, dass das System zu viele Inkonsistenzen hatte.	4	3.6
7. Ich denke, viele würden die Bedienung des Systems schnell lernen.	4	4
8. Ich fand die Bedienung des Systems mühselig.	4	4
9. Ich kann das System überzeugend bedienen.	3.5	3.6
10. Ich muss noch vieles lernen bevor ich dieses System benutzen kann.	4	3.6
Score Total (0-100)	92.5	86.75

Tabelle 10.3: Durchschnittlicher SUS-Score der einzelnen SUS-Fragen

SUS-Score Ingesamt (0-100): 89.625

An dem Feedback ist erkennbar, dass die Funktionalitäten schnell zu erlernen sind. Nach einer kurzen Eingewöhnungsphase ist klar, wie die Webseite zu bedienen ist. Herausfordernd ist das erstmalige zu-rechtfinden auf der Webseite und der Datum-Selektor der beim Line-Chart. Es wurde mehrmals erwähnt, dass Beschriftungen der Ansichten hilfreich wären, um den entsprechenden Kontext zu verstehen. Zudem wurde oft gewünscht, dass anstelle von der implementierten Zoom-Selektion ein Scrolling implementiert werden soll. Diese beiden Punkte führten zu Abzügen bei den Fragen 4 und 5. Der erreichte SUS-Score ist mit 89.625 trotzdem äusserst hoch. Mit diesem exzellenten Score kann festgehalten werden, dass die Webseite benutzerfreundlich ist und eine gute Benutzererfahrung bietet.

Der grösste Unterschied zwischen mobiler und Computer-Ansicht ist der Überblick der Ansichten. Wobei bei der Ansicht auf dem Computer mehrere Ansichten auf einen Blick zur Verfügung stehen, ist bei der mobilen Darstellung jeweils nur eine Ansicht verfügbar. Das weniger überladene Dashboard wirkt für die Benutzer einfacher und strukturierter. Frage 1 des SUS-Scores widerspiegelt diese Beobachtung.

10.3 Vergleich mit Konkurrenzprodukten

In Abschnitt 5.3 wurden verschiedene Konkurrenzprodukte analysiert und ihre Funktionen bei der Darstellung von Wassermessdaten verglichen. Die entwickelte Lösung für Watersense wird in diesem Abschnitt auf die gleiche Weise den anderen Produkten gegenübergestellt. Damit wird der Funktionsumfang von Watersense mit dem der anderen Anbietern verglichen.

Der Vergleich ist in Tabelle 10.4 abgebildet. Die folgende Auflistung beschreibt die Funktionen, welche beim Vergleich untersucht werden.

- (F-1) Einzelne Messwerte auslesen:** Einzelne Messungen können dargestellt werden.
- (F-2) Qualitätsverläufe darstellen:** Qualitätsverläufe können in Form von Messverläufen dargestellt werden.
- (F-3) Detailinformationen darstellen:** Details zu einzelnen Messungen wie Metainformationen oder genaue Messwerte können angezeigt werden.
- (F-4) Historische Daten anzeigen:** Auch vergangene Messungen können dargestellt werden.
- (F-5) Kritische Zustände hervorheben:** Kritische Zustände werden beispielsweise farblich hervorgehoben.
- (F-6) Trends hervorheben:** Trends können speziell hervorgehoben werden, beispielsweise mit Trendlinien.
- (F-7) Verschiedene Messungen vergleichen:** Einzelne Messungen von unterschiedlichen Zeitpunkten können verglichen werden.
- (F-8) Für Mobilgeräte optimiert:** Die Webseite ist auf Mobilgeräten ohne Einschränkungen der Kernfunktionalität nutzbar.
- (F-9) Mehrere Visualisierungsmöglichkeiten:** Kann der Benutzer Messwerte auf unterschiedliche Darstellungsweisen abbilden?
- (F-10) Kurzfristige Verfügbarkeit von Daten:** Sind Messdaten spätestens am nächsten Tag auf der Webseite verfügbar?

Produkt	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	F-6	F-7	F-8	F-9	F-10	Anzahl Funktionen
GEMStat Water Quality Dashboard	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	4
Elk Valley Water Quality Hub	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	6
Interactive Beach Water Quality Dashboard Massachusetts	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	7
ArcGIS Water Quality Status Dashboard	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	3
Water Quality Dashboard - Field Agencies von Tanvir Ahmed	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	5
Protecting Florida Together - Water Quality Status Dashboard	Nein	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Nein	Ja	Nein	Ja	4
National Integrated Water Information System South Africa	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	4
Flood Recovery Program for Water Quality Monitoring - East Cost Project	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	6
Watersense	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	8

Tabelle 10.4: Funktionsübersicht der Konkurrenzprodukte und von Watersense

Der Vergleich zeigt, dass Watersense nicht alle Funktionen, welche in Konkurrenzprodukten gefunden wurden, abdeckt. Es fehlen die Hervorhebung von kritischen Zuständen und die Hervorhebung von

Trends. Die Hervorhebung von kritischen Zuständen ist im Rahmen von Watersense schwierig zu implementieren, weil die automatische Interpretation der Daten aktuell nicht möglich ist. Weil das System und die damit durchgeführten Messungen im Rahmen von Artha neu sind, fehlt vertieftes Wissen, um aus Messungen den Einfluss bestimmter Stoffe herauszulesen und die Relevanz von Abnormalitäten einschätzen zu können. Diese aktuell fehlende Funktion erachten die Autoren als wichtig und wertvoll, weil dies einem Anwender mit nur wenig Fachwissen die Interpretation der Daten erleichtern würde. Wenn künstliche Intelligenz zukünftig zur Interpretation der Daten verwendet wird, könnten die Resultate der KI-Modelle als Grundlage für die Hervorhebung von kritischen Zuständen verwendet werden.

Die Hervorhebung von Trends ist ebenfalls eine Funktion, welche in Watersense nicht implementiert wurde. Die Autoren hatten diese Funktion ursprünglich geplant, allerdings wurde sie aufgrund der Priorisierung des Auftraggebers nicht umgesetzt. Die Funktionalität schätzen die Autoren besonders bei der Intensitätsverlauf Ansicht als sinnvoll ein, allerdings sind dem Auftraggeber Anomalien und Ausbrüche wichtiger als Langzeittrends. Mit einem kleinen Aufwand könnte diese in einem zukünftigen Release implementiert werden.

Abgesehen von diesen beiden Funktionen bietet Watersense deutlich mehr Features und Informationen als die Konkurrenzprodukte. Es hebt sich von vielen Konkurrenten ab, weil es zur Darstellung auf Mobilgeräten optimiert wurde. Ausserdem bietet Watersense alle historischen Daten an und neue Messungen sind innert kurzer Zeit verfügbar. Verschiedene Messungen können in einer Ansicht übereinander oder in mehreren Ansichten nebeneinander verglichen werden. Als "Multiple View System" bietet es mehrere Visualisierungsmöglichkeiten für dieselben Messungen an, wodurch der Benutzer die Daten auf unterschiedliche Weisen interpretieren kann. Dies sind alles Funktionen, welche bei den Konkurrenzprodukten oft nicht oder nur teilweise vorhanden sind.

Watersense positioniert sich im Markt der Wassermessdaten-Visualisierung als ein innovatives und funktionsmässig führendes Produkt, welches besonders bei der kurzfristigen Interpretation von Messungen dienen kann. Es bietet eine gute Übersicht zu Messdaten, doch setzt vom Benutzer Fachwissen voraus, um die Daten sinnvoll interpretieren zu können. In Zukunft kann Watersense mit der automatisierten Interpretation der Messdaten auch für ein breiteres Publikum sinnvoll nutzbar sein.

11 Schlussfolgerungen und weiterführende Arbeiten

Mit diesem Kapitel werden die Ergebnisse des Projekts zusammengefasst und in Relation zu den gesetzten Projektzielen gebracht. Die Fragestellungen werden abschliessend beantwortet, die Relevanz von Watersense wird nochmal hervorgehoben und die Limitationen des Projekts werden aufgezeigt. Zudem wird ein Ausblick auf mögliche zukünftige Arbeiten gegeben.

11.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Mit Watersense wurde eine Plattform entwickelt, welche es ermöglicht, Messungen von einem UV-Spektrometer-Messgerät innerhalb von 10 Minuten nach deren Aufzeichnung auf einer Webapplikation zur Verfügung zu stellen. Die Plattform bietet eine benutzerfreundliche und anpassbare Oberfläche, die es Anwendern ermöglicht, die Wasserqualität zu überwachen und auf Veränderungen zu reagieren. Das Hochladen der Messungen ist konfigurierbar und kann für unterschiedliche Messstationen und Messzyklen angepasst werden. Die Implementierung von Watersense hat sichergestellt, dass Wassermessdaten kurzfristig und ortsunabhängig analysiert werden können.

Gemäss Abschnitt 10.1 wurden alle vom Auftraggeber gewünschten Anforderungen umgesetzt. Die Umsetzung der Heatmap-Ansicht, der Möglichkeit des Messungsvergleichs in der Line-Chart Ansicht, des dynamischen Dashboards und der Detailinformationen in Tooltips hat die Erwartungen des Auftraggebers sogar übertroffen. Damit kann der gesamte Funktionsumfang als erfolgreich implementiert betrachtet werden.

Das neue System wurde nach einer umfänglichen Analyse für geeignete Hosting-Anbieter auf GCP eingeführt und für die produktive Last eingestellt.

Im Vergleich zu Konkurrenzprodukten schnitt der Funktionsumfang von Watersense bei der Datenvisualisierung, wie in Abschnitt 10.3 beschrieben, sehr gut ab. Es konnte gezeigt werden, dass Watersense verschiedene Merkmale besitzt, welche es von Konkurrenzprodukten abhebt. Besonders hervorzuhebende Features sind die optimierte Darstellung auf Mobilgeräten und die Möglichkeit, Messungen auf verschiedene Arten darzustellen, um mit verschiedenen Perspektiven mehr Möglichkeiten zur Interpretierung der Daten zu bieten. Watersense fehlt gegenüber einigen Konkurrenten aktuell die Möglichkeit, kritische Zustände und Trends hervorzuheben.

11.2 Zielerreichung

Artha verfolgt das übergeordnete Ziel, die Qualität des Wassers in Wasseraufbereitungsanlagen zu verbessern. Als Teilprojekt von Artha hat sich Watersense die sechs im Abschnitt 3.2 beschriebenen Ziele gesetzt, um Artha's übergeordnete Ziel zu unterstützen. Nachfolgend wird die Erfüllung dieser Projektziele bewertet.

Z-1: Messdaten zur Weiterverarbeitung bereitstellen

Mit einer konfigurierbaren Upload-Applikation können die lokal bei der Messstation verfügbaren Messdaten automatisiert auf einen spezifizierten Endpunkt hochgeladen werden. Die Upload-Applikation liest Stapelweise in einem anpassbaren Intervall neue Messdateien ein und verarbeitet diese. Es ist sichergestellt, dass auch in der Vergangenheit liegende Messdateien verarbeitet werden können. Somit ist dieses Projektziel als vollumfänglich erfüllt zu betrachten.

Z-2: Ortsunabhängiger Zugriff auf die Messdaten

Mit der zur Verfügung stehenden Webapplikation besteht ein zentraler Zugangspunkt für die Mitarbeiter einer Wasseraufbereitungsanlage. Die Webapplikation ist sowohl für mobile Endgeräte als auch für Zugriffe mittels Computer und Laptops geeignet, was durch diverse Usability-Tests in Abschnitt 10.2 bestätigt wurde. Mithilfen von diversen Visualisierungsmöglichkeiten ist es dem Anwender möglich,

verschiedene Messungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten oder Zeiträumen zu vergleichen und gezielte Interpretationen zu tätigen. Aufgrund dieser Punkte ist das Projektziel Z-2 erfüllt.

Z-3: Zeitnaher Zugriff auf die Messdaten

Mithilfe einer konfigurierbaren Upload-Applikation kann der Systemadministrator einer Messstation selber bestimmen, innerhalb welcher Zeitintervalle die Messdateien an den spezifizierten Endpunkt gesendet werden. Zudem kann spezifiziert werden, wie viele Dateien pro Verarbeitungsdurchlauf an den Endpunkt gesendet werden sollen. Mit diesen beiden Konfigurationsmöglichkeiten ist es dem Systemadministrator überlassen, wie schnell diese Messdateien an das Zielsystem übermittelt werden. Dies stellt eine geringfügige Abweichung vom ursprünglich festgelegten Ziel dar. Dennoch kann das Ziel als erreicht betrachtet werden, da die Konfiguration der Upload-Applikation an allen eingesetzten Messstationen so eingestellt wurde, dass es erfüllt wird.

Z-4: Messdaten Nutzungsorientiert visualisieren

Die Messdaten sind so aufbereitet, dass sie dem Anwender nützliche Informationen liefern und schnell interpretierbar sind. Trends und Anomalien können aufgezeigt werden, indem direkte Vergleiche von Messdaten möglich sind.

Mithilfe der Marktanalyse von Konkurrenzprodukten, beschrieben in Abschnitt 10.3, und Literaturrecherchen zum Aufbau von Visualisierung-Oberflächen, beschrieben in Abschnitt 5.2, konnten anwendungsorientierte und benutzerfreundliche Oberflächen implementiert werden. Die vier implementierten Visualisierungen lassen Messungsvergleiche zu und können auf einem flexiblen Dashboard individuell positioniert werden. Zudem unterstützen diese Visualisierungen die Anwender bei der Suche nach Anomalien in der Wasserqualität. Die Hervorhebung von Trends war nicht Bestandteil des schlussendlichen Anforderungsumfangs des Auftraggebers, doch wurde in der Literaturrecherche als wichtig beleuchtet, wodurch dieses Ziel als teilweise Erfüllt zu betrachten ist.

Z-5: System skalierbar entwerfen

Wachsende Datenmengen können vom System effizient verarbeitet werden, was durch die flexible Schnittstelle der Core-Applikation zu den Umsystemen und der Performance-optimierten Datenbank sichergestellt wird. Mithilfe der Google Cloud Plattform werden die Applikationen Last-basierend skaliert. Wenn keine auf dem System besteht, werden die Applikationen in Stand-By Modus versetzt, um die Kosten gering zu halten. Ein eingesetzter Cache beim Endnutzer der Webapplikation minimiert zusätzlich die Last auf die Datenbank und die Core-Applikation. Das Ziel wird mit diesen Implementationen somit abgedeckt.

Z-6: System erweiterbar entwerfen

Die Architektur des Systems Watersense ist erweiterbar entworfen, wodurch neue Sensortypen mit geringem Entwicklungsaufwand in das bestehende System integriert werden können. Das Datenmodell ist mithilfe von Vererbungen und Schnittstellen einfach erweiterbar. Auch die GraphQL-API lässt sich auf neue Anforderungen seitens Auftraggeber einfach adaptieren. Für neue Visualisierungen in der Webapplikation wurde eine detaillierte Anleitung in Abschnitt 9.8 formuliert, um diese schnell und mit minimalem Aufwand zu integrieren. Auch ein Konzept zur Integration von KI-Werkzeugen wurde ausführlich und basieren auf der gewählten Systemlandschaft beschrieben im Abschnitt 9.9, womit dieses Ziel erfüllt ist.

11.3 Beantwortung der Fragestellungen

Die erste Fragestellung, wie sie mit der zweiten Fragestellung in Abschnitt 3.3 beschrieben ist, untersucht, wie verschiedene Plattformen zur Bereitstellung von den für Watersense notwendigen Systemen, verglichen werden können und basierend auf welchen Kriterien dieser Entscheid gefällt werden soll. Aufgrund der dafür durchgeführten Literaturrecherche, welche in Abschnitt 8.0.1 beschrieben ist, entschieden sich die Autoren, das Vorgehen "Multi-Attribute Utility Theory" (MAUT) zu verwenden. Mit

einer weiteren Literaturrecherche in Abschnitt 8.2 konnte zusammen mit dem Auftraggeber ein definitiver Kriterienkatalog zusammengestellt werden. Die Empfehlung der Autoren für eine Plattform fiel auf den Anbieter Google Cloud Platform (GCP) und dessen Diensten. Rückblickend kann, basierend auf der Tatsache, dass alle geforderten Anforderungen erfüllt wurden, das Vorgehen MAUT als sinnvoll und die Entscheidung als erfolgreich betrachtet werden. Der Auftraggeber ist mit der Entscheidung zufrieden und es sind noch keine Nachteile oder Probleme seit der Einführung Ende Juni 2024 aufgetreten. Zudem wurde mit der Wahl von GCP sichergestellt, dass eine KI-Integration möglich ist, indem ein entsprechendes Konzept zur Integration entwickelt und beschrieben wurde.

Die zweite Fragestellung beschäftigt sich damit, wie Wasseranalysedaten möglichst benutzerfreundlich dargestellt werden können. Dafür führten die Autoren die in Abschnitt 5.2 beschriebene Literaturrecherche durch, um wichtige Bestandteile von Visualisierungs-Oberflächen zu definieren. Im Abschnitt 10.2 sind die durchgeführten Usability-Tests beschrieben. Die positiven Resultate zeigen, dass die Benutzerfreundlichkeit und die Übersichtlichkeit der Anwendung sehr gut sind. Diese Ergebnisse stützen die in Abschnitt 6.4 recherchierten und in der Benutzeroberfläche berücksichtigten Grundlagen und Weisungen zur Darstellung von Sensor- und Wasserqualitätsmessdaten. Die Testpersonen beschrieben die Applikation als intuitiv und flexibel. Die Tests wiesen trotzdem verschiedene einzelne Schwachstellen der Benutzerschnittstelle auf und zeigten auch, dass eine initiale und kurze Einführung bei einzelnen Testpersonen gewünscht wäre. Leider konnten keine Usability-Tests mit Personen aus dem Primärbenutzerkreis durchgeführt werden, weswegen die erhaltenen Resultate mit Vorsicht zu genießen sind. Solche Anwender würden sich bereits mit ähnlichen Systemen zur Darstellung von Messdaten auskennen und die Applikation, ihre Funktionen und ihre Lernkurve möglicherweise anders wahrnehmen.

Kommentar des Auftraggebers zum resultierenden System

Nach der Abnahme des Systems hat der Auftraggeber kommentiert, dass die resultierende Lösung seine Erwartungen bei Weitem übertroffen habe. Besonders die Benutzerfreundlichkeit zur Interpretation der Messdaten ist besser als erwartet. Die bisher eingesetzte Spectrum Analyzer Applikation ist bei den Interaktionen mit Messungen, der Bedienbarkeit der Benutzeroberfläche und den verschiedenen Darstellungsformen der Messungen deutlich unterlegen.

Die Firma Artha profitiert stark von dem Projekt, sie kann mit dem neuen System Versprechen und Erwartungen von ihren Kunden erfüllen. Somit können die Anwender von Watersense kurze Zeit nach erfolgter Messung mit einer zentralen Webapplikation auf ihre Wassermessdaten zugreifen. Konkurrenzprodukte werden besonders bei der Benutzerfreundlichkeit und der Übersichtlichkeit der Daten überboten.

11.4 Relevanz der Arbeit

Die Resultate dieser Arbeit haben in verschiedenen Bereichen Bedeutung. Es wurde bestätigt, dass MAUT als Vorgehen zur Auswahl einer Hosting-Plattform zur Bereitstellung von Systemen für Wasseranalysedaten geeignet ist. Mittels Watersense wurde eine Lösung erarbeitet, worauf weiterführende Projekte aufbauen können. Dies wird mit einem erweiterbaren Datenmodell, flexiblen Schnittstellen und einfach erweiterbaren Ansichten in der Webapplikation sichergestellt. Zudem bietet GCP viele weitere Dienste im Bereich KI an, welche sich einfach in das bestehende System Watersense integrieren lassen.

Die in der Literaturrecherche für Fragestellung 2 identifizierten Elemente einer benutzerfreundlichen und informativen Benutzeroberfläche für die Visualisierung von Wasserqualitäts- und Sensormessdaten wurden mit den Usability-Tests positiv bewertet und werden für andere Projekte weiterempfohlen.

