



MASTERARBEIT

Titel

Evaluation von Mobilfunktelefonen als
Basis einer Messstation

Verfasst von

Martin Bornhold B. Sc.

Datum	25. Februar 2016
Fakultät	Fakultät II – Department für Informatik
Abteilung	Systemsoftware und verteilte Systeme
Erstgutachter	Prof. Dr.-Ing. Oliver Theel
Zweitgutachter	Robert Schadek M. Sc.

Zusammenfassung

Ausgediente Smartphones können in vielen Anwendungen als günstiger Ersatz für eingebettete Computer verwendet werden. In dieser Masterarbeit wird untersucht, ob sie sich als Stationen in einem Messnetzwerk einsetzen lassen. Dazu wird zunächst eine Möglichkeit erarbeitet sie um die nötigen Schnittstellen für Sensoren zu erweitern. Die zweite Herausforderung ist die Entwicklung einer autarken Energieversorgung. Das erstellte Lösungskonzept wird als Prototyp in Hard- und Software implementiert. Das erfüllte Ziel ist ein Messnetzwerk aus günstigen, autark versorgten Messstationen, die sich an unterschiedlichste Anforderungen anpassen lassen.

Abstract

In many applications obsolete smartphones can be used as a low cost replacement for embedded computers. In this master thesis they are examined whether they are suitable as a measurement network station. First a solution is developed to attach external sensors to a smartphones. Then they need a self-sufficient power supply. This is the second challenge that needs to be solved. The designed concept is implemented as a hardware and software prototype. The final result is a measurement network that is low cost, self-sufficient powered and adaptable to many requirements.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	v
1. Einleitung	1
1.1. Ziele	2
1.2. Aufbau	3
2. Grundlagen	4
2.1. Bodenmessnetz des Deutschen Wetterdienstes (DWD)	4
2.2. MeteoGroup GmbH	5
2.3. TerraTransfer GmbH	5
2.4. Rainforest Connection	6
2.5. Raspberry Pi als Basis einer Messstation	7
2.6. Bewertung	8
2.7. Lösungsansatz	9
2.7.1. Vor- und Nachteile von Mobilfunktelefonen	10
2.7.2. Herausforderungen	11
3. Systemspezifikation	13
3.1. Systemübersicht	13
3.2. Systemabgrenzung	14
3.3. Akteure im System	14
3.4. Anwendungsfälle	15
4. Evaluation der Mobilfunktelefone als Messstation	25
4.1. Anbindung externer Hardware	25
4.1.1. Bluetooth	25
4.1.2. Wireless-LAN	27
4.1.3. Near Field Communication (NFC)	27
4.1.4. Universal Serial Bus (USB)	28
4.1.5. Infrarot	29
4.1.6. Interne Schnittstellen	29
4.1.7. Audio-Interface	30
4.1.8. Display Lesegerät	31
4.1.9. Bewertung und Auswahl der Schnittstellen	31
4.2. Geeignete Mobilfunktelefone	34
4.3. Energiebedarf	35
4.3.1. Versuchsaufbau	35
4.3.2. Versuchsdurchführung	37
4.3.3. Auswertung der Ergebnisse	41
4.4. Energieversorgung	42
4.4.1. Auswahl des Modultyps	43
4.4.2. Dimensionierung des Moduls	43
4.4.3. Leistungsregelung	44
4.4.4. Akkumulator	45
4.5. Zusammenfassung	46

5. Design und Implementierung	48
5.1. Softwareentwurf	48
5.1.1. Moment-App, Percy-Lib und Percy-Service	48
5.1.2. Percy-Controller	53
5.1.3. Moment-Server	53
5.2. Hardwareentwurf	55
5.2.1. Spannungswandler	55
5.2.2. Laderegler	57
5.2.3. Audiostufe	57
5.3. Implementierung	58
5.3.1. Eingesetzte Software Technologien	59
5.3.2. Auswahl der Hardwarekomponenten	59
6. Validierung	61
6.1. Funktionstest	61
6.2. Labortest	61
6.2.1. Szenario	62
6.2.2. Durchführung	62
6.3. Feldtest	62
6.3.1. Szenario	63
6.3.2. Durchführung	63
6.4. Kosten	64
6.5. Energiebedarf des Prototypen im Ruhezustand	64
6.6. Testauswertung	64
7. Ausblick	67
7.1. Audiocodec	67
7.2. Aktiver Rückkanal	67
7.3. AMQP Intergration	68
7.4. Datenverbindungen erweitern	68
7.5. Weiterverwendung des Systems	68
8. Fazit	69
Tabellenverzeichnis	71
Literatur	72
Glossar	76
Abkürzungsverzeichnis	78
A. Schaltplan und Layout der externen Hardware	79

Abbildungsverzeichnis

2.1. Beispiele der DWD Sensorik	5
2.2. GPRS-Logger der TerraTransfer GmbH	6
2.3. Funktionsprinzip des Rainforest Connection Systems	7
3.1. Gesamtübersicht des Systems inklusive Sensoren	14
3.2. Use-Case Diagram <i>UCD-1</i> , Akteure	15
3.3. Use-Case Diagram <i>UCD-2</i> , System	16
3.4. Use-Case Diagram <i>UCD-3</i> , Messung durchführen	17
3.5. Use-Case Diagram <i>UCD-4</i> , Benutzer verwalten	19
3.6. Use-Case Diagram <i>UCD-5</i> , Messnetzwerk verwalten	21
3.7. Use-Case Diagram <i>UCD-6</i> , Messstation warten	24
4.1. Bluetooth Versionen im Vergleich	26
4.2. Verwendete Mobilfunktelefon Modelle	35
4.3. Messprinzip und realer Versuchsaufbau zum Messen der Leistungsaufnahme	37
4.4. Leistungsaufnahme beim Samsung Galaxy S5	40
4.5. Temperaturabhängiges Kennlinienfeld eines Solarmoduls am Beispiel von Shell SP140	46
4.6. Temperaturabhängige Kapazität eines Lithium-Eisenphosphat (<i>LiFePO₄</i>) Akkumulators	46
5.1. Unified Modeling Language (UML) Komponentendiagramm des Systems .	49
5.2. UML Komponentendiagramm der Smartphone Software	52
5.3. UML Klassendiagramm der Datenstrukturen	54
5.4. Blockschaltbild der Hardware	56
5.5. Schaltplan der Spannungswandler	57
5.6. Schaltplan der Audiostufe	58
5.7. Verwendetes Solarmodul und Laderegler	60
8.1. Prototyp der Hardware	70
A.1. Schaltplan der externen Hardware	79
A.2. Layout der externen Hardware	80

1. Einleitung

Umweltdaten spielen in Forschung, Politik und Wirtschaft eine große Rolle. Sie dienen als Grundlage in wichtigen Entscheidungsprozessen und beeinflussen damit die Entwicklung unserer Gesellschaft. Bereits seit mehreren hundert Jahren werden Umweltdaten, beispielsweise in Form von Wetteraufzeichnungen, durch den Menschen erfasst. Die zu Beginn eher unsystematische und manuelle Erfassung wurde über die Zeit immer weiter ausgebaut und im Zuge technischer Weiterentwicklungen stetig optimiert. Um weitere Erkenntnisse über das Wetter zu erlangen wurden die Daten mehrerer Erfassungsorte kombiniert. Es entstanden erste Messnetzwerke. Mit aufkommender Digitalisierung hielt auch die Automatisierung Einzug in diese Netzwerke. Das Resultat dieses Entwicklungsprozesses sind heutige Messnetzwerke, wie das in Deutschland vermutlich bekannteste: Das hauptamtliche Messnetz des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Die Weiterentwicklung sieht eine vollständige Automatisierung bis zum Jahr 2021 vor, dies geht aus einer Pressemitteilung von Anfang 2015 hervor. Als Grund gibt der DWD politische Einsparvorgaben an, denen er Rechnung tragen muss. [vgl. Wet15a]

Die Betriebskosten für ein solches Messnetzwerk sind hoch. Ein Anhaltspunkt liefert der Bundeshaushaltsplan für das Haushaltsjahr 2016 in dem rund 340 Millionen Euro für den DWD eingeplant sind. Dem gegenüber stehen etwa 50 Millionen Euro, die er an Einnahmen erwirtschaftet. [vgl. Fin15, S. 37] Konkrete Zahlen zu den Materialkosten einer einfachen, automatisierten Messstation lassen sich bei der MeteoGroup GmbH finden. Dort heißt es: „Eine standardmäßig ausgestattete Wetterstation ist ab rund 18.300 EUR erhältlich.“ [Meo15] Wobei Kosten für benötigte Infrastruktur wie z.B. das Grundstück, ein Strom- und Internetanschluss nicht enthalten sind. Diese Zahlen vermitteln einen Eindruck in welchen Dimensionen sich die finanziellen Aufwendungen für den Betrieb eines Messnetzes bewegen. Es wird klar, dass Umweltdaten ein kostbares, ja gar ein Luxusgut sind.

Inbesondere gilt dies für Entwicklungsgebiete, in denen die finanzielle Hürde nicht zu bewältigen ist. [vgl. CK06] Doch gerade dort können Umweltdaten einen großen Beitrag leisten. Denn Entwicklungsgebiete leiden häufig unter Umweltverschmutzung z.B. durch den Abbau von Rohstoffen oder durch die sich rasant entwickelnde Industrie. [vgl. Abr14] Die Folge kann eine unkontrollierte und ungeahndete Zerstörung der Umwelt sein. Besonders brisant ist die Verschmutzung des Grund- und Trinkwassers, durch die eine Unterversorgungssituation der Bevölkerung entstehen kann. Dies zeigt auch eine Berichtsserie der Deutschen Welle über aufstrebende Großstädte in Entwicklungsgebieten. In ihr wird darüber berichtet, dass die Bevölkerung nicht mehr ausreichend mit sauberem Trinkwasser versorgt werden kann, weil die Verschmutzung des Grundwassers so weit ausgedehnt ist. Die Bewohner werden dadurch gezwungen Wasser aus eigenen Brunnen

oder Flüssen zu nutzen, welches möglicherweise belastetes ist. Die Alternative sind Wasserhändler die Trinkwasser mitunter zweifelhafter Qualität zu einem horrenden Preis anbieten. [vgl. RG09] Das Interesse diese Situation zu verbessern ist bei der Bevölkerung, Nichtregierungsorganisationen (NGOs) und der Regierung groß. Umweltdaten, wie z.B. über den Grad und die Ausbreitung der Wasserverschmutzung, sind ein wichtiger Baustein auf dem Weg dort hin. Mit ausreichenden Daten ist es denkbar Bewohner über die Risiken zu informieren und die Quelle der Verschmutzung aufzuspüren um sie abzustellen.

In ganz anderer Form sind Umweltdaten auch in entwickelten Regionen ein kostbares Gut. Für den Großteil der Anwendungsfälle stehen Umweltdaten über bestehende Messnetzwerke in ausreichender Form zur Verfügung. So stellt der DWD z. B. Klimadaten von 78 Station in stündlicher Auflösung kostenlos zur Verfügung. Darüber hinaus bietet er viele weitere Daten gegen Entgelt an. [vgl. Wet16b; Wet16c] Je spezieller die Anforderungen an Erfassungsort, -intervall oder -methode werden, umso schwieriger wird es einen passenden Anbieter für die Daten ausfindig zu machen. Lässt sich keine Quelle finden, bleibt oft nur die Alternative, Abstriche an den Anforderungen vorzunehmen oder wenn möglich eine manuelle Datenerhebung durchzuführen.

1.1. Ziele

Basierend auf dem beschriebenen Hintergrund, wird in dieser Arbeit ein Konzept für eine Messstation entwickelt, die den Anforderungen an möglichst niedrigen Kosten gerecht wird. Die angestrebte Lösung sieht vor Mobilfunktelefone als Basis für Messstationen zu verwenden. Kernaufgabe ist die Evaluation von Mobilfunktelefonen für diesen Einsatzzweck. Mit besonderem Augenmerk auf die Möglichkeiten für den Anschluss externer Sensorik, einer langlebigen Energieversorgung und niedrigen Anschaffungskosten. Auf kostspielige Infrastruktur für die Messstationen soll dabei möglichst verzichtet werden, daher müssen sie als autarke Systeme entworfen werden. Dies stellt wichtige Rahmenbedingungen für die Energieversorgung und Datenverbindung auf. Weiterhin ist es das Ziel, mehrere Messstationen zu einem Messnetzwerk zusammenzuschließen. Hierzu muss eine zentrale Verwaltung des Messnetzwerkes entworfen werden. Sie soll es den Benutzern ermöglichen das Messnetzwerk zu administrieren, Messungen zu konfigurieren und die erfassten Messdaten abzurufen.

Nachdem ein Konzept für das System entwickelt wurde, müssen die wichtigsten Teilsysteme identifiziert und als prototypische Implementierung umgesetzt werden. Mit dem Prototypen soll zum einem die Machbarkeit des Konzeptes nachgewiesen werden, zum anderen wird er für die Validierung der Anforderungen herangezogen. Auch die Kosten für eine Messstation sollen anhand des Prototypen abgeschätzt werden. Abschließend ist ein mehrtägiger Feldversuch mit mindestens zwei Messstationen vorgesehen.

1.2. Aufbau

Im Anschluss an die Einleitung gibt Kapitel 2 einen Einblick in den aktuellen Stand der verwendeten Technik. Dort werden zunächst Methoden vorgestellt, mit denen derzeit Umweltdaten erfasst werden und deren Bedeutung in Hinblick auf diese Arbeit eingeschätzt. Weiterhin wird auf verwandte Arbeiten und Projekte eingegangen. Der bereits grob skizzierte Lösungsansatz wird im Abschnitt 2.7 näher erläutert. Insbesondere wird dabei auf die Vor- und Nachteile von Mobilfunktelefonen für den Einsatz als Messstation eingegangen. Auch die noch unklaren Punkte, die es in dieser Arbeit zu klären gilt, werden erläutert. Die Definition des Systems erfolgt in Kapitel 3. Zunächst wird ein grober Überblick über die Architektur des geplanten Systems gegeben. Anschließend erfolgt eine Abgrenzung gegenüber der Systemumwelt um klar festzulegen welche Funktionalitäten das System realisieren soll und welche nicht. Anschließend werden die Funktionen des Systems anhand von Anwendungsfällen genauer beschrieben. In Kapitel 4 erfolgt die Evaluation von Mobilfunktelefonen für den Einsatz als Basis einer Messstation. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Anbindung externer Sensorik, der Energieversorgung, den Anschaffungskosten und der Auswahl geeigneter Mobilfunktelefone. Die Ergebnisse aus dem jeweiligen Abschnitt in diesem Kapitel beeinflussen maßgeblich die Entscheidungen des folgenden Abschnittes. Daher wird zunächst untersucht, welche Schnittstellen für die Anbindung an das Smartphone geeignet sind. Die Anbindung wiederum beeinflusst die Auswahl der geeigneten Mobilfunktelefone stark. Und letztendlich gibt der Energiebedarf der Mobilfunktelefone strikte Vorgaben für die Energieversorgung. In einer abschließenden Auswertung werden die Ergebnisse der Evaluation zusammengefasst um als Grundlage für die Implementierung zu dienen. Kapitel 5 befasst sich zunächst mit dem Entwurf der Software- und Hardwarekomponenten. Anschließend wird die Implementierung des Prototypen beschrieben. Die Validierung der Ziele anhand des Prototypen erfolgt in Kapitel 6. Hierzu werden mehrere Testszenarien aufgestellt und durchgeführt, um das System anhand der Ergebnisse zu bewerten. In Kapitel 7 wird eine mögliche weitere Entwicklung beschrieben. Eine Zusammenfassung der Arbeit wird in Kapitel 8 gegeben.

Falls nicht explizit anders erwähnt, werden die Begriffe Mobilfunktelefon, Smartphone und Telefon in den folgenden Kapiteln als Synonym verwendet um die Lesbarkeit zu steigern.

2. Grundlagen

In den Abschnitten dieses Kapitels werden zunächst bestehende Messnetzwerke zur Erfassung von Umweltdaten näher betrachtet. Besonderes Interesse gilt dabei den verwendeten Erfassungsmethoden und den erfüllten Aufgaben um die Messnetzwerke in Relation zu den angestrebten Zielen dieser Arbeit zu setzen. Anschließend wird ein verwandtes Projekt und eine verwandte Arbeit vorgestellt, die wichtige Teile zum Lösungsansatz beisteuern. Abschließend werden die vorgestellten Themen in Hinsicht auf diese Arbeit bewertet und der angestrebte Lösungsansatz erläutert.

2.1. Bodenmessnetz des Deutschen Wetterdienstes (DWD)

Der bereits in der Einleitung erwähnte DWD ist der nationale meteorologische Dienst der Bundesrepublik Deutschland. Seine Aufgaben sind gesetzlich geregelt und umfassen u. a. die Erbringung meteorologischer Dienstleistungen wie Wettervorhersagen für die Allgemeinheit und spezielle Nutzer, die Herausgabe amtlicher Wetterwarnungen und die Erfassung langfristiger meteorologischer Prozesse. Zu diesem Zweck betreibt der DWD das sogenannte Bodenmessnetz, das aus 183 Stationen besteht. Davon sind 53 durchgehend oder zeitweise mit Personal besetzt und 130 automatisiert. Hinzu kommt das nebenamtliche Messnetz mit etwa 1800 Wetterstationen, die durch ehrenamtliche Helfer betreut werden. Hiervon sind 830 automatisiert und melden ihre Daten stündlich, 630 werden täglich manuell erfasst. [vgl. Wet15b]

Aus diesen Daten lässt sich ableiten, dass der DWD rund 71% seines hauptamtlichen und rund 46% seines nebenamtlichen Messnetzwerkes automatisiert hat. Fasst man die Stationen beider Netze zusammen ergibt sich ein Automatisierungsgrad von knapp 50%. Durch technische Weiterentwicklungen in der Sensortechnik ist es mittlerweile möglich, bisher nur durch menschliche Beobachter erfassbare Parameter, automatisiert zu erfassen. Darunter fällt beispielsweise die Bestimmung der Niederschlagsart. [vgl. Wen13] Einen kleinen Ausschnitt der verwendeten Sensorik ist in Abbildung 2.1 dargestellt. Um Personalkosten einzusparen und damit politische Einsparvorgaben umsetzen, plant der DWD die vollständige Automatisierung des hauptamtlichen Messnetzes bis zum Jahre 2021. [vgl. Wet15a]

Einen Teil der erhobenen Umweltdaten stellt der DWD kostenlos online zur Verfügung. Er bietet jedoch auch auf spezielle Nutzergruppen wie Piloten, Stromversorger oder die Landwirtschaft zugeschnittene Wetterprodukte an, für die eine Gebühr anfällt. Diese stellt er u. a. online als Downloads in einem Web-Shop oder über telefonische Beratung zur Verfügung.

2. Grundlagen



Abbildung 2.1.: Beispiele der DWD Sensorik [Wen13]

2.2. MeteoGroup GmbH

Ähnlich wie der DWD bietet auch die MeteoGroup GmbH meteorologische Produkte für Medien, Kommunen und Verbände sowie Firmen- und Privatkunden an. Sie ist ein privatwirtschaftliches Unternehmen, das aus der Motivation heraus gegründet wurde, Lücken in den Messnetzen der staatlichen Betreiber zu schließen. Ihre Produkte sollen dadurch in den jeweiligen Regionen bessere Vorhersagen für ihre Kunden liefern. Die Messstationen werden dabei zu großen Teilen in Kooperation mit privaten Partnern betrieben. Die Partner stellen dabei die benötigte Infrastruktur wie Grundstück, Strom- und Internetanschluss zur Verfügung und tragen die laufenden Kosten von etwa 620€ im Jahr. Als Gegenleistung erhalten sie kostenfreien Zugriff auf die Daten ihrer Station und Vorhersagen ihrer Region, für die sonst Gebühren anfallen würden. Das Messnetz besteht weltweit aus etwa 1.300 Messstationen, davon rund 900 in Mitteleuropa. Erfasst werden laut MeteoGroup u. a. „Temperatur, Feuchtigkeit, Niederschlagsmenge, Wind, Sonnenscheindauer, Sichtweite (10 Meter bis 2.000 Meter) sowie Globalstrahlung“. [Meo15] Die Erfassung erfolgt vollautomatisch alle zehn Minuten und wird per Internet an die MeteoGroup übermittelt. Die Kosten einer Messstation belaufen sich, je nach Ausstattung der Sensorik, auf etwa 18.300 bis 23.500 Euro.

2.3. TerraTransfer GmbH

Die TerraTransfer GmbH ist eine 2007 von Marcel Delker und Sven Schulz gegründete Firma. Das selbst gesetzte Ziel ist es, die Betriebskosten bestehender Messnetzwerke durch Automatisierung zu senken und sie so vor Abbau von Messstellen zu schützen. Hierzu hat das Unternehmen eine Hardware Basis entwickelt, die über Anschlüsse für

Sensorik verfügt und die Messdaten über das Mobilfunknetz überträgt. Zudem ist der sogenannte GPRS-Logger über ein integriertes Nahfunksystem durch zusätzliche Sensoren erweiterbar. Der so entstehende Verbund bildet ein eigenes lokales Messnetz, das über die Mobilfunkverbindung des GPRS-Loggers mit dem Internet verbunden ist. [vgl. Ter16b] In Abbildung 2.2 ist der GPRS-Logger dargestellt. Nach eigenen Angaben lassen sich die Betriebskosten manuell erfasster Messnetzwerke, durch die Automatisierung mit dieser Technologie, um etwa 47% senken. [vgl. Ter15]

2.4. Rainforest Connection

Die Rainforest Connection ist eine Organisation die es sich zur Aufgabe gemacht hat, illegale Abholzung von Wäldern zu bekämpfen. Es werden gebrauchte Mobilfunktelefone als Messstationen verwendet um Waldgebiete akustisch zu überwachen. Die Audiosignale werden über die Mobilfunkverbindung an eine Software übertragen, die sie auf typischen Geräusche von Holzfällarbeiten hin untersucht. Wird z. B. das Geräusch einer Kettensäge erkannt, kann ein Alarm ausgelöst werden, der zuständige Behörden informiert. Das Funktionsprinzip des Systems wird in Abbildung 2.3 gezeigt. Erste Feldtests u. a. in Sumatra, dem Amazonas (2015) und in Kamerun (2015) haben den Erfolg des Systems gezeigt. [vgl. Whi15]

Zum Einsatz kommen Mobilfunktelefone mit dem Betriebssystem Android. Sie werden um ein Solarmodul als Energiequelle und Akkumulator als Zwischenspeicher erweitert um eine unterbrechungsfreie Energieversorgung sicherzustellen. Mittlerweile ist die Hardware als Bausatz verfügbar und ermöglicht es jedem der über das technische Know-How verfügt ein Android Smartphone in eine Messstation der Rainforest Connection zu verwandeln. Der Bausatz ist für 460\$ zu haben und besteht aus Gehäuse, Verkabelung, Mikrofon, Akkumulator, Solar Ladegerät, Solarmodul und Handbuch.



Abbildung 2.2.: GPRS-Logger der TerraTransfer GmbH [Ter16a]

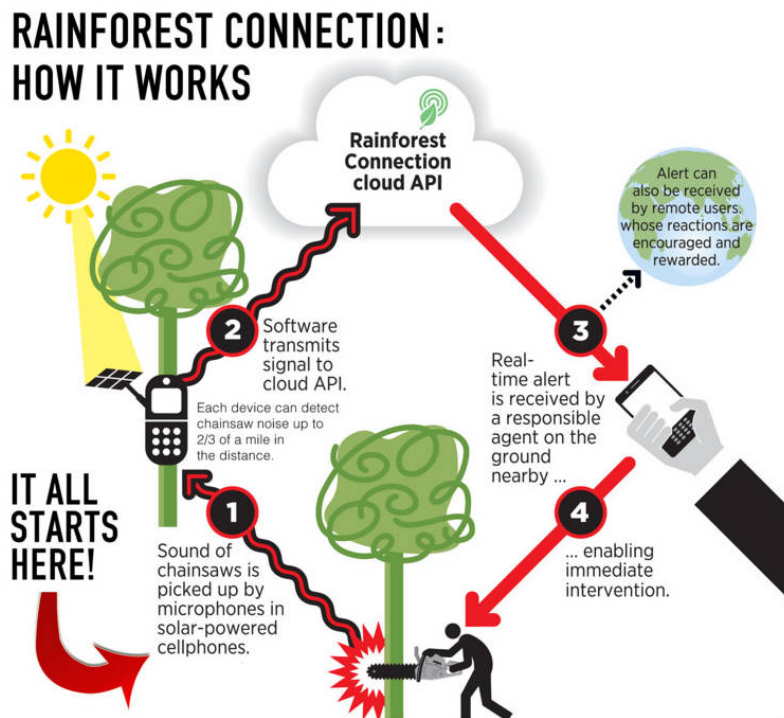


Abbildung 2.3.: Funktionsprinzip des Rainforest Connection Systems [Con16]

2.5. Raspberry Pi als Basis einer Messstation

Die von Stephan Balduin und Carsten Krüger verfasste Bachelorarbeit trägt den Titel “Planung und Realisierung einer Wasserqualitätsprüfstation auf Basis eines Raspberry Pi, [BK15] und wurde an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg durchgeführt. Die Aufgabenstellung war die Konzeption einer autonomen Messstation, die als Basis den Einplatinencomputer Raspberry Pi verwendet. Das Anwendungsszenario sieht vor, dass die Messstation zunächst mit den gewünschten Sensoren ausgestattet und konfiguriert wird um dann an ihren Einsatzort verbracht zu werden. Dort erfasst sie autonom Messwerte entsprechend ihrer Konfiguration.

Das erarbeitete Lösungskonzept sieht einen Anschluss der Sensorik über die General Purpose Input Output (GPIO) Pins des Raspberry Pi vor. Die Energieversorgung ist alternativ über eine externe Quelle oder interne USB-Ladebänke möglich. Feldtests mit dem realisierten Prototypen und Ladebänken mit einer Gesamtleistung von 14600 mAh bei 5 V, erwiesen eine Betriebsdauer von etwa einem Tag. Die Konfiguration der Messstation erfolgt über eine Webanwendung, die auf der Station selbst betrieben wird. Über ihre Benutzeroberfläche lassen sich die lokal gespeicherten Messdaten abrufen. Als Datenverbindung von externen Geräten zur Webanwendung ist ein Wireless-LAN (W-LAN) Stick vorgesehen. Mit ihm agiert die Messstation als W-LAN AccessPoint und stellt ein Netzwerk für die Verbindung bereit. Das W-LAN Netzwerk lässt sich per Knopfdruck aktivieren und deaktivieren um Energie zu sparen. [vgl. BK15]

Die Arbeit von Balduin und Krüger weißt einige Parallelen mit dieser Arbeit auf und dient daher als wichtige Informationsquelle. In wesentlichen Punkten der Zielsetzung unterscheiden sich die Arbeiten jedoch. So werden andere Zielplattformen angestrebt,

die jeweils ihre eigenen Herausforderungen für die Konzeption und Realisierung mit sich bringen und die Energieversorgung soll einen beliebig langen, autarken Betrieb ermöglichen. Weiterhin ist in der vorliegenden Arbeit geplant die Messstationen im Verbund als ein Messnetzwerk zu betreiben.

2.6. Bewertung

Der DWD erfüllt mit seinem Bodenmessnetzwerk Aufgaben, die durch nationale und internationale Gesetze und Vorschriften festgelegt sind. Aus diesem Grund besteht ein sehr hoher Anspruch an die Qualität und Zuverlässigkeit der Daten und Messeinrichtungen. Zusätzlich müssen die Einrichtungen über lange Zeiträume hinweg betrieben werden um langfristige meteorologische Prozesse wie z. B. den Klimawandel beobachten zu können. Investitionskosten in die Infrastruktur für Messstationen relativieren sich daher über die Zeit. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass hauptamtliche Messnetzwerke, wie das des DWD, nicht für die angestrebten Ziele der Arbeit ausgelegt sind. Sie verursachen hohe Kosten und lassen sich nur eingeschränkt an spezielle Bedürfnisse anpassen.

Ähnlich ist das System der MeteoGroup zu bewerten, dessen Messnetz die Kosten durch einen hohen Grad der Automatisierung und standardisierte Messstationen mit kleinerem Umfang reduziert. Es ist gegenüber dem DWD Messnetz flexibler. Das Geschäftsmodell sieht explizit vor, dass private Kooperationspartner nach Bedarf eigene Messstationen betreiben. Für die Ziele der Arbeit sind die Kosten dennoch zu hoch und die Flexibilität noch zu niedrig.

Die TerraTransfer GmbH verfolgt ähnliche Ziele wie in dieser Arbeit, ist jedoch auf eine andere Zielgruppe ausgerichtet. Dies äußert sich vor allem in der entwickelten Hardware Basis, welche speziell auf die Automatisierung von hauptamtlichen Messnetzen ausgelegt ist. Der Einsatz von Mobilfunktelefonen wäre in diesem Bereich u. a. aus Gründen der Zertifizierung, Standardisierung und Zuverlässigkeit nicht denkbar. Dennoch kann das entwickelte System als wichtige Informationsquelle für diese Arbeit genutzt werden.

Das vorgestellte System der Rainforest Connection bietet eine günstige Möglichkeit, ein Messnetzwerk aus Mobilfunktelefonen aufzubauen. Durch den niedrigen Energieverbrauch der Mobilfunktelefone ist es möglich, die Stationen über ein Solarmodul theoretisch beliebig lange zu betreiben, zumindest in Hinsicht auf die Energieversorgung. Die Kosten des Systems werden durch die Verwendung von ausgedienten Mobilfunktelefonen erheblich gesenkt. Auch der niedrige Energiebedarf wirkt sich positiv auf die Kosten aus, denn je geringer er ist, desto kleiner kann die Energieversorgung dimensioniert werden. Das System ist allerdings auf die internen Sensoren der Mobilfunktelefone beschränkt. Es ist nicht vorgesehen externe Sensorik mit dem System zu verbinden und in das Messnetzwerk zu integrieren.

