



OTTO-FRIEDRICH-UNIVERSITÄT BAMBERG

Angewandte Informatik an der
Fakultät Wirtschaftsinformatik und Angewandte Informatik

MASTERARBEIT

Entwicklung eines interaktiven Werkzeugs zur Kuratierung von Umweltdaten einer bürgerinitiierten Crowdsensing-Kampagne

VON

Samet Murat Akcabay

Betreuerin:

Prof. Dr. Daniela Nicklas

Lehrstuhl für Informatik, insbesondere Mobile Softwaresysteme/Mobilität

15. November 2023

Zusammenfassung

Inhaltsverzeichnis

KAPITEL 1	Einleitung	3
KAPITEL 2	Hintergrund	5
2.1	Crowdsensing vs. Crowdsourcing	5
2.2	Verwandte Arbeiten	7
KAPITEL 3	Konzept	11
3.1	Methodologie zum Aufstellen der Anforderungen	11
3.2	Erfassung der notwendigen Komponenten der Software	12
3.3	Umsetzung	12
KAPITEL 4	Anforderungsanalyse	13
4.1	Ausgangslage in Bamberg	13
4.2	Definition der Anforderungen	13
4.3	Entwurf	13
4.4	Use Cases	13
KAPITEL 5	User Stories	15
KAPITEL 6	Implementierung und Design	17
6.1	Architektur für das Front-End	17
6.2	Architektur für das Back-End	17
KAPITEL 7	Diskussion und Evaluation	19
7.1	Analyse der Anforderungen	19
7.2	Evaluation auf Grundlage der Literatur	19
7.3	Evaluation auf Grundlage der Stakeholder	19
7.4	Limitationen der Arbeit	19
KAPITEL 8	Fazit und Ausblick	21
	Literaturverzeichnis	23
	Eidesstattliche Erklärung	25

Abkürzungsverzeichnis

IEE Institute of Electrical and Electronics Engineers

BVM Bürgerverein Bamberg-Mitte e.V.

1 | Einleitung

Umwelt immer wichtiger, Klimawandel, Erderwärmung... Politik, aber auch Unternehmen setzt immer mehr darauf (Statistik hier zB), umso wichtiger ist es, das Thema Umwelt/Nachhaltigkeit in immer mehr Bereiche zu integrieren, unter anderem in die Softwareentwicklung. Allerdings fühlen sich immer mehr Bürger von Politik abgehängt, oder nicht respektiert/berücksichtigt, also braucht man Hard Facts/Statistik, um vorweisen zu können, was abgeht und welche Maßnahmen erforderlich sind. Was muss beim Städtebau berücksichtigt werden, wo sind die wärmsten Bereiche in einer Stadt und warum? Um dies aufzuzeigen, mein Tool als Lösung. Zwei Fliegen mit einer Klappe, da der Aspekt des Crowdsensings in die Softwareentwicklung miteinfließt und so nachgewiesen werden kann, wie sich das auf die Softwareentwicklung auswirkt und ob das überhaupt sinnvoll ist, das zu berücksichtigen. Wenn ja, eventuell in der Zukunft viel größerer Fokus darauf?

acro! (acro!) Bürgerverein Mitte mit dem Klimamessnetz in Bamberg, initiiert durch Prof. Foken. Regelmäßige Analysen und Auswertungen, z.T. sogar veröffentlicht, um aufzuzeigen, was falsch läuft in der Stadt. Allgemeines Ziel des BVM ist das Fördern von mehr Grün in der Innenstadt, als auch die Reduzierung des Verkehrs. Analysen und Auswertungen erfolgen dabei aber manuell, und es kommt regelmäßig zu Anomalien/Fehlern. Hier kann man natürlich irgendwelche qualitätssteigernde Algorithmen drüber laufen lassen, aber das erwischt natürlich auch nicht alles (Verweis auf Reem) - also Einbinden des Crowdsensing-Aspekts, als zusätzliche Qualitätsschicht.

Mehr grün in der Innenstadt, Reduzierung von Verkehr sind Ziele des BVM. Mein Ziel ist das Schaffen einer Schnittstelle zwischen Stakeholder und Sensordaten, um das Erreichen der Ziele der Stakeholder zu unterstützen. Am Ende möchte ich noch zeigen, ob der Aspekt des Crowdsensings irgendwas bringt in der Softwareentwicklung oder ob das zu vernachlässigen ist, vor allem auf die Langzeit betrachtet. Tool soll Auswertungen unterstützen und bei deren Treffen regelmäßig zum Einsatz kommen.