Mit Artha können Wasserqualitätsmessungen, verglichen mit in der Branche üblichen Prozessen, innert kürzester Zeit untersucht werden. Watersense ermöglicht es, diese Messungen ortsunabhängig und flexibel zu untersuchen. Damit ist die Grundlage gelegt, um die Bevölkerung mit der Überwachung von Trinkwasser vor gesundheitlichen Schäden zu schützen und die Prozesse zur Aufbereitung von verunreinigtem Wasser effektiv zu optimieren. Die neu gebotenen Möglichkeiten sind ein wichtiger Schritt in Richtung einer modernen, datengetriebenen und weitaus effektiveren Überwachung der Wasserqualität.

11.5 **Ausblick und zukünftige Arbeiten**

Die Arbeit hat einige Limitationen, die berücksichtigt werden müssen und teilweise zukünftige Arbeiten erfordern. In diesem Abschnitt werden solche Limitationen und mögliche Erweiterungen diskutiert.

1. Die Usability-Tests wurden nur mit Personen durchgeführt, die nicht als Primärbenutzer gelten. Um genauere Ergebnisse zur Benutzerfreundlichkeit der Applikation gewinnen zu können, sollten in Zukunft Tests mit Personen durchgeführt werden, welche als potenzielle Benutzer der Applikation gelten.
2. Die Usability-Tests haben auch gezeigt, dass eine initiale Einführung in die Applikation bei einzelnen Testpersonen gewünscht wäre. Die Applikation könnte in Zukunft um eine Einführungsfunktion beim erstmaligen Besuch der Webseite erweitert werden.
3. Die Testpersonen hatten Schwierigkeiten, die Zoom-Funktion zu bedienen, weil sie eine Zweifingergeste erwartet hätten. SciChart bietet eine Zoom-Funktion mit Zweifingergesten an, welche in Zukunft in Watersense integriert werden könnte.
4. Werden zu grossen Datenmengen mit der Heatmap- oder der Intensitätsverlauf-Ansicht geladen, kann dies den Prozessor und den Arbeitsspeicher der Datenbank stark belasten. Durch Optimierungen bei der Abspeicherung von Messungen könnte dieses Verhalten korrigiert werden.
5. Mit der Integration von KI-Systemen zur Interpretation der Messungen gemäss dem im Abschnitt 9.9 beschriebenen Konzepts, kann die Webapplikation um die Funktion erweitert werden, kritische Zustände in den Messungen zu erkennen und in den Visualisierungen hervorzuheben.
6. Die Erweiterung der Visualisierungen um die Hervorhebung von Trends wäre mit kleinem Aufwand möglich. Damit würde Watersense eine weitere Funktion anbieten, die bei Konkurrenzprodukten beobachtet wurde.
7. Mit der Integration einer Benutzerverwaltung und der Authentisierung der Benutzer vor dem Zugriff auf die Messungen, kann zukünftig sichergestellt werden, dass nur berechtigte Personen auf die zum Teils sensiblen Daten zugreifen können.
8. Mit der Integration weiteren Informationen, wie beispielsweise einem Sensor zur Messung des Wetters, kann das System um weitere Funktionen erweitert werden, welche die Analyse der Messdaten verbessern. In Abschnitt 9.7 ist beschrieben, wie weitere Sensordaten in das System integriert werden können.

Nebst den möglichen Erweiterungen und Anpassungen an Watersense ist es nun die Aufgabe von Artha, das resultierende System mit den letzten zwei Schritten des WWTP Datenverarbeitung-Prozesses, wie er in Abschnitt 5.1.2 beschrieben ist, zu erweitern. Artha muss das Produkt in die Prozesse der Kunden integrieren, damit das Verständnis über Ursache und Wirkung von Einflüssen bei der Wasserqualität verbessert werden kann und optimierte Massnahmen getroffen werden können.

11.6 **Abschlussbemerkung**

Die Autoren freuen sich über die Zufriedenheit des Auftraggebers und sind stolz auf das Resultat. Watersense hat die Einschränkung der lokalen Datenverfügbarkeit der Messstationen von Artha erfolgreich gemeistert. Mit der modernen Lösung ist die Grundlage für innovative und verbesserte Prozesse bei der Überwachung von Wasserqualität sichergestellt.

Quellenverzeichnis

- [1] A. N. Matheri, B. Mohamed, F. Ntuli, E. Nabadda und J. C. Ngila, „Sustainable circularity and intelligent data-driven operations and control of the wastewater treatment plant“, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, Jg. 126, S. 103–152, 2022, ISSN: 1474-7065. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103152>. Adresse: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474706522000468>.
- [2] J.-D. Therrien, N. Nicolăi und P. A. Vanrolleghem, „A critical review of the data pipeline: how wastewater system operation flows from data to intelligence“, *Water Science and Technology*, Jg. 82, Nr. 12, S. 2613–2634, Aug. 2020, ISSN: 0273-1223. DOI: 10.2166/wst.2020.393. eprint: <https://iwaponline.com/wst/article-pdf/82/12/2613/1102557/wst082122613.pdf>. Adresse: <https://doi.org/10.2166/wst.2020.393>.
- [3] C. Richter, „Visualizing sensor data“, 2009.
- [4] B. Shneiderman, „The eyes have it: a task by data type taxonomy for information visualizations“, S. 336–343, 1996. DOI: 10.1109/VL.1996.545307.
- [5] M. Q. Wang Baldonado, A. Woodruff und A. Kuchinsky, „Guidelines for using multiple views in information visualization“, *AVI '00*, S. 110–119, 2000. DOI: 10.1145/345513.345271. Adresse: <https://doi.org/10.1145/345513.345271>.
- [6] J. Boyer, P. Sterling und R. Jones, „Maximizing Information from a Water Quality Monitoring Network through Visualization Techniques“, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Jg. 50, Nr. 1, S. 39–48, 2000, *Visualization in Marine Science*, ISSN: 0272-7714. DOI: <https://doi.org/10.1006/ecss.1999.0530>. Adresse: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771499905309>.
- [7] C. Z. Radulescu, M. Radulescu und F. G. Filip, „Cloud provider selection a complex multicriteria problem“, *Romanian Journal of Information Science and Technology*, Jg. 24, S. 337–352, 2021.
- [8] C.-K. Tsung, J.-C. Liu, S.-H. Liu, V. K. Verma und C.-T. Yang, „Performance Analysis in HyperFlex and vSAN Hyper Convergence Platforms for Online Course Consideration“, *IEEE Access*, Jg. 10, S. 124464–124474, 2022. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3224435.
- [9] A. Ramamurthy, S. Saurabh, M. Gharote und S. Lodha, „Selection of cloud service providers for hosting web applications in a multi-cloud environment“, S. 202–209, 2020.
- [10] J. Siegel und J. Perdue, „Cloud Services Measures for Global Use: The Service Measurement Index (SMI)“, S. 411–415, 2012. DOI: 10.1109/SRII.2012.51.
- [11] L. B. de Moraes, A. Fiorese und F. Matos, „A multi-criteria scoring method based on performance indicators for cloud computing provider selection“, in *International Conference on Enterprise Information Systems*, SCITEPRESS, Bd. 2, 2017, S. 588–599.
- [12] B. Do Chung und K.-K. Seo, „A cloud service selection model based on analytic network process“, *Indian Journal of Science and Technology*, Jg. 8, Nr. 18, S. 1–5, 2015.
- [13] T. L. Saaty, „Fundamentals of the analytic network process“, Jg. 12, Nr. 14, 1999.
- [14] J. Papathanasiou, N. Ploskas, J. Papathanasiou und N. Ploskas, *Topsis*. Springer, 2018.
- [15] A. Basu und S. Ghosh, „Implementing fuzzy TOPSIS in cloud type and service provider selection“, *Advances in Fuzzy Systems*, Jg. 2018, Nr. 1, S. 2503–895, 2018.
- [16] T. Thasni, C. Kalaiarasan und K. Venkatesh, „Cloud service provider selection using fuzzy TOPSIS“, in *2020 IEEE international conference for innovation in technology (INOCON)*, IEEE, 2020, S. 1–5.
- [17] S. C. Onar, B. Oztaysi und C. Kahraman, „Multicriteria Evaluation of Cloud Service Providers Using Pythagorean Fuzzy TOPSIS.“, *Journal of Multiple-Valued Logic & Soft Computing*, Jg. 30, 2018.
- [18] C. Z. Rădulescu und I. C. Rădulescu, „An extended TOPSIS approach for ranking cloud service providers“, *Studies in Informatics and Control*, Jg. 26, Nr. 2, S. 183–192, 2017.

- [19] A. E. Youssef, „An integrated MCDM approach for cloud service selection based on TOPSIS and BWM“, *IEEE Access*, Jg. 8, S. 71 851–71 865, 2020.
- [20] A. Jaiswal und R. Mishra, „Cloud service selection using TOPSIS and fuzzy TOPSIS with AHP and ANP“, in *Proceedings of the 2017 international conference on machine learning and soft computing*, 2017, S. 136–142.
- [21] R. K. Tiwari und R. Kumar, „A robust and efficient MCDM-based framework for cloud service selection using modified TOPSIS“, *International Journal of Cloud Applications and Computing (IJCAC)*, Jg. 11, Nr. 1, S. 21–51, 2021.
- [22] S. J. Jansen, „The multi-attribute utility method“, in *The measurement and analysis of housing preference and choice*, Springer Netherlands Dordrecht, 2011, S. 101–125.
- [23] M. Eisa, M. Younas und K. Basu, „Analysis and representation of QoS attributes in cloud service selection“, in *2018 IEEE 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA)*, IEEE, 2018, S. 960–967.
- [24] M. Saraswat und R. Tripathi, „Cloud computing: Comparison and analysis of cloud service providers-AWs, Microsoft and Google“, S. 281–285, 2020.
- [25] S. Jamal und H. Wimmer, „Performance analysis of machine learning algorithm on cloud platforms: AWS vs Azure vs GCP“, S. 55–58, 2022.


Ehrlichkeitserklärung

Wir erklären hiermit, dass wir den vorliegenden Leistungsnachweis selber und selbständig verfasst haben,

- dass wir sämtliche nicht von uns selber stammenden Textstellen und anderen Quellen wie Bilder etc. gemäss gängigen wissenschaftlichen Zitierregeln²⁰ korrekt zitiert und die verwendeten Quellen klar sichtbar ausgewiesen haben;
- dass wir in einer Fussnote oder einem Hilfsmittelverzeichnis alle verwendeten Hilfsmittel (KI-Assistenzsysteme wie Chatbots²¹, Übersetzungs-²² Paraphrasier-²³ oder Programmierapplikationen²⁴) deklariert und ihre Verwendung bei den entsprechenden Textstellen angegeben haben;
- dass wir sämtliche immateriellen Rechte an von uns allfällig verwendeten Materialien wie Bilder oder Grafiken erworben haben oder dass diese Materialien von uns selbst erstellt wurden;
- dass das Thema, die Arbeit oder Teile davon nicht bei einem Leistungsnachweis eines anderen Moduls verwendet wurden, sofern dies nicht ausdrücklich mit der Dozentin oder dem Dozenten im Voraus vereinbart wurde und in der Arbeit ausgewiesen wird;
- dass wir uns bewusst sind, dass meine (unsere) Arbeit auf Plagiate und auf Drittautorschaft menschlichen oder technischen Ursprungs (Künstliche Intelligenz) überprüft werden kann;
- dass wir uns bewusst sind, dass die Hochschule für Technik FHNW einen Verstoß gegen diese Eigenständigkeitserklärung bzw. die ihr zugrundeliegenden Studierendenpflichten der Studien- und Prüfungsordnung der Hochschule für Technik verfolgt und dass daraus disziplinarische Folgen (Verweis oder Ausschluss aus dem Studiengang) resultieren können.

Windisch, 16. August 2024

Name: Jan Zimmermann

Unterschrift: 

Name: Sven Ziörjen

Unterschrift: 

²⁰z.B. APA oder IEEE

²¹z.B. ChatGPT

²²z.B. Deepl

²³z.B. Quillbot

²⁴z.B. Github Copilot

A Anhang Theoretische Grundlagen

A.1 Dashboards von Konkurrenzprodukten

Die folgenden Abschnitte bieten eine Übersicht über die untersuchten Konkurrenzprodukte und deren User Interfaces.

GEMStat Water Quality Dashboard

Das GEMStat Projekt²⁵ bietet eine internationale Datenbank um Zustand und Trends der Wasserqualität in unterschiedlichen Staaten zu sammeln und bereitzustellen. Das Projekt ist Teil des UN-Umweltprogramms und bietet Ansichten um die Wasserqualität von verschiedenen Messstationen, Becken und Ländern zu visualisieren. Abbildung A.1 zeigt ein Screenshot aus der Applikation.

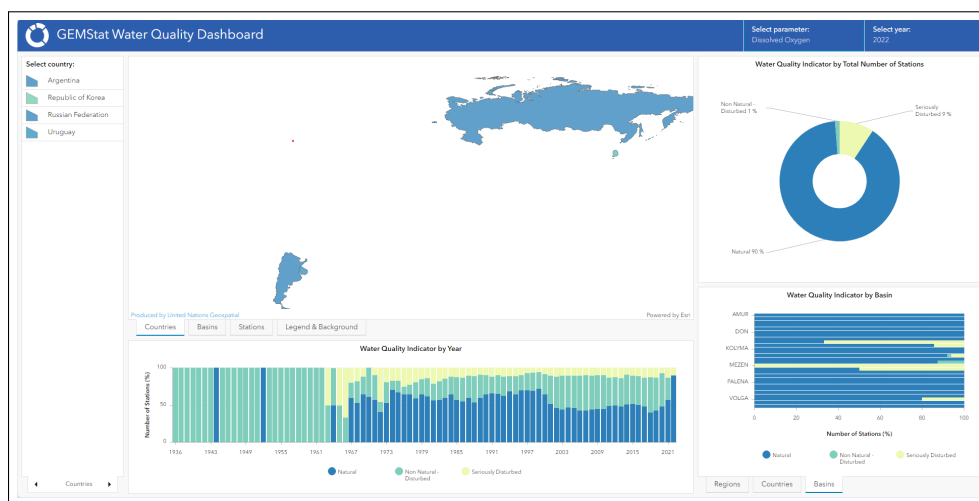


Abbildung A.1: Screenshot von der GEMStat Water Quality Webseite

In der Navigation der Webseite ermöglicht die Webseite die Auswahl eines Parameters. Die verfügbaren Parameter sind die Konzentration von gelöstem Sauerstoff, Stickstoff, Phosphor und der pH-Wert. Anhand dieses Messparameters werden alle Visualisierungen auf dem Dashboard erzeugt.

Die Webseite unterteilt die Messungen in eine von drei Qualitätsstufen und ermöglicht Vergleiche über mehrere Messstationen und verschiedene Zeiträume. Jeder Qualitätsstufe ist eine Farbe in einem Farbverlauf zugeordnet. Die Qualitätsstufen beschreiben natürliche, schwer gestörte und unnatürlich gestörte Werte. Für die Visualisierung von den Verhältnissen der drei unterschiedlichen Klassifizierungen werden Kuchen- und Balkendiagramme verwendet. Eine Weltkarte repräsentiert zudem den Messwert in einem Land mit dem entsprechenden Farbwert aus dem Farbverlauf der Qualitätsstufen.

Elk Valley Water Quality Hub

Die Webseite Elk Valley Water Quality Hub²⁶ veröffentlicht die in verschiedenen unterschiedlichen Messstationen gemessene Wasserqualität. Die Messwerte können mit gesetzlichen Grenzwerten verglichen werden. Die Daten stammen aus Messstationen in British Columbia.

Messdaten und Langzeit-Trends zu der Wasserqualität sind auf der Webseite visualisiert. Diese Daten beschreiben jeweils gemessene Konzentrationen von einzelnen Stoffe. Die gemessenen Stoffe sind Selenium, Nitrat und Sulphate. Die Messwerte werden in Liniendiagrammen verwendet, welche den Messverlauf über einen Zeitraum hinweg aufzeigen. Zu einzelnen Liniendiagrammen wurden auch Trendlinien eingefügt. Ein Screenshot von einem der Liniendiagramme ist in Abbildung A.2 ersichtlich.

²⁵<https://experience.arcgis.com/experience/cf41ae2d4e0146d2bf1a4cfcab38e9b3>

²⁶<https://elkvalleywaterquality.gov.bc.ca/pages/water-quality-dashboard>

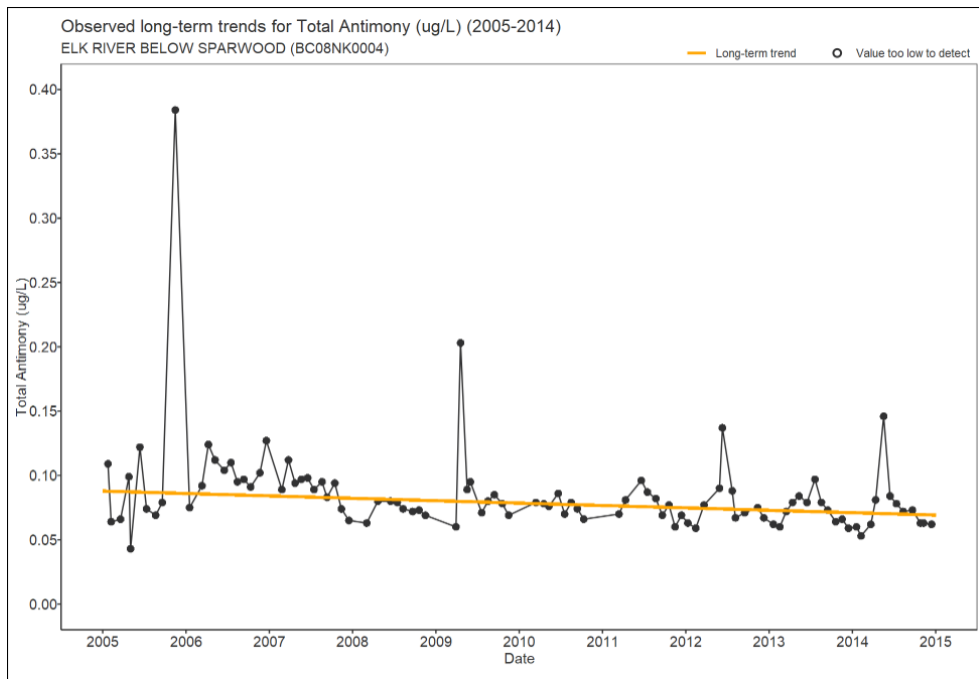


Abbildung A.2: Screenshot eines Liniendiagramms des Elk Valley Water Quality Hubs

Eine Übersicht der Langzeit-Trends zu einer Messstation ist zudem in einem Balkendiagramm abgebildet. Es zeigt die Wertveränderung eines Stoffes über den Zeitraum 2005 bis 2014, die Abbildung A.3 zeigt ein Screenshot davon.

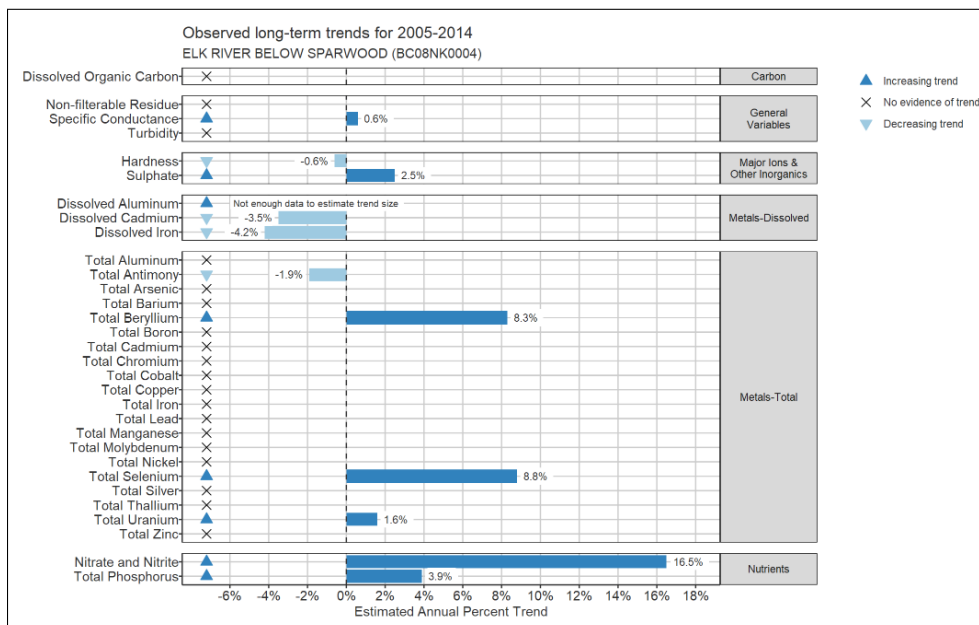


Abbildung A.3: Screenshot eines Balkendiagramms des Elk Valley Water Quality Hubs

Interactive Beach Water Quality Dashboard Massachusetts

Die staatliche Webseite von Massachusetts bietet eine Übersicht mit Messungsdaten zur Wasserqualität

in Gewässern mit Stränden²⁷. Die informiert damit, welche Strände aufgrund der Wasserqualität für Schwimmer geschlossen sind.