Stephan Balduin und Carsten Krüger haben in ihrer Bachelorarbeit gezeigt, dass sich eine mobile Messstation auf Basis des Einplatinencomputers Raspberry Pi realisieren lässt. Über die zur Verfügung stehenden Anschlüsse weist er eine gute Erweiterbarkeit um externe Hardware, insbesondere Sensorik auf. Sein Energiebedarf und auch der Energie-

2. Grundlagen

bedarf vergleichbarer Einplatinencomputer, erwies sich jedoch als begrenzender Faktor. Er beschränkt die Einsatzdauer des Systems auf etwa einen Tag, welche sich nur durch regelmäßiges Austauschen der Ladenbänke verlängern lässt. In einem Netzwerk aus potentiell beliebig vielen Messstationen bedeutet dies allerdings einen großen Wartungsaufwand, der bereits bei wenigen, räumlich verteilten Stationen nicht mehr von einer Person bewältigt werden kann.

Eine Übersicht der vorgestellten Technologien mit ihren wichtigsten Eigenschaften ist in Tabelle 2.1 dargestellt. Der Automatisierungsgrad wurde bei der TerraTransfer GmbH nicht angegeben, da sie kein eigenes Messnetzwerk betreibt sondern eine Technologie anbietet um Netze zu automatisieren.

2.7. Lösungsansatz

Die Auswertung zeigt, dass in den vorgestellten Systemen gute Lösungen vorhanden sind um Teile der Zielsetzung zu erfüllen. Es wird aber auch klar, dass sie von keinem System vollständig erfüllt werden. Deswegen wird der Ansatz verfolgt die jeweiligen Stärken in einem neuen Konzept so zu kombinieren, dass es alle Ziele erfüllt. Als Hardware Basis werden ausgediente Mobilfunktelefone verwendet, mit denen die Rainforest Connection niedrige Kosten und durch die Versorgung mit Solarenergie eine theoretisch beliebig lange Laufzeit erreicht. Zwischen Telefonen und Sensorik muss eine Schnittstelle geschaffen werden die das System, wie in der Arbeit von Balduin und Krüger, durch Anschluss externer Sensoren erweiterbar macht. Für die Datenanbindung wird das Mobilfunknetz verwendet, mit dem auch die TerraTransfer GmbH und die Rainforest Connection ihre Systeme betreiben. Um die einsetzbare externe Sensorik nicht einzuschränken, müssen mehrere Sensor typische Schnittstellen angeboten werden. Es ist bereits jetzt abzusehen, dass hierzu eine externe Hardware benötigt wird, da Mobilfunktelefone keine geeigneten Schnittstellen bieten. Diese Hardware könnte beispielsweise aus einem Mikrocontroller bestehen, der über die benötigten Schnittstellen verfügt und diese über eine Verbindung dem Telefon zugänglich macht.

	DWD	Meteo Group	Terra Transfer	Rainforest Connection	Balduin & Krüger
Datenverbindung	Festnetz	Festnetz	Mobilfunk	Mobilfunk	W-LAN
Energiequelle	Netz	Netz	Akku	Solar	Akku
Hardware Basis	Eigene HW	Eigene HW	Eigene HW	Smartphone	Raspberry Pi
Erweiterbar	ja	ja	ja	nein	ja
Sensornetzwerk	ja	ja	ja	ja	nein
Automatisierung	mittel	hoch	—	hoch	mittel
Kosten	hoch	hoch	mittel	niedrig	niedrig

Tabelle 2.1.: Zusammenfassung der vorgestellten Technologien

2.7.1. Vor- und Nachteile von Mobilfunktelefonen

Die zuvor getroffene Entscheidung für die Verwendung von Mobilfunktelefonen wird durch diesen Abschnitt untermauert, es werden aber auch nachteilige Eigenschaften erwähnt. Die Vorteile der geringen Anschaffungskosten und der niedrige Energiebedarf wurden bereits erwähnt und sollen hier nicht erneut aufgeführt werden. Mobilfunktelefone bieten jedoch durchaus noch weitere Eigenschaften und Funktionalitäten, die sie für den Einsatzzweck attraktiv machen. Diese werden zusammen mit möglichen Nachteilen im Folgenden erläutert.

Erweiterbarkeit Mobilfunktelefone sind seit den ersten Smartphone Generationen universelle Alleskönner und haben sich im Laufe der Zeit von mobilen Telefonen zu mobilen Computern mit Telefonfunktion weiterentwickelt. Besonders deutlich wird dies durch ihre softwaretechnische Erweiterbarkeit, die kaum noch hinter normalen Computern zurückstecken muss. Dies manifestiert sich in der großen Anzahl an Anwendungen für Smartphones, oft kurz als Applications (App) bezeichnet. Die Software der Messstationen lässt sich in Form einer App einfach in das System eines Smartphones integrieren.

Schnittstellen Mobilfunktelefone bringen eine große Anzahl an Schnittstellen mit sich, die über unterschiedlichste Eigenschaften verfügen. Darunter fallen drahtgebundene wie auch drahtlose Verbindungen in unterschiedlichen Geschwindigkeits- und Qualitätsbereichen. Besonders die mobile Datenverbindung ist für diese Arbeit interessant, da sie eine große Reichweite bietet und somit eine gute Möglichkeit darstellen kann die Messstationen über das Internet zu einem Netzwerk zu verbinden.

Interne Sensorik Wie bereits in Abschnitt 2.4 angedeutet, besitzen Mobilfunktelefone eine Reihe interner Sensoren, die für die Erhebung von Daten interessant sein können. Typische Sensoren sind dabei Temperatur-, Lage-, Beschleunigungs- und GPS-Sensor aber auch die oftmals integrierte Kamera und das Mikrofon lassen sich als Sensoren verstehen. Da sie bereits im Mobilfunktelefon integriert sind, fallen keine zusätzlichen Kosten für sie an. Weiterhin sind sie für den mobilen Einsatz konzipiert und weisen damit einen geringen Energiebedarf auf.

Verfügbarkeit & Kosten Die Verfügbarkeit von Mobilfunktelefonen ist gegeben und wird es auch die nächsten Jahre sein. Auch die Verfügbarkeit von alten Modellen, die teilweise optische Defekte aufweisen und daher besonders günstig sind, ist hoch. Die Anzahl der Smartphone Nutzer alleine in Deutschland wächst seit Jahren und beläuft sich auf etwa 46 Millionen im Juli 2015, die Prognose der weltweiten Nutzer geht von rund 2 Milliarden für das Jahr 2016 aus. Geht man von einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von 4 Jahren aus, so ist klar, dass dies die Verfügbarkeit auf absehbare Zeit sicherstellt. Zusätzlich wird ein gewisser Grad an Unabhängigkeit von einzelnen Herstellern gewährleistet. [vgl. Sta16]

Heterogenität Ein möglicher Nachteil ist die große Heterogenität der Hard- und Software. Die Modelle der Hersteller aber auch die Modelle eines einzelnen Herstellers

weisen große Unterschiede in der Hardwareausstattung auf. Dies führt auch in bestehender Software oft zu Kompatibilitätsproblemen und erschweren die übergreifende Softwareentwicklung für mehrere Modelle. Dies lässt sich mit einem Effekt in der Webentwicklung vergleichen: Jede komplexere Webseite oder -anwendung weißt Komponenten auf, die die Heterogenität der diversen Internetbrowser behandelt um ein einheitliches Verhalten in allen Browsern zu ermöglichen.

Externe Hardware Der direkte Anschluss externer Sensorik, wie beispielsweise beim RaspberryPi über GPIO-Pins, ist bei Mobilfunktelefonen nicht vorgesehen. Sie sind als in sich geschlossene Systeme entworfen und bieten die Verbindung zu externer Hardware größtenteils über Funkschnittstellen an. Somit ist es erforderlich, dass die anzuschließende Hardware über ein entsprechendes Funk- bzw. Kommunikationsmodul verfügt, dies verursacht jedoch höhere Kosten und einen gesteigerten Energiebedarf. Typische Beispiele solcher Schnittstellen sind W-LAN, Bluetooth und Universal Serial Bus (USB).

2.7.2. Herausforderungen

Es gibt noch einige offene Themen des Lösungsansatzes, die für eine erfolgreiche Umsetzung zu klären sind. Sie sind die Grundlage der Evaluation in Kapitel 4 und werden dort erneut aufgegriffen um eine geeignete Lösung zu erarbeiten. Im Folgenden werden sie aufgezeigt und erläutert.

Ermittlung des Energiebedarfs Der Energiebedarf von Mobilfunktelefonen ist naturbedingt niedrig, da sie als autonome Systeme entworfen sind und über keine permanente Energieversorgung verfügen. Es ist jedoch nicht klar, wie groß dieser Energiebedarf genau ist und es lassen sich dazu auch nur wagen Vermutungen aufgrund der Herstellerangaben machen. Da diese bekanntermaßen jedoch oft nur unter Laborbedingungen erreicht werden können, ist eine genaue Untersuchung unabdinglich. Dabei muss beachtet werden, dass es ggf. zu einer Erhöhung des Energiebedarfs, durch den Anschluss externer Hardware kommen kann. Die Ergebnisse der Untersuchung haben einen großen Einfluss auf die Auswahl und Dimensionierung der autonomen Energieversorgung und damit auch auf die Kosten.

Energieversorgung Es gilt ein passendes Konzept für die Energieversorgung zu erstellen, das den Anforderungen des Systems gerecht wird. Hierbei spielt nicht nur der Eigenbedarf an Energie eine Rolle, sondern auch der Bedarf der geplanten Sensorik. Es gilt die zur Verfügung stehenden Möglichkeiten gegeneinander abzuwägen um die bestmögliche auszuwählen.

Anbindung externer Hardware Es muss eine Möglichkeit gefunden werden externe Hardware mit dem Mobilfunktelefon zu verbinden. Dabei ist es besonders wichtig, die positiven Eigenschaften der Mobilfunktelefone möglichst nicht zu beeinträchtigen. Die Auswahl an Schnittstellen ist dabei groß und muss sorgfältig untersucht werden um eine geeignete Auswahl für diese Arbeit treffen zu können.

2. Grundlagen

Auswahl geeigneter Mobilfunktelefone Je nachdem welche Entscheidungen in den vorherigen Punkten gefällt werden, ist noch unklar, welche Anforderungen an die Mobilfunktelefone gestellt werden. Dadurch kann es sein, dass sich nicht alle Modelle für den Einsatzzweck dieser Arbeit eignen oder ausgewählte Modelle besondere Vorteile aufweisen. Es muss eine Auswahl geeigneter Modelle getroffen werden, die den Anforderungen gerecht werden.

3. Systemspezifikation

„Where customers and engineers define the software [and hardware] that is to be produced and the constraints on its operation.“ [Som10, S. 9]

Als Kernthema wird das zu entwickelnde System in diesem Kapitel definiert. Dazu wird es zunächst gegen seine Umwelt abgegrenzt, um klarzustellen welche Aspekte berücksichtigt werden müssen und was außerhalb dieses Systems als gegebene Umgebung angesehen wird. Anschließend werden die Akteure identifiziert, die in den folgenden Anwendungsfällen mit dem System interagieren. Als Quelle der Anwendungsfälle dienen im Wesentlichen die Aufgabenstellung und Diskussionen mit den Mitarbeitern der Abteilung Systemsoftware und verteilte Systeme, die im Rahmen dieser Arbeit als Kunden angesehen werden können. Weiterhin wurden die im Grundlagenkapitel (Kapitel 2) vorgestellten Systeme, Projekte und Arbeiten als Quelle herangezogen und untersucht.

3.1. Systemübersicht

Das gesamte zu entwerfende System besteht aus der zentralen Verwaltungs-Software für der Messnetzwerk und den einzelnen Messstationen. Anhand der bisher erläuterten Grundlagen und dem Lösungsansatz, kann die Messstation bereits in Teilkomponenten mit speziellen Aufgaben zerlegt werden. Diese immer noch sehr abstrakte Aufteilung ist in Abbildung 3.1 in eigener Form dargestellt. Sie zeigt neben den Komponenten als Rechtecke auch den Daten- und Energiefluss als blaue und rote Pfeile. Das Smartphone ist dabei die Rechenkomponente der Messstation und steht mit der Verwaltungs-Software in Verbindung. Bei einer Synchronisation werden Konfigurationsdaten an das Smartphone und erfasste Messdaten an die Verwaltungs-Software gesendet. Diese Kommunikation erfolgt über das Mobilfunknetz. Aus der Konfiguration wird auf dem Smartphone bestimmt wann eine Messung mit welchem Sensor auszuführen ist und zum entsprechenden Zeitpunkt Steuerungsbefehle an die Sensoren gesendet. Die Sensoren führen die Befehle aus und senden nach einer Messung den Messwert an das Smartphone zurück, welches den Messwert zusammen mit zusätzlichen Informationen als Messdatensatz bis zur nächsten Synchronisation zwischenspeichert. Aus der Abbildung geht hervor, dass diese Kommunikation nicht direkt erfolgt sondern über die externe Hardware. Sie hat die Aufgabe zwischen dem Smartphone und den unterschiedlichen Schnittstellen der Sensoren zu vermitteln. Die Energieversorgung der Messstation ist eine eigene Komponenten und stellt ihre Energie primär der externen Hardware zur Verfügung. Ähnlich zu den Schnittstellen hat sie die Aufgabe die Energie in geeigneter Form für die Sensoren und das Smartphone aufzubereiten. Dies könnte beispielsweise eine Wandlung der Spannung auf das benötigte Niveau sein.

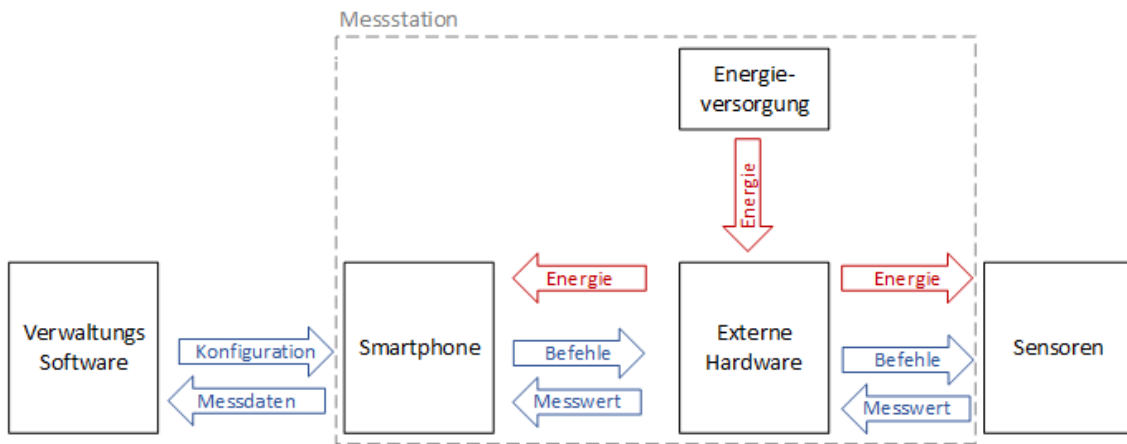


Abbildung 3.1.: Gesamtübersicht des Systems inklusive Sensoren

3.2. Systemabgrenzung

Das zu entwerfenden System beinhaltet die Messtation, bestehend aus Smartphone, Energieversorgung, externer Hardware und Schnittstelle zu den Sensoren sowie die zentrale Verwaltung der Messstationen als Messnetzwerk. Die jeweiligen Schnittstellen zwischen den Komponenten gehören ebenfalls zum System. Jegliche Auswertung oder Weiterverarbeitung der Messdaten z.B. in Form von Filterung, Mittelwertbestimmung oder graphischer Darstellung ist *kein* Bestandteil des Systems. Die Messdaten stehen über eine Exportfunktion zur Verfügung um sie in entsprechenden Programmen weiterverarbeiten zu können. Die angeschlossenen Sensoren sind zwar mit der Messtation verbunden, gehören selbst jedoch *nicht* zum Systemumfang. Sie sind Systeme der Hersteller und können nicht beeinflusst werden. Als Grenze ist die Datenverbindung zwischen externer Hardware und Sensoren zu sehen, die als Schnittstelle noch zum System gehört. Siehe dazu auch die Abgrenzung der Sensoren gegenüber der Messtation in Abbildung 3.1.

Generell soll der Entwurf des Systems den Anschluss beliebiger Sensoren erlauben. Daraus ergeben sich Anforderungen an die Schnittstellen, welche für die externe Sensorik zur Verfügung gestellt werden müssen. Da die Auswahl an möglichen Sensoren und damit Schnittstellen sehr groß ist, können im Rahmen dieser Arbeit nicht alle als Out-of-the-box-Lösung (OOTB-Lösung) umgesetzt werden. Daher wird festgelegt, dass die in der Bachelorarbeit von Balduin und Krüger verwendeten Sensoren als OOTB-Lösung durch Entwurf und Prototypen zu unterstützen sind. [vgl. BK15] Die Erweiterung des Systems um zusätzliche Sensoren sollte jedoch im Entwurf berücksichtigt werden und mit möglichst geringem Anpassungsaufwand verbunden sein.

3.3. Akteure im System

Es gibt drei Akteure die mit dem System interagieren. Der Benutzer bildet die Basis und repräsentiert den Endanwender des Systems. Er nutzt es um sich an- oder abzumelden und Messdaten zu erheben. Der Administrator ist eine Spezialisierung des Benutzers, er ist für

die softwareseitige Verwaltung des Systems zuständig. Hierfür stehen ihm die Funktionen der Benutzerverwaltung und Messnetzwerkverwaltung zur Verfügung. Wie der Administrator ist auch der Techniker eine Spezialisierung des Benutzers. Sein Aufgabengebiet ist die Verwaltung der Hardwarekomponenten des Systems. Die Spezialisierungshierarchie der Akteure ist in Abbildung 3.2 dargestellt.

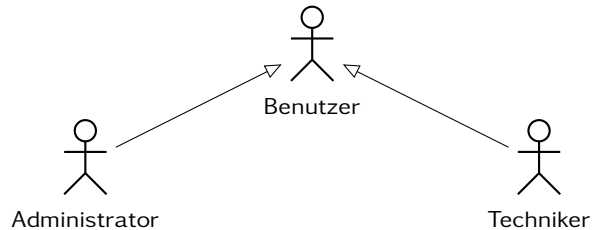


Abbildung 3.2.: Use-Case Diagram *UCD-1*, Akteure

3.4. Anwendungsfälle

Die folgenden Anwendungsfälle beschreiben die Interaktionsmöglichkeiten der Akteure mit dem System und stellen damit eine wichtige Beschreibung der Systemfunktionalität dar. Dabei sind die Beschreibungen bewusst so formuliert, dass sie möglichst keine technischen Entscheidungen vorweg nehmen. Sie beschreiben *was* während einer Interaktion geschieht ohne vorzuschreiben *wie* es umgesetzt wird. Die Anwendungsfälle sind jeweils zunächst als Übersicht in einem Diagramm zusammengefasst und anschließend ihr detaillierter Ablauf in tabellarischer Form erläutert. Angelehnt an das durch Chris Rupp beschriebene Verfahren in „Systemanalyse kompakt“ [RS13].

Innerhalb der tabellarischen Beschreibungen werden Referenzen auf Anwendungsfall-diagramme beginnend mit UCD-1 durchnummeriert. Gleiches gilt für die Anwendungsfälle, beginnend mit UC-1. Include- und Extends-Relationen werden ebenfalls als Referenzen angegeben. Wird ein Anwendungsfall über eine Include-Relation eingebunden wird dies mit einer Referenz der Form $\dashv\text{inc}\rightarrow$ UC-1 dargestellt. Wird ein Anwendungsfall durch einen anderen erweitert (Extends-Relation) wird $\dashv\text{ext}\rightarrow$ UC-1 verwendet. Die Anwendungsfälle sind hierarchisch in zwei Ebenen organisiert, das Diagramm in Abbildung 3.3 stellt den Einstieg in die oberste Ebene dar und zeigt die zwei einfachen Anwendungsfälle *anmelden* und *abmelden* zusammen mit vier hierarchischen Anwendungsfällen, die wiederum aus weiteren Anwendungsfällen bestehen.

3. Systemspezifikation

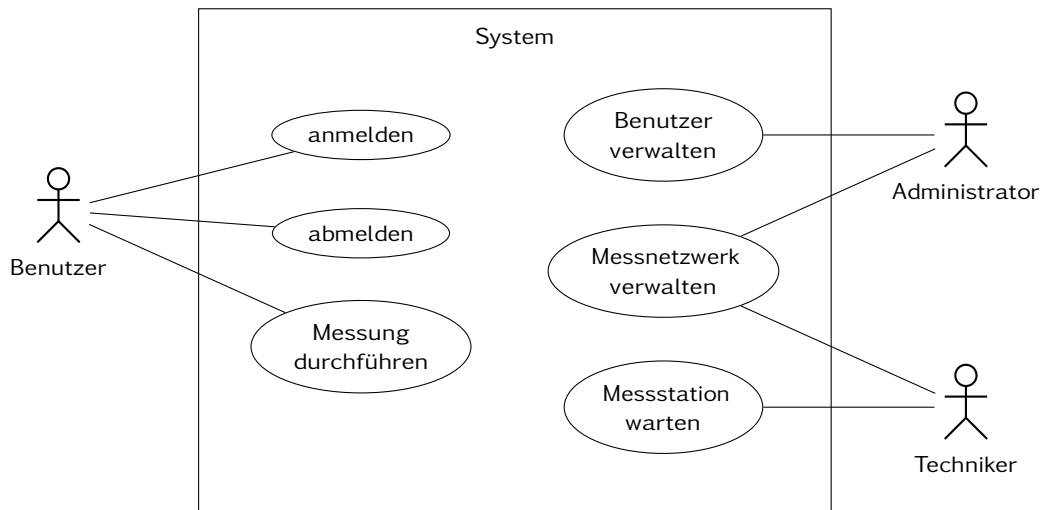


Abbildung 3.3.: Use-Case Diagram UCD-2, System

Name (ID)	anmelden (UC-1)
Akteure	Benutzer
Referenzen	UCD-2
Ziel	Der Benutzer möchte sich am System anmelden.
Vorbedingungen	1. Der Benutzer verfügt über ein Benutzerkonto. 2. Das Benutzerkonto ist aktiv.
Ablauf	1. Der Benutzer verbindet sich mit dem System. ↳ Das System zeigt eine Möglichkeit an sich zu authentifizieren. 2. Der Benutzer authentifiziert sich gegenüber dem System. ↳ Das System verifiziert die Authentifizierung des Benutzers. 3. Das System meldet den Benutzer an.
1. Alternativer Ablauf	2.1 Das System konnte die Authentifizierung des Benutzers nicht verifizieren. ↳ Das System zeigt dem Benutzer die Fehlermeldung „Anmeldung fehlgeschlagen“ und eine Möglichkeit sich erneut zu authentifizieren an. 2.2 Der Ablauf setzt sich bei 2. fort.
Nachbedingungen	1. Der Benutzer wurde authentifiziert und am System angemeldet.

Tabelle 3.1.: Anwendungsfall UC-1 – anmelden

Name (ID)	abmelden (UC-2)
Akteure	Benutzer
Referenzen	UCD-2
Ziel	Der Benutzer möchte sich vom System abmelden.
Vorbedingungen	1. Der Benutzer ist am System angemeldet. UC-1
Ablauf	1. Der Benutzer wählt das Abmelden aus. ↳ Das System meldet den Benutzer vom System ab und zeigt ihm die Erfolgsmeldung „abgemeldet“ an.
Nachbedingungen	1. Der Benutzer ist vom System abgemeldet.

Tabelle 3.2.: Anwendungsfall UC-2 – abmelden

3. Systemspezifikation

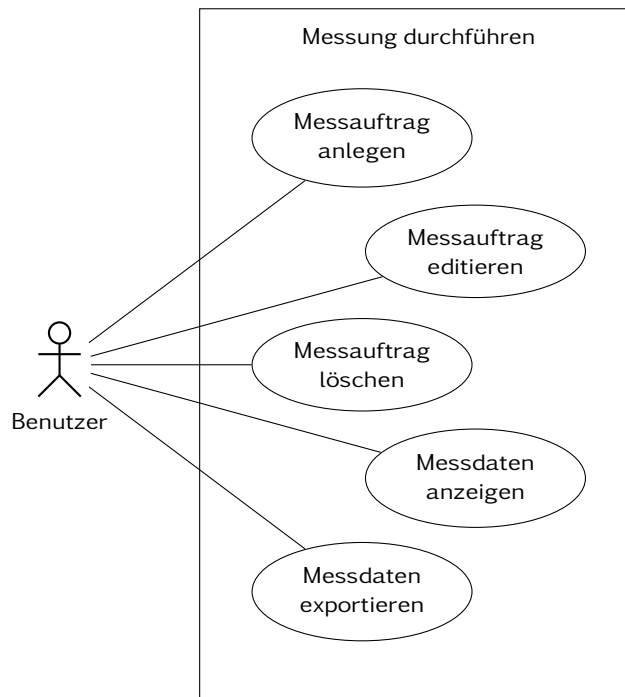


Abbildung 3.4.: Use-Case Diagram UCD-3, Messung durchführen

Name (ID)	Messauftrag anlegen (UC-3)
Akteure	Benutzer
Referenzen	UCD-3
Ziel	Der Benutzer möchte einen neuen Messauftrag im System anlegen.
Vorbedingungen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Der Benutzer ist am System angemeldet. UC-1 2. Der Benutzer hat die Berechtigung Messaufträge anzulegen. 3. Das Messnetzwerk verfügt über mindestens eine betriebsbereite Messstation mit mindestens einem betriebsbereiten Sensor.
Ablauf	<ol style="list-style-type: none"> 1. Der Benutzer wählt das Anlegen eines neuen Messauftrags aus. ↳ Das System legt einen neuen Messauftrag an und zeigt die Editieransicht des Messauftrags an. 2. Der Benutzer konfiguriert den Messauftrag. 3. Der Benutzer wählt die gewünschten Sensoren aus. 4. Der Benutzer legt Messpläne für den Messauftrag fest. 5. Der Benutzer wählt das Speichern des Messauftrags aus. ↳ Das System speichert den Messauftrag ab und zeigt die Detailseite des Messauftrags an.
Nachbedingungen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Der Messauftrag ist im System gespeichert. 2. Das System beginnt mit der Datenerfassung für den Messauftrag.

Tabelle 3.3.: Anwendungsfall UC-3 – Messauftrag anlegen

3. Systemspezifikation

Name (ID)	Messauftrag editieren (UC-4)
Akteure	Benutzer
Referenzen	UCD-3
Ziel	Der Benutzer möchte die Einstellungen eines bestehenden Messauftrags verändern.
Vorbedingungen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Der Benutzer ist am System angemeldet. UC-1 2. Der Benutzer hat die Berechtigung den Messauftrag zu ändern.
Ablauf	<ol style="list-style-type: none"> 1. Der Benutzer wählt die Anzeige der Messaufträge aus. ↳ <i>Das System zeigt die vorhandenen Messaufträge an, für die der Benutzer die Berechtigung „Messauftrag anzeigen“ besitzt.</i> 2. Der Benutzer wählt den gewünschten Messauftrag zum Editieren aus. ↳ <i>Das System zeigt die Editieransicht des Messauftrags an.</i> 3. Der Benutzer nimmt Änderungen an der Konfiguration des Messauftrags vor. 4. Der Benutzer wählt das Speichern des Messauftrags aus. ↳ <i>Das System speichert die Änderungen ab und zeigt die Detailseite des Messauftrags an.</i>
Nachbedingungen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Die Änderungen des Messauftrags wurden vom System gespeichert.

Tabelle 3.4.: Anwendungsfall UC-4 – Messauftrag editieren

Name (ID)	Messauftrag löschen (UC-5)
Akteure	Benutzer
Referenzen	UCD-3
Ziel	Der Benutzer möchte einen bestehenden Messauftrag löschen.
Vorbedingungen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Der Benutzer ist am System angemeldet. UC-1 2. Der Benutzer hat die Berechtigung den Messauftrag zu löschen.
Ablauf	<ol style="list-style-type: none"> 1. Der Benutzer wählt die Anzeige der Messaufträge aus. ↳ <i>Das System zeigt die vorhandenen Messaufträge an, für die der Benutzer die Berechtigung „Messauftrag anzeigen“ besitzt.</i> 2. Der Benutzer wählt den gewünschten Messauftrag zum Löschen aus. ↳ <i>Das System fordert den Benutzer auf das Löschen zu bestätigen.</i> 3. Der Benutzer bestätigt das Löschen. ↳ <i>Das System löscht den Messauftrag.</i>
Nachbedingungen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Der Messauftrag wurde vom System gelöscht.

Tabelle 3.5.: Anwendungsfall UC-5 – Messauftrag löschen

3. Systemspezifikation

Name (ID)	Messdaten anzeigen (UC-6)
Akteure	Benutzer
Referenzen	UCD-3
Ziel	Der Benutzer möchte sich die bereits erfassten Messdaten zu einem bestehenden Messauftrag vom System anzeigen lassen.
Vorbedingungen	1. Der Benutzer ist am System angemeldet. UC-1 2. Der Benutzer hat die Berechtigung Messdaten anzuzeigen.
Ablauf	1. Der Benutzer wählt die Anzeige der Messaufträge aus. ↳ Das System zeigt die vorhandenen Messaufträge an, für die der Benutzer die Berechtigung „Messauftrag anzeigen“ besitzt. 2. Der Benutzer wählt die Anzeige der Messdaten eines Messauftrags aus. ↳ Das System zeigt die Messdaten des Messauftrags an.
Nachbedingungen	1. Der Benutzer hat Einsicht in die Messdaten erhalten.