2 | Hintergrund

In diesem Abschnitt der Arbeit geht es darum, eine Grundlinie des theoretischen Hintergrunds zu schaffen. Dieser Aspekt wird dadurch umgesetzt, indem zunächst der Begriff des „Crowdsensings“ mit dem in der Literatur weitverbreiteten Begriff des „Crowdsourcings“ abgegrenzt wird. Infolgedessen ist es somit in den folgenden Kapiteln möglich, den Begriff des Crowdsensings in den Kontext der Arbeit zu setzen. Im Anschluss werden verwandte Arbeiten vorgestellt, welche sich mit dem Thema des Crowdsensings und der Umsetzung von Plattformen mit diesem Hintergrund beschäftigen.

2.1 Crowdsensing vs. Crowdsourcing

In der Literatur wird der Begriff des (mobilen) Crowdsensings durch das Vorhandensein einer großen Anzahl an Teilnehmenden für eine großflächige Überwachung der Umwelt beschrieben, welche rohe Daten mithilfe von in smarte Geräte eingebettete Sensoren messen [Ray+22]. Um an den Begriff des Crowdsensings heranzutreten, wird aber zunächst zwischen zwei Arten des Messens unterschieden: dem sogenannten „personal sensing“, in dessen Anwendung Individuen persönliche Informationen aus eigenem Interesse oder Bedarf (z.B. Messungen zum Überwachen der eigenen Gesundheit, aber auch zum Nachverfolgen von persönlichen Rekorden oder dem ökologischen Fußabdruck) messen und dem „community sensing“, bei welchem großflächige Phänomene, welche durch einzelne Individuen nicht gemessen werden können, untersucht werden [GYL11].

Als Beispiele können hierfür sämtliche Anwendungsfälle genannt werden, in denen die Teilnahme von mehreren Individuen (unter Umständen zur selben Zeit) unabdingbar ist, wie beim Messen der Temperatur, der Luftfeuchtigkeit oder der Luftqualität an verschiedenen Orten. Der Begriff des „community sensing“ kann hierbei weiterhin in zwei Kategorien unterteilt werden, dem sogenannten „participatory sensing“ [Bur+06] und dem „opportunistic sensing“ [Lan+10]:

Während bei Ersterem eine aktive Teilnahme, verbunden mit eigenmotiviertem Aufwand (z.B. Aufnahme von Fotos, Eingabe und Übermittlung von Information), notwendig ist, wird bei Letzterem eher ein minimaler Aufwand durch eine selbstständige Messung der Sensoren (z.B. kontinuierliche Temperaturmessung der Sensoren in Abhängigkeit vom Standort, ohne Eingaben der Nutzenden) betrieben [GYL11]. Aus diesem Grund

bildet der Begriff des Crowdsensing in der Literatur keine eindeutige Art der Messung, sondern vielmehr eine Domäne der genannten Arten an Messungen durch eine Gruppe von Individuen [GYL11].

Das mobile Crowdsensing kann in drei Schritte unterteilt werden: der Datenerhebung, der Datensammlung und dem Datenupload [Ray+22]. Die Datenerhebung erfolgt sowohl durch die User, als auch durch „mobile sensing devices“ (z.B. Thermometer, Smartphones etc.), welche auf einem Server gesammelt werden um im Anschluss hochgeladen werden können, um sich z.B. einer Qualitätskontrolle zu unterziehen [Ray+22]. Die Vorteile des mobilen Crowdsensing erstrecken sich dabei von schneller Erhebung von vielfältigeren Daten mit erhöhter Qualität der Ergebnisse, bis hin zu akzeptableren Ergebnissen und das Auslagern von Rechenleistung von einer zentralen Plattform zu bspw. den mobilen Geräten [Ray+22]. Auf der anderen Seite kann man jedoch beobachten, dass die erhobenen Daten geprägt von Redundanzen und Duplikaten sind, was zur Folge hat, dass eine anschließende Qualitätskontrolle und die Notwendigkeit von mehr Speicherplatz unabdingbar sind [Ray+22]. Es lassen sich häufig Smartphones als Messgeräte des mobilen Crowdsensing in der Literatur finden, da diese mit einer Vielzahl an Sensoren (Temperatur-, Gyroskop-, Umgebungslichtsensoren etc.) ausgestattet sind - das mobile Crowdsensing ist aber nicht auf diese limitiert und beinhaltet auch Geräte wie mobile Wetterstationen, Bewegungssensoren, Kameras o.Ä.