Die Messdaten werden mit einem Balkendiagramm visualisiert, welches die gemessene Enterococci-Bakterien Konzentration aufzeigt. Jeder Balken repräsentiert eine Messung, mit den verschiedenen Balken ist ein zeitlicher Verlauf über mehrere Messungen möglich. Der Grenzwert, ab welchem die Strände geschlossen werden, sind in dem Balkendiagramm als Linie markiert. Abbildung A.4 zeigt ein Screenshot davon.

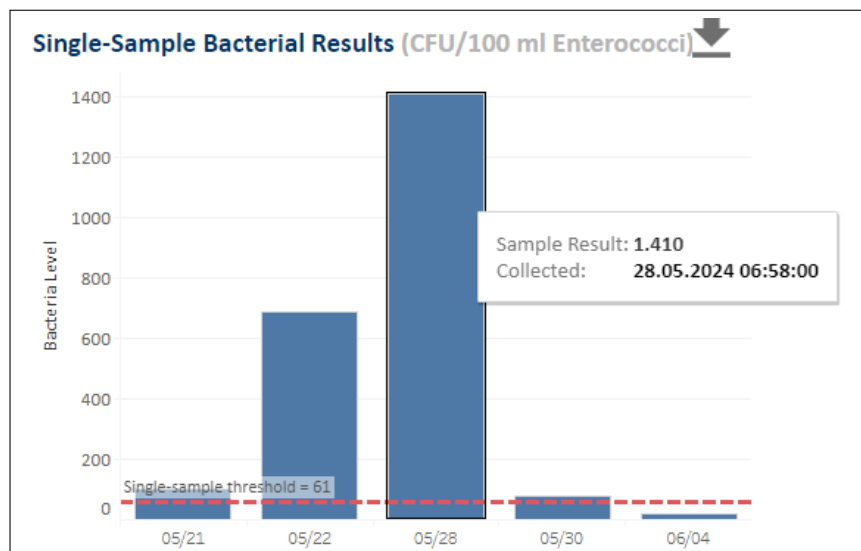


Abbildung A.4: Screenshot eines Balkendiagramms des Interactive Beach Water Quality Dashboard Massachusetts

ArcGIS Water Quality Status Dashboard

Die Firma Esri bietet die Analyse-Software ArcGIS an, welche auch ein Wasser Qualitätsstatus Dashboard anbietet²⁸. Der aktuelle Messzustand verschiedener Stoffe zu einer einzelnen Messstation kann angezeigt werden, wie in Screenshot A.5 abgebildet ist. Gauge-Charts zeigen dabei die aktuellen Messwerte an. Durch gelbe und rote Hinterlegung wird dem Betrachter übermittelt, welche Messwerte erhöhten oder kritischen Zustände widerspiegeln.

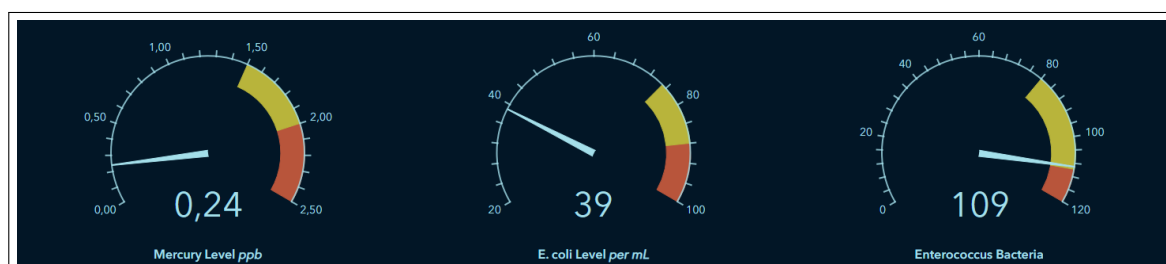


Abbildung A.5: Screenshot der Gauge-Charts vom Programm ArcGIS von Esri

Water Quality Dashboard - Field Agencies von Tanvir Ahmed

Auf der Plattform Tableau Public wird ein Dashboard zur Visualisierung der Wasserqualität in verschiede-

²⁷<https://www.mass.gov/info-details/interactive-beach-water-quality-dashboard>

²⁸<https://www.arcgis.com/apps/dashboards/37d0e7637f98479e83f5cdcf51038c3e>

nen Gegenden verwendet²⁹. Dabei können verschiedene Datensätze abgewählt werden, standardmässig sind alle Datensätze aktiv. Ein Screenshot dieser Ansicht ist in Abbildung A.6 ersichtlich.

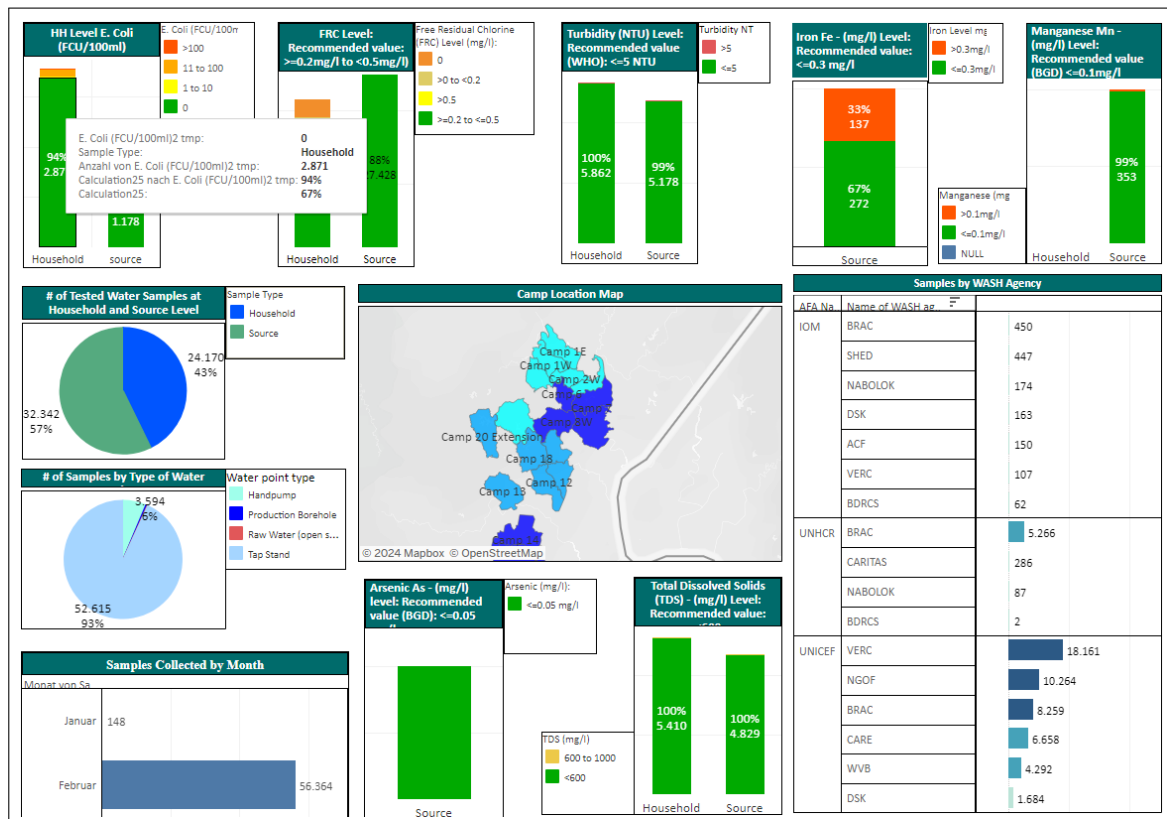


Abbildung A.6: Screenshot des Water Quality Dashboards von Tanvir Ahmed

Es werden Balkendiagramme verwendet, welche mit Farbabstufungen Abweichungen zu empfohlenen Werten kennzeichnen. Um die unterschiedlichen Kategorien der Proben zu symbolisieren, wurden Kuchendiagramme verwendet. Zentral auf der Abbildung befindet sich zudem eine Karte, welche die Auswahl von Datensätzen zu bestimmten Regionen erlaubt. Die Einfärbung der Regionen gibt zudem einen allgemeinen Qualitätsüberblick. Mehrere Diagramme werden zusammen auf einer Ansicht kombiniert, was dem Betrachter viele Informationen auf einer Übersicht bietet.

Protecting Florida Together - Water Quality Status Dashboard

Eine staatliche Webseite bietet in Florida eine Übersicht an, welche Gewässer eine gefährdende Wasserqualität besitzen³⁰. Die Webseite verwendet eine Karte mit Markierungen, welche problematische Zonen aufzeigen, wie auf dem Screenshot A.7 sichtbar ist.

²⁹<https://public.tableau.com/app/profile/tanvir.ahmed/viz/WaterQualityDashboard-FieldAgencies/Dashboard?publish=yes>

³⁰<https://www.protectingfloridatogether.gov/water-quality-status-dashboard>

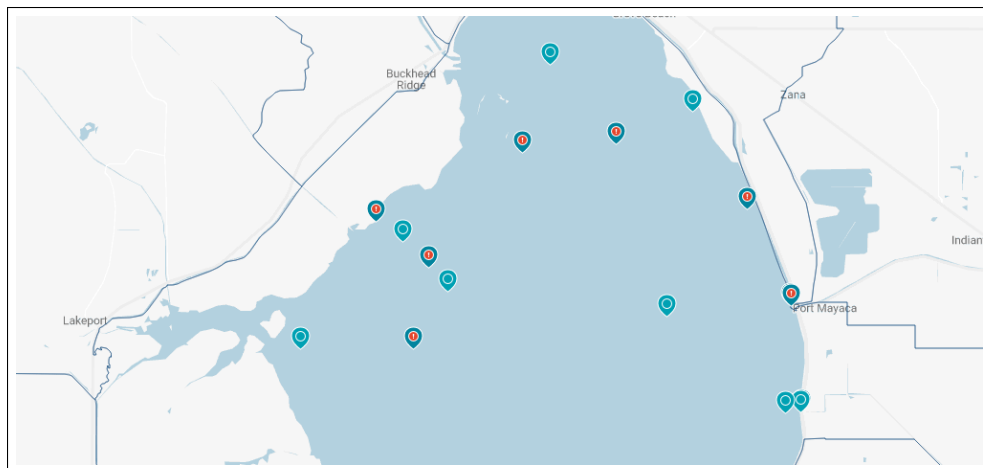


Abbildung A.7: Screenshot der Gewässer-Wasserqualitätsübersicht von Florida

National Integrated Water Information System South Africa

Die staatliche National Integrated Water Information System Applikation zeigt die Wasserqualität in den unterschiedlichen Provinzen von Südafrika an³¹. Dafür teilt es die Messungen in drei Risikokategorien ein. Die Resultate werden in Kuchendiagrammen gezeigt, wie auf der linken Seite der Abbildung A.8 sichtbar ist. Zeitliche Verläufe zu der Wasserqualität können in Liniendiagrammen eingeblendet werden, wie auf der rechten Seite derselben Abbildung zu sehen ist.

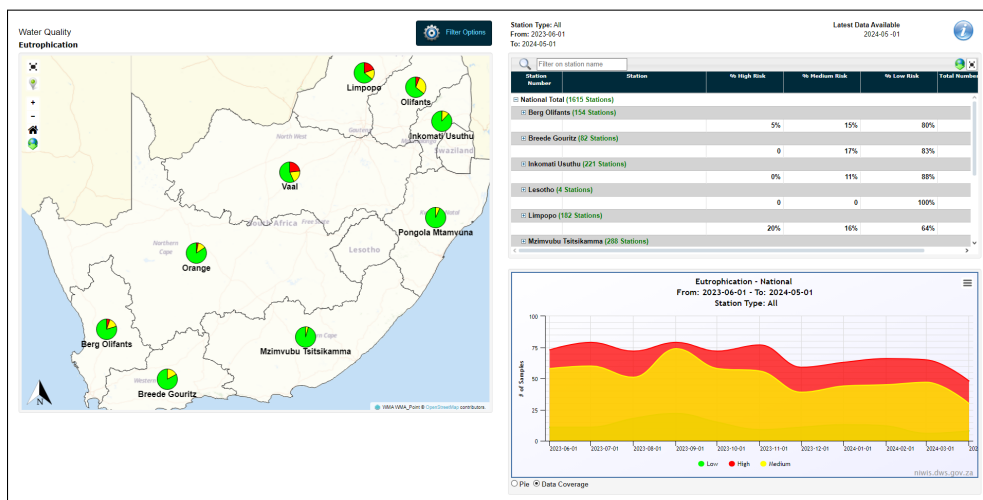


Abbildung A.8: Screenshot des National Integrated Water Information Systems von Südafrika

Flood Recovery Program for Water Quality Monitoring - East Coast Project

Das Planungs- und Entwicklungsdepartement von der New South Wales “Environment Protection Authority” hat eine Website für ihr Überschwemmungswiederaufbauprogramm, welche die Wasserqualität an verschiedenen Messstationen überwacht und die verschiedenen Messstationen auf einer Karte visualisiert³². Die zentrale Ansicht um die Daten anzuzeigen, kombiniert drei Diagramme in einer Ansicht, wie auf Abbildung A.9 zu sehen ist. Ein Balkendiagramm visualisiert den Niederschlag, ein Liniendiagramm zeigt den Wasserstand und Punkte markieren die Konzentration eines ausgewählten Parameters im Wasser an den Tagen, an denen Proben genommen wurden.

³¹<https://www.dws.gov.za/niwis2/Eutro>

³²<https://www.epa.nsw.gov.au/reporting-and-incidents/flood-recovery-programs/water-quality-monitoring-program/flood-recovery-program-east-coast-dashboard>

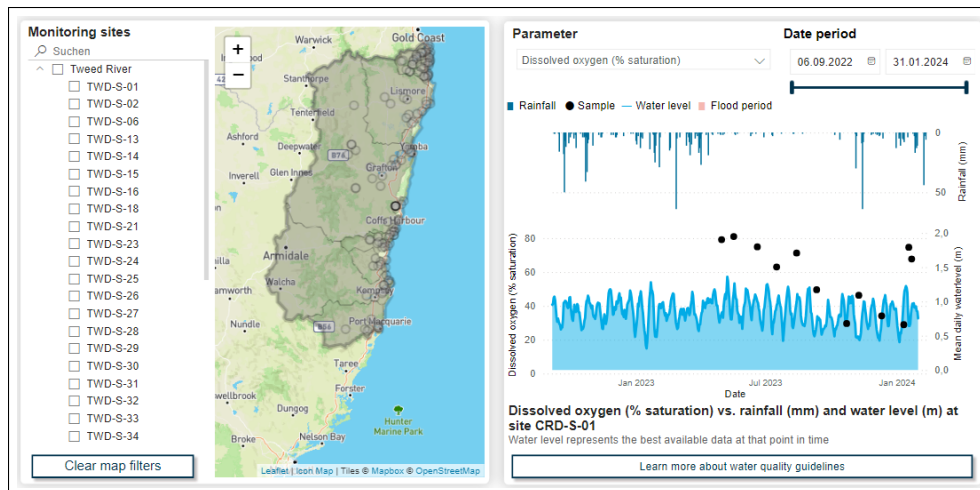


Abbildung A.9: Water quality chart of the Department of Planning and Environment of the New South Wales Environment Protection Authority

B Anhang Anforderungen

B.1 Goal Driven Roadmap

Nachfolgend ist die Goal-Driven-Roadmap inklusive Brainstorming mit dem Auftraggeber verlinkt: <https://miro.com/app/board/uXjVKJ3bP4g=?moveToWidget=3458764588534863532&cot=14>

Diese diente als grundsätzliche Erhebung der Anforderungen an das IP5 Projekt. Im weiteren Projektverlauf haben sich die Anforderungen noch weiter verfeinert wie im Kapitel B.2 beschrieben.

B.2 Detaillierte Anforderungen als User Stories

US-1	Betrifft Z-1, Z-3, Z-5, Z-6
<p>Ich als Alexander Müller will die .brane-Messdaten von meiner lokalen Messstation automatisch und ohne meine Interaktion auf einen Server abgespeichert haben, damit ich Zeit spare, indem die Messdaten mir immer zur Verfügung stehen.</p>	
Akzeptanzkriterien (AK)	
AK-1.1	Die .brane Dateien, welche in einem spezifizierten Upload-Verzeichnis abgelegt sind, werden automatisch an einen definierten Endpunkt hochgeladen.
AK-1.2	Das Hochladen einer einzelnen Messung dauert nicht länger als zehn Sekunden.
AK-1.3	Mit einem definierbaren Intervall wird das Upload-Verzeichnis auf hochzuladende Messungen untersucht.
AK-1.4	Bei Nichterreichen des Endpunktes, wird das Hochladen nach dem definierten Intervall wiederholt.
AK-1.5	Eine Messung wird bei wiederholtem Hochladen nicht doppelt abgespeichert.
AK-1.6	Die Anzahl der zu sendenden Messungen pro Intervall kann eingestellt werden.
AK-1.7	Der Prozess zum Hochladen von Messungen schränkt die sonstigen Arbeiten am lokalen Gerät nicht ein.

Tabelle B.1: User Story 1: Automatisches Hochladen von Messungen

US-2	Betrifft Z-2, Z-4
<p>Ich als Ivan Zehnder will Messdaten von der in meinem Unternehmen befindlichen Messstation als Heatmap-Visualisierung anzeigen können, damit ich den Verlauf der Intensität pro Wellenlänge über einen definierten Zeitraum einsehen kann.</p>	
Akzeptanzkriterien (AK)	
AK-2.1	Die Heatmap wird den Benutzern auf einer Webseite zur Verfügung gestellt.
AK-2.2	Es besteht ein Eingabefeld, um einen Zeitraum der abzubildenden Messungen auszuwählen.
AK-2.3	Die Intensität wird farblich dargestellt, wobei dunklere Farben für einen hohen Wert und hellere Farben für einen niedrigen Wert stehen.
AK-2.4	Die Achsen der Ansicht sind beschriftet, wobei die X-Achse die "Wellenlänge" und die Y-Achse die "Zeit" darstellt.
AK-2.5	Die Ansicht wird bei der Auswahl eines Zeitraums innerhalb von zehn Sekunden geladen und dargestellt.
AK-2.6	Die Ansicht kann auch auf mobilen Geräten bedient werden.

Tabelle B.2: User Story 2: Heatmap

US-3	Betrifft Z-2, Z-4
<p>Ich als Ivan Zehnder will Messdaten von der in meinem Unternehmen befindlichen Messstation als Liniendiagramm anzeigen können, damit ich die Intensität pro Wellenlänge einer einzelnen Messung von einem definierten Zeitpunkt einsehen kann.</p>	
Akzeptanzkriterien (AK)	
AK-3.1	Das Liniendiagramm wird den Benutzern auf einer Webseite zur Verfügung gestellt.
AK-3.2	Es besteht ein Eingabefeld, um eine Messung anhand ihres Zeitstempels auszuwählen.
AK-3.3	Es wird das gesamte Spektrum der ausgewählten Messung dargestellt, wobei die Wellenlängen aufsteigend von links nach rechts dargestellt werden.
AK-3.4	Die Achsen der Ansicht sind beschriftet, wobei die X-Achse die "Wellenlänge" und die Y-Achse die "Intensität" darstellt.
AK-3.5	Die Ansicht wird bei der Auswahl eines Zeitpunktes innerhalb von zehn Sekunden geladen und dargestellt.
AK-3.6	Die Ansicht kann auch auf mobilen Geräten bedient werden.