Tabelle 3.6.: Anwendungsfall UC-6 – Messdaten anzeigen

Name (ID)	Messdaten exportieren (UC-7)
Akteure	Benutzer
Referenzen	UCD-3
Ziel	Der Benutzer möchte die Messdaten eines bestehenden Messauftrags exportieren.
Vorbedingungen	1. Der Benutzer ist am System angemeldet. UC-1 2. Der Benutzer hat die Berechtigung Messdaten zu exportieren.
Ablauf	1. Der Benutzer wählt die Anzeige der Messaufträge aus. ↳ Das System zeigt die vorhandenen Messaufträge an, für die der Benutzer die Berechtigung „Messauftrag anzeigen“ besitzt. 2. Der Benutzer wählt den Export der Messdaten eines Messauftrags aus. ↳ Das System zeigt die Auswahl der verfügbaren Formate an. 3. Der Benutzer wählt ein Format aus. ↳ Das System stellt die Messdaten im gewählten Format bereit.
Nachbedingungen	1. Dem Benutzer stehen die exportierten Messdaten zur Verfügung.

Tabelle 3.7.: Anwendungsfall UC-7 – Messdaten exportieren

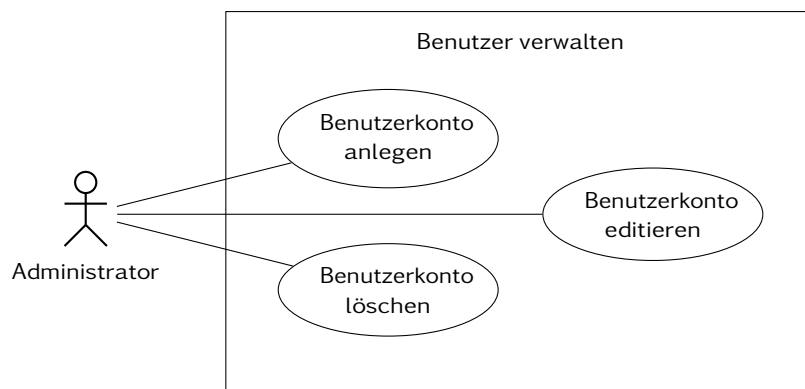


Abbildung 3.5.: Use-Case Diagram UCD-4, Benutzer verwalten

3. Systemspezifikation

Name (ID)	Benutzerkonto anlegen (UC-8)
Akteure	Administrator
Referenzen	UCD-4
Ziel	Der Administrator möchte ein neues Benutzerkonto anlegen.
Vorbedingungen	1. Der Administrator ist am System angemeldet. UC-1
Ablauf	<ol style="list-style-type: none"> 1. Der Administrator wählt das Anlegen eines neuen Benutzerkontos aus. ↳ <i>Das System zeigt die Editieransicht des Benutzerkontos an.</i> 2. Der Administrator konfiguriert das Benutzerkonto. 3. Der Administrator speichert das Benutzerkonto. ↳ <i>Das System speichert das Benutzerkonto ab und zeigt die Detailseite des Benutzerkontos an.</i>
Nachbedingungen	1. Das Benutzerkonto ist im System gespeichert.

Tabelle 3.8.: Anwendungsfall UC-8 – Benutzerkonto anlegen

Name (ID)	Benutzerkonto editieren (UC-9)
Akteure	Administrator
Referenzen	UCD-4
Ziel	Der Administrator möchte ein bestehendes Benutzerkonto editieren.
Vorbedingungen	1. Der Administrator ist am System angemeldet. UC-1
Ablauf	<ol style="list-style-type: none"> 1. Der Administrator wählt die Anzeige der Benutzerkonten aus. ↳ <i>Das System zeigt die vorhandenen Benutzerkonten an.</i> 2. Der Administrator wählt ein Benutzerkonto zum Editieren aus. ↳ <i>Das System zeigt die Editieransicht des Benutzerkontos an.</i> 3. Der Administrator nimmt Änderungen am Benutzerkonto vor. 4. Der Administrator speichert das Benutzerkonto. ↳ <i>Das System übernimmt die Änderungen und zeigt die Detailseite des Benutzerkontos an.</i>
Nachbedingungen	1. Die Änderungen am Benutzerkonto wurden vom System gespeichert.

Tabelle 3.9.: Anwendungsfall UC-9 – Benutzerkonto editieren

Name (ID)	Benutzerkonto löschen (UC-10)
Akteure	Administrator
Referenzen	UCD-4
Ziel	Der Administrator möchte ein Benutzerkonto löschen.
Vorbedingungen	1. Der Administrator ist am System angemeldet. UC-1
Ablauf	<ol style="list-style-type: none"> 1. Der Administrator wählt die Anzeige der Benutzerkonten aus. ↳ <i>Das System zeigt die vorhandenen Benutzerkonten an.</i> 2. Der Administrator wählt das Löschen eines Benutzerkontos aus. ↳ <i>Das System fordert eine Bestätigung vom Administrator an.</i> 3. Der Administrator bestätigt das Löschen. ↳ <i>Das System löscht das Benutzerkonto und die davon abhängigen Daten.</i>
Nachbedingungen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Das Benutzerkonto wurde gelöscht. 2. Die Messaufträge des Benutzers wurden gelöscht.

Tabelle 3.10.: Anwendungsfall UC-10 – Benutzerkonto löschen

3. Systemspezifikation

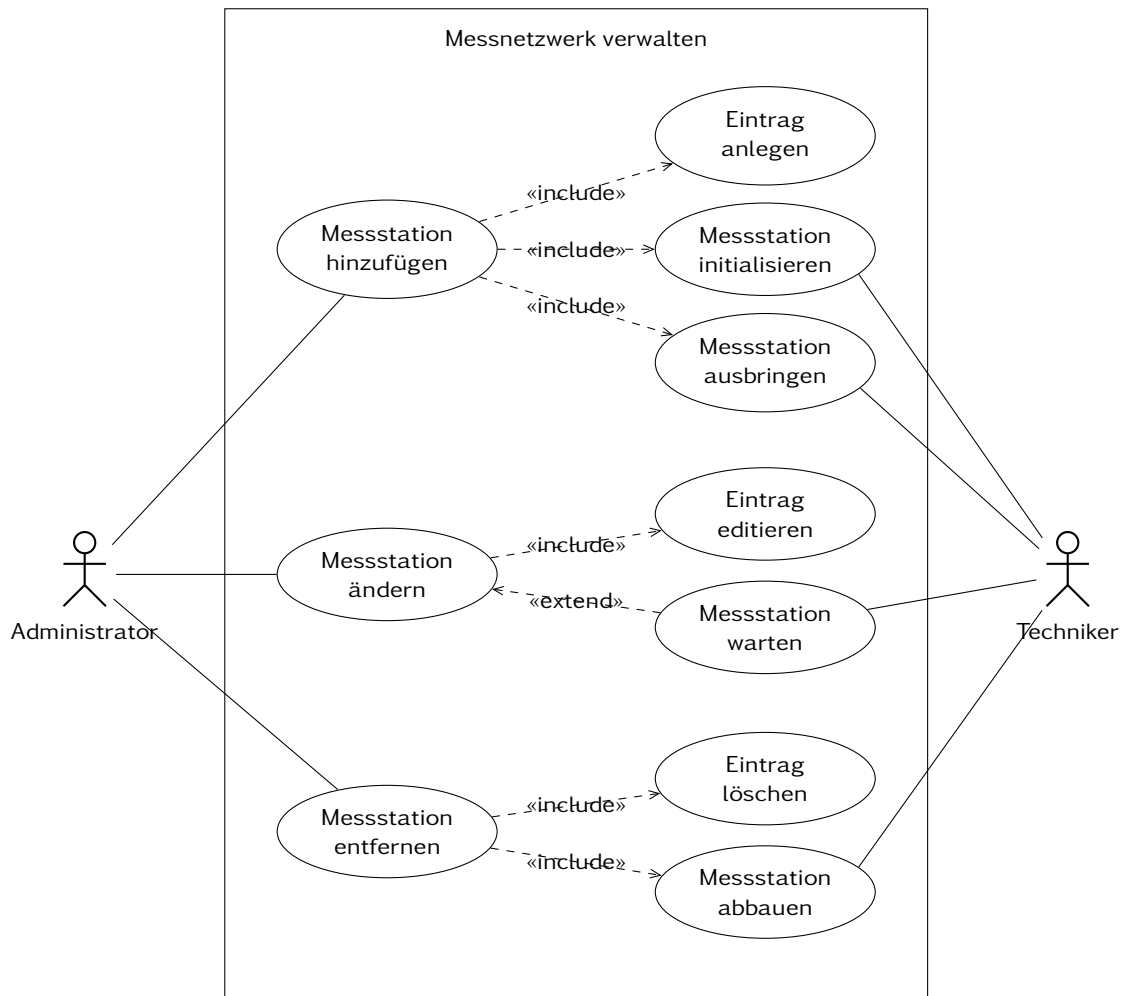


Abbildung 3.6.: Use-Case Diagram UCD-5, Messnetzwerk verwalten

Name (ID)	Messstation hinzufügen (UC-11)
Akteure	Administrator und Techniker
Referenzen	UCD-5
Ziel	Das Messnetzwerk soll um eine Messstation erweitert werden.
Vorbedingungen	1. Der Administrator ist am System angemeldet. UC-1
Ablauf	<ol style="list-style-type: none"> 1. Der Administrator legt einen neuen Messstations-Eintrag an. <i>inc</i> → UC-14 2. Der Techniker initialisiert die Messstation. <i>inc</i> → UC-17 3. Der Techniker bringt die Messstation aus. <i>inc</i> → UC-18 4. Der Administrator versetzt die Messstation in den Zustand „betriebsbereit“.
Nachbedingungen	<ol style="list-style-type: none"> 1. Die Messstation ist im Messnetzwerk integriert. 2. Benutzern steht die Messstation für die Datenerhebung zur Verfügung.

Tabelle 3.11.: Anwendungsfall UC-11 – Messstation hinzufügen

3. Systemspezifikation

Name (ID)	Messstation ändern (UC-12)
Akteure	Administrator, Techniker
Referenzen	UCD-5
Ziel	Eine Messstation soll verändert werden.
Vorbedingungen	1. Der Administrator ist am System angemeldet. UC-1
Ablauf	1. Der Administrator editiert den Messstations-Eintrag. \xrightarrow{inc} UC-15 2. Falls eine Anpassung der Messstation nötig ist, führt der Techniker eine Wartung durch. \xleftarrow{ext} UCD-6
Nachbedingungen	1. Die Änderungen am Messstations-Eintrag wurden vom System gespeichert.

Tabelle 3.12.: Anwendungsfall UC-12 – Messstation ändern

Name (ID)	Messstation entfernen (UC-13)
Akteure	Administrator, Techniker
Referenzen	UCD-5
Ziel	Eine Messstation soll aus dem Messnetzwerk entfernt werden.
Vorbedingungen	1. Der Administrator ist am System angemeldet. UC-1
Ablauf	1. Der Administrator löscht den Messstations-Eintrag der Messstation. \xrightarrow{inc} UC-16 2. Der Techniker baut die Messstation ab. \xrightarrow{inc} UC-19
Nachbedingungen	1. Die Messstation wurde aus dem System entfernt.

Tabelle 3.13.: Anwendungsfall UC-13 – Messstation entfernen

Name (ID)	Eintrag anlegen (UC-14)
Akteure	Administrator
Referenzen	UCD-5
Ziel	Der Administrator möchte einen neuen Messstations-Eintrag für eine Messstation anlegen.
Vorbedingungen	1. Der Administrator ist am System angemeldet. UC-1
Ablauf	1. Der Administrator wählt das Anlegen eines neuen Messstations-Eintrags aus. ↳ <i>Das System legt einen Messstations-Eintrag an und zeigt dessen Editieransicht an.</i> 2. Der Administrator konfiguriert den Messstations-Eintrag. 3. Der Administrator fügt dem Messstations-Eintrag die angeschlossenen Sensoren hinzu. 4. Der Administrator speichert den Messstations-Eintrag. ↳ <i>Das System speichert den Messstations-Eintrag ab und zeigt dessen Detailseite an.</i>
Nachbedingungen	1. Der Messstations-Eintrag ist im System gespeichert.

Tabelle 3.14.: Anwendungsfall UC-14 – Eintrag anlegen

3. Systemspezifikation

Name (ID)	Eintrag editieren (UC-15)
Akteure	Administrator
Referenzen	UCD-5
Ziel	Der Administrator möchte einen bestehenden Messstations-Eintrag editieren.
Vorbedingungen	1. Der Administrator ist am System angemeldet. UC-1
Ablauf	<ol style="list-style-type: none"> 1. Der Administrator wählt die Anzeige der Messstations-Einträge aus. ↳ <i>Das System zeigt die vorhandenen Messstations-Einträge an.</i> 2. Der Administrator wählt den Messstations-Eintrag zum Editieren aus. 3. Der Administrator nimmt Änderungen an dem Messstations-Eintrag vor. 4. Der Administrator speichert den Messstations-Eintrag. ↳ <i>Das System speichert die Änderungen des Messstations-Eintrags ab und zeigt dessen Detailseite an.</i>
Nachbedingungen	1. Die Änderungen am Messstations-Eintrag sind im System gespeichert.

Tabelle 3.15.: Anwendungsfall UC-15 – Eintrag editieren

Name (ID)	Eintrag löschen (UC-16)
Akteure	Administrator
Referenzen	UCD-5
Ziel	Der Administrator möchte einen bestehenden Messstations-Eintrag löschen.
Vorbedingungen	1. Der Administrator ist am System angemeldet. UC-1
Ablauf	<ol style="list-style-type: none"> 1. Der Administrator wählt die Anzeige der Messstations-Einträge aus. ↳ <i>Das System zeigt die vorhandenen Messstations-Einträge an.</i> 2. Der Administrator wählt den Messstations-Eintrag zum Löschen aus. Das System fordert eine Bestätigung vom Administrator an. 3. Der Administrator bestätigt das Löschen. ↳ <i>Das System löscht den Messstations-Eintrag.</i>
Nachbedingungen	1. Der Messstations-Eintrag wurde vom System gelöscht.

Tabelle 3.16.: Anwendungsfall UC-16 – Eintrag löschen

Name (ID)	Messstation initialisieren (UC-17)
Akteure	Techniker
Referenzen	UCD-5
Ziel	Der Techniker stellt eine neue Messstation her und bereitet sie für den Einsatz im Messnetzwerk vor.
Ablauf	<ol style="list-style-type: none"> 1. Der Techniker installiert das Betriebssystem des Mobilfunktelefons. 2. Der Techniker installiert die Messnetz-App auf dem Mobilfunktelefon. 3. Der Techniker konfiguriert die Messnetz-App. 4. Der Techniker montiert die Messstation.
Nachbedingungen	1. Die Messstation ist für den Einsatz im Messnetzwerk bereit.

Tabelle 3.17.: Anwendungsfall UC-17 – Messstation initialisieren

3. Systemspezifikation

Name (ID)	Messstation ausbringen (UC-18)
Akteure	Techniker
Referenzen	UCD-5
Ziel	Eine Messstation soll an ihrem Einsatzort installiert werden.
Ablauf	1. Der Techniker installiert die Messstation an ihrem Einsatzort. 2. Der Techniker schließt die Sensoren der Messstation an.
Nachbedingungen	1. Die Messstation ist an ihrem Einsatzort installiert.

Tabelle 3.18.: Anwendungsfall UC-18 – Messstation ausbringen

Name (ID)	Messstation abbauen (UC-19)
Akteure	Techniker
Referenzen	UCD-5
Ziel	Eine Messstation soll abgebaut werden.
Ablauf	1. Der Techniker meldet sich an der Messstation an. 2. Der Techniker schaltet die Messstation ab. 3. Der Techniker baut die Messstation ab.
Nachbedingungen	1. Die Messstation wurde von ihrem Einsatzort entfernt.

Tabelle 3.19.: Anwendungsfall UC-19 – Messstation abbauen

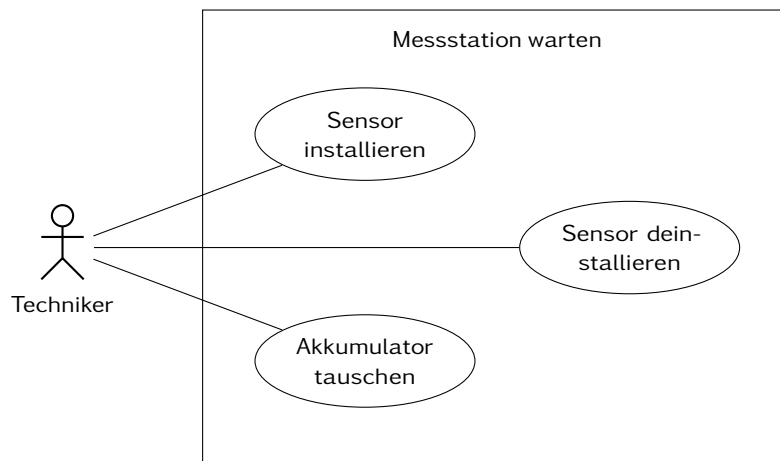


Abbildung 3.7.: Use-Case Diagram UCD-6, Messstation warten

4. Evaluation der Mobilfunktelefone als Messstation

Zentrales Thema in diesem Kapitel ist die Lösung der Herausforderungen aus dem Grundlagenkapitel. Zuerst wird eine Schnittstelle für die Verbindung von Smartphone und externer Hardware ausgewählt. Anschließend werden geeignete Telefone ausgewählt um deren Energiebedarf zu bestimmen. Abschließend wird eine Lösung für die Energieversorgung erarbeitet.

4.1. Anbindung externer Hardware

Für die Anbindung unterschiedlicher Sensoren werden diverse Schnittstellen benötigt, wie sie typischerweise von Mikrocontrollern angeboten werden. Keine dieser Schnittstellen wird direkt von Smartphones angeboten. Daher ist vorgesehen eine externe Hardware zu erstellen, die über alle nötigen Schnittstellen verfügt. Diese werden über eine Verbindung zum Smartphone, den darauf laufenden Anwendungen, zur Verfügung stellt. Hierzu werden in den folgenden Unterabschnitten zunächst die Eigenschaften der Schnittstellen erarbeitet, die von den Smartphones angeboten werden. Anschließend wird anhand aufgestellter Kriterien eine geeignete Schnittstelle für die Verbindung zwischen Smartphone und externer Hardware ausgewählt.

4.1.1. Bluetooth

Bluetooth ist eine Funktechnologie für die drahtlose Verbindung über kurze Distanz zwischen Endgeräten. Die erste Standardisierung erfolgte 1999 und wurde bis heute stetig weiterentwickelt. Bluetooth Endgeräte sind dabei in drei Klassen bezüglich ihrer Sendeleistung eingeteilt. Klasse-3-Geräte, zu denen auch die Mobilfunktelefone gehören, besitzen eine Sendeleistung von bis zu 1mW, Klasse-2-Geräte senden mit bis zu 2,5mW und mit bis zu 100mW senden Geräte der Klasse-1. Durch die Sendeleistung wird maßgeblich die Reichweite der jeweiligen Geräte bestimmt, sie beträgt bis zu 10 Meter bei Klasse-3 und bis zu 100 Meter bei Klasse-1-Geräten, jeweils auf freier Fläche ohne Hindernisse. [vgl. Sau15] Die späteren Bluetooth Versionen aus der 4.x Reihe sehen vor allem Optimierungen des Energiebedarfs vor. So sollen Geräte des 4.1 Standards bei einer Reichweite von bis zu 10m und einer Datenrate begrenzt auf 1MBit/s, nur noch etwa 10mA während der Übertragung benötigen. Eine Übersicht über die Entwicklung der Standards ist in Abbildung 4.1 dargestellt. [vgl. Gei14]

Bluetooth bietet die Möglichkeit einer bidirektionalen Verbindung zwischen zwei oder mehr Endgeräten. Die Netto Datenrate der ersten Bluetooth Version 1.0B wurde auf 780kBit/s festgelegt. Je mehr Geräte miteinander verbunden sind desto kleiner wird Datenrate die jeweils einem Geräte zur Verfügung steht, da sie auf alle aufgeteilt wird.

4. Evaluation der Mobilfunktelefone als Messstation

In der typischen Situation, dass ein Gerät als Sender Daten zu einem anderen Gerät als Empfänger sendet, wird die Datenrate wie folgt aufgeteilt: 57kBit/s für die Verbindung vom Empfänger zum Sender und 723kBit/s für Sender zum Empfänger. Übertragen beide Endgeräte gleichzeitig Daten an das jeweils andere Endgerät, wird die Datenrate zu gleichen Teilen auf jeweils 390kBit/s aufgeteilt. Die Datenrate wurde in späteren Versionen erhöht um den steigenden Anforderungen an Datenverbindungen gerecht zu werden. Der erste Schritt brachte eine Steigerung von 780kBit/s auf 2MBit/s, später auf bis zu 54MBit/s unter Zuhilfenahme einer W-LAN Verbindung, die initial über Bluetooth ausgehandelt wird. Eine möglicherweise zuvor bereits bestehende W-LAN Verbindung wird dabei getrennt. Als Pflichtbestandteil von Bluetooth ist die Authentifizierung der verbundenen Endgeräte untereinander und die Verschlüsselung der Datenübertragung in den Standard integriert. So ist sichergestellt, dass Verbindungen nur mit durch den Benutzer festgelegten, vertrauenswürdigen Geräten, hergestellt wird. Die Kommunikation wird durch die Verschlüsselung abhörsicher gemacht. Der Bluetooth Standard bietet Anwendungen zuverlässige Datenverbindungen an. Störungen in der Kommunikation werden vom Bluetooth Protokollstapel gehandhabt und die gestörten Daten z. B. erneut angefordert oder gesendet. Erst bei einem Verbindungsabbruch wird der Fehler an die Anwendung weitergeleitet. [vgl. Gei14] [vgl. Sau15]

Die Fähigkeit sich mit Hilfe des Bluetooth Standards zu anderen Geräten zu verbinden wurde bereits in die ersten Smartphone Generationen integriert. So verfügt z. B. das erste Mobilfunktelefon von Apple, das iPhone, über diese Technologie. Auch das HTC Dream, welches 2008 als erstes Smartphone mit dem Betriebssystem Android auf den Markt kam, verfügte über Bluetooth. [Ste12]

Um eine externe Hardware mit Bluetooth Funktionalität auszustatten, werden von diversen Herstellern Bluetooth Module angeboten. Von ST Microelectronics gibt es z. B. ein Bluetooth Erweiterungsmodul für die Arduino Plattform. Die Kosten dafür betragen zur Zeit etwa 13€¹.

¹Preis entstammt dem Online-Shop <http://www.digikey.de> am 01.02.2016

	Bluetooth 4.1	Bluetooth 4.0	Bluetooth 3.0	Bluetooth 2.x	Bluetooth 1.x
Geschwindigkeit Core	1 MBit/s	1 MBit/s	1 MBit/s	1 MBit/s	1 MBit/s
Geschwindigkeit EDR*	3 MBit/s	3 MBit/s	3 MBit/s	3 MBit/s	□
Geschwindigkeit High Speed	54 MBit/s	54 MBit/s	54 MBit/s	□	□
Reichweite (Maximal/Low Energy)	100 m/10 m	100 m/10 m	100 m/□	100 m/□	100 m/□
Low-Energy-Modus	■	■	□	□	□
Dual-Profil (gleichzeitig Master- und Slave-Gerät)	■	□	□	□	□
IPv6-Support	vorbereitet	□	□	□	□
Pairing mit NFC	■	■	■	■	□
AES-128-Bit-Verschlüsselung	■	■	□	□	□

*ENHANCED DATA RATE ■ JA □ NEIN

Abbildung 4.1.: Bluetooth Versionen im Vergleich [Gei14]

4.1.2. Wireless-LAN

Mitte der neunziger Jahre wurde W-LAN standardisiert. Es wird vorwiegend für die Vernetzung von Computern und mobilen Endgeräten genutzt. Die Datenrate des ersten Standards 802.11b beträgt 1MBit/s bis 11MBit/s und wird von der Entfernung bzw. der Signalqualität zwischen den Geräten bestimmt. In späteren Weiterentwicklungen wurde die Datenrate zunächst auf 6MBit/s bis 54MBit/s gesteigert und schließlich im aktuellsten Standard 802.11ac auf bis zu rund 7Gbit/s. W-LAN wird entweder im 2,4GHz ISM-Band mit einer maximalen Sendeleistung von 100mW betrieben oder in neueren Standards auch im 5GHz Band mit 500mW zulässiger maximaler Sendeleistung. Die Damit erzielbare Reichweite beträgt bis zu 100 Meter auf freie Fläche. Nahezu alle Endgeräte, vor allem mobile, verfügen über die Möglichkeit ihre Sendeleistung an die Verbindungsqualität anzupassen. Bei einer guten Verbindung, wenn die Geräte z. B. nicht weit voneinander entfernt sind, kann damit der Energiebedarf gesenkt werden. W-LAN bietet eine bidirektionale Kommunikation zwischen zwei oder mehr Endgeräten. Der Großteil aller W-LAN Netzwerke wird von einem Access-Point bereitgestellt, mit dem sich weitere Endgeräte verbinden. Neuere Standards ergänzen dies um den Ad-hoc Mode, bei dem es Endgeräten ermöglicht wird sich direkt miteinander zu verbinden. Die Verschlüsselung des Datenverkehrs ist optional und wird von den meisten Endgeräten unterstützt. Der W-LAN Protokollstapel ist üblicherweise in den Netzwerkprotokollstapel des Betriebssystems eingebunden. Daher ist eine Kommunikation über W-LAN für Anwendungen vollständig transparent. Die Übertragungssicherheit ist durch die verwendeten Protokollstapel sichergestellt und kann aus Anwendungssicht als gegeben angesehen werden. [vgl. Sau15]

W-LAN Funktionalität wurde bereits in die Smartphones der ersten Generation integriert. Hier lässt sich, wie bereits beim Abschnitt über Bluetooth, das iPhone und HTC Dream anführen. Beide verfügten bereits über diese Technik. [vgl. Ste12]

Auch die Integration von W-LAN in externe Hardware erfolgt analog zu Bluetooth über speziell dafür entwickelte Chipsätze, die sowohl das Empfangen und Senden der Daten wie auch die untersten Protokollschichten realisieren. Fertige Entwicklungsboards gibt es z. B. für die Arduino Plattform ab etwa 79€.²

4.1.3. Near Field Communication (NFC)

NFC ist eine drahtlose Kommunikationstechnologie im Nahbereich. Sie bietet eine bidirektionale Punkt-zu-Punkt Verbindung zwischen zwei Endgeräten. In der Standardisierung sind die Datenraten 106kBit/s, 212kBit/s oder 424kBit/s festgelegt. Der NFC Protokollstapel bietet der Anwendung eine zuverlässige Datenverbindung an. Dabei kann diese sowohl verbindungslos wie auch verbindungsorientiert sein. Der Energiebedarf während der Datenübertragung liegt bei etwa 15mA. [vgl. Nau12]

Die NFC Technologie wird seit 2004 in die ersten Mobilfunktelefone integriert. Der Weltweite Absatz von Mobilfunktelefonen mit NFC Technik steigt seitdem stetig an. Für das Jahr 2016 wird der Verkauf von rund 800 Millionen Mobilfunktelefone mit NFC

²Preis entstammt dem Online-Shop <http://www.digikey.de> am 01.02.2016

Technik prognostiziert. Der Hersteller Apple hat diese Technik erst in seinen derzeit neuesten Mobilfunktelefon Generationen, dem iPhone 6 und iPhone 6s integriert. Dies wird in Zukunft die weitere Verbreitung und Akzeptanz steigern. Ältere Smartphones die nicht über diese Technologie verfügen lassen sich über den microSD Steckplatz nachrüsten. [vgl. Kal14] [vgl. Ele] [vgl. LM10]

Die Integration der NFC Technologie in externe Hardware erfolgt über speziell dafür entwickelte NFC Module. Für den RaspberryPi ist beispielsweise ein NFC Erweiterungsmodul für rund 20€ erhältlich.³

4.1.4. Universal Serial Bus (USB)

USB ist ein Kommunikationsbus der für den Anschluss von Peripherie Geräten an Computer entwickelt wurde. Die Kommunikation findet dabei nur zwischen dem Computer und den angeschlossenen Geräten statt und nicht zwischen den Geräten selbst. Die Rolle des Computers wird dabei als USB-Host und die der Geräte als USB-Device bezeichnet. Eine Verbindung von zwei oder mehr USB-Device Geräten ist nicht möglich. Diese feste Rollenverteilung stellte vor allem für Mobilfunktelefone eine Einschränkung dar. Sie haben die Rolle von USB-Device Geräten, die z.B. für den Datenaustausch oder Synchronisation mit einem Computer verbunden werden. Es wäre aber wünschenswert, ihre USB Schnittstelle auch für Peripheriegeräte nutzen zu können. Dies wurde mit der Einführung von USB On-The-Go (OTG) ermöglicht. Ein Gerät, das OTG fähig ist, kann zwischen den Rollen wechseln. Damit ist es möglich, dass ein Mobilfunktelefon je nach Situation als USB-Host oder USB-Device agiert. [vgl. Axe15] Um auch bei nicht OTG fähigen Mobilfunktelefonen, USB als Anschluss für Peripheriegeräte zu nutzen, wurde für das Android Betriebssystem der Android Accessory Mode entwickelt. Er sieht vor, dass das Peripheriegerät die Rolle des USB-Hosts übernimmt und das Mobilfunktelefon das USB-Device darstellt. Die dazu nötigen Treiber sind seit Android Version 3.1 im Betriebssystem enthalten und es ist nicht erforderlich Anpassungen an ihm vorzunehmen. Die Treiber wurden nachträglich auch in die Versionen ab 2.3.4 integriert. [vgl. Inc] Die mögliche Datenrate von USB erstreckt sich von 1,5MBit/s im Low-Speed Modus bis zu 10GBit/s im Super-Speed-Plus Modus. USB ermöglicht auch eine Energieversorgung der USB-Device Geräte. Bei der Version USB2.0 sind dies bis zu 500mA und bei USB3.1 bis zu 900mA. Wenn beide Geräte die USB Power Delivery specification unterstützen und der USB-Host genügend Energie bereitstellen kann, ist eine Versorgung bis zu 5A möglich. Auf diesem Weg wäre die Energieversorgung der Mobilfunktelefone sichergestellt. Das USB Protokoll garantiert der Anwendung eine zuverlässige Datenübertragung. Eingehende Daten werden z.B. auf Fehler überprüft und im Fehlerfall wird der Sender aufgefordert die Daten erneut zu übertragen. Dies läuft vollständig transparent für die Anwendung ab. [vgl. Axe15]

Es gibt bereits eine große Anzahl an Mikrocontrollern die über eine integrierte USB Schnittstelle verfügen, eine Integration in externe Hardware ist damit möglich. Eine besondere Form der Integration bietet der bereits erwähnte Android Accessory Mode. Die Firma Future Technology Devices International Ltd. bietet mit dem UMFT311EV

³Preis entstammt dem Online-Shop <https://www.rasppishop.de> am 01.02.2016

ein Entwicklungsboard für den Android Accessory Mode an. Mit dem Board und einer bereitgestellten Android Bibliothek ist es möglich aus Android Anwendungen heraus auf die Schnittstellen des Controllers auf dem Entwicklungsboard zuzugreifen. Es werden folgende Schnittstellen bereitgestellt: GPIO, UART, PWM, I2C Master, SPI Master und SPI Slave. Die Verbindung zwischen Mobilfunktelefon und UMFT311EV erfolgt dabei über USB. [vgl. Lim12] Der Preis liegt bei etwa 28€.⁴

4.1.5. Infrarot

Die optische, drahtlose, Punkt-zu-Punkt Datenübertragung mittels Infrarot wurde durch die Infrared Data Association (IrDA) zu Beginn der 90er Jahre standardisiert. Bis vor einigen Jahren war diese Technologie vor allem in Notebooks, Mobilfunktelefonen und deren Peripherie zu finden. Allerdings wurde sie durch neu entwickelte Technologien verdrängt, dazu gehören vor allem Bluetooth und W-LAN aber auch kabelgebundene wie USB. Neuere Mobilfunktelefone enthalten lediglich eine Infrarotdiode, die nur als Sender fungieren kann. Dies ist z. B. beim Samsung Galaxy S4, S5 und S6 der Fall. Vorgeesehen ist dies für die Nutzung z. B. als Universalfernbedienung. Eine Verschlüsselung der Datenübertragung ist nicht im Standard der IrDA vorgesehen. [vgl. MS12] Die Datenrate beträgt bis zu 4MBit/s bei einem Abstand von maximal 2 Metern. Bei der Kommunikation über Infrarot ist der Sichtkontakt zwischen den Endgeräten eine Voraussetzung.