Das mobile Crowdsourcing ermöglicht das Lösen einer komplexen Aufgabe durch die Auf- und Verteilung von Aufgaben an eine Gruppe von freiwilligen Nutzenden, hier über das Internet [Wan+19]. Die Komposition „Crowdsourcing“ besteht dabei aus den beiden einzelnen Begriffen *crowd* für die (Menschen-)Menge und *sourcing* für die Beschaffung (hier: von Informationen). Erstmalig wurde der Begriff 2006 vom Journalisten Jeff Howe in einem Artikel verwendet, welcher das Crowdsourcing als kostengünstigere Alternative des *Outsourcing*¹ beschreibt, um Akteure aus unterschiedlichen Wissensständen und Domänen in die Softwareentwicklung miteinzubinden [How+06]. Im weiteren Verlauf der Verwendung des Begriffs spielen die Charakteristiken ebenfalls eine Rolle: Die Lösung eines Problems wird insofern erreicht, dass die Aufgaben (und unter Umständen auch Unteraufgaben, abhängig von Problemstellung) an eine (Menschen-)Menge übertragen werden, welche interessiert an der Lösung des Problems sind [Ray+22]. Weiterhin wird die Verteilung der Menge und die Existenz von variierender Menschenlogik genutzt, um Probleme an jenen Computer scheitern, zu lösen [Ray+22]. Der Unterschied zum Crowdsensing ist hierbei, dass die verrichtete Arbeit nicht auf die Interaktion mit Geräten und den entsprechenden Sensoren ist, sondern dass Arbeit im Allgemeinen verrichtet wird (vergleiche Parallele zwischen Crowdsourcing und Outsourcing). Beim Einsatz vom mobilen Crowdsensing ist vorteilhaft, dass Kosten durch nicht-benötigte Arbeitskräfte basierend auf einer expliziten Arbeitszeit verringert sind, der Einsatz einer Menge als Folge davon eine vielfältigere und qualitativ hochwertigere Datensammlung nach sich zieht und die Verfügbarkeit von vielfältigen Parametern zum Testen in Summe in eine hohe Zeitersparnis resultieren [Ray+22].

1: zu deutsch: Auslagerung, „mittel- bis langfristige Übertragung von Aufgaben der Informationsverarbeitung eines Unternehmens an ein spezialisiertes Unternehmen“ [HHR04]

Aus den Definitionen der beiden Begriffe wird deutlich, dass diese viele Gemeinsamkeiten aufweisen, was der Grund dafür ist, dass in der Umgangssprache, aber auch in der Literatur eine Verwechslung beider Begriffe auftreten kann. Aufgrund dessen ist es erforderlich, die Abgrenzung der Begriffe voneinander hervorzuheben, welche sich in der Bearbeitung der Aufgaben und der Notwendigkeit von menschlicher Intelligenz findet: Während das mobile Crowdsensing die Aufgaben auf das Erfassen von Rohdaten begrenzt, erstrecken sich Aufgaben beim Crowdsourcing über die Erfassung von Rohdaten bis zu anderen, von der Plattform zugewiesenen (allgemeinen) Aufgaben hinaus [Ray+22]. Für eben diese Aufgaben wird dementsprechend auch eine bestimmte menschliche Intelligenz vorausgesetzt, die mit der Rechenleistung zusammenarbeiten soll, um eine Lösung zu finden [Ray+22].

2.2 Verwandte Arbeiten

Der Aspekt des Crowdsensing lässt sich sowohl in der Literatur, als auch in der Praxis durch bereits existierende Projekte und Anwendungen vorfinden. Um ein grundlegendes Verständnis über das Thema und zur Definition eines theoretischen Rahmens zu schaffen, wurden diese verwandten Arbeiten herangezogen, welche in diesem Kapitel vorgestellt werden.