Tabelle B.3: User Story 3: Liniendiagramm

US-4	Betrifft Z-4, Z-6
<p>Ich als Ivan Zehnder will Messdaten von unterschiedlichen Zeitpunkten von der in meinem Unternehmen befindlichen Messstation vergleichen können, damit ich schnell Veränderungen der Intensitäten über das Wellenlängenspektrum interpretieren kann.</p>	
Akzeptanzkriterien (AK)	
AK-4.1	Unterschiedliche Messungen werden in einem Liniendiagramm dargestellt.
AK-4.2	Es besteht ein Dropdown, um die zu vergleichenden Messungen anhand ihrer Zeitstempel auswählen zu können.
AK-4.3	Das Dropdown für die Auswahl kann gefiltert werden.
AK-4.4	Die ausgewählten Messungen werden innerhalb von zehn Sekunden geladen und dargestellt.
AK-4.5	Die Auswahl von Messungen kann auch auf mobilen Geräten bedient werden.

Tabelle B.4: User Story 4: Vergleich von Messungen

US-5	Betrifft Z-2, Z-6
<p>Ich als Ivan Zehnder will die verfügbaren Ansichten individuell als Dashboard konfigurieren können, damit ich nach meinem Empfinden die Messungen visualisieren kann und schnell auf die für mich interessanten Daten Zugriff habe.</p>	
Akzeptanzkriterien (AK)	
AK-5.1	Eine Bearbeitungsmaske steht zur Verfügung, um Anpassungen am Dashboard vornehmen zu können.
AK-5.2	Eine Auswahl von Ansichten stehen zur Verfügung, wenn eine neue Ansicht hinzugefügt werden soll.
AK-5.3	Bestehende Ansichten auf dem Dashboard können entfernt werden.
AK-5.4	Es können bis zu drei Ansichten nebeneinander positioniert werden.
AK-5.5	Ansichten können übereinander positioniert werden.
AK-5.6	Anpassungen am Dashboard werden immer direkt persistent gespeichert.
AK-5.7	Anpassungen an den Eingabewerten einer Ansicht werden persistent gespeichert.

Tabelle B.5: User Story 5: Individuelles Dashboard erstellen

US-6	Betrifft Z-3, Z-4, Z-5
<p>Ich als Alexander Müller will alle verfügbaren Sensoren, welche Messungen aufzeichnen, einzeln auswählen können, damit ich schnell und komfortabel zwischen einzelnen Messstationen wechseln kann.</p>	
Akzeptanzkriterien (AK)	
AK-6.1	Über ein Dropdown können einzelne Messstationen ausgewählt werden.
AK-6.2	Bei der Auswahl einer Messstation werden alle Ansichten neu berechnet.
AK-6.3	Als Auswahlkriterium für eine Messstation wird lediglich die Seriennummer des Messgerätes dargestellt, um den Standort der Messstation anonym zu halten.

Tabelle B.6: User Story 6: Auswahl der Messstation

US-7	Betrifft Z-4
Ich als Ivan Zehnder will dass detaillierte Informationen angezeigt werden, wenn ich mit der Maus über bestimmte Datenpunkte fahre, damit ich die genauen Informationen einsehen kann.	
Akzeptanzkriterien (AK)	
AK-7.1	Wenn mit dem Mauszeiger über Datenpunkte gefahren wird, werden die X-, Y- und falls Vorhanden die Z-Achsenwerte in einem Tooltip dargestellt.
AK-7.2	Sowohl bei Liniendiagrammen als auch bei Heatmaps werden Tooltips dargestellt.
AK-7.3	Ein Tooltip kann auch auf mobilen Geräten bedient werden.

Tabelle B.7: User Story 7: Detailinformationen als Tooltip

US-8	Betrifft Z-4
Ich als Ivan Zehnder will bei allen Ansichten bestimmte Bereiche vergrössern können, damit ich diese Bereiche genauer auf Anomalien untersuchen kann, ohne die Eingabewerte zu ändern.	
Akzeptanzkriterien (AK)	
AK-8.1	Mittels Mauszeiger kann ein bestimmter Bereich ausgewählt werden.
AK-8.2	Sowohl bei Liniendiagrammen als auch bei Heatmaps dargestellt.
AK-8.3	Der angewendete Zoom-Bereich kann zurückgesetzt werden.

Tabelle B.8: User Story 8: Zoomen bei Ansichten

B.3 Bewertung der Umsetzung der Anforderungen

In den Tabellen B.9-B.16 sind die Bewertungen der User Stories der Autoren und des Auftraggebers aufgeführt.

User Story: Automatisches Hochladen von Messungen (US-1)		
Akzeptanzkriterium	Erfüllt (Autoren)	Erfüllt (Auftraggeber)
AK-1.1: Die .brane-Dateien werden automatisch an einen definierten Endpunkt hochgeladen.	Ja	Ja
AK-1.2: Das Hochladen einer einzelnen Messung dauert nicht länger als zehn Sekunden.	Ja	Ja
AK-1.3: Das Upload-Verzeichnis wird in einem definierbaren Intervall auf hochzuladende Messungen untersucht.	Ja	Ja
AK-1.4: Bei Nichterreichen des Endpunkts wird das Hochladen nach dem definierten Intervall wiederholt.	Ja	Ja
AK-1.5: Eine Messung wird bei wiederholtem Hochladen nicht doppelt abgespeichert.	Ja	Ja
AK-1.6: Die Anzahl der zu sendenden Messungen pro Intervall kann eingestellt werden.	Ja	Ja
AK-1.7: Der Prozess zum Hochladen von Messungen schränkt die sonstigen Arbeiten am lokalen Gerät nicht ein.	Ja	Ja
Gesamtnote für US-1	4	4
<p>Kommentar Autoren: Die Upload-Applikation kann nicht parallel ausgeführt werden. Besonders beim Upload vergangener Messungen ist dies ein Nachteil. Die Applikation ist aber individuell parametrisierbar.</p>		
<p>Kommentar Auftraggeber: Eine Anleitung zur Upload-Applikation und deren Konfiguration wird noch erwartet. Der Kunde war zufrieden mit der einem Terminal-Fenster als Benutzerinterface.</p>		

Tabelle B.9: Bewertung der Umsetzung von User Story 1

User Story: Heatmap (US-2)		
Akzeptanzkriterium	Erfüllt (Autoren)	Erfüllt (Auftraggeber)
AK-2.1: Die Heatmap wird den Benutzern auf einer Webseite zur Verfügung gestellt.	Ja	Ja
AK-2.2: Es besteht ein Eingabefeld, um einen Zeitraum der abzubildenden Messungen auszuwählen.	Ja	Ja
AK-2.3: Die Intensität wird farblich dargestellt, wobei dunklere Farben für einen hohen Wert und hellere Farben für einen niedrigen Wert stehen.	Ja	Ja
AK-2.4: Die Achsen der Ansicht sind beschriftet, wobei die X-Achse die "Wellenlänge" und die Y-Achse die "Zeit" darstellt.	Ja	Ja
AK-2.5: Die Ansicht wird bei der Auswahl eines Zeitraums innerhalb von zehn Sekunden geladen und dargestellt.	Ja	Ja
AK-2.6: Die Ansicht kann auch auf mobilen Geräten bedient werden.	Ja	Ja
Gesamtnote für US-2	4	5
<p>Kommentar Autoren: Bei der Auswertung der Heatmap über sehr grosse Zeiträume ist die Ressourcenauslastung der Datenbank aufgrund der Datenmenge hoch. Mit zusätzlichen Verarbeitungsschritten der Daten im Abspeicherungsprozess könnten die Datenabfragen optimiert werden. Die Auslastung der Core-Applikation und der Webapplikation ist durch ausgeklügelte Abfragen minimal.</p>		
<p>Kommentar Auftraggeber: Das Produkt übertrifft die Erwartungen mit dessen Benutzerfreundlichkeit.</p>		

Tabelle B.10: Bewertung der Umsetzung von User Story 2

User Story: Liniendiagramm (US-3)		
Akzeptanzkriterium	Erfüllt (Autoren)	Erfüllt (Auftraggeber)
AK-3.1: Das Liniendiagramm wird den Benutzern auf einer Webseite zur Verfügung gestellt.	Ja	Ja
AK-3.2: Es besteht ein Eingabefeld, um eine Messung anhand ihres Zeitstempels auszuwählen.	Ja	Ja
AK-3.3: Es wird das gesamte Spektrum der ausgewählten Messung dargestellt, wobei die Wellenlängen aufsteigend von links nach rechts dargestellt werden.	Ja	Ja
AK-3.4: Die Achsen der Ansicht sind beschriftet, wobei die X-Achse die "Wellenlänge" und die Y-Achse die "Intensität" darstellt.	Ja	Ja
AK-3.5: Die Ansicht wird bei der Auswahl eines Zeitpunktes innerhalb von zehn Sekunden geladen und dargestellt.	Ja	Ja
AK-3.6: Die Ansicht kann auch auf mobilen Geräten bedient werden.	Ja	Ja
Gesamtnote für US-3	5	4
Kommentar Autoren: Obwohl nicht gewünscht, wurden zusätzliche Ansichten in Form von Liniendiagrammen umgesetzt. Die Daten werden innerhalb von wenigen Millisekunden geladen.		
Kommentar Auftraggeber: -		

Tabelle B.11: Bewertung der Umsetzung von User Story 3

User Story: Vergleich von Messungen (US-4)		
Akzeptanzkriterium	Erfüllt (Autoren)	Erfüllt (Auftraggeber)
AK-4.1: Unterschiedliche Messungen werden in einem Liniendiagramm dargestellt.	Ja	Ja
AK-4.2: Es besteht ein Dropdown, um die zu vergleichenden Messungen anhand ihrer Zeitstempel auswählen zu können.	Ja	Ja
AK-4.3: Das Dropdown für die Auswahl kann gefiltert werden.	Ja	Ja
AK-4.4: Die ausgewählten Messungen werden innerhalb von zehn Sekunden geladen und dargestellt.	Ja	Ja
AK-4.5: Die Auswahl von Messungen kann auch auf mobilen Geräten bedient werden.	Ja	Ja
Gesamtnote für US-4	5	5
<p>Kommentar Autoren: Weil Messungen in demselben Liniendiagramm abgebildet werden können, sind Vergleiche besonders intuitiv und einfach.</p>		
<p>Kommentar Auftraggeber: Die Benutzerfreundlichkeit und Übersichtlichkeit ist besser als bei der Spectrum Analyzer Software. Besonders die im Tooltip verfügbaren Informationen sind nützlich.</p>		

Tabelle B.12: Bewertung der Umsetzung von User Story 4

User Story: Individuelles Dashboard erstellen (US-5)		
Akzeptanzkriterium	Erfüllt (Autoren)	Erfüllt (Auftraggeber)
AK-5.1: Eine Bearbeitungsmaske steht zur Verfügung, um Anpassungen am Dashboard vornehmen zu können.	Ja	Ja
AK-5.2: Eine Auswahl von Ansichten steht zur Verfügung, wenn eine neue Ansicht hinzugefügt werden soll.	Ja	Ja
AK-5.3: Bestehende Ansichten auf dem Dashboard können entfernt werden.	Ja	Ja
AK-5.4: Es können bis zu drei Ansichten nebeneinander positioniert werden.	Ja	Ja
AK-5.5: Ansichten können übereinander positioniert werden.	Ja	Ja
AK-5.6: Anpassungen am Dashboard werden immer direkt persistent gespeichert.	Ja	Ja
AK-5.7: Anpassungen an den Eingabewerten einer Ansicht werden persistent gespeichert.	Ja	Ja
Gesamtnote für US-5	5	5
Kommentar Autoren: Das Dashboard deckt alle Anforderungen ab und dessen Bedienung ist intuitiv. Es ist auch auf Mobilgeräten vollumfänglich benutzbar.		
Kommentar Auftraggeber: Erwartet wurde weitaus weniger, der Auftraggeber ist ausserordentlich zufrieden mit der Lösung. Die Benutzerfreundlichkeit mit der dynamischen Darstellung ist Ausserordentlich gut.		

Tabelle B.13: Bewertung der Umsetzung von User Story 5

User Story: Auswahl der Messstation (US-6)		
Akzeptanzkriterium	Erfüllt (Autoren)	Erfüllt (Auftraggeber)
AK-6.1: Über ein Dropdown können einzelne Messstationen ausgewählt werden.	Ja	Ja
AK-6.2: Bei der Auswahl einer Messstation werden alle Ansichten neu berechnet.	Ja	Ja
AK-6.3: Als Auswahlkriterium für eine Messstation wird lediglich die Seriennummer des Messgerätes dargestellt, um den Standort der Messstation anonym zu halten.	Ja	Ja
Gesamtnote für US-6	4	4
<p>Kommentar Autoren: Rückschlüsse auf den Standort könnten theoretisch mit einer genauen Analyse der Wetterdaten und des Niederschlags getroffen werden. Der Auftraggeber ist sich dessen bewusst, daher wird im Rahmen eines Folgeprojekts ein Benutzerlogin die Anonymität sichern. Ansonsten wurden alle Anforderungen wie vom Kunden gewünscht umgesetzt.</p>		
<p>Kommentar Auftraggeber: Eine Anleitung zur Erweiterung einer zusätzlichen Messstation ist gewünscht.</p>		

Tabelle B.14: Bewertung der Umsetzung von User Story 6

User Story: Detailinformationen als Tooltip (US-7)		
Akzeptanzkriterium	Erfüllt (Autoren)	Erfüllt (Auftraggeber)
AK-7.1: Wenn mit dem Mauszeiger über Datenpunkte gefahren wird, werden die X-, Y- und falls vorhanden die Z-Achsenwerte in einem Tooltip dargestellt.	Ja	Ja
AK-7.2: Sowohl bei Liniendiagrammen als auch bei Heatmaps werden Tooltips dargestellt.	Ja	Ja
AK-7.3: Ein Tooltip kann auch auf mobilen Geräten bedient werden.	Ja	Ja
Gesamtnote für US-7	4	5
Kommentar Autoren: Alle Anforderungen wurden mit den implementierten Tooltips umgesetzt. Die Tooltips könnten um die Möglichkeit erweitert werden, zusätzliche Metainformationen anzuzeigen.		
Kommentar Auftraggeber: Der Umfang des Tooltips und dessen einfache Bedienung übertraf die Erwartungen weit.		

Tabelle B.15: Bewertung der Umsetzung von User Story 7

User Story: Zoomen bei Ansichten (US-8)		
Akzeptanzkriterium	Erfüllt (Autoren)	Erfüllt (Auftraggeber)
AK-8.1: Mittels Mauszeiger kann ein bestimmter Bereich ausgewählt werden.	Ja	Ja
AK-8.2: Sowohl bei Liniendiagrammen als auch bei Heatmaps dargestellt.	Ja	Ja
AK-8.3: Der angewendete Zoom-Bereich kann zurückgesetzt werden.	Ja	Ja
Gesamtnote für US-8	4	4
Kommentar Autoren: Die Funktion hätte mit einem Zoom-Reset Knopf benutzerfreundlicher gestaltet werden können.		
Kommentar Auftraggeber: -		

Tabelle B.16: Bewertung der Umsetzung von User Story 8

B.3.1 Generelles Feedback zum Gesamtprojekt

Die Arbeit mit den Autoren war sehr angenehm. Die Autoren waren selbstständig und zuverlässig. Fragen wurden regelmässig beantwortet, auch am Wochenende. Die resultierende Lösung übertrifft die Erwartungen bei weitem, besonders die Benutzerfreundlichkeit zur Interpretation der Messdaten ist besser als erwartet. Die bisher eingesetzte Spectrum Analyzer Applikation ist im Vergleich der Benutzerfreundlichkeit und Datenvisualisierung deutlich unterlegen. Die Kunden von Artha sind einige der ersten in der Branche, welche so kurzfristig auf Wassermessdaten zugreifen können. Konkurrenzprodukte werden besonders bei der Benutzerfreundlichkeit und der Übersichtlichkeit der Daten überboten.

Die Firma Artha profitiert stark von dem Projekt, sie kann mit dem neuen System Versprechen und Erwartungen von den Kunden erfüllen.

B.4 Protokolle der Usability Tests

Es folgen die Protokolle der Usability Tests. Diese beinhalten jeweils auch die ausgefüllten SUS-Score Fragebögen.

Test Drehbuch für Watersense Usability Tests

Datum: 08.08.2024

Teilnehmer: Vikus van Schalkwyk

Hintergrund des Teilnehmers: 27 Jahre, keine Berührungspunkte zu Artha

Testleiter: Sven Ziörjen

Ort: Pretoria, Südafrika

Testgerät: Computer

Ziel des Tests:

Mit diesem Usability-Test wird die Benutzerfreundlichkeit der Watersense Webapp und ihren Ansichten geprüft. Es wird untersucht, wie effektiv die Benutzerführung ist und welche Schwierigkeiten die Benutzer bei der Benutzung des Systems erfahren.

Dauer des Tests: Ca. 60 Minuten

Einführung für den Teilnehmer:

- Begrüßung des Teilnehmers und Dank für die Teilnahme.
- Erläuterung des Testziels: Wir möchten herausfinden, wie benutzerfreundlich und ansprechend die Anwendung zu bedienen.
- Hinweis, dass es nicht der Teilnehmer ist, der getestet wird, sondern die Anwendung.
- Der Teilnehmer sollte laut denken, damit der Testleiter seine Gedanken nachvollziehen kann und interessante Punkte protokollieren kann.
- Wenn möglich sollte vom Testleiter keine Hilfestellung während der Tests gegeben werden. Falls Hilfestellung trotzdem notwendig war, sollte diese protokolliert werden.

Erklärung der Testumgebung:

- Kurze Einführung in die Testumgebung (Computer bzw. Mobiltelefon).
- Vorstellung der Watersense-Plattform mit den Hintergründen und Zielen des Artha Projekts (ohne detaillierte Erklärungen, um die intuitive Bedienbarkeit der Benutzeroberfläche zu testen).

Aufgabe 1: Die letzte Messung anzeigen

Ziel: Überprüfen, wie einfach es für den Benutzer ist, bei dem erstmaligen Benutzen der Webseite die letzte Messung einer vorgegebenen Messstation anzuzeigen.

Ausgangslage:

- Webapplikation erstmal auf dem Webbrowser eines Computers auf der Dashboard-Seite geöffnet.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Zeigt die letzte Messung der Messstation mit dem Sensor «19C1CRL20» an.

Beobachtungen:

- Hat der Teilnehmer Schwierigkeiten sich auf dem nicht angepassten Dashboard zurechtzufinden?
- Benutzt der Teilnehmer die «Letzte Messung» Ansicht oder findet er die letzte Messung in der «Line-Chart» Ansicht?
- Wie lange dauert es, bis der Teilnehmer die Messung darstellen kann?

Durchführungsnotizen:

Öffnet zuerst kurz den Heatmap Datumsbereich-Selektor.

Findet die Line-Chart Ansicht.

Zeigt letzte Messung an.

Der ganze Prozess schien sehr einfach, die Testperson hat sich schnell zurechtgefunden.

Aufgabe 2: Anzeigen eines Verlaufs in einer Heatmap

Ziel: Überprüfen, ob der Teilnehmer einen Verlauf in einer Heatmap anzeigen kann.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Wählen Sie die Messstation mit dem Sensor «19C1CRL20» aus und filtern Sie die Daten für den Zeitraum 16.07.2024, 00:00 bis 16.07.2024, 03:30.
2. Stellen Sie die gefilterten Daten als Heatmap dar.

Beobachtungen:

- Erkennt der Teilnehmer, dass sich die Heatmap bereits auf dem Dashboard befindet?
- Findet der Teilnehmer die Filteroptionen schnell?
- Benötigt der Teilnehmer Hilfe, um die Aufgabe abzuschließen?

Durchführungsnotizen:

Findet die Heatmap Ansicht direkt.