Die Integration in externe Hardware ist über relativ einfache Komponenten möglich und bedarf nicht speziell dafür ausgelegter Mikrocontroller. Dies macht die Technologie günstig und einfach zu integrieren. Ein Grund warum diese Technik häufig in Fernbedienungen für Multimedia Heimgeräten verwendet wird. Die Komponenten sind bereits für weniger als einen Euro zu beschaffen.⁵

4.1.6. Interne Schnittstellen

Mobilfunktelefone verfügen intern bereits über eine große Anzahl an Schnittstellen für die Kommunikation zwischen den Hardwarekomponenten. Darunter fallen z. B. SPI, I2C, UART oder GPIO-Pins. Der Energiebedarf dieser Schnittstellen ist sehr gering, da sie bereits vorhanden sind und verwendet werden. Weiterer Bedarf fällt nur durch die zusätzliche Nutzung an. Da diese Schnittstellen jedoch ausschließlich für die interne Kommunikation zwischen den Komponenten des Mobilfunktelefons bestimmt sind, gibt es keine vorgesehene Möglichkeit weitere Hardware zu verbinden. Es wären aufwendige Modifikationen der Hardware nötig um Zugang zu erlangen. Weiterhin gibt es kaum Dokumentation der Hersteller wie z. B. Schaltpläne aus denen hervorgeht wo die Schnittstellen zugänglich wären und welche Komponenten damit verbunden sind. Es besteht auch das Risiko die bereits bestehende Kommunikation zu stören, die Folgen wären aufgrund mangelnder Informationen nicht absehbar. Eine Ausnahme bietet das Projekt Openmoko, dass eine quelloffene Smartphone Plattform aus Hard- und Software entwickelt hat und sämtliche Informationen frei zu Verfügung stellt. Aus den Schaltplänen und

⁴Preis entstammt dem Online-Shop <http://www.digikey.de> am 01.02.2016

⁵Preise aus dem Online-Shop <http://www.reichelt.de> vom 01.02.2016

Layout Dateien der Platinen ist ersichtlich, dass die Schnittstellen verfügbar sind, jedoch alles andere als einfach zugänglich. [vgl. Ope] Ein weiteres Problem stellt das Betriebssystem dar, das es Anwendungen nicht erlaubt direkt auf die Hardware zuzugreifen. Es wäre also nötig Anpassungen, z. B. in Form von angepassten Treibern, am Betriebssystem vorzunehmen um diesen Zugang zu ermöglichen.

Da die angesprochenen Schnittstellen für die Kommunikation zwischen Hardwarekomponenten entwickelt wurden und teilweise direkt von den verfügbaren Sensoren unterstützt werden, wäre eine Integration in eine externe Hardware sehr einfach oder gar unnötig. Eine Erweiterung der verfügbaren Schnittstellen wäre mit einem Mikrocontroller denkbar. Die Integration in ein Endgerät daher vergleichsweise einfach umzusetzen.

4.1.7. Audio-Interface

Nahezu alle Mobilfunktelefone seit der ersten Smartphone Generation bis zu den aktuell neuesten Modellen besitzen ein Audio-Interface z. B. zum Anschluss von Kopfhörern. Die Ausführung der Schnittstelle ist meistens eine 2,5mm Klinke Buchse die direkt von außen zugänglich ist. Es wäre denkbar, analog zu einem Modem, das Audio-Interface auch für die Übertragung von Daten zu verwenden. Es bietet neben den Ausgängen für den Anschluss von Kopfhörern auch einen Eingang für ein Mikrofon. Damit ist eine bidirektionale Datenverbindung möglich. Weder die Schnittstelle noch das Betriebssystem sehen diese Nutzung vor und bieten daher keine Mittel für eine Datenübertragung geschweige denn eine gesicherte Verbindung an. Das erkennen und behandeln von Übertragungsfehlern fällt in den Aufgabenbereich der Anwendung.

In einem Projekt der Universität Michigan wurde eine Hard- und Software Prototyp für diesen Einsatzzweck entwickelt. Es wurde eine Datenrate von etwa 8,8kBit/s erreicht. Neben der reinen Datenverbindung wurde ein Audio-Kanal für die Energieversorgung der angeschlossenen Hardware verwendet. Die maximale Leistung beträgt dabei 7,4mW und die Effizienz der Wandlung liegt bei 47 Prozent. Das Projekt wurde von der Firma NXP Semiconductors aufgegriffen, die ein Entwicklungsboard anbieten, mit dem eine Kommunikation über das Audio-Interface möglich ist. Dabei beschränkt sich die Auswahl der unterstützten Mobilfunktelefone auf Geräte des Herstellers Apple (iPhone4, iPhone4S, iPhone5 ,iPhone5S mit iOS6.1.6 und iOS7.0.4) und ein Modell des Herstellers Samsung (Galaxy S3). [vgl. Kuo+10] [vgl. Sem14]

Der Energiebedarf der reinen Datenübertragung ist als gering einzustufen. Das erzeugte Audio Signal wird nicht durch einen Kopfhörer oder Lautsprecher in Schall umgesetzt sondern von einer externen Hardware über einen Analog-Digital Wandler abgetastet. Die Integration kann also mit üblichen Bordmitteln eines Mikrocontrollers erfolgen und benötigt keine spezialisierte Hardware. Der Aufwand für Kodierung und Dekodierung fällt dadurch jedoch größer aus als bei Schnittstellen, die durch spezialisierte Hardware unterstützt werden.

4.1.8. Display Lesegerät

Das Display eines Mobilfunktelefons stellt eine Schnittstelle zum Benutzer dar, die sich jedoch auch für die Datenübertragung nutzen lässt. Weite Verbreitung hat diese Technik z. B. bei den TAN-Lesegeräten einiger Banken gefunden, die zur Absicherung des Online-Bankings genutzt werden. Dabei werden festgelegte Bereiche auf dem Display entweder hell oder dunkel angezeigt, so lässt sich eine binäre Datenübertragung realisieren. Das Lesegerät arbeitet dabei mit Photodioden, die die Helligkeit in ein elektrisches Signal umsetzen, das von einem Mikrocontroller ausgewertet wird. Typischerweise ist diese Kommunikation nur unidirektional vom Display zum Lesegerät möglich. Bei heutigen Smartphones sind jedoch auch Sensoren für die Umgebungshelligkeit integriert um die Beleuchtung des Displays an die Umgebung anzupassen. Über diese Sensoren lässt sich ein Rückkanal implementieren und somit eine bidirektionale Verbindung.

Angaben zu möglichen Datenrate sind nur schwer zu finden, es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Datenraten relativ gering ausfallen. Grund dafür ist zum einen die nicht für diese Anwendung ausgelegte Hardware, die nur niedrige Frequenzen erlaubt. So ist die Bildwiederholungsfrequenz ein begrenzender Faktor und liegt typischerweise unterhalb von 100Hz. Völlig unklar ist, bis zu welcher Frequenz der Helligkeitssensor von Smartphones nutzbare Daten liefert.

Das Display eines Mobilfunktelefons gehört zu seinen größten Energieverbrauchern. Da es für die Datenübertragung aktiviert wird, kann von einem großen Energiebedarf für diese Art der Kommunikation ausgegangen werden. In Verbindung mit der eher niedrig erwarteten Datenrate, muss auch von relativ langen Aktivierungszeiten im Vergleich zu vorherigen Techniken ausgegangen werden. [vgl. Spi15]

Die Verwendung des Displays setzt auch voraus, dass dieses einwandfrei funktioniert. Damit würden gebrauchte Geräte mit einem eventuellen Displayschaden von der Verwendung ausgeschlossen werden. Die Integration in eine externe Hardware wäre mit einem Mikrocontroller und einigen wenigen Bauteilen wie Photo- und Leuchtdioden vergleichsweise einfach. Aufgrund unterschiedlicher Displayformate und Modelle wird eine einheitliche Befestigung erschwert. Weiterhin würde die Bedienbarkeit des Mobilfunktelefons darunter leiden.

4.1.9. Bewertung und Auswahl der Schnittstellen

Für die abschließende Bewertung, der in den vorherigen Abschnitten vorgestellten Schnittstellen, werden die folgenden Bewertungskriterien festgelegt. Sie sind in drei Gruppen mit hoher, mittlerer und niedriger Priorität in Hinblick auf die Erreichung der Zielsetzung eingeteilt.

Energiebedarf Der für die Datenübertragung benötigte Energiebedarf spielt eine wichtige Rolle für die Entwicklung eines Systems mit autarker Energieversorgung. Je weniger Energie für die Datenübermittlung benötigt wird umso länger ist die Laufzeit oder umso kleiner kann die Energieversorgung dimensioniert werden, dies hat

4. Evaluation der Mobilfunktelefone als Messstation

wiederum einen positiven Einfluss auf die Kosten. Je niedriger der Energiebedarf ausfällt, desto positiver die Bewertung. (Priorität: hoch)

Verfügbarkeit Dieses Kriterium bewertet, wie verfügbar Mobilfunktelefone mit der jeweiligen Schnittstellentechnologie sind. Eine hohe Verfügbarkeit wird als positiv bewertet. Dabei sind gebrauchte Mobilfunktelefone, aufgrund ihres niedrigen Preises, als angestrebte Zielplattform anzusehen. Eine Schnittstelle, die bei der neuesten Generation von Mobilfunktelefonen verbreitet ist, kann also durchaus als negativ bewertet werden. (Priorität: hoch)

Kosten Bewertet werden die Kosten, für die Implementierung einer Messstation auf Basis der jeweiligen Schnittstelle. Je niedriger die Kosten, desto positiver die Bewertung. (Priorität: hoch)

Integration Mit der Integration wird der technische Hard- und Softwareaufwand bewertet, der für die Implementierung der Schnittstelle nötig ist. Je niedriger der Aufwand, desto positiver fällt die Bewertung aus. (Priorität: mittel)

Zukunftssicher Schnittstellen unterliegen einem Wandel und derzeit weit verbreitete können in einigen Jahren bereits ausgestorben sein. Daher wird mit diesem Kriterium bewertet, wie wahrscheinlich eine zukünftige Verfügbarkeit ist. Eine hohe Verfügbarkeit wird positiv bewertet. (Priorität: mittel)

Datenrate Bewertet die zur Verfügung stehende Datenrate der Schnittstelle. Eine höhere Datenrate wird dabei als positiv bewertet. (Priorität: niedrig)

Zuverlässigkeit Wird als positiv bewertet, wenn die Schnittstelle bereits Methoden für eine zuverlässige Kommunikation mit sich bringt. Dadurch wird z.B. die Komplexität für das Erkennen und Behandeln von Übertragungsfehlern von der Anwendung in die Schnittstelle ausgelagert. (Priorität: niedrig)

Die Schnittstellen wurden anhand der festgelegten Bewertungskriterien auf einer fünfstufigen Skala beurteilt. Die Skala geht dabei von sehr positiv(++) über positiv(+), neutral(o), negativ(-) bis sehr negativ(- -).

Beim Energiebedarf schneiden die kabelgebundenen Varianten generell besser ab. Unschlagbar sind die internen Schnittstellen, die mit sehr positiv bewertet wurden, am schlechtesten schneidet das Display Lesegerät ab. Die Verfügbarkeit wurde bei NFC als negativ bewerte weil es bei gebrauchten, günstigen Geräten noch eher selten verfügbar ist. Dies wird sich jedoch in naher Zukunft vermutlich ändern. Infrarot wurde ebenfalls negativ bewertet, da es kaum noch als bidirektionale Schnittstelle vorhanden ist. Da für das Display Lesegerät ein funktionsfähiges Display benötigt wird, schränkt dies die Auswahl der gebrauchten Geräte ebenfalls ein, daher ein leichter Abzug in der Bewertung. Alle anderen Schnittstellen sind durchweg sehr gut verfügbar. Bei den Kosten scheiden die internen Schnittstellen am besten ab, da die Realisierung der Schnittstelle mit Bordmitteln eines Mikrocontrollers erfolgen kann. Immer noch als positiv werden Audio-Interface,

4. Evaluation der Mobilfunktelefone als Messstation

Infrarot und das Display Lesegerät bewertet, da sie mit einem Mikrocontroller und wenigen günstigen Bauelementen realisiert werden können. USB, Bluetooth, W-LAN und NFC lassen sich mit entsprechenden Modulen realisieren, wobei die Kosten für W-LAN hier etwas höher liegen. Der Integrationsaufwand bei den internen Schnittstellen ist durch nötige Hard- und Softwareanpassungen besonders hoch und somit sehr negativ bewertet. Das Gegenstück dazu ist die Integration von USB, die mit Hilfe des Android Accessory Mode und eines entsprechenden Erweiterungsboards als sehr positiv bewertet wird. Die anderen Schnittstellen bewegen sich dazwischen, wobei Audio-Interface und Infrarot über einfache Analog-Digital Wandlung integriert werden können und es für Bluetooth, W-LAN und NFC entsprechende Module gibt. Aussagen über die zukünftige Verfügbarkeit sind mit Vorsicht zu treffen, es scheint jedoch klar, dass USB, Bluetooth und W-LAN auch in Zukunft in nahezu jedem Mobilfunktelefon verbaut werden. Auch das Display und Helligkeitssensor wird es vermutlich weiterhin geben. Etwas unklarer ist die Entwicklung bei NFC und Audio-Interface. Schon derzeit kaum noch verfügbar ist eine Infrarot Schnittstelle. Die Bewertung der Datenrate erfolgte entsprechend der in den vorherigen Abschnitten ermittelten Fakten. Die Zuverlässigkeit wurde abweichend nur mit „ja“ und „nein“ bewertet, wobei „ja“ für vorhanden steht. Eine Zusammenfassung der Bewertung ist in Tabelle 4.1 dargestellt.

	Priorität hoch			Priorität mittel		Priorität niedrig	
	Energiebedarf	Verfügbarkeit	Kosten	Integration	Zukunftssicher	Datenrate	Zuverlässigkeit
Interne Schnittst.	++	++	++	- -	o	o	nein
Audio-Interface	+	++	+	+	+	-	nein
USB	+	++	o	++	++	++	ja
Bluetooth	o	++	o	o	++	+	ja
Wireless-LAN	-	++	-	o	++	++	ja
NFC	o	-	o	o	+	+	ja
Infrarot	o	-	+	+	- -	o	nein
Display Lesegerät	- -	+	+	-	++	- -	nein

Tabelle 4.1.: Bewertung der Schnittstellen

Für eine erste Auswahl aus den zur Verfügung stehenden Schnittstellen werden die Kriterien mit hoher Priorität betrachtet. Ausgeschlossen werden alle Schnittstellen, die bei einem oder mehr dieser Kriterien eine negative oder sehr negative Bewertung bekommen haben. Das reduziert die Auswahl auf die internen Schnittstellen, das Audio-Interface, USB und Bluetooth in genau dieser absteigenden Reihenfolge. Die sehr negative Bewertung für den Integrationsaufwand der internen Schnittstellen schließt auch diese aus. Die Betrachtung der restlichen Kriterien führt zu keinem weiteren Ausschluss, ändert

aber die Reihenfolge. USB bietet in den Kriterien der mittleren und niedrigen Priorität entscheidende Vorteile, während das Audio-Interface und Bluetooth sich hier etwa gleich auf zeigen. Es lässt sich also sagen, dass die Schnittstellen USB, Audio-Interface und Bluetooth in dieser Reihenfolge als geeignet im Sinne der Zielsetzung sind. Für das weitere Vorgehen wird der Schluss gezogen, USB für die Anbindung der externen Hardware und Sensorik zu verwenden.⁶ Da die USB Schnittstelle typischerweise auch zum Laden der Telefone verwendet wird, bietet sie zudem eine einfache Energieversorgung durch die externe Hardware. Wichtig ist zu beachten, dass dieser Entschluss indirekt die Auswahl der Mobilfunktelefone auf das Betriebssystem Android einschränkt, da die Integration über den Android Accessory Mode angestrebt wird, siehe hierzu Unterabschnitt 4.1.4.

4.2. Geeignete Mobilfunktelefone

Die Auswahl an geeigneten Mobilfunktelefonen ist groß, da sich aus den vorherigen Abschnitten nur zwei, wenig restriktive Anforderungen an sie ergeben haben. Sie müssen das Betriebssystem Android ab Version 3.1 (oder 2.3.4) besitzen, damit sie den Android Accessory Mode unterstützen. Weiterhin müssen sie über eine USB Schnittstelle verfügen. Der Marktanteil von Android Mobilfunktelefonen wächst seit Jahren und lag im Jahr 2014 bei über 80%. Auch die Version 3.1 ist bereits seit Mai 2011 verfügbar und stellt somit keine große Einschränkung dar. Die USB Schnittstelle ist seit der ersten Smartphone Generation die Standardlösung zum Laden der Geräte und somit ebenfalls keine Einschränkung. [Köl14, vgl.] [Mal15, vgl.]

Für die weitere Evaluation sind einige Mobilfunktelefone erforderlich, die die Anforderungen erfüllen. Ihre Auswahl wurde durch die Verfügbarkeit und den Preis bestimmt. Es wurden vier verschiedenen Modelle über die Auktionsplattform eBay gekauft, in einer Preisspanne von etwa 5 bis 13 Euro, exklusive Versandkosten. Es handelt sich um die in Abbildung 4.2 dargestellten Modelle. Wie in der Abbildung zu sehen haben zwei der Modelle Displayschaden, der den Preis deutlich reduzierte. Dennoch lassen sie sich ohne Einschränkungen über den Touchscreen bedienen. Die wichtigsten Eckdaten sind in Tabelle 4.2 zusammengefasst.

⁶Diese Entscheidung ist nicht endgültig und wird in Unterabschnitt 4.3.3 revidiert.

Hersteller	Samsung	Samsung	LG	Alcatel
Name	Galaxy Y	Galaxy X-Cover	Optimus Black	OneTouch
Modell	GT-S5360	GT-S5690	LG-P970	903D
Android Version	2.3.6	2.3.6	4.0.4	2.3.6
Preis	12€	7€	13€	5€
Anmerkung		Displayschaden		Displayschaden

Tabelle 4.2.: Verwendete Mobilfunktelefon Modelle

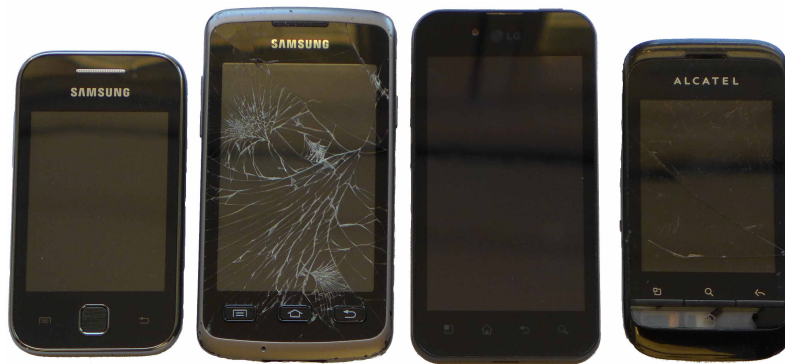


Abbildung 4.2.: Verwendete Mobilfunktelefon Modelle v.l.n.r.: Samsung Galaxy Y, Samsung Galaxy X-Cover, LG Optimus Black und Alcatel OneTouch.

4.3. Energiebedarf

In diesem Abschnitt wird zunächst der Energiebedarf der ausgewählten Mobilfunktelefone bestimmt. Dieser wird benötigt um eine geeignete Energieversorgung für die Messstation zu wählen und entsprechend zu dimensionieren. Im Anschluss werden die Eigenschaften der in Frage kommenden Technologien erarbeitet um eine Auswahl zu treffen.

4.3.1. Versuchsaufbau

Der Energiebedarf eines Smartphones schwankt je nach Betriebszustand stark. Eine Untersuchung des Magazins *c't* zeigt, dass die Leistungsaufnahme des Samsung Galaxy S5 zwischen 10,7mW und 4097mW liegt, was etwa einem Faktor von 380 entspricht. Untersucht wurden 55 verschiedene Betriebszustände, die sich jeweils darin unterscheiden welche Hard- und Softwarekomponenten des Telefons aktiv sind. [vgl. Spi15] Die Anzahl der möglichen Zustände ist sehr groß. Es ist jedoch nicht zielführend alle zu untersuchen, da für den Betrieb als Messstation nur eine kleine Auswahl in Frage kommt. Diese ist im Folgenden beschrieben.

Flugmodus Das Telefon befindet sich im Flugmodus, alle Funkmodule sind deaktiviert und es wird keine Software aktiv ausgeführt. In diesem Modus fällt lediglich die Grundlast des Telefons an. Es sollte sich daher so oft wie möglich in diesem Zustand befinden, um möglichst effizient zu arbeiten.

Messung Dieser Zustand ähnelt dem Flugmodus, jedoch wird die Software zum Abfragen der Sensoren ausgeführt. Deshalb wird sich die Grundlast erhöhen, da mindestens die CPU des Telefons aktiviert wird.

Synchronisation Das Telefon verbindet sich mit dem Mobilfunknetz um Messdaten und Konfiguration über das Internet zu synchronisieren. In diesem Zustand wird die meiste Leistung benötigt. Das Telefon sollte sich daher nur selten in diesem Zustand befinden und ihn schnellstmöglich verlassen.

Als Vorbereitung auf die Untersuchung werden alle Telefone auf ihre Werkseinstellungen zurückgesetzt um auszuschließen, dass Einstellungen vorgenommen oder Anwendungen installiert wurden, die den Energiebedarf beeinflussen. Es gibt verschiedene Varianten die Messung durchzuführen. Die folgenden wurden näher betrachtet.

Erste Variante Um den Eigenbedarf des Mobilfunktelefons zu messen wird der Akkumulator entfernt und das Telefon über den USB Anschluss mit Energie versorgt. So soll sichergestellt werden, dass weder Energie in den, noch aus dem Akkumulator fließt. Um nun die Leistungsaufnahme zu bestimmen, wird ein Amperemeter in Reihe in die Versorgungsleitung geschaltet und ein Voltmeter parallel zum Telefon. Über die gemessenen Werte von Strom und Spannung lässt sich die Leistungsaufnahme des Telefons berechnen. Anwendung findet dabei die Kirchhoffsche Knotenregel. Der Strom ist daher überall gleich und die Berechnungen der Leistung erfolgt nach $P = U \times I$.

Zweite Variante Eine andere Möglichkeit den Eigenbedarf zu messen ist es, nur den Akkumulator des Telefons als Energiequelle zu verwenden. Die Messgeräte werden dabei analog zur ersten Variante angeschlossen. Abweichend jedoch wird das Amperemeter zwischen Akkumulator und Telefon geschaltet. Die Berechnung der Leistungsaufnahme aus den gemessenen Werten bleibt dabei gleich.

Dritte Variante Die Versorgung des Telefons erfolgt über USB und den Akkumulator des Telefons. Hierbei ist zu beachten, dass der Akkumulator sowohl Verbraucher wie auch Energiequelle sein kann. Je nach dem ob er durch das Telefon geladen wird oder nicht. Um den Eigenbedarf des Telefons zu bestimmen muss die Leistungsaufnahme über USB und den Akkumulator getrennt gemessen werden, wobei die Leistungsaufnahme über den Akkumulator negativ ist, wenn er durch das Telefon geladen wird. Anschließend werden beide Leistungen addiert um die gesamte Leistungsaufnahme des Telefons zu bestimmen.

Die erste Variante lässt sich einfach umsetzen, da nur der Akkumulator entfernt werden muss und alle Schnittstellen von außen zugänglich sind. Untersuchungen an den Mobilfunktelefonen zeigten jedoch, dass sie sich nicht betreiben lassen wenn sie nur über USB mit Energie versorgt werden. Keines der Geräte ließ sich nach anlegen der Versorgungsspannung einschalten. Die Telefone von LG und Alcatel zeigten im Display lediglich ein Batterie-Warnsymbol an, die Samsung Geräte zeigten keine Reaktion. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Telefone zunächst die Funktionalität des Akkumulators überprüfen und sich bei einem Fehler abschalten bzw. das Einschalten verhindern. Ein Versuch die Telefone zunächst mit Akkumulator einzuschalten und diesen dann nach dem Startvorgang zu entfernen zeigte lediglich bei dem LG Modell Erfolg. Alle anderen Telefonen schalteten sich sofort oder nach wenigen Sekunden ab. Daher kann diese Methode nicht verwendet werden. Die zweite Variante ist schwieriger umzusetzen, da die Messgeräte zwischen den Akkumulator und das Telefon geschaltet werden und die Anschlüsse aufgrund ihrer geringen Größe schwer zugänglich sind. Diese Methode wird

aber aus folgendem Grund ausgeschlossen: In Unterabschnitt 4.1.9 wurde entschieden, dass die externe Hardware über den USB Anschluss verbunden wird und auch die Energieversorgung über diesen Anschluss erfolgt. Diese Messmethode gibt damit nicht die spätere Situation wieder. Die dritte Variante ist zwar mit dem größten Messaufwand verbunden, entspricht aber der späteren Anwendungssituation der Mobilfunktelefone und wird daher für die Bestimmung des Energiebedarfs verwendet. Das Prinzip der Messung ist im oberen Teil der Abbildung 4.3 dargestellt. Bei ersten Versuchen kam es jedoch zu sporadischen Neustarts der Telefone. Nähere Untersuchungen zeigten, dass die Innenwiderstände der Amperemeter mit etwa $6\ \Omega$ bis $9\ \Omega$ zu groß sind um das Telefon in allen Situationen ausreichend mit Energie zu versorgen. Dadurch kommt es bei hohem Leistungsbedarf eines Telefons zu kurzzeitigen Spannungseinbrüchen, die den Neustart des Telefons verursachen können. Beide Amperemeter wurden daher durch einen Messwiderstand mit $1\ \Omega$ ersetzt und der Strom indirekt durch den Spannungsabfall über dem Widerstand bestimmt. Der Versuchsaufbau ist im unteren Teil von Abbildung 4.3 zu sehen.