Bei der ersten Arbeit handelt es sich um „Crowdsensing für Bodensee Online“, ein von der ISB AG, vom Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung und der Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH im Februar 2020 initiiertes Projekt zur Messung der Wassertemperatur des Bodensees durch Bootsbesitzer*innen mithilfe von mobilen Sensoren und Karten [Min21]. Der Fokus des Projekts liegt darin, die bereits vorhandenen Kenntnisse über die Verhältnisse am Bodensee durch einen citizen-science Ansatz zu erweitern und auf die Durchführbarkeit zu messen [IFI21]. Dabei sollte zunächst in einer Pilotphase die Funktionsweise und die Montagemöglichkeit der Sensoren vor Ort erprobt werden, um im Anschluss mit ausgereiften Sensoren in die Feldphase zu starten, in welcher die Probanden mithilfe der Sensoren mit den Messungen des Bodensees beginnen konnten [IFI21]. Aufgrund der COVID-19 Pandemie und den damit vorherrschenden Einschränkungen verliefen beide Phasen überlappend zueinander, sodass eine kontinuierliche Weiterentwicklung der Sensoren und der Nutzeroberfläche basierend auf den Erfahrungen der Nutzenden möglich gewesen wäre [IFI21]. Im Allgemeinen beschreiben die Durchführenden des Projekts die Ergebnisse als sehr positiv.

In Bezug auf die technischen Aspekte soll der Betrieb, aber auch die Verfügbarkeit der Sensoren keinen Aufwand dargestellt haben. Auch die zuvor aufgestellten Anforderungen seien im breiten Maße erfüllt worden. Lediglich der Aufwand der Standortsuche der Sensoren und die damit verbundene Auswirkung auf die Batterielaufzeit haben eine wesentliche Limitierung dargestellt - eine erste Lösung sei aber dadurch umzusetzen, dass die Sensoren als stationäre Messpunkte einzusetzen wären, um sowohl auf der einen Seite die Messdaten am Bodensee zu erhöhen, aber auf

der anderen Seite die Abtastrate des Standortes zu minimieren, um die bereits erwähnten Limitierungen aufzuheben, sodass diese eine plausible Ergänzung zu den stationären Messstationen am Bodensee darstellen [IFI21]. Der Crowdsensing-Ansatz des Projekts wird als geeignet für die Verbesserung und Verfeinerung einer bestehenden (Daten-)Struktur angesehen, da unter der Voraussetzung einer ausreichenden Qualitätssicherung und Datenmenge eine hohe Datenqualität und -dichte auf engem Raum erzielt werden kann [IFI21]. Prinzipiell ließe sich das Projekt laut Angaben der Durchführenden auf weitere (Naturschutz-)Regionen unter Zuhilfenahme weiterer Parameter (z.B. Lufttemperatur, -feuchtigkeit, -qualität) übertragen [IFI21]. Die zugrundeliegenden Charakteristiken schließen darauf, dass es sich bei „Crowdsensing für Bodensee Online“ um „opportunistic sensing“ handelt, da die Sensoren lediglich an die Boote angebracht werden müssen und keine aktive Teilnahme der Bootsbesitzer*innen notwendig ist.

2: <https://www.trackyourtinnitus.org/de/>

Aber auch in anderen Domänen ist das Crowdsensing schon zum Einsatz gekommen: Das Projekt „Track Your Tinnitus“² wurde von der Tinnitus Research Initiative (TRI) und dem Institut für Datenbanken und Informationssysteme (DBIS) der Universität Ulm für medizinische Einsatzzwecke ins Leben gerufen [Pry+17]. Etwa 10-15% der Weltbevölkerung leidet unter Tinnitus, einer Krankheit, die durch ein ständiges Ohrgeräusch gekennzeichnet ist und welche bis heute schwer behandelbar ist, da verfügbare Behandlungen nur bei einem Teil der Betroffenen anschlagen [Lan11]. Da klinische Tests und Versuche bisher den Standard repräsentiert haben, und die damit verbundene Informationsgewinnung sehr begrenzt gewesen ist, wurde das Projekt ins Leben gerufen, um eine komplementäre Vorgehensweise vorzuschlagen, die durch den Einsatz von Crowdsensing-Services die Datenerhebung vereinfacht, aber auch vervielfacht [Pry+15]. Die Nutzenden sollen dabei eine Smartphone-App installieren und nach jedem Wahrnehmen des Tinnitus Fragen zur Intensität und Belastung und daraus resultierend, die Auswirkungen auf die persönliche Stimmungslage beantworten, damit individuelle Schwankungen der Tinnituswahrnehmung erfasst werden können [Pry+15]. Einerseits soll es auf diese Weise ermöglicht werden, die behandelnden ärztlichen Fachpersonen mit den notwendigen Daten zu versorgen, um die Behandlung zu verbessern, aber auch das allgemeine Forschungsprojekt zu unterstützen und ein Verständnis für Ursachen und Wirkungen für den Tinnitus zu schaffen [Pry+15]. Die Voraussetzung der Eingabe der persönlichen Tinnituswahrnehmung charakterisiert das Projekt „Track Your Tinnitus“ als „participatory sensing“, da die Nutzenden aktiv an der Datenerhebung beteiligt sind.