Selektiert nur ein «Von» Datum. Fragt den Testleiter, wie man ein «Zu» Datum selektieren kann. Löst das Problem kurz darauf ohne Hilfe des Testleiters.

Erst nach Frage zum Date Range Picker To selektiert.

Aufgabe 3: Vergleich von Messungen

Ziel: Überprüfen, ob der Benutzer in der Lage ist, mehrere Messungen zu vergleichen.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Vergleichen Sie folgende drei Messungen der Messstationen mit dem Sensor «19C1CRL20».
 - 17.07.2024, 12:01:41
 - 20.07.2024, 07:33:25
 - 31.07.2024, 12:01:31
2. Stellen Sie die Daten in einer einzigen Ansicht dar, um Unterschiede oder Ähnlichkeiten zu erkennen.

Beobachtungen:

- Wie geht der Teilnehmer vor, um die Messungen zu vergleichen?
- Ist den Teilnehmern bewusst, mit welcher Ansicht sie die Messungen vergleichen können?
- Sind die Schritte intuitiv oder benötigt der Teilnehmer Erklärungen?

Durchführungsnotizen:

Sucht dieselbe Messung in der Heatmap. Fängt erst nach der Anzeige der Heatmap an, eine zweite Messung in der Line-Chart Ansicht hinzuzufügen.

Klickt nach einem Hinweis des Testleiters auf die entsprechenden Messungen im Selektor, um die beiden Messungen gleich anzuzeigen.

Die Auswahl im Selektor sollte mit der Farbe der Linie im Diagramm hinterlegt sein. Damit wird klarer gezeigt, welche Messungen zu welchen Linien gehören.

Aufgabe 4: Dashboard anpassen

Ziel: Überprüfen, ob der Benutzer das Dashboard an seine Bedürfnisse anpassen kann.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Passen Sie das Dashboard so an, dass die letzte Messung immer angezeigt wird.
2. Entfernen Sie die Heatmap.
3. Zeigen Sie drei Ansichten nebeneinander an.

Beobachtungen:

- Wie schnell versteht der Teilnehmer, wie das Dashboard angepasst werden kann?
- Findet der Teilnehmer den Bearbeitungsknopf in der Navigation?
- Erkennt der Teilnehmer, dass die Anpassungen immer direkt gespeichert werden?

Durchführungsnotizen:

Klickt auf den Sensor-Selektor.

Klickt auf den Vollbild-Selektor.

Geht aus Vollbildmodus heraus.

Öffnet Bearbeitungsmodus.

Schliesst den Bearbeitungsmodus.

Öffnet ihn wieder, findet den Entfernen-Knopf.

Beschwert sich, dass der Knopf nicht oben rechts ist. Die Testperson hätte den Knopf oben rechts an dem Diagramm erwartet.

Findet die Letzte-Messung Ansicht direkt und kann auch problemlos drei Ansichten nebeneinander platzieren.

Aufgabe 5: Ansicht im Vollbildmodus untersuchen

Ziel: Überprüfen, ob der Benutzer die Vollbildfunktion intuitiv bedienen kann.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Zeigen sie die «Letzte Messung» Ansicht im Vollbildmodus an.
2. Verlassen Sie den Vollbildmodus wieder.

Beobachtungen:

- Findet der Teilnehmer den Knopf für den Vollbildmodus der Ansicht?
- Kann der Teilnehmer den Vollbildmodus wieder verlassen?

Durchführungsnotizen:

Hat den Vollbildmodus problemlos bedienen können. Der Modus schien insgesamt gut integriert und einfach zu bedienen.

Aufgabe 6: Peaks einer Messung untersuchen

Ziel: Überprüfen, ob der Benutzer die die Zoom- und Tooltip-Funktionen bedienen kann.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Zeigen sie die um 23.07.2024, 09:47:52 durchgeführte Messung der Messstationen mit dem Sensor «19C1CRL20» an.
2. Öffnen Sie die Messstation im Vollbildmodus.
3. Zoomen Sie die Ansicht auf den höchsten Intensitätswert der Messung.
4. Zeigen Sie den genauen Wellenlängen- und Intensitätswert am Höhepunkt an.
5. Zoomen Sie wieder zur ursprünglichen Übersicht heraus.

Beobachtungen:

- Kann der Benutzer die Zoomfunktion bedienen?
- Kann der Benutzer das Tooltip bedienen?
- Sind die genauen Messwerte eines bestimmten Punkts in einer Messung in dem Tooltip der «Line-Chart» Ansicht erkennbar?

Durchführungsnotizen:

Klickt anstatt zu Zoomen.

Findet nach ein paar Klicks die Zoom-Funktion.

Verlässt die Zoom-Funktion anschliessend.

Benutzt das Tooltip-Funktion um die Werte auszulesen. Hatte keinerlei Schwierigkeiten dabei.

Die Doppelklick-Funktion im den Zoom zu verlassen hat er eher zufällig durch klicken gefunden.

Aufgabe 7: Sensor wechseln

Ziel: Überprüfen, ob der Benutzer den Sensor des Dashboards wechseln kann.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Zeigen Sie das bestehende Dashboard mit den Messungen der Messstation mit dem Sensor «000000000»

Beobachtungen:

- Kann der Benutzer den ausgewählten Sensor wechseln?
- Entspricht das Verhalten des Dashboards seinen Erwartungen?

Durchführungsnotizen:

Sucht zuerst andere Messungen im Line Chart.

Klickt auf den Heatmap-Selektoren herum.

Geht in den Bearbeitungsmodus und wieder heraus.

Findet die Auswahl schlussendlich. Es schien insgesamt schwierig, den Knopf in der Navigation zu finden, der Benutzer hätte ihn nicht dort erwartet.

Abschluss des Tests

Nachbesprechung:

- Fragen Sie den Teilnehmer nach seinen allgemeinen Eindrücken.
- Gibt es etwas, das ihm besonders gut oder weniger gut gefallen hat?
- War es etwas, das ihn besonders gestört hat oder das schwer zu finden war?
- Mit der System Usability Scale (SUS) wird der System Usability Score berechnet.

Nachbesprechungsnotizen:

Grundsätzlich ist die Bedienung einfach, nachdem man eine ganz kurze Einführung gehabt hat. Die Testperson würde das System auf jeden Fall benutzen. Keine Berührungspunkte mit dem Thema zu haben, macht die Bedienung aber deutlich schwieriger.

System Usability Score based on SUS

Bewertungsraster

lehne völlig ab		möglicherweise		stimme völlig zu
1	2	3	4	5

Score-Berechnung

- Für die Fragen 1, 3, 5, 7 und 9: 1 wird von der Bewertung des Benutzers abgezogen.
- Für die Fragen 2, 4, 6, 8 und 10: Die Bewertung des Benutzers wird von 5 abgezogen.
- Für den Gesamtscore wird die Summe der Scores mit 2.5 multipliziert.

Score

Frage	Bewertung (1-5)	Score (0-4)
1. Ich würde dieses System nutzen, um mir einen Überblick über Messungen zu verschaffen.	5	4
2. Ich fand dieses System unnötig komplex.	2	3
3. Ich fand die Benutzung des Systems einfach.	4	3
4. Ich bräuchte Unterstützung, um das System zu nutzen.	3	2
5. Ich fand die unterschiedlichen Funktionen gut integriert.	4	3
6. Ich fand, dass das System zu viele Inkonsistenzen hatte.	1	4
7. Ich denke viele würden die Bedienung des Systems schnell lernen.	5	4
8. Ich fand die Bedienung des Systems mühselig.	1	4
9. Ich kann das System überzeugt bedienen.	5	4
10. Ich muss noch vieles Lernen bevor ich dieses System benutzen kann.	2	3

SUS-Score total: 85

Test Drehbuch für Watersense Usability Tests

Datum: 08.08.2024

Teilnehmer: Vincent van Schalkwyk

Hintergrund des Teilnehmers: 26 Jahre, keine Berührungspunkte zu Artha

Testleiter: Sven Ziörjen

Ort: Pretoria, Südafrika

Testgerät: Smartphone

Ziel des Tests:

Mit diesem Usability-Test wird die Benutzerfreundlichkeit der Watersense Webapp und ihren Ansichten geprüft. Es wird untersucht, wie effektiv die Benutzerführung ist und welche Schwierigkeiten die Benutzer bei der Benutzung des Systems erfahren.

Dauer des Tests: Ca. 60 Minuten

Einführung für den Teilnehmer:

- Begrüßung des Teilnehmers und Dank für die Teilnahme.
- Erläuterung des Testziels: Wir möchten herausfinden, wie benutzerfreundlich und ansprechend die Anwendung zu bedienen.
- Hinweis, dass es nicht der Teilnehmer ist, der getestet wird, sondern die Anwendung.
- Der Teilnehmer sollte laut denken, damit der Testleiter seine Gedanken nachvollziehen kann und interessante Punkte protokollieren kann.
- Wenn möglich sollte vom Testleiter keine Hilfestellung während der Tests gegeben werden. Falls Hilfestellung trotzdem notwendig war, sollte diese protokolliert werden.

Erklärung der Testumgebung:

- Kurze Einführung in die Testumgebung (Computer bzw. Mobiltelefon).
- Vorstellung der Watersense-Plattform mit den Hintergründen und Zielen des Artha Projekts (ohne detaillierte Erklärungen, um die intuitive Bedienbarkeit der Benutzeroberfläche zu testen).

Aufgabe 1: Die letzte Messung anzeigen

Ziel: Überprüfen, wie einfach es für den Benutzer ist, bei dem erstmaligen Benutzen der Webseite die letzte Messung einer vorgegebenen Messstation anzuzeigen.

Ausgangslage:

- Webapplikation erstmal auf dem Webbrowser eines Computers auf der Dashboard-Seite geöffnet.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Zeigt die letzte Messung der Messstation mit dem Sensor «19C1CRL20» an.

Beobachtungen:

- Hat der Teilnehmer Schwierigkeiten sich auf dem nicht angepassten Dashboard zurechtzufinden?
 - Benutzt der Teilnehmer die «Letzte Messung» Ansicht oder findet er die letzte Messung in der «Line-Chart» Ansicht?
 - Wie lange dauert es, bis der Teilnehmer die Messung darstellen kann?
-

Durchführungsnotizen:

Findet Messstationsauswahl direkt.

Findet die letzte Messung in der Ansicht Line-Chart direkt. Hatte keine Schwierigkeiten mit dem Auftrag.

Aufgabe 2: Anzeigen eines Verlaufs in einer Heatmap

Ziel: Überprüfen, ob der Teilnehmer einen Verlauf in einer Heatmap anzeigen kann.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Wählen Sie die Messstation mit dem Sensor «19C1CRL20» aus und filtern Sie die Daten für den Zeitraum 16.07.2024, 00:00 bis 16.07.2024, 03:30.
2. Stellen Sie die gefilterten Daten als Heatmap dar.

Beobachtungen:

- Erkennt der Teilnehmer, dass sich die Heatmap bereits auf dem Dashboard befindet?
- Findet der Teilnehmer die Filteroptionen schnell?
- Benötigt der Teilnehmer Hilfe, um die Aufgabe abzuschließen?

Durchführungsnotizen:

Findet die Heatmap und den entsprechenden Knopf direkt.

Findet die nach unten aufgeklappte Datumsauswahl nicht direkt aber nach 10s.

Realisiert nicht, dass der zweite Kalendermonat einen weiteren Monat anzeigt und somit nicht verwendet werden muss. Der Testleiter muss ihn darauf hinweisen, dass er «Von» und «Bis» im gleichen Kalendermonat selektieren kann. Ansonsten hatte der Benutzer keine Schwierigkeiten mit der Benutzung.

Aufgabe 3: Vergleich von Messungen

Ziel: Überprüfen, ob der Benutzer in der Lage ist, mehrere Messungen zu vergleichen.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Vergleichen Sie folgende drei Messungen der Messstationen mit dem Sensor «19C1CRL20».
 - 17.07.2024, 12:01:41
 - 20.07.2024, 07:33:25
 - 31.07.2024, 12:01:31
2. Stellen Sie die Daten in einer einzigen Ansicht dar, um Unterschiede oder Ähnlichkeiten zu erkennen.

Beobachtungen:

- Wie geht der Teilnehmer vor, um die Messungen zu vergleichen?
- Ist den Teilnehmern bewusst, mit welcher Ansicht sie die Messungen vergleichen können?
- Sind die Schritte intuitiv oder benötigt der Teilnehmer Erklärungen?

Durchführungsnotizen:

Findet die Funktionalität direkt. Hatte keinerlei Schwierigkeiten bei der Bedienung.

Aufgabe 4: Dashboard anpassen

Ziel: Überprüfen, ob der Benutzer das Dashboard an seine Bedürfnisse anpassen kann.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Passen Sie das Dashboard so an, dass die letzte Messung immer angezeigt wird.
2. Entfernen Sie die Heatmap.
3. Zeigen Sie drei Ansichten nebeneinander an.

Beobachtungen:

- Wie schnell versteht der Teilnehmer, wie das Dashboard angepasst werden kann?
 - Findet der Teilnehmer den Bearbeitungsknopf in der Navigation?
 - Erkennt der Teilnehmer, dass die Anpassungen immer direkt gespeichert werden?
-

Durchführungsnotizen:

Findet die Funktionalität, war aber kurz verwirrt, dass die Ansicht nach unten rutschte. Versuchte anschliessend das Handy in den Breitbild-Modus zu drehen, allerdings werden die Ansichten weiterhin untereinander angezeigt. Fragt daraufhin den Testleiter, ob die Ansicht auf einem Computer anders wäre. Erklärt daraufhin, dass er aber froh darum ist, da keine sinnvolle Darstellung nebeneinander möglich wäre.

Schlägt vor, die Knöpfe um Ansichten nebeneinander hinzuzufügen auf Mobilgeräten zu entfernen.

Aufgabe 5: Ansicht im Vollbildmodus untersuchen

Ziel: Überprüfen, ob der Benutzer die Vollbildfunktion intuitiv bedienen kann.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Zeigen sie die «Letzte Messung» Ansicht im Vollbildmodus an.
2. Verlassen Sie den Vollbildmodus wieder.

Beobachtungen:

- Findet der Teilnehmer den Knopf für den Vollbildmodus der Ansicht?
 - Kann der Teilnehmer den Vollbildmodus wieder verlassen?
-

Durchführungsnotizen:

Hatte keinerlei Probleme, fand die Funktion sofort.

Aufgabe 6: Peaks einer Messung untersuchen

Ziel: Überprüfen, ob der Benutzer die die Zoom- und Tooltip-Funktionen bedienen kann.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Zeigen sie die um 23.07.2024, 09:47:52 durchgeführte Messung der Messstationen mit dem Sensor «19C1CRL20» an.
2. Öffnen Sie die Messstation im Vollbildmodus.
3. Zoomen Sie die Ansicht auf den höchsten Intensitätswert der Messung.
4. Zeigen Sie den genauen Wellenlängen- und Intensitätswert am Höhepunkt an.
5. Zoomen Sie wieder zur ursprünglichen Übersicht heraus.

Beobachtungen:

- Kann der Benutzer die Zoomfunktion bedienen?
- Kann der Benutzer das Tooltip bedienen?
- Sind die genauen Messwerte eines bestimmten Punkts in einer Messung in dem Tooltip der «Line-Chart» Ansicht erkennbar?

Durchführungsnotizen:

Schafft es schnell entsprechend zu zoomen, versucht aber wiederholt eine Zweifingergeste. Schafft es erst nach einem Hinweis vom Testleiter, den Zoom zurückzusetzen, ohne den Vollbildmodus zu öffnen und wieder zu schliessen. Die Bedienung war nach einem kurzen Hinweis einfach, allerdings wär diese kurze Einführung notwendig für den Tester.

Aufgabe 7: Sensor wechseln

Ziel: Überprüfen, ob der Benutzer den Sensor des Dashboards wechseln kann.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Zeigen Sie das bestehende Dashboard mit den Messungen der Messstation mit dem Sensor «000000000»

Beobachtungen:

- Kann der Benutzer den ausgewählten Sensor wechseln?
- Entspricht das Verhalten des Dashboards seinen Erwartungen?

Durchführungsnotizen:

Der Benutzer hatte keinerlei Schwierigkeiten damit.

Abschluss des Tests**Nachbesprechung:**

- Fragen Sie den Teilnehmer nach seinen allgemeinen Eindrücken.
- Gibt es etwas, das ihm besonders gut oder weniger gut gefallen hat?
- War es etwas, das ihn besonders gestört hat oder das schwer zu finden war?
- Mit der System Usability Scale (SUS) wird der System Usability Score berechnet.

Nachbesprechungsnotizen:

Die Applikation ist sehr einfach und logisch aufgebaut. Die Bedienung ist Benutzerfreundlich, allerdings wären Zweifingergesten bei der Zoom-Funktion nützlich.

System Usability Score based on SUS**Bewertungsraster**

lehne völlig ab		möglicherweise		stimme völlig zu
1	2	3	4	5

Score-Berechnung

- Für die Fragen 1, 3, 5, 7 und 9: 1 wird von der Bewertung des Benutzers abgezogen.
- Für die Fragen 2, 4, 6, 8 und 10: Die Bewertung des Benutzers wird von 5 abgezogen.
- Für den Gesamtscore wird die Summe der Scores mit 2.5 multipliziert.

Score

Frage	Bewertung (1-5)	Score (0-4)
1. Ich würde dieses System nutzen, um mir einen Überblick über Messungen zu verschaffen.	5	4
2. Ich fand dieses System unnötig komplex.	1	4
3. Ich fand die Benutzung des Systems einfach.	5	4
4. Ich bräuchte Unterstützung, um das System zu nutzen.	2	3
5. Ich fand die unterschiedlichen Funktionen gut integriert.	3	3
6. Ich fand, dass das System zu viele Inkonsistenzen hatte.	1	4
7. Ich denke viele würden die Bedienung des Systems schnell lernen.	5	4
8. Ich fand die Bedienung des Systems mühselig.	1	4
9. Ich kann das System überzeugt bedienen.	5	4
10. Ich muss noch vieles Lernen bevor ich dieses System benutzen kann.	1	4

SUS-Score total: 95

Test Drehbuch für Watersense Usability Tests

Datum: 08.08.2024

Teilnehmer: Tuana van Schalkwyk

Hintergrund des Teilnehmers: 21 Jahre, keine Berührungspunkte zu Artha

Testleiter: Sven Ziörjen

Ort: Pretoria, Südafrika

Testgerät: Smartphone

Ziel des Tests:

Mit diesem Usability-Test wird die Benutzerfreundlichkeit der Watersense Webapp und ihren Ansichten geprüft. Es wird untersucht, wie effektiv die Benutzerführung ist und welche Schwierigkeiten die Benutzer bei der Benutzung des Systems erfahren.

Dauer des Tests: Ca. 60 Minuten

Einführung für den Teilnehmer:

- Begrüßung des Teilnehmers und Dank für die Teilnahme.
- Erläuterung des Testziels: Wir möchten herausfinden, wie benutzerfreundlich und ansprechend die Anwendung zu bedienen.
- Hinweis, dass es nicht der Teilnehmer ist, der getestet wird, sondern die Anwendung.
- Der Teilnehmer sollte laut denken, damit der Testleiter seine Gedanken nachvollziehen kann und interessante Punkte protokollieren kann.
- Wenn möglich sollte vom Testleiter keine Hilfestellung während der Tests gegeben werden. Falls Hilfestellung trotzdem notwendig war, sollte diese protokolliert werden.

Erklärung der Testumgebung:

- Kurze Einführung in die Testumgebung (Computer bzw. Mobiltelefon).
- Vorstellung der Watersense-Plattform mit den Hintergründen und Zielen des Artha Projekts (ohne detaillierte Erklärungen, um die intuitive Bedienbarkeit der Benutzeroberfläche zu testen).

Aufgabe 1: Die letzte Messung anzeigen

Ziel: Überprüfen, wie einfach es für den Benutzer ist, bei dem erstmaligen Benutzen der Webseite die letzte Messung einer vorgegebenen Messstation anzuzeigen.

Ausgangslage:

- Webapplikation erstmal auf dem Webbrowser eines Computers auf der Dashboard-Seite geöffnet.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Zeigt die letzte Messung der Messstation mit dem Sensor «19C1CRL20» an.