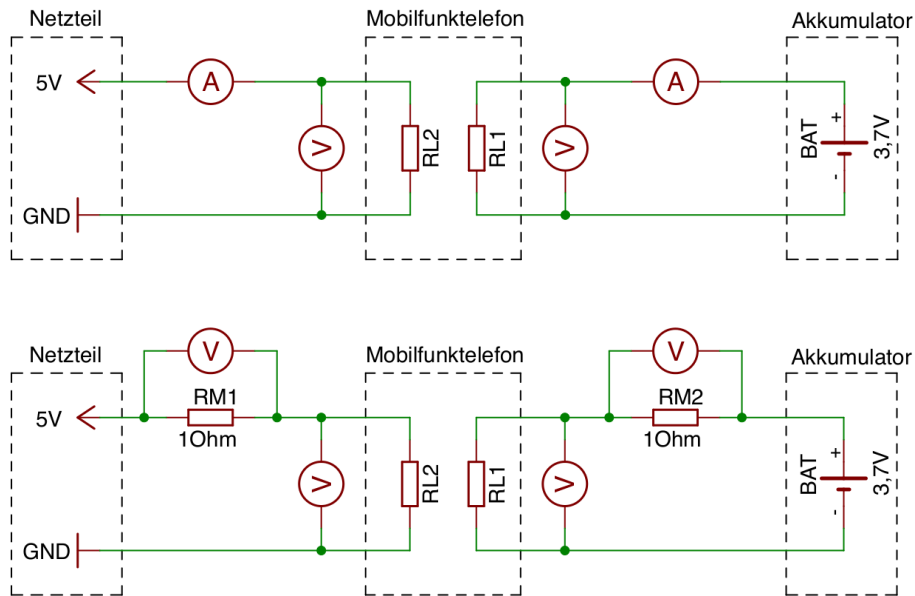


Abbildung 4.3.: Messprinzip (oben) und realer Versuchsaufbau (unten) zum Messen der Leistungsaufnahme

4.3.2. Versuchsdurchführung

Entsprechend den Ausführungen im vorherigen Abschnitt werden die Mobilfunktelefone den Großteil der Zeit im Flugmodus sein. Daher wird dieser Modus als erster untersucht. Vor der Messung wurden alle Telefone vollständig aufgeladen um den Einfluss der Ladeelektronik zu reduzieren und auf Werkseinstellungen zurückgesetzt. Nacheinander wurden sie in den Versuchsaufbau aus Abbildung 4.3 integriert und vermessen. Es wurden die folgenden Parameter bestimmt: Die über den USB Anschluss aufgenommene Leistung wird mit P_{usb} bezeichnet und die Leistung aus dem Akku mit P_{akku} . Die gesamte Leistungsaufnahme P_{total} berechnet sich aus der Summe von P_{usb} und P_{akku} . Die gemessenen Werte sind der Tabelle 4.3 zu entnehmen. Das Samsung Galaxy Y wurde erst

4. Evaluation der Mobilfunktelefone als Messstation

während der Implementierung des Prototypen beschafft, daher liegen für dieses Gerät keine entsprechenden Messwerte vor.

	Leistungsaufnahme (mW)			Akkukapazität	Laufzeit
	P_{usb}	P_{akku}	P_{total}	C_{akku}	$t_{laufzeit}$
Alcatel OneTouch	49,36	112,19	161,55	4810 mWh	29,77 h
LG Optimus Black	2,19	350,27	352,46	5550 mWh	15,75 h
S. Galaxy X-Cover	183,00	188,32	371,32	5550 mWh	14,95 h
Samsung Galaxy Y	—	—	—	4440 mWh	—

Tabelle 4.3.: Leistungsaufnahme der Mobilfunktelefone im Flugmodus bei eingeletem Akku und angeschlossener USB Verbindung

Die Werte sind relativ hoch und entsprechen nicht den Erwartungen. Um diesen Verdacht zu überprüfen wurde auf ihrer Basis und der Kapazität der Akkumulatoren die theoretische Laufzeit nach Gleichung 4.1 berechnet. Auch diese Ergebnisse entsprechen nicht den Erwartungen, die Laufzeit ist deutlich zu kurz und lässt sich nicht mit Mess-toleranzen oder eventuell geschönten bzw. nur unter Laborbedingungen erreichbaren Laufzeitangaben der Hersteller erklären. Der Extremfall findet sich beim Samsung Galaxy X-Cover, dass laut Herstellerangabe etwa 40 mal so lange läuft. Die berechneten Laufzeiten sind ebenfalls in die Tabelle 4.3 aufgenommen worden.

$$t_{laufzeit} = \frac{C_{akku}}{P_{total}} \quad (4.1)$$

Unter der Voraussetzung dass kein Fehler im verwendeten Messverfahren und der Durchführung vorliegt, lässt sich die These aufstellen, dass Mobilfunktelefone bei *angeschlossener* USB Verbindung eine deutlich erhöhte Leistungsaufnahme aufweisen. Um dies zu beweisen oder zu widerlegen wird eine zweite Messreihe durchgeführt. Der Versuchsaufbau entspricht dem Vorherigen mit dem Unterschied, dass die USB Verbindung getrennt wird. Die Energieversorgung der Telefone findet damit ausschließlich durch den Akku statt. Die Messung lieferte bei allen Telefonen eine deutlich reduzierte Leistungsaufnahme als zuvor, vergleiche hierzu die Werte der Spalte P_{total} in Tabelle 4.4 mit denen aus Tabelle 4.3.

Weiterhin wurden in diesem Betriebsmodus sehr kurze, periodische Spitzen in der Leistungsaufnahme festgestellt, im Weiteren als Leistungsspitzen bezeichnet. Der Energiebedarf eines Telefons setzt sich damit aus dem Bedarf zwischen den Leistungsspitzen (der Grundbedarf) und dem der Spitzen zusammen. Der Abstand, die Dauer und die Leistungsaufnahme der Spitzen variiert, daher wurde für die Erfassung jeweils das arithmetische Mittel über einen Zeitraum von 30 Minuten gebildet. Der Abstand zwischen dem Auftreten einer Spitze wird mit $t_{abstand}$ und die Dauer mit t_{dauer} bezeichnet, die Leistungsaufnahme mit P_{spitze} . Die ermittelten Werte wurden verwendet um zusammen mit dem Grundbedarf (P_{grund}) die gesamte Leistungsaufnahme der Telefone zu berechnen. Die Werte sind in Tabelle 4.4 aufgeführt, die Berechnung erfolgte anhand Gleichung 4.2.

4. Evaluation der Mobilfunktelefone als Messstation

	Leistungsspitzen		Leistungsaufnahme (mW)		
	$t_{abstand}$ (s)	t_{dauer} (ms)	P_{spitze}	P_{grund}	P_{total}
Alcatel OneTouch	2,13	7,15	156,12	7,40	7,90
LG Optimus Black	10,10	14,36	115,76	18,48	18,61
S. Galaxy X-Cover	10,41	4,46	151,41	4,59	4,67
Samsung Galaxy Y	—	—	—	—	—

Tabelle 4.4.: Leistungsaufnahme der Mobilfunktelefone im Flugmodus bei eingeletem Akku und getrennter USB Verbindung

$$P_{total} = \frac{t_{abstand} \times P_{grund} + t_{dauer} \times P_{spitze}}{t_{abstand} + t_{dauer}} \quad (4.2)$$

Die aufgestellte These ist damit bestätigt und die Messergebnisse zeigen bei den verwendeten Telefonmodellen einen um den Faktor 20 bis 40 höheren Energiebedarf, bei Anschluss der USB Verbindung im Flugmodus. Es spielt dabei keine Rolle, ob die Telefone mit einem USB-Hub, USB-Host oder nur die Versorgungsspannung und Masseleitung des USB Anschlusses verbunden werden. Alle Varianten wurden ohne Erfolg getestet.

Analog zur Messung des Flugmodus ohne USB Verbindung wurde eine weitere Messreihe im GSM-Funkmodus durchgeführt. Es zeigt sich eine Erhöhung des Energiebedarfs aller Telefone wobei zu beobachten ist, dass der Grundbedarf nahezu konstant bleibt. Die erhöhte Leistungsaufnahme wird durch häufigere und längere Leistungsspitzen verursacht, deren Energiebedarf ebenfalls angestiegen ist. Die Messergebnisse und berechnete gesamte Leistungsaufnahme ist in Tabelle 4.5 dargestellt.

	Leistungsspitzen		Leistungsaufnahme (mW)		
	$t_{abstand}$ (s)	t_{dauer} (ms)	P_{spitze}	P_{grund}	P_{total}
Alcatel OneTouch	1,65	26,38	265,77	7,92	11,98
LG Optimus Black	1,65	99,54	222,05	18,52	30,10
S. Galaxy X-Cover	1,65	44,91	160,07	4,59	8,71
Samsung Galaxy Y	—	—	—	—	—

Tabelle 4.5.: Leistungsaufnahme der Mobilfunktelefone mit eingeschaltetem Mobilfunk (GSM), eingeletem Akku und getrennter USB Verbindung

Die zu Beginn des Abschnitts erwähnte Untersuchung des Magazins c't kommt für das Samsung Galaxy S5 zu sehr ähnlichen Ergebnissen, vergleiche dazu die Werte für Flugmodus und GSM-Standby der in Abbildung 4.4 dargestellten Ergebnisse. Daher können auch die weiteren Werte für diese Arbeit einen Anhaltspunkt für die Leistungsaufnahme von Smartphones in unterschiedlichen Betriebszuständen liefern. Das S5 ist entsprechend seiner Leistungsaufnahme zwischen dem Alcatel OneTouch und dem LG Optimus Black einzuordnen.

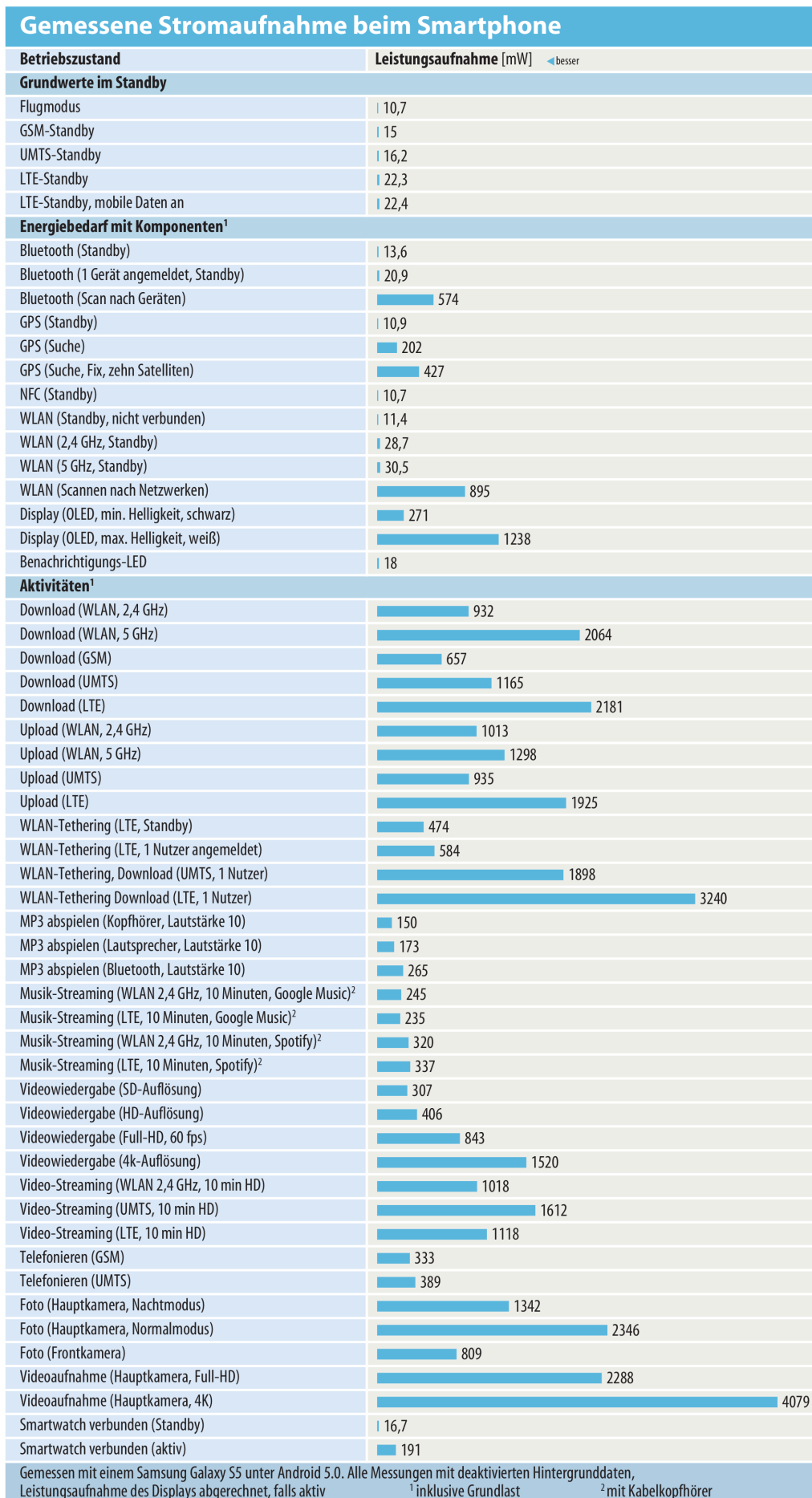


Abbildung 4.4.: Leistungsaufnahme beim Samsung Galaxy S5 [Spi15]

4.3.3. Auswertung der Ergebnisse

Die im vorherigen Abschnitt gewonnene Erkenntnis, dass der Energiebedarf eines Mobilfunktelefons bei angeschlossener USB Verbindung erheblich steigt, hat gravierende Auswirkung auf die durchgeführte Bewertung und Auswahl der Schnittstellen. Der hoher Energiebedarf der USB Schnittstelle war nicht vorherzusehen und steht in direktem Widerspruch mit den Anforderungen an das geplante System. Der Zeitpunkt zu dem dies festgestellt wurde ist nicht optimal, da bereits parallel erste Versuche und Implementierungen der Hard- und Software durchgeführt wurden, die auf die Verwendung des USB Anschlusses abzielen. Ein Wechsel der Schnittstelle macht nicht nur diese Arbeiten nutzlos, sondern bedeutet erheblichen Mehraufwand für die Implementierung, wie aus Unterabschnitt 4.1.9 hervorgeht.

Die in Aussicht stehende Reduzierung der *permanenten* Leistungsaufnahme um einen Faktor 20 bis 40 ist zu groß um sie zu ignorieren. Der Mehraufwand und das damit verbundene Risiko, nicht alle gesteckten Ziele in der verfügbaren Zeit zu erreichen, wird in Kauf genommen und ein Wechsel der Schnittstelle durchgeführt.⁷ Aus Tabelle 4.1 und der zugehörigen Auswertung geht hervor, dass das Audio-Interface nach USB als am besten geeignet für die Erreichung der Zielsetzung ist. Es wird daher die ausgeschiedene USB Schnittstelle ersetzen.

Der gemessene Energiebedarf eines Mobilfunktelefons kann mit etwa 20 mW im Flugmodus und 30 mW bei eingeschaltetem GSM-Funk abgeschätzt werden. Werte für den Betriebszustand „Messung“ konnten zu diesem Zeitpunkt noch nicht gemessen werden, da hierzu die Implementierung erforderlich ist. Da das Audio-Interface verwendet wird, kann aber davon ausgegangen werden, dass die Leistungsaufnahme mit der Wiedergabe eine Mp3-Audio Datei über Kopfhörer vergleichbar ist. Dieser Wert geht aus der Untersuchung des c't Magazins mit 150 mW hervor. Gleiches gilt für die Synchronisation, die mit dem Download über Mobilfunk (GSM) vergleichbar ist und mit rund 650 mW zu buche schlägt.

Die Mobilfunktelefone weisen einen sehr unterschiedlichen Energiebedarf auf, der größte Unterschied besteht zwischen dem LG Optimus Black und dem Samsung Galaxy X-Cover. Im Flugmodus benötigt das LG Modell etwa vier mal so viel Energie und etwa dreieinhalb mal so viel bei eingeschaltetem Mobilfunk (GSM). Damit hat sich gezeigt, dass einige Modelle aufgrund ihres Energiebedarfs besser für den Betrieb eines autarken Systems geeignet sind. Dies resultiert in längeren Laufzeiten und ggf. geringeren Kosten da die Energieversorgung weniger Leistung bereitstellen muss.

Für die folgende Evaluation der Energieversorgung wird der Energiebedarf von einem Tag benötigt. Um diesen zu bestimmen muss ein Anwendungsszenario zugrunde gelegt werden, dass die Verweildauer der Smartphones in den jeweiligen Betriebsmodi vorgibt. Hierzu wird das Szenario mit folgenden Bedingungen festgelegt:

- Über 24 Stunden erfolgt alle zehn Minuten eine Messung.
- Jede Messung dauert zehn Sekunden.

⁷Aus Sicht des Autors ist es keine Lösung wissentlich an den gesteckten Zielen vorbei zu arbeiten.

- Die Synchronisierung der Messwerte erfolgt einmal pro 24 Stunden und dauert eine Minute.

Dies bedeutet, dass die Telefone am Tag 144 Messungen durchführen und sich einmal synchronisieren. Die Verweildauer in den Zuständen teilt sich damit wie folgt auf: Eine Minute Synchronisation, 24 Minuten Messung und 1415 Minuten Flugmodus. Die Berechnung der benötigten Tagesleistung P_{24} erfolgt in Gleichung 4.4. Es ergibt sich ein täglicher Leistungsbedarf von 542,5 mWh. Wichtig ist zu beachten, dass diese Leistung alleine für die Mobilfunktelefone benötigt wird und die Sensorik, externe Hardware, Wandlungs- und Speicherverluste *nicht* abgedeckt sind.

$$\begin{aligned} P_{24} &= 1 \text{ min} \times 650 \text{ mW} + 24 \text{ min} \times 150 \text{ mW} + 1415 \text{ min} \times 20 \text{ mW} & (4.3) \\ P_{24} &= 32550 \text{ mW min} \\ P_{24} &= 542,5 \text{ mWh} \end{aligned}$$

4.4. Energieversorgung

Die Messstationen sollen als autarke Systeme betrieben werden und müssen sich deshalb selbst mit Energie versorgen. Es gibt eine Reihe von Technologien im Bereich des Energy-Harvesting, das sich damit beschäftigt Energie aus der Umwelt zu gewinnen und für die Nutzung in elektrische Energie umzuwandeln. Darunter gibt es Thermogeneratoren, die aus Temperaturdifferenzen Energie gewinnen. Es gibt Brennstoffzellen die elektrische Energie mit Hilfe von Bakterien gewinnen oder piezoelektrische Kristalle, die bei Druck und Erschütterung elektrische Energie erzeugen. Die genannten Technologien liefern jedoch nur eine relativ kleine Leistung, die häufig nur für den sporadischen Betrieb sehr sparsamer Mikroelektronik ausreicht. Der dauerhafte Betrieb eines Mobilfunktelefons mit rund 20 mW im Flugmodus übersteigt bereits ihre Leistungsfähigkeit.

Anders ist dies bei der Umwandlung von Solar- und Windenergie, bei der mehr Leistung gewonnen werden kann. Um Energie aus Windkraft zu gewinnen werden Windturbinen eingesetzt, sie bestehen typischerweise aus einem Rotor, Getriebe und Generator. Über den Rotor wird die kinetische Energie der sich bewegenden Luft in kinetische Rotationsenergie umgesetzt. Die Rotation wird über ein Getriebe an den Generator weitergeleitet und bei Bedarf ihre Geschwindigkeit angepasst. Der Generator wandelt die kinetische schließlich in elektrische Energie um. Bei der Solarenergie wird der photoelektrische Effekt genutzt, eine Wechselwirkung zwischen Photonen und Materie, der Licht in elektrische Energie wandelt. Beide Techniken bieten Modelle in Leistungsklassen von wenigen Watt bis einige zehn Watt an, die für die Versorgung des Systems ausreichend sind. Aus dieser oberflächlichen Betrachtung lässt sich bereits schließen, dass die Vorteile von Solarmodulen für das geplante System überwiegen. Aufgrund ihres Arbeitsprinzips kommen sie ohne mechanisch bewegliche Teile aus und sind damit relativ verschleiß- und wartungsarm. Auch die Installation wird vereinfacht, da kein Schutz der Rotoren gegenüber der Um-

welt vorgesehen werden muss. Der deutlichste Vorteil ist der günstigere Preis gegenüber Windturbinen, daher wird die Versorgung durch ein Solarmodul angestrebt.

4.4.1. Auswahl des Modultyps

Es gibt derzeit vier Typen von Solarmodulen die am Markt verfügbar sind. Sie unterscheiden sich in ihren Eigenschaften wie z. B. die Effizienz der Umwandlung und den Anschaffungskosten. Eine Übersicht über die Typen und ihre wesentlichen Eigenschaften ist in Tabelle 4.6 aufgeführt. Generell lässt sich sagen, dass alle Modultypen für die Energieversorgung des Systems geeignet sind. Aufgrund der höheren Effizienz und moderaten Kosten wird für die Realisierung des Systems ein monokristallines Modul eingesetzt.

	Monokristallin	Polykristallin	Dünnschicht	CIGS
Wirkungsgrad	14% – 20%	12% – 16%	6% – 10%	13% – 15%
Kosten	Teurer als Polykristallin und Dünnschicht	Günstiger als Monokristallin und CIGS	Günstiger als Monokristallin, Polykristallin und CIGS	Bisland am teuersten
Störanfälligkeit	Sehr gering	Sehr gering	Gering	Gering
Schwachlichtverhalten	Einbußen bei diffusem Licht	Einbußen bei diffusem Licht	Nur geringe Einbußen	Nur geringe Einbußen
Wärmeverhalten	Einbußen bei hohen Temperaturen	Einbußen bei hohen Temperaturen	Nur geringe Einbußen	Nur geringe Einbußen

Tabelle 4.6.: Monokristalline-, Polykristalline-, Dünnschicht- und CIGS-Solarmodule im Vergleich [vgl. DAA15]

4.4.2. Dimensionierung des Moduls

Die Auswahl einer geeigneten Leistungsklasse des Solarmoduls erfolgt aufgrund des in Unterabschnitt 4.3.3 bestimmten Leistungsbedarfs. Die theoretisch mögliche Leistung, die ein Modul erzeugen kann, hängt dabei von der einfallenden Globalstrahlung und damit vom Standort ab. Für die folgende Auslegung wird Norddeutschland, genauer Oldenburg in Niedersachsen als geplanter Standort vorausgesetzt. Da das System ganzjährig betrieben werden soll muss es auch über die Wintermonate, in denen mit besonders niedriger Globalstrahlung zu rechnen ist, noch genügend Energie erzeugen. Die Daten der Globalstrahlung werden vom hauptamtlichen Messnetz des DWD erfasst und kostenlos über dessen Webseite zur Verfügung gestellt. Aus den Daten geht hervor, dass typischerweise im Dezember mit der niedrigsten Globalstrahlung zu rechnen ist. Sie beträgt jedoch mindestens 13 kWh/m^2 aufsummiert über den Monat. Betrachtet wurden die Daten der Jahre 2010 bis 2015. [vgl. Wet16a] Geht man von einer mittleren Effizienz des monokristallinen Solarmoduls von 17% aus, ergibt dies bei 31 Tagen im Dezember eine elektrische Leistung von rund $71,3 \text{ Wh/m}^2$ am Tag. Anders formuliert benötigt man um 1 Wh am Tag zu generieren ein Solarmodul mit einer Fläche von etwa 140 cm^2 .

Somit wird ein Solarmodul mit einer Fläche von mindestens 76 cm^2 bei einer Effizienz von 17% benötigt um die in Unterabschnitt 4.3.3 bestimmte Leistung von $542,5 \text{ mWh}$ pro Dezember-Tag in Norddeutschland generieren zu können. Um genügend Reserven vorzuhalten, sollte die Fläche für die Implementierung des Prototypen mindestens verdoppelt werden. Auch die zusätzliche Leistung, für die noch zu entwickelnde externe Hardware und die durch Wandlung und Speicherung der Energie verursachten Verluste müssen bedacht werden. Für diese Faktoren sollte eine zusätzliche Verdopplung der Fläche eingeplant werden. Damit ergibt sich eine Vorgabe von mindestens 304 cm^2 zum Betrieb der Messstation, je nach eingesetzter Sensorik muss die Fläche ggf. weiter vergrößert werden.

4.4.3. Leistungsregelung

Die Leistung von Solarmodulen ergibt sich, wie bei elektrischen Geräten üblich, aus dem Produkt von Strom und Spannung. Der typische Verlauf ist in Abbildung 4.5 dargestellt. Zusätzlich ist die Leistung als gestrichelte Linie eingezeichnet und man erkennt, dass es einen Punkt gibt an dem die Leistung maximal ist. Dieser Punkt wird als Maximum Power Point (MPP) bezeichnet und typischerweise vom Hersteller des Solarmoduls im Datenblatt ausgewiesen. Angegeben wird er mit der an diesem Punkt herrschenden Spannung über dem Solarmodul. Wie aus der Abbildung ersichtlich ist dieser Punkt temperaturabhängig und verschiebt sich mit steigender Temperatur in Richtung niedrigerer Spannung. Um ein Solarmodul möglichst nahe am MPP zu betreiben und so die maximale Leistung zu gewinnen ist eine Regelung der Ausgangsleistung nötig. Es kommen hier zwei unterschiedliche Verfahren zum Einsatz. Zum einen die Pulsweitenmodulation (PWM) Regelung, die im Prinzip wie ein Schalter arbeitet, der schnell ein- und ausgeschaltet wird. Für die Regelung wird das Verhältnis zwischen ein- und ausgeschaltetem Zustand angepasst. Im Falle des Solarmoduls wird die Leistung bei geschlossenem Schalter der Last zur Verfügung gestellt, was zu einem Spannungsabfall über dem Modul führt. Bei geöffnetem Schalter wird die Last vom Modul getrennt und die Spannung steigt wieder an. Bei dieser Betriebsart müssen die Spannungen vom Solarmodul und der angeschlossenen Last einigermaßen übereinstimmen um Beschädigungen oder Leistungseinbußen zu vermeiden. Die typische Last stellt ein Akkumulator dar, dessen Leistungsaufnahme gegenüber der Leistung des Moduls wesentlich größer ist. Daher wird bei geschlossenem Schalter die Modulspannung auf die des Akkumulators heruntergezogen und liegt typischerweise unterhalb des MPP. Die zweite Technik ist die Regelung mittels Maximum Power Point Tracking (MPPT). Ein solcher Regler ist komplexer gegenüber PWM Reglern, er ist in der Lage seine Eingangsspannung zu regulieren und sie dem MPP des Moduls anzugleichen. Die Spannung wird dann durch den Regler auf die Bedürfnisse der Last gewandelt. Somit sind die Spannungen unabhängig voneinander und der für PWM Regelung typische, kurzzeitige Spannungsabfall oder -anstieg unter oder über den MPP kann vermieden werden. Das Solarmodul wird im optimalen Fall dauerhaft im MPP betrieben und bringt damit eine bessere Leistung. MPPT Regler können ihre Vorteile größtenteils erst bei Solaranlagen ab einer Leistung von einigen hundert Watt gegenüber PWM Reglern ausspielen, bei kleineren Leistungen sind die Leistungsgewinne gering. [vgl. Sol16]

Aus den Abschnitten über den Energiebedarf und die Versorgung geht hervor, dass die benötigte Leistung sich im Bereich von wenigen Watt bis einige zehn Watt bewegt. Da die MPPT Regelung in diesem Bereich ihre Vorteile nicht ausspielen kann, wird eine PWM Regelung verwendet. Diese ist weniger komplex und daher günstiger in den Anschaffungskosten.

4.4.4. Akkumulator

Für den Betrieb der Messstation wird eine konstante und zuverlässige Energieversorgung benötigt. Hierzu muss die Energie des Solarmoduls zwischengespeichert werden, da dessen Leistung mit einfallender Globalstrahlung stark schwanken kann. Naturgemäß liefern Solarmodule nur bei vorhandenem Tageslicht Energie und die Zwischenspeicherung muss ausreichen um die Nacht zu überbrücken. In solar betriebenen Geräten werden dazu Akkumulatoren eingesetzt, die die schwankende Energie der Solarmodule speichern und konstant einem Verbraucher zur Verfügung stellen. Für den stationären Einsatz von Akkumulatoren kommt derzeit verbreitet die Blei-Säure Technologie zum Einsatz. Sie ist seit Jahren etabliert und bietet ein gutes Preis-Leistungsverhältnis. Neue Entwicklungen im Bereich der Lithium-Ionen Technik haben es aufgrund von mangelnder Langzeiterfahrung und höherem Preis noch schwer, halten aber immer häufiger Einzug in solar betriebene Systeme. Vor allem bei Anforderungen an Gewicht und Ausmaße bietet die Lithium-Ionen Technik kleinere Bauformen bei gleicher oder sogar größerer Kapazität durch höhere Leistungsdichte. [vgl. Rie13] Besonders interessant ist die $LiFePO_4$ Technologie, sie bietet die Vorteile der hohen Leistungsdichte, ist eher unempfindlich bei niedrigen Temperaturen von bis zu $-15\text{ }^\circ\text{C}$ und das zu einem moderaten Preis. Sie gilt auch als besonders sicher, da sie das aus der Lithium-Ionen Technik bekannte thermische Durchgehen nicht aufweist. Dies kann ansonsten bei Kurzschluss oder Beschädigung zur Explosion des Akkus führen. Akkumulatoren aus $LiFePO_4$ Zellen werden als umweltfreundlich angesehen, da sie keine giftigen Bestandteile enthalten. [vgl. KO15, S. 193-194] Für die Anwendung in einer Messstation ist die $LiFePO_4$ Technik daher gut geeignet und wird als Energiespeicher verwendet.