3: <https://budburst.org>

Eine weitere Verwandtschaft lässt sich der App „Budburst“³ zuordnen, welche Nutzende dazu animiert, mithilfe des eigenen Mobiltelefons Pflanzenarten zu identifizieren und in einer Gemeinschaft lokale Pflanzen(-arten) kontinuierlich zu erfassen. Die Nutzenden werden durch die kontinuierliche Erfassung der Pflanzen dazu animiert, den Zustand des lokalen Ökosystems zu überwachen um eventuelle Rückschlüsse auf den Klimawandel ziehen zu können. Durch das Fotografieren von Pflanzen innerhalb der App soll ein Diskurs über die Gesundheit des Ökosystems

angeregt werden, welcher durch die Nutzenden und die daraus geformte Gemeinschaft geführt wird. Die App „Budburst“ ist ein Beispiel für „participatory sensing“, da die Nutzenden ebenfalls aktiv an der Datenerhebung beteiligt sind.

Ausgehend von den genannten Arbeiten und Projekten ist es möglich, weitere verwandte Quellen zu finden, welche sich mit dem Thema des Crowdsensings beschäftigen. Die genannten Arbeiten haben dabei gezeigt, dass das Crowdsensing in unterschiedlichen Domänen zum Einsatz kommen kann, um Problemstellungen zu lösen, welche durch traditionelle Methoden nicht oder nur schwer zu lösen sind.

3 | Konzept

In diesem Abschnitt der Arbeit geht es darum, das grundlegende Konzept hinter der Entwicklung eines interaktiven Werkzeuges zur Kuratierung von Umweltdaten aufzubauen und zu erläutern. Dabei ist es zunächst erforderlich, die Vorgehensweise zu erläutern, welche zum Aufstellen der Anforderungen, die für die Entwicklung eines interaktiven Werkzeuges benötigt werden, verwendet wird, um eine Nachvollziehbarkeit und Wiederholung des Projekts gewährleisten zu können.

Im nächsten Schritt ist es dann erforderlich, die notwendigen Komponenten der Software zu erfassen, um eine Übersicht über die benötigten Technologien zu erhalten. Im Anschluss kann dann die Umsetzung des Werkzeuges auf Grundlage der aufgestellten Anforderungen und der notwendigen Komponenten erfolgen.

3.1 Methodologie zum Aufstellen der Anforderungen

Das Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) gliedert die Anforderungsanalyse in die Anforderungserhebung (*requirements elicitation*), die Anforderungsanalyse (*requirements analysis*), die Anforderungsspezifikation (*requirements specification*) und Anforderungsbewertung (*requirements validation*) [Com+04]. An dieser Vorgehensweise orientiert sich auch die Methodologie, welche in dieser Arbeit verwendet wird.

Zum Erheben der Anforderungen ist es zunächst erforderlich, die Stakeholder zu identifizieren, da diese die Nutzenden der Software sind und somit die Anforderungen stellen. Im Falle dieser Arbeit wurden die Stakeholder bereits vor Beginn des Projekts festgelegt (siehe Kapitel 4.1.1). Nachdem die Stakeholder identifiziert worden sind, ist es möglich gewesen, diese direkt nach den Anforderungen zu befragen. Vom Bürgerverein Bamberg-Mitte e.V. (BVM)¹ finden in regelmäßigen Abständen Treffen statt, in welchen zusammen mit Domänenexperte Prof. Dr. Thomas Foken Analysen über die aktuellen Auswertungen der Wetterstationen durchgeführt werden. Dabei wird unter anderem auch darüber gesprochen, wie diese Werte zustande kommen, wie sie sich entwickeln könnten und was sie bedeuten. Da an diesen Treffen in der Regel auch die anderen Stakeholder teilgenommen haben, konnten diese dazu genutzt werden, Fragen zu Anforderungen an ein interaktives Werkzeug zur Kuratierung von Umweltdaten zu erheben. Insbesondere ist es wichtig gewesen, das Ziel und den Zweck des BVM zu erfragen, da sich aus dieser Frage bereits