Beobachtungen:

- Hat der Teilnehmer Schwierigkeiten sich auf dem nicht angepassten Dashboard zurechtzufinden?
- Benutzt der Teilnehmer die «Letzte Messung» Ansicht oder findet er die letzte Messung in der «Line-Chart» Ansicht?
- Wie lange dauert es, bis der Teilnehmer die Messung darstellen kann?

Durchführungsnotizen:

Findet den Stationen-Selektor erst nachdem sie etwas herumgeklickt hat.

Die Datumsauswahl in der Line-Chart Ansicht schneidet die Minuten der Zeiten ab, allerdings findet die Testperson die letzte Messung und kann diese anzeigen.

Aufgabe 2: Anzeigen eines Verlaufs in einer Heatmap

Ziel: Überprüfen, ob der Teilnehmer einen Verlauf in einer Heatmap anzeigen kann.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Wählen Sie die Messstation mit dem Sensor «19C1CRL20» aus und filtern Sie die Daten für den Zeitraum 16.07.2024, 00:00 bis 16.07.2024, 03:30.
2. Stellen Sie die gefilterten Daten als Heatmap dar.

Beobachtungen:

- Erkennt der Teilnehmer, dass sich die Heatmap bereits auf dem Dashboard befindet?
- Findet der Teilnehmer die Filteroptionen schnell?
- Benötigt der Teilnehmer Hilfe, um die Aufgabe abzuschließen?

Durchführungsnotizen:

Die Testperson findet den Selektor schnell, ist aber durch die zwei angezeigten Kalender in der Kalenderauswahl verwirrt. Der Testleiter half die Testperson mit der Auswahl im Kalender, die Testperson konnte die Heatmap danach bedienen.

Aufgabe 3: Vergleich von Messungen

Ziel: Überprüfen, ob der Benutzer in der Lage ist, mehrere Messungen zu vergleichen.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Vergleichen Sie folgende drei Messungen der Messstationen mit dem Sensor «19C1CRL20».
 - 17.07.2024, 12:01:41
 - 20.07.2024, 07:33:25
 - 31.07.2024, 12:01:31
2. Stellen Sie die Daten in einer einzigen Ansicht dar, um Unterschiede oder Ähnlichkeiten zu erkennen.

Beobachtungen:

- Wie geht der Teilnehmer vor, um die Messungen zu vergleichen?
- Ist den Teilnehmern bewusst, mit welcher Ansicht sie die Messungen vergleichen können?
- Sind die Schritte intuitiv oder benötigt der Teilnehmer Erklärungen?

Durchführungsnotizen:

Die Testperson fand die richtige Ansicht, versuchte zwei Messungen anzuzeigen doch war sich unsicher, ob die Filterfunktion verwendet werden konnte. Nach einem kurzen Test konnte sie die Messungen selektieren.

Aufgabe 4: Dashboard anpassen

Ziel: Überprüfen, ob der Benutzer das Dashboard an seine Bedürfnisse anpassen kann.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Passen Sie das Dashboard so an, dass die letzte Messung immer angezeigt wird.
2. Entfernen Sie die Heatmap.
3. Zeigen Sie drei Ansichten nebeneinander an.

Beobachtungen:

- Wie schnell versteht der Teilnehmer, wie das Dashboard angepasst werden kann?
 - Findet der Teilnehmer den Bearbeitungsknopf in der Navigation?
 - Erkennt der Teilnehmer, dass die Anpassungen immer direkt gespeichert werden?
-

Durchführungsnotizen:

Die Testperson schafft die Anpassung nach kurzer Suche des Knopfes. Sie hatte keine Schwierigkeiten dabei. Sie verstand, dass die Diagramme untereinander dargestellt werden und fand die Bedienung intuitiv.

Aufgabe 5: Ansicht im Vollbildmodus untersuchen

Ziel: Überprüfen, ob der Benutzer die Vollbildfunktion intuitiv bedienen kann.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Zeigen sie die «Letzte Messung» Ansicht im Vollbildmodus an.
2. Verlassen Sie den Vollbildmodus wieder.

Beobachtungen:

- Findet der Teilnehmer den Knopf für den Vollbildmodus der Ansicht?
 - Kann der Teilnehmer den Vollbildmodus wieder verlassen?
-

Durchführungsnotizen:

Die Testperson konnte die Funktion problemlos bedienen und fand diese sofort.

Aufgabe 6: Peaks einer Messung untersuchen

Ziel: Überprüfen, ob der Benutzer die die Zoom- und Tooltip-Funktionen bedienen kann.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Zeigen sie die um 23.07.2024, 09:47:52 durchgeführte Messung der Messstationen mit dem Sensor «19C1CRL20» an.
2. Öffnen Sie die Messstation im Vollbildmodus.
3. Zoomen Sie die Ansicht auf den höchsten Intensitätswert der Messung.
4. Zeigen Sie den genauen Wellenlängen- und Intensitätswert am Höhepunkt an.
5. Zoomen Sie wieder zur ursprünglichen Übersicht heraus.

Beobachtungen:

- Kann der Benutzer die Zoomfunktion bedienen?
- Kann der Benutzer das Tooltip bedienen?
- Sind die genauen Messwerte eines bestimmten Punkts in einer Messung in dem Tooltip der «Line-Chart» Ansicht erkennbar?

Durchführungsnotizen:

Die Person versucht Zweifingergesten. Erst nach einer kurzen Erklärung des Testleiters versteht sie die Zoom-Funktion. Nach kurzer Erklärung durch den Testleiter kann sie die Messung bedienen. Die Zoom-Funktion behinderte die Testperson bei der Verschiebung des Tooltips. Die Testperson wünscht sich Zoom mit Zweifingergesten.

Aufgabe 7: Sensor wechseln

Ziel: Überprüfen, ob der Benutzer den Sensor des Dashboards wechseln kann.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Zeigen Sie das bestehende Dashboard mit den Messungen der Messstation mit dem Sensor «000000000»

Beobachtungen:

- Kann der Benutzer den ausgewählten Sensor wechseln?
- Entspricht das Verhalten des Dashboards seinen Erwartungen?

Durchführungsnotizen:

Die Testperson fand den Knopf auf Anhieb und konnte die Aufgabe problemlos bewältigen.

Abschluss des Tests

Nachbesprechung:

- Fragen Sie den Teilnehmer nach seinen allgemeinen Eindrücken.
- Gibt es etwas, das ihm besonders gut oder weniger gut gefallen hat?
- War es etwas, das ihn besonders gestört hat oder das schwer zu finden war?
- Mit der System Usability Scale (SUS) wird der System Usability Score berechnet.

Nachbesprechungsnotizen:

Die Graphen werden im Vollbildmodus schön angezeigt, damit können die Daten sehr benutzerfreundlich untersucht werden. Der Tooltip und auch die Zoom-Funktion sollten nur angeboten werden, wenn eine Ansicht in der Vollbild-Funktion ist, damit das Scrollen der Webseite nicht eingeschränkt wird. Ausserdem wäre ein Zoom basierend auf Zweifingergesten nützlich.

Dass das Dashboard dynamisch angepasst werden kann, ist sehr interessant und die Funktion ist intuitiv. Alle Diagramme werden schön dargestellt.

System Usability Score based on SUS

Bewertungsraster

lehne völlig ab		möglicherweise		stimme völlig zu
1	2	3	4	5

Score-Berechnung

- Für die Fragen 1, 3, 5, 7 und 9: 1 wird von der Bewertung des Benutzers abgezogen.
- Für die Fragen 2, 4, 6, 8 und 10: Die Bewertung des Benutzers wird von 5 abgezogen.
- Für den Gesamtscore wird die Summe der Scores mit 2.5 multipliziert.

Score

Frage	Bewertung (1-5)	Score (0-4)
1. Ich würde dieses System nutzen, um mir einen Überblick über Messungen zu verschaffen.	5	4
2. Ich fand dieses System unnötig komplex.	2	3
3. Ich fand die Benutzung des Systems einfach.	5	4
4. Ich bräuchte Unterstützung, um das System zu nutzen.	3	2
5. Ich fand die unterschiedlichen Funktionen gut integriert.	5	4
6. Ich fand, dass das System zu viele Inkonsistenzen hatte.	1	4
7. Ich denke viele würden die Bedienung des Systems schnell lernen.	5	4
8. Ich fand die Bedienung des Systems mühselig.	1	4
9. Ich kann das System überzeugt bedienen.	4	3
10. Ich muss noch vieles lernen bevor ich dieses System benutzen kann.	1	4

SUS-Score total: 90

Test Drehbuch für Watersense Usability Tests

Datum: 09.08.2024

Teilnehmer: Jamin Weibel

Hintergrund des Teilnehmers: 26 Jahre, keine Berührungspunkte zu Artha

Testleiter: Jan Zimmermann

Ort: Lyss, Schweiz

Testgerät: Computer

Ziel des Tests:

Mit diesem Usability-Test wird die Benutzerfreundlichkeit der Watersense Webapp und ihren Ansichten geprüft. Es wird untersucht, wie effektiv die Benutzerführung ist und welche Schwierigkeiten die Benutzer bei der Benutzung des Systems erfahren.

Dauer des Tests: Ca. 60 Minuten

Einführung für den Teilnehmer:

- Begrüßung des Teilnehmers und Dank für die Teilnahme.
- Erläuterung des Testziels: Wir möchten herausfinden, wie benutzerfreundlich und ansprechend die Anwendung zu bedienen.
- Hinweis, dass es nicht der Teilnehmer ist, der getestet wird, sondern die Anwendung.
- Der Teilnehmer sollte laut denken, damit der Testleiter seine Gedanken nachvollziehen kann und interessante Punkte protokollieren kann.
- Wenn möglich sollte vom Testleiter keine Hilfestellung während der Tests gegeben werden. Falls Hilfestellung trotzdem notwendig war, sollte diese protokolliert werden.

Erklärung der Testumgebung:

- Kurze Einführung in die Testumgebung (Computer bzw. Mobiltelefon).
- Vorstellung der Watersense-Plattform mit den Hintergründen und Zielen des Artha Projekts (ohne detaillierte Erklärungen, um die intuitive Bedienbarkeit der Benutzeroberfläche zu testen).

Aufgabe 1: Die letzte Messung anzeigen

Ziel: Überprüfen, wie einfach es für den Benutzer ist, bei dem erstmaligen Benutzen der Webseite die letzte Messung einer vorgegebenen Messstation anzuzeigen.

Ausgangslage:

- Webapplikation erstmal auf dem Webbrowser eines Computers auf der Dashboard-Seite geöffnet.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Zeigt die letzte Messung der Messstation mit dem Sensor «19C18CRL20» an.

Beobachtungen:

- Hat der Teilnehmer Schwierigkeiten sich auf dem nicht angepassten Dashboard zurechtzufinden?
- Benutzt der Teilnehmer die «Letzte Messung» Ansicht oder findet er die letzte Messung in der «Line-Chart» Ansicht?
- Wie lange dauert es, bis der Teilnehmer die Messung darstellen kann?

Durchführungsnotizen:

Gut übersichtlich, selbsterklärend, letzte Messung über Liniendiagramm, 1min

Aufgabe 2: Anzeigen eines Verlaufs in einer Heatmap

Ziel: Überprüfen, ob der Teilnehmer einen Verlauf in einer Heatmap anzeigen kann.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Wählen Sie die Messstation mit dem Sensor «19C18CRL20» aus und filtern Sie die Daten für den Zeitraum 16.07.2024, 00:00 bis 16.07.2024, 03:30.
2. Stellen Sie die gefilterten Daten als Heatmap dar.

Beobachtungen:

- Erkennt der Teilnehmer, dass sich die Heatmap bereits auf dem Dashboard befindet?
- Findet der Teilnehmer die Filteroptionen schnell?
- Benötigt der Teilnehmer Hilfe, um die Aufgabe abzuschließen?

Durchführungsnotizen:

1,Versuch: versuchte Zeitraum bei Liniendiagramm einzustellen

2, versuch: auf dem rechten Eingabefeld wurde Zeitraum ausgewählt auch mit Ziffern Eingabe

Nach 3 Sekunden wurde Ansicht geladen. Unsicher ob dies die Heatmap ist, da keine Beschreibung / Titel

2min

Aufgabe 3: Vergleich von Messungen

Ziel: Überprüfen, ob der Benutzer in der Lage ist, mehrere Messungen zu vergleichen.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Vergleichen Sie folgende drei Messungen der Messstationen mit dem Sensor «19C18CRL20».
 - 17.07.2024, 12:01:41
 - 20.07.2024, 07:33:25
 - 31.07.2024, 12:01:31
2. Stellen Sie die Daten in einer einzigen Ansicht dar, um Unterschiede oder Ähnlichkeiten zu erkennen.

Beobachtungen:

- Wie geht der Teilnehmer vor, um die Messungen zu vergleichen?
- Ist den Teilnehmern bewusst, mit welcher Ansicht sie die Messungen vergleichen können?
- Sind die Schritte intuitiv oder benötigt der Teilnehmer Erklärungen?

Durchführungsnotizen:

Ansicht wurde schnell gefunden. Jedoch wurde das der entsprechende Tag nicht gefunden, da dieser nicht in der Selektion vorhanden war.

Durch Löschen der Sucheingabe im Messungen-Feld wurden plötzlich alle Messungen entfernt

Nach Eingabe des neuen Datums, wurden alle Messungen gefunden.

5min

Aufgabe 4: Dashboard anpassen

Ziel: Überprüfen, ob der Benutzer das Dashboard an seine Bedürfnisse anpassen kann.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Passen Sie das Dashboard so an, dass die letzte Messung immer angezeigt wird.
2. Entfernen Sie die Heatmap.
3. Zeigen Sie drei Ansichten nebeneinander an.

Beobachtungen:

- Wie schnell versteht der Teilnehmer, wie das Dashboard angepasst werden kann?
- Findet der Teilnehmer den Bearbeitungsknopf in der Navigation?
- Erkennt der Teilnehmer, dass die Anpassungen immer direkt gespeichert werden?

Durchführungsnotizen:

Teilnehmer versuchte über das normale Liniendiagramm stets die letzte Messung zu laden.

Nach diverser Suche wurde die Ansicht-Auswahl gefunden und auch gleich 3 Ansichten nebeneinander dargestellt. Heatmap wurde schnell entfernt.

5min

Aufgabe 5: Ansicht im Vollbildmodus untersuchen

Ziel: Überprüfen, ob der Benutzer die Vollbildfunktion intuitiv bedienen kann.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Zeigen Sie die «Letzte Messung» Ansicht im Vollbildmodus an.
2. Verlassen Sie den Vollbildmodus wieder.

Beobachtungen:

- Findet der Teilnehmer den Knopf für den Vollbildmodus der Ansicht?
- Kann der Teilnehmer den Vollbildmodus wieder verlassen?

Durchführungsnotizen:

Vollbildansicht wurde schnell gefunden.

ESC zum Schliessen funktioniert nicht.

10sekunden

Aufgabe 6: Peaks einer Messung untersuchen

Ziel: Überprüfen, ob der Benutzer die die Zoom- und Tooltip-Funktionen bedienen kann.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Zeigen sie die um 23.07.2024, 09:47:52 durchgeführte Messung der Messstationen mit dem Sensor «19C18CRL20» an.
2. Öffnen Sie die Messstation im Vollbildmodus.
3. Zoomen Sie die Ansicht auf den höchsten Intensitätswert der Messung.
4. Zeigen Sie den genauen Wellenlängen- und Intensitätswert am Höhepunkt an.
5. Zoomen Sie wieder zur ursprünglichen Übersicht heraus.

Beobachtungen:

- Kann der Benutzer die Zoomfunktion bedienen?
- Kann der Benutzer das Tooltip bedienen?
- Sind die genauen Messwerte eines bestimmten Punkts in einer Messung in dem Tooltip der «Line-Chart» Ansicht erkennbar?

Durchführungsnotizen:

Fehlgeschlagene Zoom. Versuche: Scrollen, Doppelklick, CTRL + Scrollen, Werkzeug gesucht zum Scrollen (Toolbar)

Peak konnte schnell untersucht werden, 275 & 2078 sind die gesuchten Werte

Reset des Zooms konnte schnell gefunden werden -> Toolbar wäre jedoch hilfreich 1min

Aufgabe 7: Sensor wechseln

Ziel: Überprüfen, ob der Benutzer den Sensor des Dashboards wechseln kann.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Zeigen Sie das bestehende Dashboard mit den Messungen der Messstation mit dem Sensor «000000000»

Beobachtungen:

- Kann der Benutzer den ausgewählten Sensor wechseln?
- Entspricht das Verhalten des Dashboards seinen Erwartungen?

Durchführungsnotizen:

2 Sekunden, war intuitiv für Teilnehmer

Abschluss des Tests**Nachbesprechung:**

- Fragen Sie den Teilnehmer nach seinen allgemeinen Eindrücken.
- Gibt es etwas, das ihm besonders gut oder weniger gut gefallen hat?
- War es etwas, das ihn besonders gestört hat oder das schwer zu finden war?
- Mit der System Usability Scale (SUS) wird der System Usability Score berechnet.

Nachbesprechungsnotizen:

+ schlichtes design, keine überflüssigen Elemente; Sensoreinstellung, Messungen entfernen von Selektor ist großartig.

+ - Datumeinstellung + Selektion war unklar zu beginn, wie der Zusammenhang ist. Das Dashboard bearbeitet werden kann war nicht von Beginn klar

- Zoomen war nicht intuitiv -> Scrollen wäre besser geeignet; Bei Datum Selektion wäre toll, wenn ausgewählter Zeitpunkt angezeigt wird oder zumindest als erstes.

Nach einer kurzen Schulung wäre die Website klar und intuitiv

System Usability Score based on SUS**Bewertungsraster**

lehne völlig ab		möglicherweise		stimme völlig zu
1	2	3	4	5

Score-Berechnung

- Für die Fragen 1, 3, 5, 7 und 9: 1 wird von der Bewertung des Benutzers abgezogen.
- Für die Fragen 2, 4, 6, 8 und 10: Die Bewertung des Benutzers wird von 5 abgezogen.
- Für den Gesamtscore wird die Summe der Scores mit 2.5 multipliziert.

Score

Frage	Bewertung (1-5)	Score (0-4)
1. Ich würde dieses System nutzen, um mir einen Überblick über Messungen zu verschaffen.	4	3
2. Ich fand dieses System unnötig komplex.	1	4
3. Ich fand die Benutzung des Systems einfach.	4	3
4. Ich bräuchte Unterstützung, um das System zu nutzen.	2	3
5. Ich fand die unterschiedlichen Funktionen gut integriert.	5	4
6. Ich fand, dass das System zu viele Inkonsistenzen hatte.	1	4
7. Ich denke viele würden die Bedienung des Systems schnell lernen.	5	4
8. Ich fand die Bedienung des Systems mühselig.	1	4
9. Ich kann das System überzeugt bedienen.	5	4
10. Ich muss noch vieles Lernen, bevor ich dieses System benutzen kann.	1	4

SUS-Score total: 37 * 2.5 = 92.5

Test Drehbuch für Watersense Usability Tests

Datum: 11.08.2024

Teilnehmer: Marion Hofmann

Hintergrund des Teilnehmers: 28, keine Berührungspunkte zu Artha

Testleiter: Jan Zimmermann

Ort: Lyss, Schweiz

Testgerät: Computer

Ziel des Tests:

Mit diesem Usability-Test wird die Benutzerfreundlichkeit der Watersense Webapp und ihren Ansichten geprüft. Es wird untersucht, wie effektiv die Benutzerführung ist und welche Schwierigkeiten die Benutzer bei der Benutzung des Systems erfahren.

Dauer des Tests: Ca. 60 Minuten

Einführung für den Teilnehmer:

- Begrüßung des Teilnehmers und Dank für die Teilnahme.
- Erläuterung des Testziels: Wir möchten herausfinden, wie benutzerfreundlich und ansprechend die Anwendung zu bedienen.
- Hinweis, dass es nicht der Teilnehmer ist, der getestet wird, sondern die Anwendung.
- Der Teilnehmer sollte laut denken, damit der Testleiter seine Gedanken nachvollziehen kann und interessante Punkte protokollieren kann.
- Wenn möglich sollte vom Testleiter keine Hilfestellung während der Tests gegeben werden. Falls Hilfestellung trotzdem notwendig war, sollte diese protokolliert werden.