Die benötigte Kapazität des Akkumulators leitet sich vom Leistungsbedarf und dem zu überbrückenden Zeitraum ab. Bei dem Betrieb im Freien spielt auch die Temperatur eine wichtige Rolle, da die verfügbare Kapazität eines Akkus bei niedrigen Temperaturen abnimmt. Bei $LiFePO_4$ Akkumulatoren macht sich dieser Effekt bei Temperaturen unterhalb von $15\text{ }^\circ\text{C}$ deutlich bemerkbar. Bei einer Temperatur von $-20\text{ }^\circ\text{C}$ kann sich die verfügbare Kapazität halbieren, sie dazu auch Abbildung 4.6 [vgl. Lu11]

Aus Unterabschnitt 4.3.3 geht hervor, dass für den Betrieb der Mobilfunktelefone mindestens $542,5\text{ mWh}$ pro Tag benötigt werden. Bei der Versorgung durch Solarenergie muss jedoch mit mehrtägigen Engpässen gerechnet werden. Diese könnten beispielsweise durch Schneebedeckung des Solarmoduls im Winter oder herabfallendes Laub im Herbst hervorgerufen werden. Wie lange genau eine solche Beeinträchtigung überbrückt werden muss ist nicht abzusehen. Für die Berechnung wird davon ausgegangen, dass die Energieversorgung für maximal 15 Tage am Stück ausfällt. Dies ergibt zunächst eine

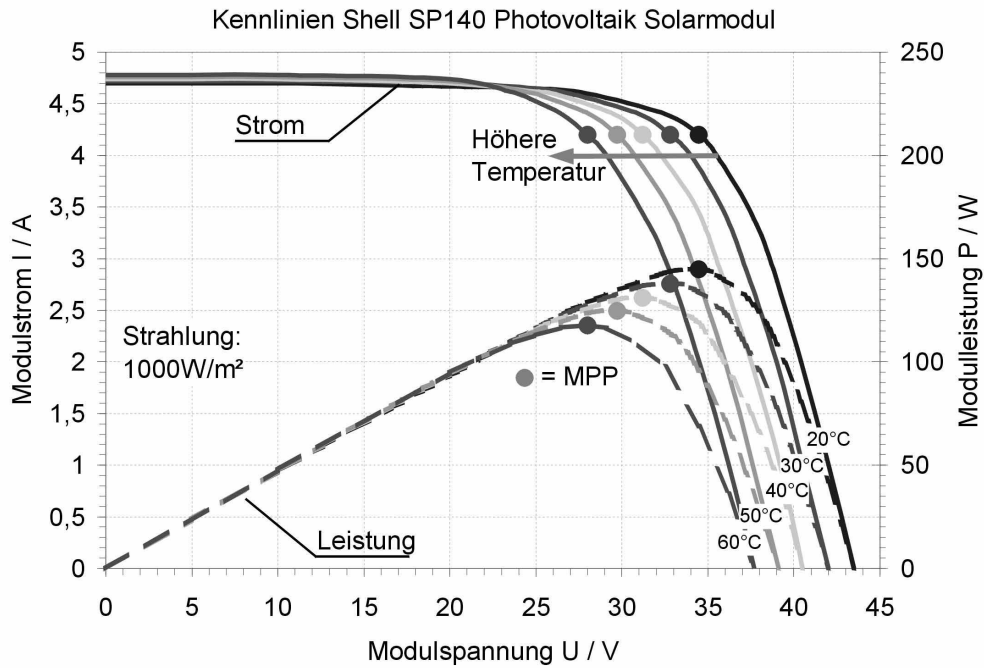


Abbildung 4.5.: Temperaturabhängiges Kennlinienfeld eines Solarmoduls am Beispiel von Shell SP140 [Waf06; Sol]

Kapazität von mindestens 8,14 Wh. Wegen der bei Kälte verringerten Kapazität sollte dieser Wert jedoch verdoppelt werden. Analog zur Dimensionierung des Solarmoduls ist noch unklar wie viel Energie für die externe Hardware und die Verluste bei Speicherung und Wandlung benötigt wird, daher ist auch hier eine erneute Verdopplung sinnvoll. Der verwendete Akkumulator sollte damit eine Leistung von mindestens 32,6 Wh aufweisen.

4.5. Zusammenfassung

Die in der Einleitung vorgestellten Herausforderungen (Unterabschnitt 2.7.2) wurden in der Evaluation aufgearbeitet. Für jedes Thema wurde eine entsprechende Antwort bzw.

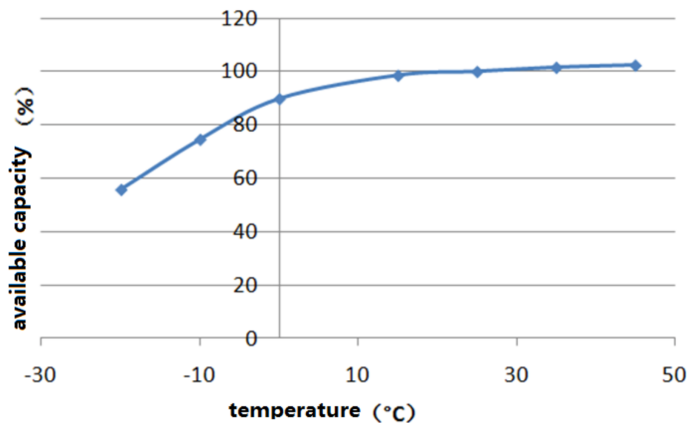


Abbildung 4.6.: Temperaturabhängige Kapazität eines $LiFePO_4$ Akkumulators [Lu11]

Technologie ausgewählt, die geeignet ist um die gesteckten Ziele der Arbeit zu erreichen. Besonders hervorzuheben ist die Erkenntnis, dass die zunächst anvisierte USB Schnittstelle aufgrund des unvorhersehbar hohen Energiebedarfs keine Option darstellt. Ihre Verwendung wurde daher verworfen und das Audio-Interface als bestmögliche Alternative gewählt. Die Auswahl der geeigneten Mobilfunktelefone wurde zunächst durch Anforderungen der geplanten USB Verbindung auf Android Geräte ab Version 3.1 eingeschränkt. Diese Einschränkung ist durch den Wechsel auf eine andere Schnittstelle entfallen. Die jedoch bereits beschafften Geräte werden weiterhin als Zielplattform betrachtet. Der Energiebedarf der Mobilfunktelefone wurde in mehreren Experimenten bestimmt und beträgt etwa 543 mWh am Tag. Der Wert wird durch die Mess- und Synchronisations-Intervalle beeinflusst und kann dementsprechend abweichen. Für die Energieversorgung wird ein monokristallines Solarmodul eingesetzt, das mindestens 304 cm^2 groß sein sollte, geregelt wird es durch einen PWM Regler. Die Energie des Solarmoduls wird in einem Akkumulator mit LiFePO_4 Technologie gespeichert um die Messstation konstant versorgen zu können. Seine Kapazität sollte mindestens 32,6 Wh betragen.

5. Design und Implementierung

Nacheinander wird in diesem Kapitel die zu entwickelnde Soft- und Hardware für das System entworfen. Im Anschluss wird die Implementierung des Systems beschrieben.

5.1. Softwareentwurf

Um auf die zu entwickelnde Software näher einzugehen, ist zunächst ein Überblick ihrer Komponenten und Beziehungen untereinander sinnvoll. Die Abbildung 5.1 zeigt ein UML Komponentendiagramm aller Softwarebestandteile des Systems. Die Namensgebung der Komponenten deutet bereits an, dass die Software in zwei Aufgabenbereiche aufgeteilt ist. Das Namenspräfix „Moment“ ergibt sich aus der Bezeichnung „**M**obile **M**easurement **N**etwork“. Es wird für Komponenten verwendet, deren Aufgabe die Implementierung des Messnetzwerkes ist. Das zweite Präfix lautet „Percy“ und bezeichnet Komponenten, die für die Verbindung zwischen Mobilfunktelefon und der externen Hardware, der Peripherie, zuständig sind. Es leitet sich aus dem Namen „**P**eripheral **C**onnection“ ab. Diese Aufteilung der Software wurde gewählt, um die Wiederverwendbarkeit zu ermöglichen. So kann die Verbindung mit externer Peripherie auch für andere Anwendungen genutzt werden. Das UML Komponentendiagramm zeigt neben den Softwarekomponenten auch deren physische Aufteilung auf die drei unterschiedlichen Rechensysteme. Der *Moment-Server* wird auf einem normalen Computer ausgeführt. Er bietet den Benutzern des Messnetzwerkes eine Schnittstelle an, um Messungen durchzuführen. Über das Internet stellt er den Messstationen ihre Konfiguration zur Verfügung. Die Softwarekomponenten *Moment-App*, *Percy-Lib* und *Percy-Service* bilden zusammen die Software, die auf dem Smartphone ausgeführt wird. Sie implementieren alle relevanten Funktionen der Messstation. Auf der externen Hardware wird der *Percy-Controller* von einem Mikrocontroller ausgeführt. Er kommuniziert über das Audio-Interface mit den Komponenten auf dem Smartphone und stellt ihnen die Schnittstellen des Mikrocontrollers zur Verfügung.

5.1.1. Moment-App, Percy-Lib und Percy-Service

Die geplante Architektur der Softwarekomponenten auf dem Smartphone ist in Abbildung 5.2, in einem verfeinerten Komponentendiagramm, dargestellt. Die Funktionsweise der Komponenten wird im Folgenden beschrieben.

Die Moment-App umfasst alle Funktionen der Messstation. Ihre Arbeitsweise lässt sich in etwa mit einer Zeitschaltuhr vergleichen. Dabei gibt es zwei verschiedene Arten von Alarmen die ausgelöst werden. Ein Alarm wird in einem konfigurierbaren Intervall ausgelöst und initialisiert die Synchronisation mit dem Moment-Server. Die zweite Art von Alarm startet eine Messung mit einem Sensor. Der Zeitpunkt oder das Intervall wann

5. Design und Implementierung

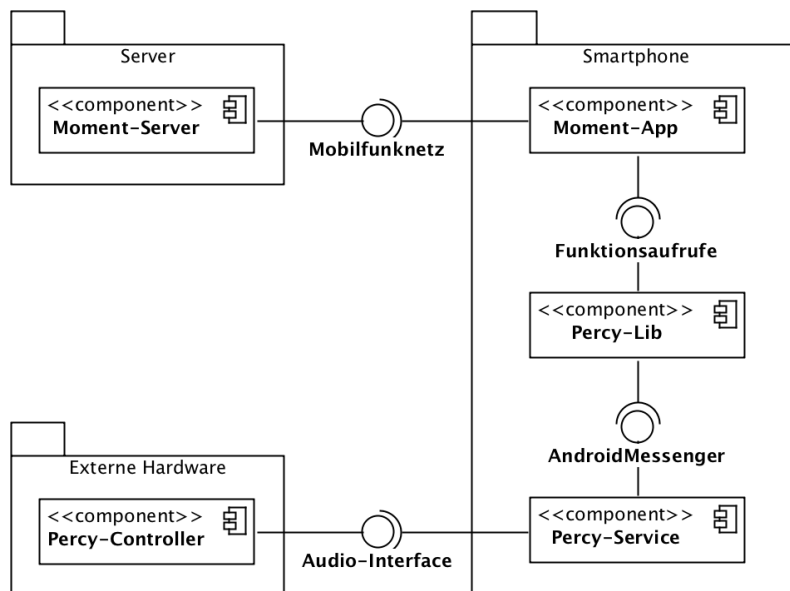


Abbildung 5.1.: UML Komponentendiagramm des Systems

er ausgelöst wird ergibt sich aus den angelegten Messaufträgen, genauer gesagt aus den Messpläne. Alle Alarme werden vom *Alarm Service* verwaltet. Wird ein Alarm ausgelöst, wird er informiert und startet entweder den *Synchronisation Service* für eine Synchronisation oder den *Measurement Service* für eine Messung. Die Synchronisation mit dem Server wird durch den *Synchronisation Service* koordiniert. Wenn er das Signal bekommt eine Synchronisation durchzuführen, aktiviert er zunächst die mobile Datenverbindung. Welche Verbindung verwendet werden soll, z. B. W-LAN oder GSM, ist konfigurierbar. Die eigentliche Aktivierung erfolgt durch den *Connection Manager*, der diese Funktionen als Schnittstelle anbietet. Sobald die Verbindung erfolgreich aktiviert wurde, wird die Konfiguration vom Server abgerufen und die lokale Kopie aktualisiert. Anschließend werden die lokal gespeicherten Messdaten zum Server übertragen und gelöscht. Schließlich wird die Datenverbindung wieder abgeschaltet und die Synchronisation ist beendet. Messungen werden vom *Measurement Service* durchgeführt. Dazu verwendet er die *Percy-Lib* um mit den Sensoren zu kommunizieren. Die Verbindung ist für ihn transparent und er benötigt kein zusätzliches Wissen über den *Percy-Service*, den *Percy-Controller* oder die externe Hardware. Dieses Wissen ist in der *Percy-Lib* gekapselt. Ihre Aufgabe ist es über den *Percy-Service* mit dem *Percy-Controller* zu kommunizieren um der Anwendung transparente Schnittstellen zu den angeschlossenen Sensoren bereitzustellen. In der Abbildung 5.2 sind zur besseren Übersicht nur die Bestandteile der I2C Verbindung dargestellt. Analog dazu lassen sich aber auch andere Verbindungen, wie USB, SPI oder UART, realisieren. Die Kommunikation über das Audio-Interface wird vom *Percy-Service* umgesetzt. Er bietet allen Anwendungen auf dem Smartphone eine Schnittstelle an, über die Datenpakete gesendet und empfangen werden können. Seine Arbeitsweise lässt sich dahingehend zusammenfassen, dass er Datenpakete entgegen nimmt, sie in Audiodaten konvertiert und über das Audio-Interface abspielt. Für die Empfangsrichtung werden Audiodaten über das Mikrophon aufgezeichnet und versucht sie in Datenpakete zu konvertieren um

5. Design und Implementierung

sie an die Anwendung weiterzuleiten. Er ist in drei wesentliche Bereiche aufgeteilt. Das *Audio Device* implementiert das Abspielen und Aufzeichnen der Audiodaten, und arbeitet zusammen mit dem *Audio Codec* um die Audiodaten zu kodieren oder dekodieren. Daneben gibt es den *Protocol Stack* der als Protokollstapel mit mehreren Schichten entworfen ist. Wie der Name schon sagt realisiert er das Datenprotokoll für die Verbindung über das Audio-Interface. Jedes Datenpaket passiert ihn und seine Schichten, die jeweils eine spezielle Aufgabe erfüllen. Um diese Aufgaben zu erfüllen, fügen sie den Datenpaketen weitere Steuerdaten hinzu, wie z. B. Prüfsummen, Sequenznummern oder den Typ der Verbindung über die das Paket empfangen oder gesendet werden soll. Der *Audio Layer* lässt nur korrekt empfangene Pakete passieren. Dies realisiert er über eine Prüfsumme, die er beim Versenden zu den Paketdaten hinzufügt. Beim Empfangen wird diese Summe erneut aus den Daten berechnet und mit der empfangenen Summe verglichen. Stimmen beide überein gilt das Paket als korrekt. Der *Link Layer* fügt den Paketen beim Senden eine Sequenznummer hinzu, um sie zu identifizieren. Empfängt er ein Paket, sendet er eine Bestätigung mit der Sequenznummer zurück. Somit kann er nach dem Senden und Ausbleiben einer Bestätigung die Pakete erneut senden. Empfängt er eine Bestätigung, kann er das gesendete Paket als erfolgreich zugestellt betrachten. Der *Percy Layer* koordiniert die Zuordnung von Datenpaketen zu ihren Verbindungstypen, wie z. B. I2C, USB oder UART. Der Typ einer Verbindung, zu dem das Datenpaket gehört, wird als Steuerdaten zu den Paketdaten hinzugefügt. Hat ein Paket den Protokollstapel in Senderichtung durchlaufen, wird es an das *Audio Device* weitergereicht, in Empfangsrichtung an die Anwendung bzw. die *Percy-Lib*.

Die in Schnittstellen zwischen den Komponenten des Systems (Abbildung 5.2) werden in Tabelle 5.1 beschrieben.

Tabelle 5.1.: Schnittstellenbeschreibung der Softwarekomponenten

Schnittstelle	Beschreibung
StationCfg	Wird vom Moment-Server bereitgestellt und liefert die Konfiguration einer Messstation. Die Konfiguration beinhaltet z. B. das Synchronisationsintervall, die angeschlossenen Sensoren und die Messpläne.
MeasData	Die Moment-App sendet über diese Schnittstelle die erfassten Messdaten an den Moment-Server.
SyncData	Startet das Senden der erfassten Messdaten an den Moment-Server.
GetCfg	Startet den Abruf der Konfiguration vom Moment-Server und liefert die Konfiguration zurück.
ConOn	Aktiviert die Datenverbindung des Mobilfunktelefons. Die Art der Datenverbindung muss übergeben werden.

Tabelle 5.1.: Schnittstellenbeschreibung der Softwarekomponenten (Fortsetzung)

Schnittstelle	Beschreibung
ConOff	Deaktiviert die Datenverbindung des Mobilfunktelefons. Die Art der Datenverbindung muss übergeben werden.
UpdateCfg	Aktualisiert die gespeicherte Konfiguration. Die neue Konfiguration muss dabei übergeben werden.
GetCfgVal	Fragt einen Parameter der gespeicherten Konfiguration ab und liefert ihn zurück.
Sync	Startet einen Synchronisationsvorgang mit dem Moment-Server.
UpdateAlarms	Informiert den Alarm Service über eine Veränderung an den Messpläne.
Measure	Startet einen Messvorgang. Dabei muss der zu verwendende Sensor angegeben werden.
I2C Write	Sendet Daten über den I2C Bus an einen Sensor.
I2C Read	Liest Daten von einem Sensor über den I2C Bus.
SendData	Sendet Daten an den Percy-Service.
ReceiveData	Wird vom Percy-Service aufgerufen wenn Daten für die Anwendung empfangen wurden.
AndroidMessenger	Austausch von Daten zwischen Percy-Lib und Percy-Service. Hierzu wird eine Schnittstelle des Betriebssystem verwendet, da Prozessgrenzen überschritten werden.
txPacket	Schnittstelle um ein Datenpaket an eine Komponente zu übergeben.
rxPacket	Schnittstelle um ein Datenpaket an eine Komponente zu übergeben.
encode	Datenpaket in Audiodaten wandeln.
decode	Audiodaten zu einem Datenpaket dekodieren.
Audio-Interface	Analoge Audio Verbindung zwischen Mobilfunktelefon und externer Hardware.

5. Design und Implementierung

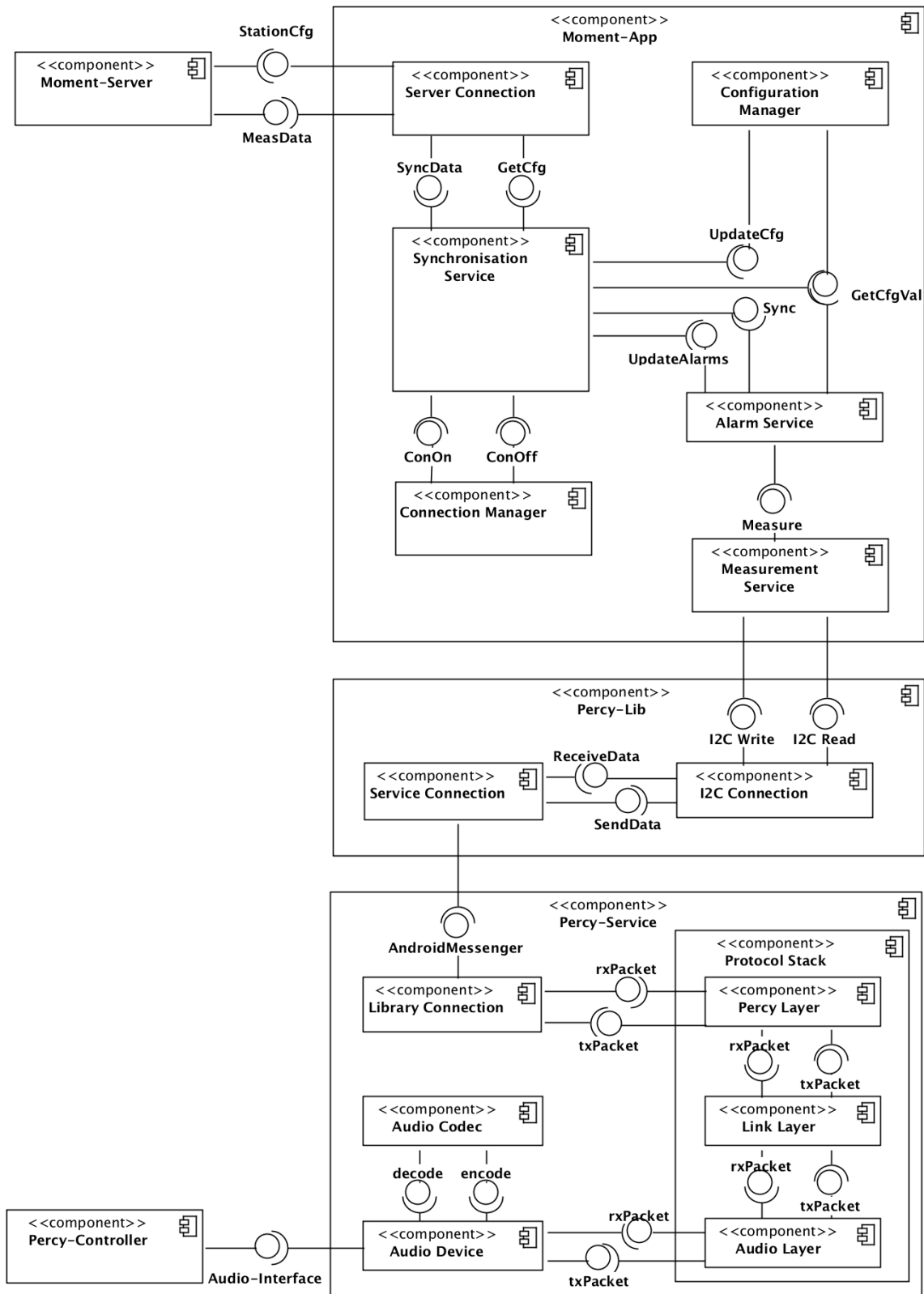


Abbildung 5.2.: UML Komponentendiagramm der Smartphone Software

5.1.2. Percy-Controller

Der *Percy-Controller* wird von einem Mikrocontroller auf der externen Hardware ausgeführt. Seine Aufgabe besteht darin, die Peripherieschnittstellen des Mikrocontrollers der Software auf dem Smartphone zur Verfügung zu stellen. Hierzu muss er in der Lage sein über das Audio-Interface mit dem *Percy-Service* zu kommunizieren. Der Aufbau entspricht der Kombination von *Percy-Service* und *Percy-Lib*. Der Wesentliche Unterschied liegt darin, dass er empfangene Datenpakete nicht an eine andere Software weiterreicht. Er interpretiert sie als Befehle, die ihn dazu veranlassen, Daten an die angeschlossenen Sensoren zu senden oder von ihnen abzurufen. Der Grund für den nahezu gleichen Aufbau liegt darin, dass beide Komponenten das gleiche Kommunikationsprotokoll implementieren. Auf eine erneute Darstellung wird daher verzichtet. Trotz des gleichen Aufbaus, kann sich die Implementierung unterscheiden. Dies ist auch sehr wahrscheinlich, da auf dem Smartphone ein Betriebssystem vorhanden ist und auf dem Mikrocontroller keines oder jedenfalls ein anderes.

Der Aufbau der Befehle ist exemplarisch für die I2C Kommunikation nachfolgend dargestellt. Das erste Feld von links gibt dabei den Verbindungstyp an. In beiden Fällen handelt es sich um ein I2C Paket. Das zweite Feld gibt an ob es sich um einen Lese- (R) oder Schreibbefehl (W) handelt. Nachfolgend wird die Adresse des I2C Gerätes gesendet und die Länge der zu lesenden oder schreibenden Daten. Nur beim Schreibbefehl werden dem Befehl Daten angehängt.

I2C Lesebefehl	I2C	R	Address	Length
----------------	-----	---	---------	--------

I2C Schreibbefehl	I2C	W	Address	Length	Data
-------------------	-----	---	---------	--------	------

5.1.3. Moment-Server

Die Serveranwendung ist vergleichsweise einfach im Aufbau. Sie besteht aus einer Webanwendung in Verbindung mit einer Datenbank. Die Webanwendung bietet den Benutzern eine Oberfläche über die sie das Messnetzwerk bedienen und verwalten können. Für die Messstationen ist eine HTTP Schnittstelle geplant. Über diese können sie ihre Konfiguration abrufen und erfasste Messdaten an den Server senden. Die Realisierung einer Webanwendung erfolgt typischerweise mit Hilfe von entsprechenden Frameworks. Diese geben den Aufbau der Software vor, daher ist eine Planung nicht nötig.

Anders ist dies bei der Datenstruktur, die der Moment-Server für seine Arbeit benötigt. Sie ist als UML Klassendiagramm in Abbildung 5.3 abgebildet und wird im folgenden beschrieben. Für jede Messstation gibt es eine Instanz der gleichnamigen Klasse. Neben einem bezeichnenden Namen für die Anzeige, enthält sie das Synchronisationsintervall, den Verbindungstyp und ggf. noch weitere Einstellungen für die Station. Ein realer Sensor wird durch die Klasse *Sensor* in Verbindung mit einem Sensortyp repräsentiert. Der Typ gibt vor allem den Klassennamen der zu verwendenden Implementierung in der Moment-App an. Eine *Sensor* Instanz wird der Messstation zugeordnet, an der er angeschlossen ist.

5. Design und Implementierung

Eine Messung fasst beliebig viele Sensoren, Intervalle und Zeitpunkte zu einem Messplan zusammen. Damit wird Folgendes ausgedrückt: Die Sensoren einer Messung sollen zu den zugehörigen Zeitpunkten und innerhalb der zugehörigen Intervalle erfasst werden. Die Klasse Messwert repräsentiert den vom entsprechenden Sensor erfassten Wert. Zusätzlich ist er den Messungen zugeordnet, die seine Erfassung ausgelöst haben. Diese Zuordnung ist wichtig, um dem Benutzer alle Messwerte für eine Messung anzeigen zu können. Diese Zuordnung muss bereits auf der Messstation erfolgen, nachdem der Messwert erfasst wurde. Nur zu diesem Zeitpunkt ist es möglich zu bestimmen welche Intervalle oder Zeitpunkte, und damit welche Messung, die Erfassung ausgelöst haben.

Aus den letzten Ausführungen geht auch hervor, welche Daten bei der Synchronisation an eine Messstation gesendet werden müssen. Ruft sie ihre Konfiguration ab, wird zunächst die entsprechende Instanz der Klasse Messstation aus der Datenbank abgerufen. Alle über die Relationen erreichbaren Instanzen anderen Klassen müssen an die Messstation übertragen werden. Ausgenommen sind die Messwerte und die in der Vergangenheit liegenden Instanzen der Klassen Intervall und Zeitpunkt. Nur so ist es möglich auf der Messstation die entsprechenden Zeitpunkte und Sensoren für die Messungen zu bestimmen und die Messwerte ihren Messungen zuzuordnen.

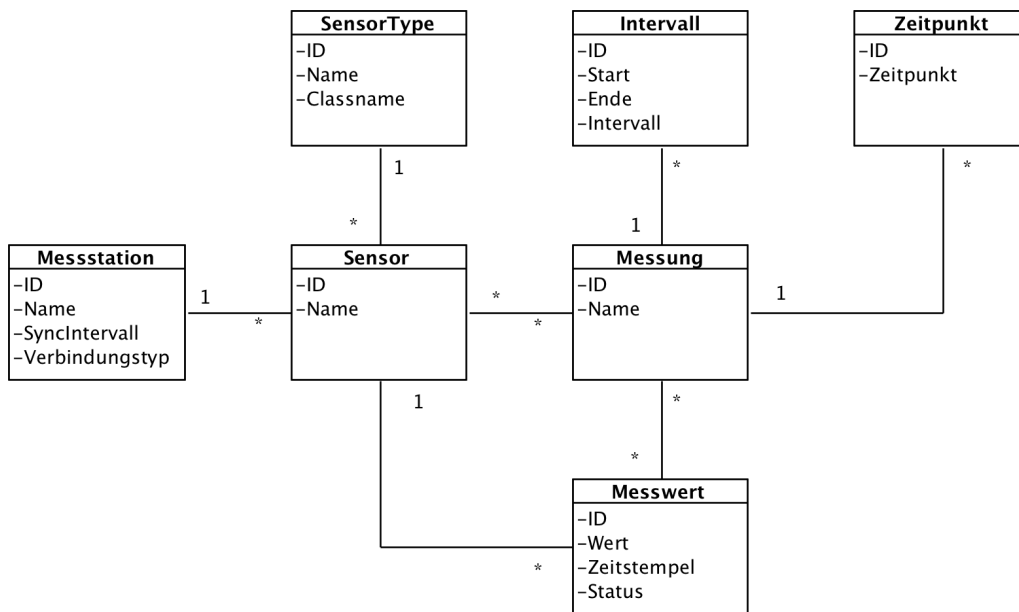


Abbildung 5.3.: UML Klassendiagramm der Datenstrukturen

5.2. Hardwareentwurf

Für die Verbindung zwischen Sensoren und Smartphone wird eine zusätzliche Hardware benötigt. Ihre Aufgabe ist es geeignete Schnittstellen für die Sensoren bereitzustellen und über das Audio-Interface mit der Software auf dem Smartphone zu kommunizieren. Somit sollen die Sensoren vom Smartphone aus erreichbar sein. Der Entwurf der Hardware ist in Abbildung 5.4 als Blockschaltbild dargestellt. Die Funktion wird im Folgenden erläutert.

Die Quelle der Energieversorgung ist ein Solarmodul. Wenn es genügend Energie für den Betrieb des Systems liefert, wird sie vom Laderegler genutzt um alle weiteren Komponenten damit zu versorgen. Wird mehr Energie produziert als benötigt, wird der Überschuss im Akkumulator zwischengespeichert. Liefert das Solarmodul nicht genügend Energie, bezieht der Laderegler die fehlende Energie aus dem Akkumulator. So wird eine durchgehende Energieversorgung sichergestellt. Um von der Spannung des Solarmoduls und Akkumulators unabhängig zu sein, werden zwei Gleichstrom Spannungswandler eingesetzt. Einer versorgt das Smartphone über dessen Akku-Anschluss mit Energie, der andere versorgt die Logikkomponenten. Die digitalen Schnittstellen des Mikrocontrollers werden verwendet um Sensoren anzuschließen. Dabei sind die dargestellten Schnittstellen nur beispielhaft, verfügt der Mikrocontroller über weitere, können diese ebenfalls genutzt werden. Dies gilt auch für analoge Schnittstellen. Die Verbindung zwischen Smartphone und Mikrocontroller erfolgt über das analoge Audio-Interface. Für den Empfang wird ein Analog-Comparator des Mikrocontrollers verwendet. Das Senden erfolgt über einen GPIO Pin. Die Audiostufe passt die Signalpegel der beiden Kommunikationsteilnehmer an. Die komplexeren Blöcke, Spannungswandler, Laderegler und Audiostufe, werden in den folgenden Abschnitten gesondert behandelt. Der gesamte Schaltplan und das Platinenlayout sind dem Anhang zu entnehmen, siehe Abbildung A.1 und Abbildung A.2.