¹: <https://www.bvm-bamberg.de/de/projektseiten/klima/>

Anforderungen an das Werkzeug ergeben und wie die Priorisierung bei der darauffolgenden Analyse zu gestalten werden muss. Zusätzlich wurden die Stakeholder dazu befragt, welche Funktionalitäten sie sich für ein solches Tool wünschen und auf welche Art und Weise sie sich vorstellen könnten, ein solches zu verwenden. Die Gespräche wurden protokolliert und im Anschluss in der Analyse (siehe Kapitel 4) ausgewertet. Der Schritt der *requirements specification* wird in 7.1 näher betrachtet. Hier werden die aufgestellten Anforderungen in einer Spezifikation gesammelt, die idealerweise Charakteristika wie Korrektheit, Vollständigkeit, Eindeutigkeit oder einer Verifizierbarkeit aufweist [EE84]. Im Anschluss muss eine Bewertung der Anforderungen erfolgen, um sicherzustellen, dass diese auch tatsächlich die Bedürfnisse der Stakeholder erfüllen. Dazu wird ein Prototyp übergeben, mit dessen Hilfe ein erstes Hands-on stattfinden kann. Die Stakeholder werden dann nach ihrem Feedback befragt und die Anforderungen werden entsprechend angepasst. Dieser Schritt wird in Kapitel 7.3 ausführlicher beschrieben.

3.2 Erfassung der notwendigen Komponenten der Software

In diesem Kapitel geht es darum, die erforderlichen Komponenten zu erfassen, um im Anschluss die Architektur in Kapitel 6 aufstellen zu können. Aufgrund der Tatsache, dass das Werkzeug im fertigen Zustand eine Webanwendung darstellen soll, welche jederzeit unabhängig vom Standort zugänglich ist, bietet es sich an, die Grundlage der Software mit einer Programmiersprache umzusetzen, die auf eine einfache Art und Weise sowohl eine Webanwendung erstellen, als auch durch das Hinzufügen weiterer Komponenten diese Anwendung erweitern kann. Ein Beispiel einer zur Erweiterung genutzten Komponente ist das Einbinden einer Karte, auf welchem die Stationen von Netatmo, die vordefinierten lokalen Klimazonen und die Auslesungen der Stationen sichtbar sind.

3.3 Umsetzung

4 | Anforderungsanalyse

Bevor mit der eigentlichen Implementierung begonnen werden kann, ist es notwendig gewesen, die Frage nach den Anforderungen zu klären. Der erste Schritt hierzu besteht daraus, die Ausgangslage in Bamberg zu untersuchen, um darauf aufbauend die Stakeholder zu identifizieren, da diese den Ursprung der Anforderungen darstellen. Nachdem das Aufstellen der Anforderungen erfolgreich gewesen ist, können diese im Anschluss analysiert, also priorisiert, auf ihre Validität und im Anschluss auf ihre Realisierbarkeit überprüft werden. Basierend auf den Anforderungen wird dann ein Entwurf erstellt, der die Grundlage für die Implementierung darstellt. Mithilfe von Use Cases wird das entworfene Werkzeug dann auf seine Funktionalität hin überprüft.

4.1 Ausgangslage in Bamberg

Bamberg¹ ist eine kreisfreie Stadt in Bayern im Regierungsbezirk Oberfranken mit einer Einwohnerzahl von knapp 80.000 Einwohnern (Stand: Dezember 2022).