Erklärung der Testumgebung:

- Kurze Einführung in die Testumgebung (Computer bzw. Mobiltelefon).
- Vorstellung der Watersense-Plattform mit den Hintergründen und Zielen des Artha Projekts (ohne detaillierte Erklärungen, um die intuitive Bedienbarkeit der Benutzeroberfläche zu testen).

Aufgabe 1: Die letzte Messung anzeigen

Ziel: Überprüfen, wie einfach es für den Benutzer ist, bei dem erstmaligen Benutzen der Webseite die letzte Messung einer vorgegebenen Messstation anzuzeigen.

Ausgangslage:

- Webapplikation erstmal auf dem Webbrowser eines Computers auf der Dashboard-Seite geöffnet.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Zeigt die letzte Messung der Messstation mit dem Sensor «19C18CRL20» an.

Beobachtungen:

- Hat der Teilnehmer Schwierigkeiten sich auf dem nicht angepassten Dashboard zurechtzufinden?
- Benutzt der Teilnehmer die «Letzte Messung» Ansicht oder findet er die letzte Messung in der «Line-Chart» Ansicht?
- Wie lange dauert es, bis der Teilnehmer die Messung darstellen kann?

Durchführungsnotizen:

- Sensor war bereits der richtige ausgewählt,
- Letzte Messung wurde zuerst zuunterst im Dropdown (Selektor) gesucht. Wurde jedoch schnell zuoberst gefunden. (Die Daten wurden kontrolliert, welche der letzte Zeitpunkt ist)
- 1min

Aufgabe 2: Anzeigen eines Verlaufs in einer Heatmap

Ziel: Überprüfen, ob der Teilnehmer einen Verlauf in einer Heatmap anzeigen kann.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Wählen Sie die Messstation mit dem Sensor «19C18CRL20» aus und filtern Sie die Daten für den Zeitraum 16.07.2024, 00:00 bis 16.07.2024, 03:30.
2. Stellen Sie die gefilterten Daten als Heatmap dar.

Beobachtungen:

- Erkennt der Teilnehmer, dass sich die Heatmap bereits auf dem Dashboard befindet?
- Findet der Teilnehmer die Filteroptionen schnell?
- Benötigt der Teilnehmer Hilfe, um die Aufgabe abzuschließen?

Durchführungsnotizen:

- Zuerst wurde im Datenselektor nach einem Zeitraum gesucht. Jedoch war schnell klar, dass nicht das Linien Diagramm gemeint war, sondern das andere.
- Bemerkung Testperson: Überschriften wären hilfreich, ob Heatmap oder Liniendiagramm (Zweck der Ansicht)
- Zeitraum konnte schnell ausgewählt werden. Jedoch war die Zeitselektion nicht einfach, da es einen Overflow gab(scrollen bei der Zeit war notwendig).
- Sekunden Selektion wäre nicht notwendig
- 2min

Aufgabe 3: Vergleich von Messungen

Ziel: Überprüfen, ob der Benutzer in der Lage ist, mehrere Messungen zu vergleichen.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Vergleichen Sie folgende drei Messungen der Messstationen mit dem Sensor «19C18CRL20».
 - 17.07.2024, 12:01:41
 - 20.07.2024, 07:33:25
 - 31.07.2024, 12:01:31
2. Stellen Sie die Daten in einer einzigen Ansicht dar, um Unterschiede oder Ähnlichkeiten zu erkennen.

Beobachtungen:

- Wie geht der Teilnehmer vor, um die Messungen zu vergleichen?
- Ist den Teilnehmern bewusst, mit welcher Ansicht sie die Messungen vergleichen können?
- Sind die Schritte intuitiv oder benötigt der Teilnehmer Erklärungen?

Durchführungsnotizen:

- Zusammenhang zwischen Zeitpunkt Selektion und Dropdown war schwer zu verstehen. Teilweise waren die Daten nicht in der Selektion (Dropdown) vorhanden, obwohl selektiert.
- Unklar war ob mehrere Liniendiagramme hinzugefügt werden sollten oder alles in einer Ansicht verglichen werden kann. Ein Plus-Symbol hat gefehlt.
- 5min

Aufgabe 4: Dashboard anpassen

Ziel: Überprüfen, ob der Benutzer das Dashboard an seine Bedürfnisse anpassen kann.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Passen Sie das Dashboard so an, dass die letzte Messung immer angezeigt wird.
2. Entfernen Sie die Heatmap.
3. Zeigen Sie drei Ansichten nebeneinander an.

Beobachtungen:

- Wie schnell versteht der Teilnehmer, wie das Dashboard angepasst werden kann?
- Findet der Teilnehmer den Bearbeitungsknopf in der Navigation?
- Erkennt der Teilnehmer, dass die Anpassungen immer direkt gespeichert werden?

Durchführungsnotizen:

- 1min
- Zuerst wurde letzte Messung in Linien-Ansicht selektiert
- Anschliessend wurde das Dashboard bearbeitet und schnell eine neue Ansicht hinzugefügt.
- Heatmap konnte ohne Probleme entfernt werden.
- Als drittes Diagramm wurde das Intensitätsdiagramm gewählt.

Aufgabe 5: Ansicht im Vollbildmodus untersuchen

Ziel: Überprüfen, ob der Benutzer die Vollbildfunktion intuitiv bedienen kann.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Zeigen sie die «Letzte Messung» Ansicht im Vollbildmodus an.
2. Verlassen Sie den Vollbildmodus wieder.

Beobachtungen:

- Findet der Teilnehmer den Knopf für den Vollbildmodus der Ansicht?
- Kann der Teilnehmer den Vollbildmodus wieder verlassen?

Durchführungsnotizen:

- 10 Sekunden
- Funktionierte ohne Probleme
- Symbol waren selbsterklärend

Aufgabe 6: Peaks einer Messung untersuchen

Ziel: Überprüfen, ob der Benutzer die die Zoom- und Tooltip-Funktionen bedienen kann.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Zeigen sie die um 23.07.2024, 09:47:52 durchgeführte Messung der Messstationen mit dem Sensor «19C18CRL20» an.
2. Öffnen Sie die Messstation im Vollbildmodus.
3. Zoomen Sie die Ansicht auf den höchsten Intensitätswert der Messung.
4. Zeigen Sie den genauen Wellenlängen- und Intensitätswert am Höhepunkt an.
5. Zoomen Sie wieder zur ursprünglichen Übersicht heraus.

Beobachtungen:

- Kann der Benutzer die Zoomfunktion bedienen?
- Kann der Benutzer das Tooltip bedienen?
- Sind die genauen Messwerte eines bestimmten Punkts in einer Messung in dem Tooltip der «Line-Chart» Ansicht erkennbar?

Durchführungsnotizen:

- 271, 2076 war der höchste punkt
- Messung auszuwählen hat nicht funktioniert. Die Messungen vom 23. Juli wurden erst nach einem F5 in den Selektor geladen
- Zoomen war etwas verwirrend. Keine Anleitung oder Symbole
- Auch der Reset konnte erst durch einen Hinweis angewendet werden. Symbole wäre hilfreich
- Zuerst wurde versucht mit scrollen zu zoomen.
- 3min

Aufgabe 7: Sensor wechseln

Ziel: Überprüfen, ob der Benutzer den Sensor des Dashboards wechseln kann.

Anweisung an den Teilnehmer:

1. Zeigen Sie das bestehende Dashboard mit den Messungen der Messstation mit dem Sensor «000000000»

Beobachtungen:

- Kann der Benutzer den ausgewählten Sensor wechseln?
- Entspricht das Verhalten des Dashboards seinen Erwartungen?

Durchführungsnotizen:

- 10 Sekunden
- Wechsel des Sensors war klar.
- Eventuell wäre es hilfreich, wenn beim Dropdown noch Selektor stehen würde als Hinweis.

Abschluss des Tests

Nachbesprechung:

- Fragen Sie den Teilnehmer nach seinen allgemeinen Eindrücken.
- Gibt es etwas, das ihm besonders gut oder weniger gut gefallen hat?
- War es etwas, das ihn besonders gestört hat oder das schwer zu finden war?
- Mit der System Usability Scale (SUS) wird der System Usability Score berechnet.

Nachbesprechungsnotizen:

(+) Design, Wenn Wissen vorhanden ist es sehr einfach. Diagramme waren klar. Farben waren auch klar. Sensor Selektor ist gut in der Navigation.

(-) Verwirrend da alles auf einer Seite. (keine Home Seite, keine Einstellungsseite) Eine Navigation wäre hilfreich

System Usability Score based on SUS

Bewertungsraster

lehne völlig ab		möglicherweise		stimme völlig zu
1	2	3	4	5

Score-Berechnung

- Für die Fragen 1, 3, 5, 7 und 9: 1 wird von der Bewertung des Benutzers abgezogen.
- Für die Fragen 2, 4, 6, 8 und 10: Die Bewertung des Benutzers wird von 5 abgezogen.
- Für den Gesamtscore wird die Summe der Scores mit 2.5 multipliziert.

Score

Frage	Bewertung (1-5)	Score (0-4)
1. Ich würde dieses System nutzen, um mir einen Überblick über Messungen zu verschaffen.	4	3
2. Ich fand dieses System unnötig komplex.	1	4
3. Ich fand die Benutzung des Systems einfach.	4	3
4. Ich bräuchte Unterstützung, um das System zu nutzen.	1	4
5. Ich fand die unterschiedlichen Funktionen gut integriert.	3	2
6. Ich fand, dass das System zu viele Inkonsistenzen hatte.	2	3
7. Ich denke viele würden die Bedienung des Systems schnell lernen.	5	4
8. Ich fand die Bedienung des Systems mühselig.	1	4
9. Ich kann das System überzeugt bedienen.	4	3
10. Ich muss noch vieles Lernen bevor ich dieses System benutzen kann.	1	4

SUS-Score total: 34 * 2.5 = 85

C Anhang Hosting-Plattform

C.1 Hosting-Plattformen - Literaturrecherche Vorgehen Vergleich

Aus der Literaturrecherche ergaben sich verschiedene Methoden zur Auswahl von Hosting-Plattformen, die in den folgenden Abschnitten erläutert werden. Anschliessend wird eine Entscheidung für eine bestimmte Methode begründet gefällt.

CSMIC Service Measurement Index (SMI)

Das Cloud Services Measurement Initiative Consortium (CSMIC) hat einen Service Measurement Index (SMI) entwickelt, um die Qualität von Cloud Services zu bewerten. Der SMI bewertet die Qualität von Frameworks anhand verschiedener Kriterien und Key Performance Indicators (KPI). Insgesamt werden 51 Attribute in sieben Kategorien untersucht, darunter Rechenschaftspflicht, Agilität, Kosten, Leistung, Sicherheit und Datenschutz sowie Benutzerfreundlichkeit [10].

Das SMI-Template legt grossen Wert auf die Verwendung von betrieblichen Definitionen für jedes Kriterium und umfasst die folgenden Abschnitte:

- Name des Kriteriums – und ob sie quantitativ oder qualitativ ist
- Zugehöriges SMI-Attribut(e)
- Begründung/Kontext für die Verwendung
- Zielgruppe/Nutzer des Kriteriums
- Zweck: Einschliesslich Beschreibung der Verwendung, Geschäftsziel/erwartetes Geschäftsergebnis, technisches Ziel(e) und Fragen zur Bestimmung, ob die Ziel(e) erreicht wurden
- Messdefinition: Formel, Einheit(en) der Messung, Häufigkeit, Ausschlüsse
- Entscheidungskriterien: Akzeptable vs. nicht akzeptable Werte des Kriteriums
- Datenerhebung: Methode(n) wie Umfrage, Audit etc.
- Zusätzliche Kommentare: Zusätzliche Informationen zur Erläuterung des Kriteriums

Multi-Criteria Scoring Method based on Performance Indicators

In der Arbeit von de Moraes, Fiorese et al. [11] wird ein weiteres Vorgehen zur Auswahl eines passenden Hostinganbieters vorgestellt. Im ersten Schritt werden inkompatible Anbieter ausgeschlossen. Im zweiten Schritt werden die verbleibenden Anbieter anhand von Performance-Indikatoren bewertet. Dabei werden die verschiedenen Indikatoren unterschiedlich gewichtet. In dritten Schritt werden die Ergebnisse der vorherigen beiden Schritten kombiniert, um eine Rangliste zu erhalten.

Analytic Hierarchy Process basierter Ansatz

Do Chung, Seo [12] haben einen Analytic Hierarchy Process (AHP) basierten Ansatz zur Auswahl eines Hostinganbieters veröffentlicht.

AHP und auch Analytic Network Process (ANP) sind zwei von Saaty [13] entwickelte Modelle, welche zur Entscheidungsfindung eingesetzt werden können. Der ANP Ansatz berücksichtigt die Abhängigkeiten und Rückkoppelungen zwischen den unterschiedlichen Alternativen und Kriterien. AHP verwendet eine hierarchische Struktur, um die verschiedenen Kriterien zu gewichten.

Beim ANP basierten Ansatz wird zu Beginn eine Hierarchie über Ziel, Kriterien und Alternativen erstellt. Anschliessend werden die Kriterien paarweise verglichen, um deren Gewichtung zu bestimmen. Aus den Matrizen der paarweisen Vergleiche werden die Eigenwerte und Eigenvektoren verwendet, um die Prioritäten der einzelnen Kriterien zu definieren. Mit der Kombination dieser Vektoren kann der Rang der einzelnen Hostinganbieter definiert werden [12].

Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

TOPSIS ist ein weiteres Modell zur Entscheidungsfindung bei MCDM Problemen. Es basiert auf die Distanzen der einzelnen Alternativen zu den idealen und ungeeignetsten Lösung. Wobei am Ende der

Bewertung der Kriterien pro Alternative ein Ideal auserkoren wird. So wird die Distanz der einzelnen Alternativen pro Kriterium zu den idealen Lösungen minimiert, während die Distanz zu den ungeeignetsten Lösungen maximiert wird [14]. Am Ende wird die Ähnlichkeit zum Ideal über alle Kriterien jeweils berechnet und die Alternative mit der grössten Ähnlichkeit ausgewählt. Es gibt viele Arbeiten, welche die Wahl eines Hostinganbieters basierend auf TOPSIS untersucht haben [15]–[21].

Multi-Attribute Utility Theory (MAUT)

MAUT ist ein weiteres Modell, um die Entscheidungsfindung bei MCDM Problemen zu unterstützen [22]. Es gibt verschiedene Anwendungsausprägungen, die folgenden Schritte werden jedoch immer durchgeführt:

1. Identifikation der Alternativen und Kriterien.
2. Bewertung der Kriterien von den Alternativen.
3. Definierung von relativen Gewichten auf den Kriterien.
4. Gewichte und Bewertungen kombinieren, um die Eignung der Alternativen zu bestimmen.
5. Sensitivitätsanalyse durchführen, um die Robustheit der Resultate zu überprüfen und eine Empfehlung abzugeben.

C.2 Hosting-Plattformen - Literaturrecherche Kriterienauswahl

In diesem Kapitel werden relevante Kriterien zusammengefasst.

Relevante Kriterien nach CSMIC

Laut dem CSMIC sind Kriterien, um Cloud Services zu bewerten, insgesamt sieben Kategorien zuzuordnen. Von 51 identifizierten Kriterien gelten laut Siegel, Perdue [10] 21 als priorisiert. Nachfolgend werden diese priorisierten Kriterien nach Kategorie gruppiert aufgelistet.

Kategorie	Kriterium
Verantwortlichkeit	Überprüfung von Anbieter-Verträgen/SLAs, Einhaltung von Vorschriften, Geschäftsfähigkeit, Anbieter-Zertifizierungen
Agilität	Skalierbarkeit, Portabilität, Elastizität
Sicherheit	Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit, Belastbarkeit/Fehlertoleranz
Finanziell	Laufende Kosten, Erwerbs- und Übergangskosten
Leistung	Antwortzeit des Dienstes, Funktionalität, Interoperabilität
Sicherheit und Datenschutz	Zugangskontrolle und Rechteverwaltung, Datenschutz und Datenverlust, Datenintegrität
Benutzerfreundlichkeit	Zugänglichkeit, Lernbarkeit, Eignung

Tabelle C.1: Kategorien und Attribute für die Messung von Cloud-Diensten

Kosten und Sicherheitsfaktoren gelten als die wichtigsten Kriterien für Entscheidungsträger, da sie entscheidend für die Nachhaltigkeit und den Erfolg eines Projekts sind. Wichtig ist, dass die Kosten im Budget bleiben und höchste Sicherheitsstandards eingehalten werden, um Risiken zu minimieren und das Vertrauen der Stakeholder zu sichern [10].

Relevante Kriterien bezüglich Quality-of-Service

Eisa, Younas et al. [23] fassten die wichtigsten Quality-of-Service (QoS) Attribute in ähnliche Kategorien zusammen wie bereits das CSMIC. Um die relevanten QoS-Attribute zu identifizieren wurden nebst jüngsten Forschungsarbeiten auch verschiedene Cloud-Auswahl Tools analysiert.

Kategorie	QoS-Attribut
Sicherheit	Zugangskontrolle, Datensicherheit, Geographische Lage, Überprüfbarkeit
Benutzerfreundlichkeit	Benutzeroberfläche, Bedienbarkeit, Lernbarkeit
Versicherung	Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit, Wiederherstellbarkeit
Leistung	Hardware, Funktionalitätsumfang, Elastizität, Skalierbarkeit
Unternehmensleistung	Migrationszeit, Schulungen, Kundensupport
Preisgestaltung	Gebührenmodell, Zahlungsintervall, Währung, Supportkosten, Preisreduktionen, Preissystem
Compliance	Sicherheit Compliance, Rechtliche Compliance, Standards Compliance

Tabelle C.2: Kategorien und QoS für die Messung von Cloud-Diensten

Diese sieben Kategorien umfassen nach Eisa, Younas et al. [23] die wichtigsten QoS-Attribute, da sie die Kernaspekte der technischen und geschäftlichen Anforderungen an Cloud-Dienste abdecken.

C.2.1 Hosting-Plattformen - Dienstübersicht der Anbieter

In diesem Abschnitt werden die Dienste, welche für die angedachte Lösungsarchitektur verwendet werden könnten, aufgelistet.

Amazon Web Services (AWS)

Die Cloud Plattform AWS ist der älteste Cloud Anbieter und somit ein Pionier in diesem Gebiet. Er offeriert alle für dieses Projekt notwendige Services [24].

Dienst	Beschreibung
AWS EC2	Amazon Elastic Compute Cloud (EC2) ermöglicht es Benutzern, virtuelle Serverinstanzen in der Cloud zu erstellen und auszuführen, die anpassbar und skalierbar sind.
AWS RDS	Amazon Relational Database Service (RDS) ist ein verwalteter Datenbankdienst von AWS, der die Einrichtung, den Betrieb und die Skalierung von PostgreSQL, MariaDB, MySQL und Oracle-Datenbanken in der Cloud erleichtert. Einfache Datenbank-Backups werden von dem Dienst unterstützt und sind inbegriffen.
AWS S3	Amazon Simple Storage Service (S3) ist ein Object Storage Service, der Skalierbarkeit, Verfügbarkeit, Sicherheit und hohe Leistung bietet. Er kann verwendet werden, um eine statische Webseite zur Verfügung zu stellen.

Tabelle C.3: Beschreibung AWS Dienste

Microsoft Azure Cloud

Die Microsoft Azure Cloud offeriert alle für das Projekt notwendigen Services und ist auf Microsoft Dienste spezialisiert [24].

Dienst	Beschreibung
Azure Virtual Machines	Azure Virtual Machines sind skalierbare virtuelle Maschinen in Microsoft Azure für die Cloud-Bereitstellung von Betriebssystemen und Anwendungen.
Azure SQL Database	Azure SQL Database ist ein vollständig verwalteter relationaler Datenbankdienst, der skalierbare, sichere und leistungsstarke SQL-Datenbanken in der Cloud bereitstellt. Datenbankbackups sind in diesem Dienst inbegriffen.
Azure Storage	Azure Storage bietet hochverfügbaren cloudbasierten Speicher für verschiedene Datenarten wie Bilder, Dateien und Queue (Nachrichtenwarteschlangen).
Azure Machine Learning	Azure Machine Learning ermöglicht das Implementieren, Trainieren und Verwalten von maschinellen Lernmodellen in der Cloud.