5.2.1. Spannungswandler

Der Schaltplan für die Spannungswandler ist in Abbildung 5.5 dargestellt. Der Spannungswandler für die Logikkomponenten wird über eine Sicherung mit dem Laderegler verbunden. Er generiert aus der Eingangsspannung eine Spannung von 3,3 V. Dies ist ein weit verbreiteter Spannungspegel für integrierte Schaltungen. Auch die verwendeten Sensoren arbeiten mit dieser Spannung. Der zweite Spannungswandler ist für die Versorgung des Mobilfunktelefons zuständig. Die Versorgung erfolgt dabei über die Anschlüsse für den Akku. Er generiert eine Spannung von 5 V. Die nachgeschaltete Diode D1 verhindert einen Rückstrom vom Telefon durch den Spannungswandler zur Masse. Dies ist wichtig, da viele Spannungswandler keinen Schutz gegen diesen Rückstrom besitzen und durch ihn zerstört werden können. Der Rückstrom kann auftreten, wenn das Telefon über USB mit einem Computer oder Ladegerät verbunden ist und die Versorgungsspannung des Wandlers abgeschaltet wird. In diesem Fall fließt ein Strom vom Telefon durch den Spannungswandler zur Masse. Dieser Strom ist im normalen Betrieb der Ladestrom für den Akku des Telefons. Wie für Dioden typisch, fällt über D1 eine Spannung von 0,7 V ab. Dem Telefon steht damit eine Versorgungsspannung von 4,3 V zur Verfügung. Diese, im

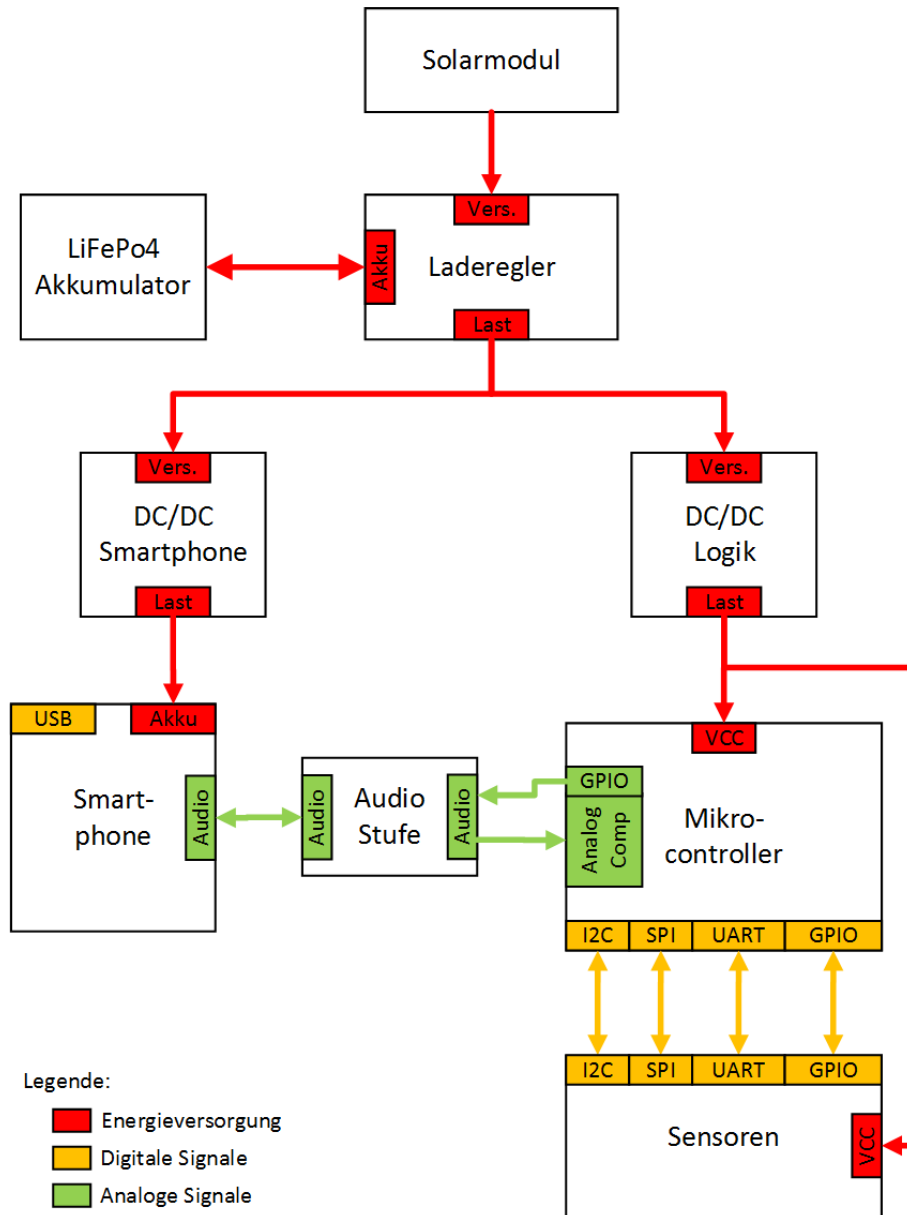


Abbildung 5.4.: Blockschaltbild der Hardware

5. Design und Implementierung

Gegensatz zur Ladeschlussspannung der Telefon-Akkus von 4,2 V, leicht erhöhte Spannung schadet den Telefonen nicht. Versuche zeigten, dass alle Telefonmodelle sogar mit Spannungen bis zu 5 V einwandfrei funktionieren.

Die beiden Jumper sind für Testzwecke vorgesehen. Über sie können die Spannungswandler vom der Schaltung isoliert werden und die Versorgung kann über ein Labornetzteil erfolgen.

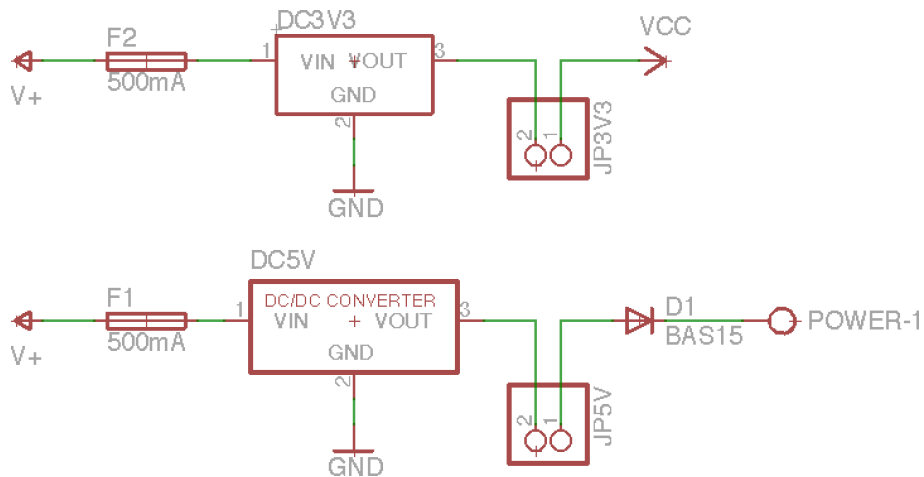


Abbildung 5.5.: Schaltplan der Spannungswandler

5.2.2. Laderegler

Solar-Laderegler sind komplexe Bausteine. Sie bestehen aus Softwarealgorithmen und Hardwareelementen, die versuchen die gewonnene Leistung des Solarmoduls zu maximieren. Für ihre Realisierung werden spezielle IC Bausteine angeboten. Es sind einfache Mikrocontroller, die eine PWM oder MPPT Regelung des Solarmoduls durchführen. Beispiele hierfür sind der LT3652 oder LTC4000 von Linear Technology. Ihnen ist jedoch gemein, dass sie nur die Regelung enthalten und noch durch externe Bauteile ergänzt werden müssen. Für die richtige Bauteilwahl und Abstimmung aufeinander ist jedoch eine sehr gute Elektronikenntnis erforderlich. Die falsche Bauteilkombination kann zu schlechter Effizienz oder sogar Fehlern führen. Die Erarbeitung der nötigen Kenntnisse und die Abstimmung der Bauteile aufeinander ist, angesichts des begrenzten Zeitrahmens der Arbeit, nur schwer durchzuführen. Es wird daher auf einen bereits fertigen Solar-Laderegler zurückgegriffen.

5.2.3. Audiostufe

Das Audiosignal der Mobilfunktelefone wird als schwingende Spannung ausgegeben. Die Amplitude liegt bei 1 V bis 1,5 V bezogen auf den Masseanschluss der Audioschnittstelle. Dies geht aus der Untersuchung der Mobilfunktelefone hervor. Für die Signalübertragung werden die Massen von Smartphone und Mikrocontroller verbunden. Für den Controller schwingt das Signal dadurch um das Potential der Massen und ist daher positiv und negativ. Der Anschluss von negativen Spannungen an den Controller und speziell an den

Analog Comparator ist jedoch nicht vorgesehen. Daher muss der Signalpegel durch die Audiostufe auf ein ausschließlich positives Signal angepasst werden. Hierzu wird die in Abbildung 5.6 gezeigte Schaltung verwendet. Sie zeigt im oberen Teil die Empfangseinheit und im unteren Teil die Sendeeinheit des Mikrocontrollers. Der Gleichstromanteil des empfangenen Signals wird durch den Kondensator MKS1 blockiert, um einen permanenten Stromfluss zu unterbinden. Nur das schwingende Signal kann ihn passieren. Über einen Spannungsteiler, bestehend aus den Widerständen R4 und R5, wird das Signal dann auf ein ausschließlich positives Potential angehoben. Der nachfolgende Kondensator KC3 reduziert eventuell vorhandenes Rauschen im Signal. In der Sendeeinheit simuliert der Widerstand RMIC0 das Mikrofon. Er wird benötigt, damit die Mobilfunktelefone den Mikrocontroller als Mikrofon erkennen. Fehlt er, wird trotz verbundenem Kontakt, weiterhin das interne Mikrofon des Telefons verwendet. Er wird laut Android Wired Audio Headset Specification (v1.1) mit mindestens $1\text{ k}\Omega$ angegeben. Für das Smartphone LG Optimus Black stellte sich jedoch heraus, dass er mindestens $3,8\text{ k}\Omega$ betragen sollte. Analog zur Empfangseinheit blockiert Kondensator MKS2 einen möglichen Gleichstrom und Kondensator KC4 glättet das Signal. Der Widerstand R6 reduziert die Amplitude des Mikrocontrollers, um sie dem Mikrofoneingang des Smartphones anzupassen.

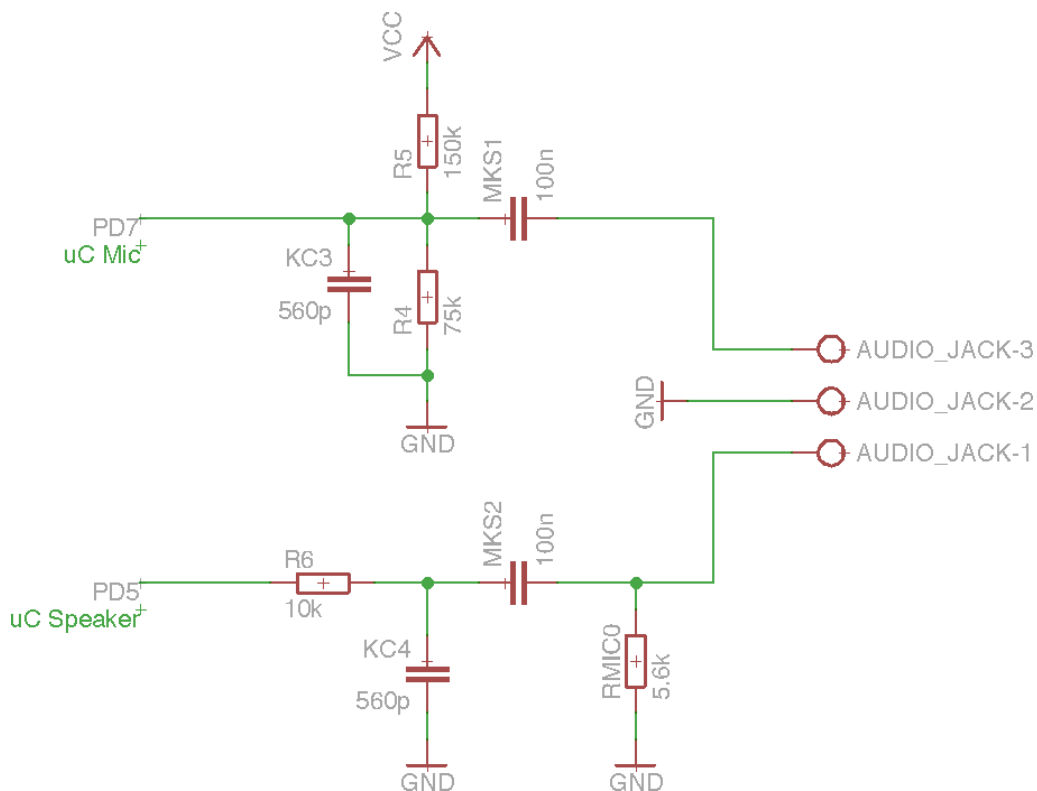


Abbildung 5.6.: Schaltplan der Audiostufe

5.3. Implementierung

In diesem Abschnitt wird die Implementierung des Prototypen beschrieben.

5.3.1. Eingesetzte Software Technologien

Für die Realisierung des Moment-Servers wurde das Django Webframework verwendet. Es ist besonders gut geeignet, um in relativ kurzer Zeit Webanwendungen zu entwickeln. Als Datenbank wird SQLite verwendet. Es eignet sich besonders für kleine Projekte und speichert alle Daten in einer Datei. Ein separat einzurichtender Datenbankserver kann damit entfallen. Django bietet jedoch eine Datenbankabstraktion und es lassen sich ohne Änderungen an der Software andere Datenbanken, wie beispielsweise PostgreSQL oder MySQL, verwenden. Der Moment-Server wurde in der Programmiersprache Python geschrieben, eine Vorgabe des Django Webframeworks, das selbst auf Python basiert. Als Entwicklungsumgebung wurde Eclipse mit der Py-Dev Erweiterung verwendet.

Die drei Softwarekomponenten Moment-App, Percy-Lib und Percy-Service wurden in der Programmiersprache Java entwickelt. Dies ist eine Vorgabe vom Betriebssystem Android, dessen Schnittstelle für die Entwicklung von Anwendungen ebenfalls in Java implementiert ist. Für die Speicherung der Messaufträge und erfassten Messwerte wird eine SQLite Datenbank verwendet. Sie ist bereits Bestandteil der Entwicklungsschnittstelle und wird von Android bereitgestellt. Als Datenbankabstraktion wird SugarORM verwendet. Es ist eine Java Bibliothek für den einfachen Zugriff auf Android Datenbanken. Entwickelt wurde sie von von Satya Narayan aus Indien. [vgl. Nar16] Für die Entwicklung wurde die Entwicklungsumgebung AndroidStudio von Google Inc. verwendet.

Der Percy-Controller wird auf einem Mikrocontroller der Firma Atmel Corporation ausgeführt (vergleiche Unterabschnitt 5.3.2). Für die Entwicklung bietet der Hersteller das AtmelStudio als Entwicklungsumgebung an. Die Programmierung dieser Controller erfolgt größtenteils in der Programmiersprache C, welche auch für den Percy-Controller verwendet wurde.

5.3.2. Auswahl der Hardwarekomponenten

Als Solarmodul wird das Modell WS-10M der WATTSTUNDE GmbH verwendet. Es ist ein monokristallines Modul mit einer Fläche von etwa 520 cm^2 . Gemessen wurde nur die mit Solarzellen bedeckte Fläche. Die Effizienz wird vom Hersteller mit 18% angegeben. Die Leerlaufspannung beträgt bis zu 21 V und der MPP liegt bei 18 V. Damit werden alle Anforderungen aus der Evaluation erfüllt. Die Fläche ist rund 70% größer als gefordert und die Effizienz ein Prozent höher. Das Modul ist in Abbildung 5.7 abgebildet.

Als Laderegler wird ein PWM Regler des Herstellers GWL/Power verwendet. Er ist für 12 V (oder 24 V) Batteriesysteme vorgesehen und unterstützt Eingangsspannungen bis zu 30 V (oder 50 V). Der maximale Eingangsstrom beträgt 10 A. Aufgrund dieser Parameter kann er zusammen mit dem ausgewählten Solarmodul verwendet werden. Er verfügt über Schutzschaltungen für den Akku, die bei zu niedriger Spannung die Last abschalten und bei zu hoher Spannung die Versorgung unterbrechen. Er ist in Abbildung 5.7 dargestellt.

Der Akkumulator kommt ebenfalls von GWL/Power, es ist ein 12V Batterie-Pack aus mehreren LiFePO_4 Zellen. Er verfügt über ein Batterie Management System (BMS), das die Spannung der Zellen überwacht und ausgleicht. Wie der Laderegler schützt das BMS den Akku vor Beschädigung durch Über- oder Tiefentladung. Es greift jedoch später ein



Abbildung 5.7.: Verwendetes Solarmodul (links) und Laderegler (rechts) [Gmb16]

als der Laderegler. Der Akku hat eine Kapazität von 7 Ah und bietet bei 12 V eine Leistung von 84 Wh. Er erfüllt damit alle Anforderungen aus der Evaluation und übertrifft die geforderte Leistung von 32,6 Wh.

Spannungsregler gibt es in verschiedenen Ausführungen, für die Implementierung wurden Schaltregler verwendet. Dieser Typ von Regler ist zwar vergleichsweise teuer, bietet aber die beste Effizienz bei weiten Eingangsspannungsbereichen. Der Spannungsbereich wird durch den Akkumulator bestimmt und liegt bei 11 V bis 14,6 V. Obwohl der Bereich nicht sehr weit ist, macht es Sinn einen möglichst weiten Bereich zu unterstützen. Dadurch ist die Schaltung flexibler in Hinsicht auf die Energieversorgung. Die ausgewählten Spannungswandler erlauben eine Versorgungsspannung von 7 V bis 28 V. Es handelt sich um den OKI-78SR von MuRata (3,3 V) und R-78E5.0 (5 V) von Recom.

Als Mikrocontroller wurde ein Atmel-AVR ausgewählt, die genaue Modellbezeichnung lautet ATMEGA 328P-PU. Es handelt sich um einen sehr energieeffizienten 8-Bit Controller, der mit bis zu 20 MHz getaktet werden kann. Er verfügt über 32kB Programmspeicher und 2kB Arbeitsspeicher. Für den Anschluss von Sensoren bietet er u. a. I2C, SPI, UART, mehrere Analog-Digitalwandler und GPIO Pins. Für die Decodierung von analogen Audiosignalen kann der integrierte Analog-Comparator verwendet werden. Damit entfällt eine kontinuierliche Analog-Digitalwandlung und der Controller kann in einem Energiesparmodus auf das Eintreten eines Interrupts warten.

6. Validierung

In diesem Kapitel werden die mit dem Prototypen durchgeführten Tests beschrieben. Im Anschluss werden ihre Ergebnisse ausgewertet.

6.1. Funktionstest

Für den Funktionstest wurden zwei Messstationen aufgebaut und in Betrieb genommen. Er orientiert sich an den erhobenen Anwendungsfällen. Sie wurden für diesen Test nach und nach durchgespielt. Alle Anwendungsfälle konnten erfolgreich durchgeführt werden. Es gab jedoch die folgenden Einschränkungen. Im Anwendungsfall Messdaten exportieren (UC-7) gibt es keine Auswahl der Formate, da nur das CSV-Format unterstützt wird. Das vorgesehene Berechtigungskonzept wurde aus Zeitgründen nicht implementiert. Daher entfällt jegliche damit zusammenhängende Funktionalität.

6.2. Labortest

Dieser Test findet unter kontrollierten Bedingungen statt. Er soll zeigen ob die Energieversorgung des Prototypen ausreicht, um ihn zumindest theoretisch beliebig lange betreiben zu können. Als Grundlage für den Test muss zunächst bestimmt werden, wie viel Energie das Solarmodul unter realen Bedingungen liefert. Anschließend muss eine kontrollierte Umgebung aufgebaut werden, unter der das Solarmodul diese Energie konstant liefern kann.

Um die tatsächlich produzierte Energiemenge zu bestimmen wird ein Versuch im Freien durchgeführt (Er fand am 02.02.2016 zwischen 8:30Uhr und 17:00Uhr statt). An das Solarmodul wird ein Potentiometer angeschlossen, das die elektrische Last simuliert. Es wird so eingestellt, dass das Solarmodul mit 18 V im MPP betrieben wird. Dabei wurde eine durchschnittliche Leistung von rund 400 mW über 8,5 Stunden festgestellt. Eine etwa 15 km Entfernte Wetterstation der Carl von Ossietzky Universität gibt die durchschnittliche Globalstrahlung mit $21,5 \text{ Wh/m}^2$ an diesem Tag an. Zum Vergleich resultiert daraus etwa eine Monatsleistung von 15 kWh/m^2 . Laut DWD entspricht der Wert dem Monat Dezember und damit dem Jahresminimum. [vgl. Wet16a] Damit lässt sich festhalten, dass das Solarmodul im Februar mindestens eine Leistung von 400 mW über 8,5 Stunden generiert. Um diese Bedingungen kontrolliert nachzustellen, wird das Solarmodul mit einer 60 W Glühbirne im Abstand von 10 cm bestrahlt. In dieser Anordnung liefert es rund 400 mW.

Der Test soll einen Zeitraum von 24 Stunden simulieren. Er wird jedoch aus praktischen Gründen um den Faktor zehn verkürzt. Somit dauert er nur 2,4 Stunden. Entsprechen

dem Verhältnis von Tag und Nacht wird der Test für 1,55 Stunden ohne und 0,85 Stunden mit Bestrahlung des Solarmoduls durchgeführt. Das Verhältnis von Tag und Nacht bleibt damit gleich.

6.2.1. Szenario

Das zugrunde liegende Szenario für den Test wird durch die folgenden Parameter festgelegt.

Aufstellort Die Messstation wird in einem Innenraum betrieben.

Solarmodul Das Solarmodul wird auf einem Tisch montiert. Mittig darüber befindet sich eine 60 W Glühbirne in einem Abstand von 10 cm. Sie wird erst 1,55 Stunden nach dem Testbeginn für 0,85 Stunden eingeschaltet.

Zeitraum Die Messstation wird über einen Zeitraum von 2,4 Stunden betrieben.

Datenübertragung Die Kommunikation zwischen Messstationen und Server findet über W-LAN statt.

Sensoren Es sind drei funktionstüchtige Sensoren verfügbar, die alle an die Messstation angeschlossen werden.

Messplan Alle fünf Minuten wird mit allen Sensoren eine Messung durchgeführt.

Mobilfunktelefon Für die Station wird das LG Optimus Black verwendet. Von den verfügbaren Modellen weist es den größten Energiebedarf auf, so soll der schlechteste Fall getestet werden.

Überwachung Die Spannung des Akkumulators wird zu Beginn und Ende des Tests gemessen. Zusätzlich zum Zeitpunkt des Einschaltens der Glühbirne.

6.2.2. Durchführung

Die Messstation wurde entsprechend dem Szenario aufgebaut. Über die Verwaltungsoberfläche wurde eine entsprechende Messung konfiguriert. Zu Beginn des Test hatte der Akku eine Spannung von 13,147 V. Bevor die Glühbirne nach 1,55 Stunden eingeschaltet wurde, hatte der Akku eine Spannung von 13,136 V. Nach weiteren 0,85 Stunden wurde der Test beendet und der Akku wies eine Spannung von 13,158 V auf.

6.3. Feldtest

Im Rahmen dieser Arbeit wurden bisher zwei Prototypen der Hardware realisiert, die für den Test verwendet werden können. Jedoch wird nur eine der Messstationen über eine autarke Energieversorgung betrieben. Für die zweite Station fehlt die dazu nötige Hardware. Sie wird durch ein Netzteil mit Energie versorgt. Der Test soll neben der Funktion des Systems vor allem feststellen ob die Energieversorgung ausreichend groß dimensioniert wurde.

6.3.1. Szenario

Das zugrunde liegende Szenario für den Test wird durch die folgenden Parameter festgelegt.

Aufstellort Die Messstationen werden im Außenbereich aufgebaut. Es ist kein wasserdichtes Gehäuse vorhanden, daher werden sie in einem frei stehenden, unbeheizten, offenen Unterstand vor Regen geschützt. Der Unterstand ist mehr als 100 m vom nächsten Gebäude entfernt und die Stationen damit der Umgebungstemperatur ausgesetzt.

Solarmodul Das Solarmodul wird auf dem Dach des Unterstands montiert. Es ist nach Süden ausgerichtet und der Neigungswinkel zur Erdoberfläche beträgt in etwa 30°.

Zeitraum Das Messnetz wird vom 16.02.2016 bis zum 20.02.2016 über einen Zeitraum von vier Tagen ununterbrochen betrieben.

Messplan Die Messungen werden über den gesamten Zeitraum in einem 15 minütigen Intervall erfasst. Zusätzlich werden jeden Tag in der Zeit von 10Uhr bis 14Uhr alle zwei Minuten Messungen durchgeführt.

Datenübertragung Die Kommunikation zwischen Messstationen und Server findet über die mobile Datenverbindung statt, da am Einsatzort kein Netzwerkzugang vorhanden ist.

Sensoren Es sind drei funktionstüchtige Sensoren verfügbar. Zwei werden an der autark betriebene Station angeschlossen, einer an der zweiten Station.

Mobilfunktelefon Für die autark betriebene Station wird das LG Optimus Black ausgewählt. Von den ausgewählten Modellen weist es den größten Energiebedarf auf, so soll der schlechteste Fall getestet werden. Für die zweite Station wird das Samsung Galaxy X-Cover gewählt.

Überwachung Die Spannung des Akkumulators wird zu Beginn und Ende der Durchführung gemessen. So soll in Erfahrung gebracht werden, ob die Energieversorgung ausreichend dimensioniert ist. Dies gilt nur für die autark betriebene Station. Es ist darauf zu achten, dass der Akkumulator bei beiden Messungen in etwa die gleiche Betriebstemperatur aufweist. Eine Abweichung durch Temperaturabhängigkeit soll damit vermieden werden.

6.3.2. Durchführung

Der Akkumulator wurde vor Beginn für mehr als 24 Stunden bei einer Temperatur von etwa 21 °C gelagert. Vor Beginn des Tests wurde seine Leerlaufspannung gemessen, sie betrug 13,218 V. Am 15.02.2016 gegen 20Uhr wurden die Messstationen am Aufstellort installiert, das Solarmodul wurde auf dem Dach des Unterstands montiert. Um die Funktion vor Testbeginn sicherzustellen, wurde über die Verwaltungsoberfläche ein kurzer Testlauf mit einigen Messungen erfolgreich durchgeführt. Anschließend wurden die Messaufträge,

entsprechend den Vorgaben des Szenarios, angelegt. Für den Testzeitraum wurde das System sich selbst überlassen. Lediglich Zugriffe auf die Verwaltungsoberfläche wurden durchgeführt. Am 21.02.2016 wurde der Test gegen 0:15Uhr beendet. Der Akkumulator wurde getrennt und seine Leerlaufspannung betrug 13,584 V. Für eine zweite Messung wurde er bis zum nächsten Morgen erneut bei etwa 21 °C gelagert. Seine Leerlaufspannung hat sich nur unwesentlich auf 13,582 V verändert.

6.4. Kosten

Die Kosten einer Messstation werden anhand des Prototypen abgeschätzt. Dazu sind alle Bestandteile in Tabelle 6.1 mit Preisen aufgeführt. Bauteile die nur für die Entwicklung enthalten sind, wurden nicht mit aufgeführt. Darunter fallen beispielsweise diverse Jumper, die Leuchtdioden, alle Stift- und Buchsenleisten, mit Ausnahme für die Sensoren. Die angegebenen Preise entsprechen dem Kauf von je einem Stück. Einzige Ausnahme ist die Platine, der Preis gilt für die Abnahme von vier Stück. Bei einer Anzahl ab 10 oder 100 Messstationen kann also von einer deutlichen Reduktion ausgegangen werden. Dies gilt vor allem für die Kosten der Platine. Das Teuerste Bauteil ist der Akkumulator. Der Preis kann jedoch auch gesenkt werden, da auch kleinere und damit günstigere Modelle geeignet sind. Die Gesamtkosten für den Prototypen belaufen sich auf rund 120€ bei der Anfertigung eines Einzelexemplars.

6.5. Energiebedarf des Prototypen im Ruhezustand

Um den Energiebedarf des gesamten Systems zu ermitteln, wurde eine Messstation in Betrieb genommen und nur durch den Akkumulator mit Energie versorgt. Ein Amperemeter wurde zwischen Akku und Laderegler geschaltet. Parallel dazu wurde die Spannung des Akkus gemessen. Anschließend wurde das Amperemeter zwischen Laderegler und externe Hardware geschaltet. Damit wurde die Energie gemessen, die die externe Hardware ohne Laderegler benötigt. Der Energiebedarf des Ladereglers wurde rechnerisch ermittelt. Das Ergebnis ist in Tabelle 6.2 zu sehen.

6.6. Testauswertung

Die durchgeführte Validierung anhand des Prototypen kann als voller Erfolg gewertet werden. Er hat seine Funktionalität anhand der Anwendungsfälle unter Beweis gestellt. Im Labortest konnte gezeigt werden, dass die Laufzeit einer Messstation nicht von der Energieversorgung eingeschränkt wird. Es wird mehr Energie durch das Solarmodul gewonnen als benötigt wird. Theoretisch wäre eine beliebig lange Laufzeit denkbar. Das System hat sich auch im Feldtest gut geschlagen. Er hat den Labortest bestätigt und damit gezeigt, dass das System auch unter realen Bedingungen einsetzbar ist. Die Ergebnisse des Energiebedarfs zeigen, dass der größte Verbraucher der Laderegler ist. Eine Optimierung an dieser Komponente könnte den Energiebedarf senken.