1: <https://www.stadt.bamberg.de/Unsere-Stadt/Stadtinfo/>

4.1.1 Identifikation der Stakeholder

4.1.2 Das Bamberger Klimamessnetz als Grundlage der Sensordaten

4.1.3 Die Netatmo API - eine Schnittstelle zwischen Sensordaten und Stakeholder

4.2 Definition der Anforderungen

4.3 Entwurf

4.4 Use Cases

5 | User Stories

6 | Implementierung und Design

6.1 Architektur für das Front-End

6.2 Architektur für das Back-End

7 | Diskussion und Evaluation

7.1 Analyse der Anforderungen

7.2 Evaluation auf Grundlage der Literatur

7.3 Evaluation auf Grundlage der Stakeholder

7.4 Limitationen der Arbeit

8 | **Fazit und Ausblick**

Literaturverzeichnis

- [Bur+06] JA Burke u. a. Participatory sensing. In: (2006) (siehe S. 5).
- [Com+04] ICSPP Committee u. a. SWEBOK: Guide to the Software Engineering Body of Knowledge, 2004 version. In: *IEEE Computer Society*: (2004) (siehe S. 11).
- [EE84] I of Electrical und E Engineers. IEEE guide to software requirements specifications: approved September 22, 1983, IEEE Standards Board; approved July 20, 1984, American National Standards Institute. In: Inst. of Electrical und Electronics Engineers. 1984 (siehe S. 12).
- [GYL11] RK Ganti, F Ye und H Lei. Mobile Crowdsensing: Current State and Future Challenges. In: *The Internet of Things*: (2011) (siehe S. 5, 6).
- [HHR04] L Heinrich, A Heinzl und F Roithmayr. *Wirtschaftsinformatik-Lexikon*. Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2004 (siehe S. 6).
- [How+06] J Howe u. a. The rise of crowdsourcing. In: *Wired magazine* 14(6): (2006), 176–183 (siehe S. 6).
- [IFI21] ISB AG, Fraunhofer-Institut für Opto- nik, Systemtechnik und Bildauswertung und Ingenieurgesellschaft Prof. Kobus und Partner GmbH. *Das Projekt „CrowdSensing für Bodensee Online“*. Erfahrungsbericht der Projektbeteiligten. Juli 2021. https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/3_Umwelt/Nachhaltigkeit_und_Umweltbildung/Digitalisierung/CrowdSensing-fuer-Bodensee-Online-Zusammenfassung.pdf (besucht am 04. 10. 2023) (siehe S. 7, 8).
- [Lan+10] ND Lane u. a. A survey of mobile phone sensing. In: *IEEE Communications magazine* 48(9): (2010), 140–150 (siehe S. 5).
- [Lan11] B Langguth. A review of tinnitus symptoms beyond ‘ringing in the ears’: a call to action. In: *Current medical research and opinion* 27(8): (2011), 1635–1643 (siehe S. 8).
- [Min21] Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. *Projekt „Crowdsensing“ für Bodensee Online*. Nov. 2021. <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/nachhaltigkeit/nachhaltige-digitalisierung/projekte/crowdsensing-bodensee/> (besucht am 04. 10. 2023) (siehe S. 7).
- [Pry+15] R Pryss u. a. Mobile crowd sensing services for tinnitus assessment, therapy, and research. In: *2015 IEEE international conference on mobile services*. IEEE. 2015, S. 352–359 (siehe S. 8).
- [Pry+17] R Pryss u. a. Mobile crowdsensing for the juxtaposition of realtime assessments and retrospective reporting for neuropsychiatric symptoms. In: *2017 IEEE 30th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS)*. IEEE. 2017, S. 642–647 (siehe S. 8).
- [Ray+22] A Ray u. a. A survey of mobile crowdsensing and crowdsourcing strategies for smart mobile device users. In: *CCF Transactions on Pervasive Computing and Interaction*: (2022) (siehe S. 5–7).
- [Wan+19] Y Wang u. a. An Optimization and Auction-Based Incentive Mechanism to Maximize Social Welfare for Mobile Crowdsourcing. In: *IEEE Transactions on Computational Social Systems* 6(3): (2019), 414–429 (siehe S. 6).

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit gemäß § 9 Abs. 12 APO, dass ich die vorstehende Masterarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Des Weiteren erkläre ich, dass die digitale Fassung der gedruckten Ausfertigung der Masterarbeit ausnahmslos in Inhalt und Wortlaut entspricht und zur Kenntnis genommen wurde, dass diese digitale Fassung einer durch Software unterstützten, anonymisierten Prüfung auf Plagiate unterzogen werden kann.

Bamberg, den _____

Samet Murat Akcabay