Tabelle C.4: Beschreibung der Microsoft Azure Cloud Dienste

Google Cloud Platform (GCP)

Die Google Cloud Platform stellt alle erforderlichen Dienste für dieses Projekt bereit und ist ebenso weit verbreitet wie die beiden anderen Anbieter in der Cloud [24].

Dienst	Beschreibung
Google Compute Engine (GCE)	GCE ermöglicht es den Benutzern, virtuelle Maschinen in der Cloud zu erstellen und auszuführen.
Cloud SQL	Cloud SQL ist ein vollständig verwalteter relationaler Datenbankdienst, der es Benutzern ermöglicht, MySQL und PostgreSQL in der Cloud bereitzustellen und zu verwalten. Automatisierte Backups der Datenbank sind inbegriffen.
Cloud Storage	Cloud Storage ist ein skalierbarer und hochverfügbarer Cloud-Speicherdienst, der es Benutzern ermöglicht, Daten in der Cloud sicher zu speichern, abzurufen und zu verwalten. Er wird für die Bereitstellung der statischen Ressourcen verwendet.
Vertex AI Plattform	Vertex AI Plattform ist eine integrierte KI-Plattform, die Entwicklern Tools und Dienste für das Training, die Bereitstellung und das Management von KI-Modellen bietet.

Tabelle C.5: Beschreibung der Google Cloud Platform Dienste

Infomaniak

Die Schweizer Firma Infomaniak bietet mietbare virtuelle Maschinen mit garantierten Ressourcen. Es muss nur eine Maschine gemietet werden, welche die statische Webseite, die Server-Applikation und auch die Datenbank bereitstellen kann.

Dienst	Beschreibung
VPS-Cloud	Die Virtual Private Server (VPS) Cloud von Infomaniak bietet einen virtuellen Server in der Schweiz, der für verschiedene Anwendungsfälle genutzt werden kann, darunter die Container-basierte Bereitstellung der Server-Applikation und der statischen Webseite.
Swiss Backup	Mit dem Swiss Backup Dienst können Backups der Daten erstellt werden, um diese allenfalls wiederherzustellen.

Tabelle C.6: Beschreibung der Infomaniak Dienste

C.3 Hosting-Plattformen - Detaillierte Auswertung der Kriterien

Die verschiedenen Plattformen wurden innerhalb der Kategorien verglichen und gegenübergestellt, um ihre Leistung und Eignung für das Projekt zu bewerten.

C.3.1 Kosten

Um die aktuellsten Preise zu berücksichtigen, wurden diese am 06.04.2024 auf den Webseiten der offiziellen Anbieter abgefragt. Eine bestimmte Konfiguration für das System mit spezifischen Ressourcen wurde dabei definiert, damit die unterschiedlichen Anbieter preislich verglichen werden konnten. Die

tatsächlich notwendigen Ressourcen waren zu diesem Zeitpunkt noch unklar und würden erst im späteren Projektverlauf klar werden. Somit ermöglichen die Preise der unterschiedlichen Systeme zwar einen Anhaltspunkt, welcher zur Wahl einer Lösung beitragen kann, jedoch können die effektiven Kosten im späteren Projektverlauf abweichen.

Für die Preisberechnung verwendete Konfigurationen

Die Preise der Microsoft Azure Cloud wurden auf einer leicht anderen Konfiguration aller drei Dienste berechnet. Dies weil der Anbieter keine genau passenden Konfigurationen offeriert. Die Preise basieren auf möglichst ähnlichen Konfigurationen und sind daher trotzdem für einen Variantenentscheid relevant.

Die Konfigurationen von den Cloud Dienstanbietern und Infomaniak werden separat aufgeführt, weil die Konfiguration bei Infomaniak sich auf eine virtuelle Maschine beschränkt.

Konfiguration Hosting Statische Webseite

Die folgende Tabelle beschreibt die für die Berechnungen verwendeten Konfigurationen der Dienste, welche die statischen Webseiten bereitstellen.

Die Anzahl PUT- und SELECT Anfragen wurden bei den Konfigurationen der statischen Website-Hosting Dienste nicht miteinbezogen, da diese bei den erwarteten Benutzerzahlen einen zu kleinen Einfluss auf den Preis haben.

Plattform	AWS	Azure Cloud	GCP
Festplattenspeicher	2 GB	2 GB	2 GB
Transfer-Menge	100 GB	100 GB	100 GB

Tabelle C.7: Konfigurationen der Dienste, welche die statische Webseite bereitstellen

Konfiguration Serverapplikation-Dienst

Die folgende Tabelle beschreibt die Konfigurationen der Dienste, welche die Serverapplikation betreiben könnten.

Plattform	AWS	Azure Cloud	GCP
Festplattenspeicher	16 GB	10 GB	16 GB
RAM	8 GB	7 GB	8 GB
vCPUs	2	4	2

Tabelle C.8: Konfigurationen der Dienste, welche die Serverapplikation betreiben könnten.

Konfiguration Datenbank

Die folgende Tabelle beschreibt die Konfigurationen der Datenbankdienste, die für die Preisvergleichsberechnungen verwendet wurden. Wie ersichtlich, konnten alle Datenbanken mit derselben Konfiguration verglichen werden.

Plattform	AWS	Azure Cloud	GCP
Festplattenspeicher	200 GB	200 GB	200 GB
RAM	4 GB	4 GB	4 GB
vCPUs	2	2	2

Tabelle C.9: Konfigurationen der Datenbankdienste

Konfiguration Virtual VM Infomaniak

Die folgende Tabelle beschreibt die Konfiguration der virtuellen Maschine, die für die Berechnungen bei Infomaniak verwendet wurde.

vCPUs	Festplattenspeicher	RAM
4	250 GB	12 GB

Tabelle C.10: Für die Kostenberechnung der virtuellen Maschine bei Infomaniak verwendete Konfiguration

Konfiguration Support

Die folgende Tabelle beschreibt die Konfiguration des Supports, der für die Berechnungen im Preisvergleich verwendet wurde.

Plattform	AWS ³²	Azure Cloud ³³	GCP ³⁴	Infomaniak ³⁵
Modell-Name	Developer Support	Developer	Standardsupport	Plus-Support
Erreichbarkeit während Arbeitszeiten	E-Mail	E-Mail	Tickets	Telefon, E-Mail und Chat
Antwortzeit	< 12h	< 8h	< 4h	< 4h
Zugang zu Lernunterlagen	Ja	Ja	Ja	Ja
Support-Tickets	Unbegrenzt	Unbegrenzt	Unbegrenzt	Unbegrenzt

Tabelle C.11: Konfigurationen der Support Angebote

Preisübersicht der Dienste

Folgende Übersicht wurde vom Auftraggeber gewünscht:

³²<https://aws.amazon.com/de/premiumsupport/plans/developers/>, Zugriff am 14.04.2024

³³<https://azure.microsoft.com/de-de/support/plans/>, Zugriff am 14.04.2024

³⁴<https://cloud.google.com/support>, Zugriff am 14.04.2024

³⁵<https://www.infomaniak.com/de/support/support-premium/tarife>, Zugriff am 14.04.2024

- **Einmalige Kosten:** Alle Ausgaben, welche zur Einrichtung der Systeme nötig sind, zusammenfassen.
- **Wiederkehrende Kosten:** Die geschätzten Ausgaben über einen Zeitraum von fünf Jahren, abzüglich der initialen Kosten.

Die Preise von Amazon Web Services und Azure Cloud wurden von USD zu CHF umgerechnet, damit die Beträge direkt miteinander verglichen werden können. Der verwendete Kurs vom 06.04.2024 beträgt 1 USD = 0.9019 CHF³⁶.

Die Preise von AWS, Azure Cloud und GCP sind nutzungsbasiert. Nur verwendete Ressourcen müssen daher auch bezahlt werden. Trotzdem werden die laufenden Kosten so berechnet, als wären konstant alle geschätzten Ressourcen in Verwendung. Bis zu einer gewissen Projektgrösse sind tiefere Kosten jedoch wahrscheinlich.

Die Preise von Infomaniak sind soweit fix, auch wenn nicht alle Ressourcen verwendet werden. Allerdings kann die Maschine für einen Aufpreis auch auf eine Ressourcenreichere Konfiguration aufgewertet werden. Eine Abwertung ist nicht möglich, da die ressourcenärmste Maschine im Vergleich verwendet wird.

Einmalige Kosten

In der folgenden Tabelle sind die einmaligen Kosten aufgeführt, welche bei der Beschaffung und Einrichtung der Dienste anfallen.

Plattform	AWS	Azure Cloud	GCP	Infomaniak
Einmalige Kosten	0 CHF/M	0 CHF/M	0 CHF/M	0 CHF/M
Total	0 CHF/M	0 CHF/M	0 CHF/M	0 CHF/M

Tabelle C.12: Übersicht zu den einmaligen Kosten in CHF/Monat

Wiederkehrende Kosten

In der folgenden Tabelle sind die geschätzten wiederkehrenden Kosten, welche bei einer Laufzeit von 5 Jahren monatlich anfallen würden.

³⁶<https://www.google.com/finance/quote/USD-CHF>, Zugriff am 06.04.2024

Plattform	AWS	Azure Cloud	GCP	Infomaniak
Static Website Hosting	1.70 CHF/M	8.12 CHF/M	0.59 CHF/M	46.35 CHF/M
Server Applikation	55.64 CHF/M	56.58 CHF/M	43.03 CHF/M	
SQL Datenbank	175.97 CHF/M	174.18 CHF/M	131.80 CHF/M	
Support	26.16 CHF/M ³⁷	26.16 CHF/M	26.16 CHF/M ³⁸	40.59 CHF/M
Datenbank Backup	0 CHF/M	0 CHF/M	0 CHF/M	3.20 CHF/M
Total pro Monat	259.47 CHF/M	265.04 CHF/M	201.58 CHF/M	90.14 CHF/M
Total über 5 Jahre	15'568.2 CHF	15'902.4 CHF	12'094.8 CHF	5'408.4 CHF

Tabelle C.13: Wiederkehrende Kosten der Dienste CHF/Monat

C.3.2 Wartungsaufwand

Bei der Wahl der richtigen Hosting-Plattform geht es nicht nur um Leistung und Preis. Es geht auch darum, wie die Dienste genutzt werden können und wie aufwendig Wartungsarbeiten sind. Der Wartungsaufwand ist grundsätzlich schwer einzuschätzen ohne Experiment. Deshalb wird hier die Community und der angebotene Support berücksichtigt.

Community

Um die Communities der verschiedenen Anbieter gegenüberzustellen, wurden auf der Webseite Stack Overflow die Anzahl Fragen insgesamt und die Anzahl Mitglieder der Stack Overflow Communities untersucht. Die Übersicht der Fragen auf Stack Overflow, der grössten Entwickler-Plattform um Fragen zu stellen und zu beantworten, bietet eine Einschätzung der verschiedenen Grössen der Communities.

Es ist wichtig zu beachten, dass jede Plattform spezifische Support-Kanäle und Foren zur Verfügung stellt, die Nutzern helfen, Fragen zu klären, Probleme zu lösen und sich auszutauschen.

Plattform	AWS ³⁹	Azure Cloud ⁴⁰	GCP ⁴¹
Anzahl Fragen	216'000	256'000	332'000
Anzahl Mitglieder	26'000	19'000	54'400

Tabelle C.14: Stack Overflow Metriken zu AWS, Azure Cloud und GCP

³⁷Bei AWS werden 3% der monatlichen Gesamtgebühren anstelle des fixen Betrages verrechnet. Dies, sofern der Betrag von 29.00 USD überschritten wird.

³⁸Bei GCP werden zusätzlich 3% der monatlichen Gesamtgebühren verrechnet.

³⁹<https://stackoverflow.com/collectives/aws>, Zugriff am 08.04.2024

⁴⁰<https://stackoverflow.com/collectives/azure>, Zugriff am 08.04.2024

⁴¹<https://stackoverflow.com/collectives/google-cloud>, Zugriff am 08.04.2024

Obwohl Google Cloud die jüngste Plattform ist, sind ihre Zahlen bezüglich Fragen und auch Mitglieder am grössten. Azure Cloud hat mehr Fragen als AWS, jedoch eine kleinere Zahl an Mitgliedern auf Stack Overflow.

Im Gegensatz zu den grossen Cloud-Anbietern verfügt Infomaniak über eine kleine Community, die nicht auf Stack Overflow zu finden ist. Um Unterstützung zu erhalten, muss der Customer-Support kontaktiert werden.

Support

Die Tabelle C.11 zeigt die beurteilte Support-Konfigurationen der verschiedenen Anbieter. In Bezug auf Erreichbarkeit und Antwortzeiten erweist sich Infomaniak als Spitzenreiter. Trotzdem zeigt sich in der Tabelle C.13, dass die Support-Dienstleistung von Infomaniak im Vergleich zu anderen Anbietern am kostspieligsten ist. Die grossen Cloud-Anbieter AWS, Azure Cloud und GCP bieten ein vergleichbares Support-Angebot. Lediglich GCP sticht mit einer schnelleren garantierten Erstantwortzeit im Vergleich zu den anderen beiden heraus, wobei der Support ausschliesslich über ein Ticketing-System erreichbar ist.

C.3.3 Verfügbarkeit

Aufgrund der Notwendigkeit einer reibungslosen Kommunikation zwischen den Teilapplikationen und der Anforderung, dass alle Applikationen für eine problemlose Konsultation der Messdaten ständig erreichbar sein müssen, wird die Verfügbarkeit bei den verschiedenen Anbietern untersucht. Die angegebenen Verfügbarkeiten entsprechen den im Service-Level Agreement festgelegten Werten, welche das Unternehmen einhalten muss, um mögliche Strafzahlungen zu vermeiden. Es ist festzuhalten, dass die Verfügbarkeiten der Dienste trotzdem tiefer als die ausgewiesenen Garantien sein können.

Die Verfügbarkeit wird als Uptime ausgewiesen. Die Uptime beschreibt die prozentuale Verfügbarkeit über einen Zeitraum und wird folgendermassen berechnet:

$$\text{Uptime \%} = \left(\frac{\text{Verfügbare Minuten} - \text{Downtime}}{\text{Maximum Verfügbare Minuten}} \right) \times 100$$

Folgende Tabelle zeigt auf wie viel Downtime in Stunden und Minuten die jeweilige in Prozent angegebene Uptime bedeutet. Downtime beschreibt die Nicht-Verfügbarkeit eines Systems. In folgender Tabelle wird diese für den Zeitraum eines Jahres ausgewiesen.

Uptime %	Downtime in Stunden und Minuten pro Jahr
99.5%	43 Stunden und 55 Minuten
99.9%	8 Stunden und 46 Minuten
99.95%	4 Stunden und 22 Minuten
99.99%	0 Stunden und 53 Minuten
99.995%	0 Stunden und 26 Minuten

Tabelle C.15: Erwartete Downtime in Stunden und Minuten pro Jahr für eine bestimmte Uptime

In den folgenden Tabellen C.16, C.17, C.18 und C.19 werden die in den SLA's garantierten Verfügbarkeiten der Dienste untersucht.

Amazon Web Services

Dienst	Uptime %
AWS EC2	> 99.5%
AWS RDS	> 99.95%
AWS S3	> 99.5%
Amazon Machine Learning Language	> 99.9%

Tabelle C.16: In den Service Level Agreements festgelegte Uptime-Werte. AWS verpflichtet sich Strafzahlungen zu machen, wenn die Verfügbarkeit tiefer ist.

Microsoft Azure Services

Dienst	Uptime %
Azure Virtual Machines	> 99.9%
Azure SQL Database	> 99.995%
Azure Storage	> 99.9%
Azure Machine Learning	> 99.9%

Tabelle C.17: In den Service Level Agreements festgelegte Uptime-Werte. Azure verpflichtet sich Strafzahlungen zu machen, wenn die Verfügbarkeit tiefer ist.

Google Cloud Platform Services

Dienst	Uptime %
Google Compute Engine (GCE)	> 99.9%
Cloud SQL	> 99.95%
Cloud Storage	> 99.95%
Vertex AI Plattform	> 99.9%

Tabelle C.18: In den Service Level Agreements festgelegte Uptime-Werte. Google Cloud Platform verpflichtet sich Strafzahlungen zu machen, wenn die Verfügbarkeit tiefer ist.

Infomaniak Services

Dienst	Uptime %
VPS-Cloud	> 99.99%

Tabelle C.19: In den Service Level Agreements festgelegte Uptime-Werte. Infomaniak verpflichtet sich Strafzahlungen zu machen, wenn die Verfügbarkeit tiefer ist.

Alle Dienste haben hohe Verfügbarkeitsgarantien. Da bei Infomaniak alle Dienste auf derselben virtuellen Maschine betrieben würden, profitieren all diese Dienste von der hohen Verfügbarkeit dieser Maschine.

Abgesehen von Infomaniak offeriert Azure die höchsten Verfügbarkeitsgarantien, gefolgt von den Garantien seitens GCP, die noch etwas über denen von AWS liegen.

C.3.4 KI-Werkzeuge

Im Bezug auf KI- und ML-Anwendungen sticht Google Cloud dank seines fokussierten Ansatzes beim ML-Prozess heraus. Der Fokus liegt auf optimierten Workflows, die es den Nutzern erleichtern, ML-Modelle zu entwickeln, zu trainieren und in Anwendungen zu integrieren. Insbesondere die Googles Vertex AI-Plattform ist benutzerfreundlich, sauber und verwendet einen containerisierten Ansatz, welcher ideale Bedingungen für die Entwicklung und Bereitstellung von ML-Modellen schafft.

Die Stärke von GCP in KI und ML wird durch umfangreiche interne Forschung und Fachkenntnisse weiter gestärkt, von denen viele Googles eigene Produkte und Dienstleistungen antreiben. Vertex AI ist nahtlos in die verschiedenen KI- und ML-Tools von Google integriert, einschliesslich TensorFlow und einer Reihe von KI-APIs für verschiedene Anwendungsfälle wie Bildverarbeitung, Spracherkennung, Konversation und strukturierte Daten. Es ist eine umfassende Lösung für Entwickler und Datenwissenschaftler, welche die neuesten Technologien im Bereich KI nutzen möchten⁴².

Im Vergleich der Trainingsfähigkeit von den KI-Systemen der Cloud Plattformen wurde in einem Versuch von Jamal, Wimmer [25] festgestellt, dass die Performance von GCP bei einer gestellten Aufgabe besser als die Dienste von Microsoft Azure Cloud und AWS abgeschnitten hat. Dies, weil das erhaltene Resultat eine höhere Fitness aufwies. Allerdings sind die Unterschiede sind als klein einzuschätzen, alle Dienste wiesen gute und vergleichbare Resultate auf.

Seit 2024 bietet Infomaniak auch einen AI-as-a-Service-Dienst an, dabei handelt es sich um einen LLM-Dienst. Dieser ist auf die natürliche Sprachverarbeitung spezialisiert und daher nicht geeignet, um komplexe Muster in strukturierten Daten zu erkennen. Mit diesem Dienst können keine zuverlässigen Vorhersagen getroffen oder genaue Anomalien erkannt werden. Daher müssten bei der Verwendung von Infomaniak-Hosting externe KI-Werkzeuge und APIs verwendet werden, die nicht in das Ökosystem des Anbieters integriert sind⁴³.

C.3.5 Lage der Daten

Alle Anbieter haben Standorte in der Schweiz und versprechen somit, dass die Daten auch in der Schweiz bearbeitet und gespeichert werden. Die Lage der Dienste in der Schweiz wurde bei den Preisberechnungen berücksichtigt.

⁴²<https://www.channelinsider.com/cloud-computing/aws-vs-azure-vs-google-cloud/>, Zugriff am 15.04.2024

⁴³<https://news.infomaniak.com/de/ai-as-a-service-llm/>, Zugriff am 15.04.2024