6. Validierung

Bezeichnung	Preis	Anzahl	Total
DC/DC Wandler 3,3V	5,15€	1	5,15€
DC/DC Wandler 5V	3,30€	1	3,30€
Atmel ATmega 328P-PU	2,85€	1	2,85€
IC-Sockel Dil-28	0,47€	1	0,47€
Feinsicherung	0,32€	2	0,64€
Sicherungshalter Feinsicherung	0,16€	2	0,32€
Sicherungshalter KFZ	2,45€	1	2,45€
KFZ Sicherung 1A	0,15€	1	0,15€
Taster	0,11€	1	0,11€
Anschlussklemme 3-polig	0,31€	1	0,31€
Anschlussklemme 4-polig	0,40€	1	0,40€
Buchsenleiste 3-polig	0,13€	3	0,39€
Buchsenleiste 2x3-polig	0,29€	3	0,87€
Diode 1N4001	0,04€	1	0,04€
Kondensator Kerko 560 pF	0,09€	2	0,18€
Kondensator X7R Kerko 100 nF	0,05€	3	0,15€
Kondensator MKS 100 nF	0,06€	2	0,12€
Widerstand 150 k Ω	0,08€	1	0,08€
Widerstand 75 k Ω	0,08€	1	0,08€
Widerstand 5,6 k Ω	0,08€	1	0,08€
Widerstand 10 k Ω	0,08€	2	0,16€
Widerstand 4,7 k Ω	0,08€	2	0,16€
Platine	19,65	1	19,65€
Solarmodul	19,90€	1	19,90€
Laderegler	9,47€	1	9,47€
Akkumulator	50,16€	1	50,16€
Mobilfunktelefon	10,00€	1	10,00€
Summe			117,74€

Tabelle 6.1.: Kostenübersicht des Prototypen

Komponente	Energiebedarf
Gesamtsystem	167 mW
Externe Hardware	72 mW
Laderegler	95 mW

Tabelle 6.2.: Energieverbrauch des Prototypen

6. Validierung

Die Ergebnisse sind natürlich an die Testbedingungen gebunden. Dennoch lassen sie den Schluss zu, dass das System Deutschlandweit mit der ausgewählten Hardware betrieben werden kann. Die gilt natürlich auch für andere Orte mit entsprechender Globalstrahlung. Unter schlechteren Bedingungen, wie z. B. eine Beschattung des Solarmoduls, sollte jedoch ein Leistungsstärkeres Modul in Betracht gezogen werden. Ist dagegen der Betrieb in den Sommermonaten geplant, kann es wesentlich kleiner ausfallen.

7. Ausblick

In diesem Kapitel wird eine Auswahl von Ideen vorgestellt, die zur Weiterentwicklung oder Verbesserung des Systems beitragen. Es wird auch erläutert, wie sich andere Projekte auf Basis dieses Systems entwickeln lassen.

7.1. Audiocodec

Der implementierte Audiocodec im Percy-Service verwendet eine sehr einfache Kodierung mit einer festen Übertragungsrate. Zum Einsatz kommt das Binary Phase-Shift Keying (BPSK) Verfahren. Es verwendet zwei Symbole für die Kodierung, entweder wird die Phase eines sinusförmigen Signals um 0° oder um 180° verschoben. Die erreichbare Datenrate ist relativ gering, da mit jedem Symbol nur ein Bit an Information übertragen wird. Es gibt aber eine große Bandbreite an alternativen Verfahren, die sich für das System eignen können. Sind erst einmal mehrere Verfahren implementiert wäre es auch denkbar dynamisch zwischen ihnen zu wechseln oder ihre Parameter zu ändern. So könnte man auf Verbindungsprobleme mit der Reduzierung der Übertragungsrate reagieren oder gleich das Verfahren gegen ein robusteres tauschen.

7.2. Aktiver Rückkanal

Ein Nachteil der aktuellen Implementierung ist der fehlende aktive Rückkanal. Es ist derzeit nicht möglich vom Percy-Controller eine Verbindung zum Percy-Service oder einer dahinter liegenden Anwendung aufzubauen. Nur wenn der Percy-Service aktiv ist und die Audiodaten auswertet können Daten an ihn gesendet werden. Ihn dauerhaft aktiv zu lassen würde jedoch den Energiebedarf des Mobilfunktelefons stark erhöhen. Eine Lösungsidee ist bereits während der Arbeit gefunden worden. Aktuelle Headsets für Smartphones haben neben Lautsprechern und Mikrofon auch Taster, über die z. B. die Lautstärke geregelt werden kann. Die Funktionsweise ist in der Android Wired Audio Headset Specification beschrieben. Wichtig ist jedoch die Erkenntnis, dass diese Taster die Mobilfunktelefone auch aus dem Energiesparmodus aufwecken können. Dies wurde mit Erfolg an allen Modellen getestet. Für die Anwendung als Messstation wäre diese Funktion sehr nützlich. Es wäre dann möglich Grenzwerte für die Sensoren festzulegen, bei denen ein Alarm ausgelöst werden soll. Mit der aktuellen Implementierung müsste der Sensor dazu vom Smartphone in kurzen Intervallen abgefragt werden. Dies benötigt viel Energie. Wenn ein aktiver Rückkanal verfügbar ist, könnte diese Aufgabe an den Percy-Controller ausgelagert werden. Dieser benötigt dazu wesentlich weniger Energie.

7.3. AMQP Intergration

Der Moment-Server ist im Prototyp als monolithische Webanwendung implementiert, die direkt mit den Messstationen kommuniziert. Es wäre aber sinnvoll eine Aufteilung vorzunehmen. Vielversprechend wäre der Einsatz eines AMQP Message Brokers, eine Art Verteiler für Nachrichten. Die Messstationen könnten ihre Messdaten als einzelne Nachrichten an den Verteiler senden. Andere Softwarekomponenten können sich dann beim Verteiler registrieren um die Nachrichten zu empfangen. Es wäre für eine Anwendung dann möglich, sich dynamisch für einen Sensor zu registrieren. Anschließend würde sie dessen Messdaten vom Verteiler empfangen. Die würde eine Aufteilung der Software in Komponenten für z. B. Darstellung oder Speicherung der Messdaten ermöglichen. Auch externe Systeme können über dieses Konzept einfach in das System integriert werden.

7.4. Datenverbindungen erweitern

Im Prototyp ist die Verbindung zwischen Moment-App und Server nur über die mobile Datenverbindung oder W-LAN möglich. Es ist auch denkbar eine Verbindung über SMS Nachrichten herzustellen. In Gebieten ohne mobile Datenverbindung oder bei schlechtem Empfang, könnte eine Kommunikation über SMS dennoch möglich sein. Alternativ ist auch der Datenaustausch über Audionachrichten möglich, die durch einen Anruf übermittelt werden.

7.5. Weiterverwendung des Systems

Das System wurde bereits so entworfen, dass Teile davon auch für ganz andere Ideen genutzt werden können. Die Verbindung zwischen einer Anwendung auf dem Smartphone und der externen Hardware ist völlig getrennt von der Software der Messstation. Sie besteht aus dem Percy-Service, Percy-Lib und Percy-Controller. Auf ihrer Basis können noch viele weitere Projekte umgesetzt werden.

8. Fazit

Die Zentrale Fragestellung der Arbeit kann mit einem klaren „Ja“ beantwortet werden. Sie lautet: Lässt sich auf Basis von Mobilfunktelefonen ein kostengünstiges Messnetzwerk aufbauen, ohne die Auswahl der Sensoren einzuschränken?

Um diese Frage zu beantworten wurden zunächst bestehende Messnetzwerke untersucht. Mit dem Ergebnis, dass keines in der Lage ist alle gesteckten Ziele zu erfüllen. Sie sind entweder zu teuer, schränken die Auswahl der Sensoren erheblich ein oder sind nicht für ein Netzwerk geeignet. Es sind aber einige Teillösungen vorhanden, die in ein neues Konzept integriert werden konnten. Dieses sieht eine Messstation vor, die etwa 100€ kostet, autark betrieben wird und die Auswahl der Sensoren nicht durch zu wenige Schnittstellen einschränkt. Um dieses Konzept in einen Systementwurf zu überführen mussten mehrere Herausforderungen gelöst werden. Zunächst die mangelnde Anzahl an Schnittstellen eines Mobilfunktelefons, die sich für den Anschluss von Sensoren eignen. Hierzu wurde eine Erweiterungshardware entwickelt, die über den Kopfhöreranschluss mit dem Telefon verbunden ist. Sie stellt ihre Schnittstellen über einen Service anderen Anwendungen zur Verfügung. Die Hardware kann beliebig an neue Situationen angepasst und um zusätzliche Schnittstellen erweitert werden. Für den gleichzeitig autarken und günstigen Betrieb spielt der Energiebedarf eine entscheidende Rolle. Je höher er ist, desto teurer wird die Energieversorgung. Daher wurden alle Entscheidungen von diesem Faktor beeinflusst. Dies gilt insbesondere für die gewählte Schnittstelle zwischen Telefon und Erweiterungshardware. Denn die zunächst präferierte USB Schnittstelle scheiterte an einem zu hohen Energiebedarf. Im Nachhinein war der Wechsel die einzig richtige Entscheidung. Mit der Verbindung über USB würde der Energiebedarf der Telefone um den Faktor 30 bis 40 höher liegen. Damit wären Mehrkosten in der Energieversorgung und kürzere Laufzeiten einhergegangen.

Um zu zeigen, dass der Systementwurf realisierbar ist, wurde er als Prototyp in die Praxis umgesetzt. Mit ihm konnten die theoretischen Vorüberlegungen der Arbeit bestätigt werden. Er ist zwar noch eine prototypische Implementierung des Systems, konnte aber bereits zeigen, dass er die Ziele der Arbeit erfüllt. Die Hardware des Prototypen ist in Abbildung 8.1 dargestellt.

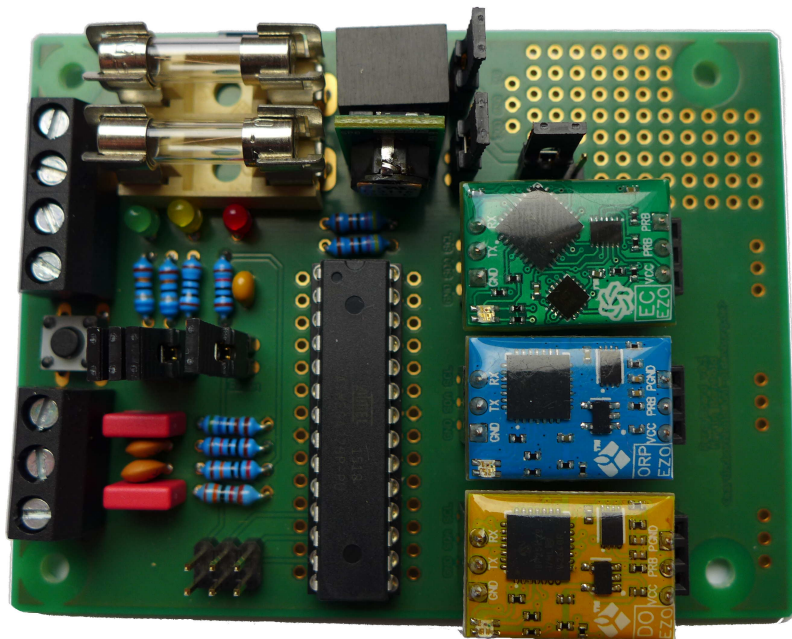


Abbildung 8.1.: Prototyp der Hardware

Tabellenverzeichnis

2.1. Zusammenfassung der vorgestellten Technologien	9
3.1. Anwendungsfall UC-1 – anmelden	16
3.2. Anwendungsfall UC-2 – abmelden	16
3.3. Anwendungsfall UC-3 – Messauftrag anlegen	17
3.4. Anwendungsfall UC-4 – Messauftrag editieren	18
3.5. Anwendungsfall UC-5 – Messauftrag löschen	18
3.6. Anwendungsfall UC-6 – Messdaten anzeigen	19
3.7. Anwendungsfall UC-7 – Messdaten exportieren	19
3.8. Anwendungsfall UC-8 – Benutzerkonto anlegen	20
3.9. Anwendungsfall UC-9 – Benutzerkonto editieren	20
3.10. Anwendungsfall UC-10 – Benutzerkonto löschen	20
3.11. Anwendungsfall UC-11 – Messstation hinzufügen	21
3.12. Anwendungsfall UC-12 – Messstation ändern	22
3.13. Anwendungsfall UC-13 – Messstation entfernen	22
3.14. Anwendungsfall UC-14 – Eintrag anlegen	22
3.15. Anwendungsfall UC-15 – Eintrag editieren	23
3.16. Anwendungsfall UC-16 – Eintrag löschen	23
3.17. Anwendungsfall UC-17 – Messstation initialisieren	23
3.18. Anwendungsfall UC-18 – Messstation ausbringen	24
3.19. Anwendungsfall UC-19 – Messstation abbauen	24
4.1. Bewertung der Schnittstellen	33
4.2. Verwendete Mobilfunktelefon Modelle	34
4.3. Leistungsaufnahme der Mobilfunktelefone im Flugmodus bei eingelegtem Akku und angeschlossener USB Verbindung	38
4.4. Leistungsaufnahme der Mobilfunktelefone im Flugmodus bei eingelegtem Akku und getrennter USB Verbindung	39
4.5. Leistungsaufnahme der Mobilfunktelefone mit eingeschaltetem Mobilfunk (GSM), eingelegtem Akku und getrennter USB Verbindung	39
4.6. Monokristalline-, Polykristalline-, Dünnschicht- und CIGS-Solarmodule im Vergleich	43
5.1. Schnittstellenbeschreibung der Softwarekomponenten	50
5.1. Schnittstellenbeschreibung der Softwarekomponenten (Fortsetzung)	51
6.1. Kostenübersicht des Prototypen	65
6.2. Energieverbrauch des Prototypen	65

Literatur

- [Abr14] Philipp Abresch. „Indonesien: Der Fluch der Schatzinsel“. Deutsch. In: *Weltspiegel* (Okt. 2014). URL: <http://www.daserste.de/information/politik-weltgeschehen/weltspiegel/sendung/swr/2014/indonesien-bangk-zinnabbau-100.html> (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 1).
- [Axe15] Jan Axelson. *USB Complete: The Developer's Guide*. Englisch. 5. Aufl. Lakeview Research LLC, 2015. ISBN: 978-1-931448-29-1 (siehe S. 28).
- [BK15] Stephan Balduin und Carsten Krüger. Deutsch. Bachelorarbeit. Carl von Ossietzky Universität Oldenburg – Department für Informatik – Abteilung Systemsoftware und verteilte Systeme, 2015 (siehe S. 7, 14).
- [CK06] Vilma Capellan und Peter Koppen. „Luxusgut saubere Umwelt. Manilas Kampf gegen den Müll“. Deutsch. In: *Verschmutzung von Megastädten* (Dez. 2006). URL: <http://dw.com/p/98RI> (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 1).
- [Con16] Rainforest Connection. *Media*. Englisch. 2016. URL: <https://rfcx.org/media> (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 7).
- [DAA15] DAA Deutsche Auftragsagentur GmbH. *Monokristallin oder Polykristallin - Solarzellen im Vergleich*. Deutsch. Hrsg. von Christian Märkel, Thorben Frahm und Robert Doelling. 2015. URL: <http://www.solaranlagen-portal.com/solarmodule/systeme/vergleich> (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 43).
- [Ele] Elektronik-Kompendium.de. *NFC - Near Field Communication*. Deutsch. URL: <http://www.elektronik-kompendium.de/sites/kom/1107181.htm> (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 28).
- [Fin15] Bundesministerium der Finanzen. *Bundeshaushaltsplan 2016*. Deutsch. 2015. URL: http://www.bundeshaushalt-info.de/fileadmin/de.bundeshaushalt/content_de/dokumente/2016/so11/Haushaltsplan-2016.pdf (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 1).
- [Gei14] Jörg Geiger. *Bluetooth 4.1 alle Neuerungen im Detail*. Deutsch. Aug. 2014. URL: http://www.chip.de/artikel/Bluetooth-4.1-Alle-Neuerungen-im-Detail_71165955.html (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 25, 26).
- [Gmb16] WATTSTUNDE GmbH. *Produkte*. Deutsch. 2016. URL: <http://wattstunde.de> (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 60).
- [Inc] Google Inc. *USB Accessory*. Englisch. URL: <http://developer.android.com/guide/topics/connectivity/usb/accessory.html> (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 28).

- [Kal14] Florian Kalenda. *Studie: 93 Prozent aller Smartphones mit NFC laufen unter Android*. Deutsch. Feb. 2014. URL: <http://www.zdnet.de/88184166/studie-93-prozent-aller-smartphones-mit-nfc-laufen-unter-android/> (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 28).
- [KO15] Prof. Dr. Peter Kurzweil und Dr. jur. Otto K. Ditzmeier. *Elektrochemische Speicher. Superkondensatoren, Batterien, Elektrolyse-Wasserstoff, Rechtliche Grundlagen*. Deutsch. Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015. ISBN: 978-3-658-10899-1. DOI: 10.1007/978-3-658-10900-4 (siehe S. 45).
- [Köl14] Tobias Költzsch. *Mobile Betriebssysteme. Android läuft auf fast 85 Prozent aller Smartphones*. Deutsch. Aug. 2014. URL: <http://www.golem.de/news/mobile-betriebssysteme-android-laeuft-auf-fast-85-prozent-aller-smartphones-1408-108290.html> (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 34).
- [Kuo+10] Ye-Sheng Kuo u. a. *Hijacking Power and Bandwidth from the Mobile Phone's Audio Interface*. Englisch. Project Report. Electrical Engineering und Computer Science Department, University of Michigan, 2010 (siehe S. 30).
- [Lim12] Future Technology Devices International Limited. *DS_UMFT311EV. USB Android Host Module*. Englisch. Juli 2012. URL: http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/Modules/DS_UMFT311EV.pdf (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 29).
- [LM10] Prof. (FH) Dr. Josef Langer und MSc Michael Roland. *Anwendungen und Technik von Near Field Communication (NFC)*. Deutsch. Springer-Verlag GmbH, März 2010. ISBN: 978-3-642-05496-9. DOI: 10.1007/978-3-642-05497-6 (siehe S. 28, 77).
- [Lu11] Dr. Languang Lu. 2011 (siehe S. 45, 46).
- [Mal15] Jeanette Malchow. *Alle Android-Versionen im Überblick*. Deutsch. Sep. 2015. URL: http://praxistipps.chip.de/alle-android-versionen-im-ueberblick_40765 (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 34).
- [Meo15] Meteomedia GmbH. *Mitmachen. Ihre Wetterstation im privaten Messnetz von Meteogroup*. Deutsch. URL: <http://wetterstationen.meteomedia.de/map=Mitmachen> (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 1, 5).
- [MS12] Prof. Dr. Christoph Meinel und Dr. Harald Sack. *Internetworking - Technische Grundlagen und Anwendungen*. Deutsch. Springer-Verlag GmbH, 2012. ISBN: 978-3-540-92939-0. DOI: 10.1007/978-3-540-92940-6 (siehe S. 29).
- [Nar16] Satya Narayan. *Sugar ORM. Insanely easy way to work with Android Databases*. Englisch. 2016. URL: <http://satyan.github.io/sugar/> (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 59).

- [Nau12] Harald Naumann. *Comparison of radio links inside an Android device and examples for applications*. Englisch. März 2012. URL: <http://de.slideshare.net/droidcon/radio-links-in-android-device-rutronik> (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 27).
- [Ope] Openmoko.org. *Openmoko - Open. Mobile. Free*. Englisch. URL: http://wiki.openmoko.org/wiki/Main_Page (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 30).
- [RG09] Nita Roshita und Tobias Grote-Beverborg. „Wenn die Flüsse über die Ufer treten. Wasserverschmutzung in Jakarta“. Deutsch. In: *Verschmutzung von Megastädten* (Aug. 2009). URL: <http://dw.com/p/97oq> (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 2).
- [Rie13] Bernhard Riegel. „Anforderungen an Batterien für den stationären Einsatz“. In: *Handbuch Lithium-Ionen-Batterien*. Hrsg. von Reiner Korthauer. Springer Berlin Heidelberg, 2013. Kap. 5, S. 417–428. ISBN: 978-3-642-30652-5. DOI: 10.1007/978-3-642-30653-2_33 (siehe S. 45).
- [RS13] Chris Rupp und die SOPHISTen. *Systemanalyse kompakt*. Deutsch. 3. Aufl. Springer Science+Business Media, 2013. ISBN: 978-3-642-35445-8. DOI: 10.1007/978-3-642-35446-5 (siehe S. 15).
- [Sau15] Martin Sauter. *Grundkurs Mobile Kommunikationssysteme. LTE-Advanced, UMTS, HSPA, GSM, GPRS, Wireless LAN und Bluetooth*. Deutsch. 6. Aufl. Springer-Verlag GmbH, 2015. ISBN: 978-3-658-08341-0. DOI: 10.1007/978-3-658-08342-7 (siehe S. 25–27, 76).
- [Sem14] NXP Semiconductors. *NXP Smartphone Quick-Jack Solution quick start guide*. Englisch. User Manual. Version Rev. 1.1. Juni 2014. URL: http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10815.pdf (siehe S. 30).
- [Sol] Shell Solar. *Shell SP140-P Photovoltaic Solar Module*. Englisch. User Manual. URL: <http://www.thesolarenergycompany.com/pdf/SP140-P.pdf> (siehe S. 46).
- [Sol16] Inc. Solarcraft. *PWM vs MPPT Solar Charge Controllers*. Englisch. 2016. URL: <http://solarcraft.net/articles/comparing-pwm-and-mppt-charge-controllers/> (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 44).
- [Som10] Ian Sommerville. *Software Engineering*. Englisch. 9. Aufl. Addison-Wesley, 2010. ISBN: 978-0-13-703515-1 (siehe S. 13).
- [Spi15] Alexander Spier. „Praxis | Handy-Stromspartipps: Energieverbrauch nachgemessen“. Deutsch. In: *c't – Magazin für Computer Technik* 22 (Okt. 2015) (siehe S. 31, 35, 40).
- [Sta16] Statista GmbH. *Anzahl der Smartphone-Nutzer in Deutschland in den Jahren 2009 bis 2015*. Deutsch. URL: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/198959/umfrage/anzahl-der-smartphonennutzer-in-deutschland-seit-2010/> (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 10).

- [Ste12] Dennis Steimels. *Handy Hhistorie. Wie alles begann: Die Geschichte des Smartphones*. Deutsch. Juni 2012. URL: <http://www.pcwelt.de/ratgeber/Handy-Historie-Wie-alles-begann-Die-Geschichte-des-Smartphones-5882848.html> (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 26, 27).
- [Ter15] TerraTransfer GmbH. *Automatisierte Umweltmessnetze*. Deutsch. 2015. URL: http://nrw.enterprise-europe-germany.de/public/uploads/downloads/veranstaltungen/05_TTPraesentationZENIT.pdf (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 6).
- [Ter16a] TerraTransfer GmbH. *TerraTransfer GmbH*. Deutsch. URL: <http://www.terratransfer.de> (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 6).
- [Ter16b] TerraTransfer GmbH. *Unternehmen – Über Uns*. Deutsch. URL: <http://www.terratransfer.de> (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 6).
- [Waf06] Eberhard Waffenschmidt. *Wenn es Solarzellen zu heiß wird, liefern sie weniger Energie*. Deutsch. 2006. URL: http://www.sfv.de/lokal/mails/wvf/wenn_es_.htm (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 46).
- [Wen13] Roland Wengenmayr. „Instrumente und Messnetze der Meteorologie“. Deutsch. In: (Feb. 2013). Hrsg. von DWD Uwe Kirsche. URL: http://www.dwd.de/SharedDocs/broschueren/DE/presse/Messnetz_pdf (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 4, 5).
- [Wet15a] Deutscher Wetterdienst. „Pressemitteilung. Deutscher Wetterdienst setzt auf vollautomatisch arbeitende Messnetze“. Deutsch. In: (2015). URL: http://www.dwd.de/DE/presse/pressemitteilungen/DE/2015/20150122_Vollautomatisches_Messnetz.html (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 1, 4).
- [Wet15b] Deutscher Wetterdienst. *Zahlen und Fakten zum Deutschen Wetterdienst 2015*. Deutsch. 2015. URL: http://www.dwd.de/SharedDocs/broschueren/DE/presse/zahlen_und_fakten.html (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 4).
- [Wet16a] Deutscher Wetterdienst. *Globalstrahlungskarten, Monats- und Jahressummen*. Deutsch. 2016. URL: http://www.dwd.de/DE/leistungen/solarenergie/Istrahlungskarten_su.html (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 43, 61).
- [Wet16b] Deutscher Wetterdienst. *Weiterführende Informationen zu den Klimadaten*. Deutsch. 2016. URL: http://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/beschreibung_stundenwerte.html (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 2).
- [Wet16c] Deutscher Wetterdienst. *WetterShop*. Deutsch. 2016. URL: <http://www.dwd-shop.de> (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 2).
- [Whi15] Topher White. *Early Results of the RFCx System*. Englisch. Aug. 2015. URL: <https://www.kickstarter.com/projects/topherwhite/rainforest-connection-phones-turned-to-forest-guar/posts/1331874> (besucht am 23.02.2016) (siehe S. 6).

Glossar

Access-Point Ein Access-Point bezeichnet den Zugangspunkt zu einem drahtlosen Netzwerk.. 27

Ad-hoc Mode Im Ad-hoc Mode, auch Independent BSS (IBSS) genannt, kommunizieren zwei oder mehr WLAN-Endgeräte direkt miteinander. Jede Station ist gleichberechtigt, und Daten werden direkt von Endgerät zu Endgerät gesendet. [vgl. Sau15]. 27

Android Accessory Mode Peripherie die den Android Accessory Mode unterstützt, kann auch mir. 33, 34

Application Bezeichnung für Software Anwendungen die auf mobilen Endgeräten wie Smartphones oder Tablet Computern ausgeführt werden. 10

Bluetooth Drahtlose Datenverbindung zwischen Geräten über kurze Distanz.. 11

Deutscher Wetterdienst (DWD) Der Deutsche Wetterdienst ist für die Erfüllung der meteorologischen Erfordernisse aller Wirtschafts- und Gesellschaftsbereiche in Deutschland zuständig. [dwd:aufgaben]. 1, 2, 4, 5, 8, 43, 61

Industrial Scientific and Medical Band Der Begriff ISM steht für „Industrial Scientific and Medical“ (Hochfrequenzanwendungen in Industrie, Wissenschaft und Medizin). Die zugehörigen ISM-Frequenzen sind international zur Nutzung durch Hochfrequenzgeräte zugewiesen. Beispiele sind Funkenerosionsmaschinen, Mikrowellenherde oder Kurzwellenbestrahlungen in der Medizin. Neben diesen Anwendungen können die ISM-Frequenzen auch zur Nachrichtenübertragung genutzt werden.[bna:ism-band]. 27

LiFePO₄ Der Lithium-Eisenphosphat-Akkumulator ist eine Ausführung eines Lithium-Ionen-Akkumulators mit einer Zellspannung von 3,2V bzw. 3,3V [wiki]. 45–47, 59

Maximum Power Point Der Maximum Power Point bezeichnet bei Solarmodulen das Verhältnis von Strom und Spannung mit der größten Leistungsabgabe. Er wird als Spannung über dem Solarmodul angegeben.. 44, 59, 61

Maximum Power Point Tracking Das Maximum Power Point Tracking bezeichnet eine Art von Regelung und Reglern für Solarmodule.. 44, 57

Messnetz-App Die Messnetz-App ist die Software-Komponente des Systems, die auf dem Mobilfunktelefon zum Einsatz kommt. 23

Messplan Ein Messplan gibt die Zeitpunkte an, zu denen ein Messwert erhoben werden soll. 17, 49–51, 54

Messstations-Eintrag Software Repräsentation einer realen Messstation im System. Der Eintrag enthält die Konfiguration der Messstation. 21–23

Near Field Communication Near Field Communication ist eine kontaktlose Technologie zum Austausch von Nachrichten über kurze Distanzen. Gleichzeitig basiert NFC auf einer jahrzehntelang erprobten und ausgereiften Technologie, weil sie bestehende Standards im Bereich von RFID (Radio Frequency Identification) und Chipkarten verwendet. [LM10]. 27, 28, 32, 33

Nichtregierungsorganisation "Eine Nichtregierungsorganisation ist eine nicht gewinnorientierte Organisation von Bürgern, die lokal, national oder international tätig sein kann (...)" [unric:ngo]. 2

Out-of-the-box-Lösung Bezeichnet in der Informatik eine Eigenschaft oder Funktion einer Software- oder Hardwarekomponente, die nach der Installation ohne weitere Anpassung der Komponente sofort zur Verfügung steht [wiki]. 14

Raspberry Pi Ein Einplatinencomputer.. 7, 8

USB-Host Bezeichnet eine von zwei Rollen, die ein USB Gerät einnehmen kann. Dabei können USB-Device Geräte nur an ein USB-Host Gerät angeschlossen werden.. 39

USB-Hub Ein USB-Hub ist ein USB-Gerät, welches das USB-Signal an mehrere Ports verteilt [wiki]. 39

Abkürzungsverzeichnis

BMS Batterie Management System. 59

BPSK Binary Phase-Shift Keying. 67

GPIO General Purpose Input Output. 7, 55, 60

IrDA Infrared Data Association. 29

OTG USB On-The-Go. 28

PWM Pulsweitenmodulation. 44, 47, 57, 59

UML Unified Modeling Language. 48, 49, 52–54

USB Universal Serial Bus. 11, 28, 29, 33, 34, 36–39, 41, 46, 49, 50, 55

W-LAN Wireless-LAN. 7, 11, 26, 27, 29, 33, 49, 62, 68

A. Schaltplan und Layout der externen Hardware

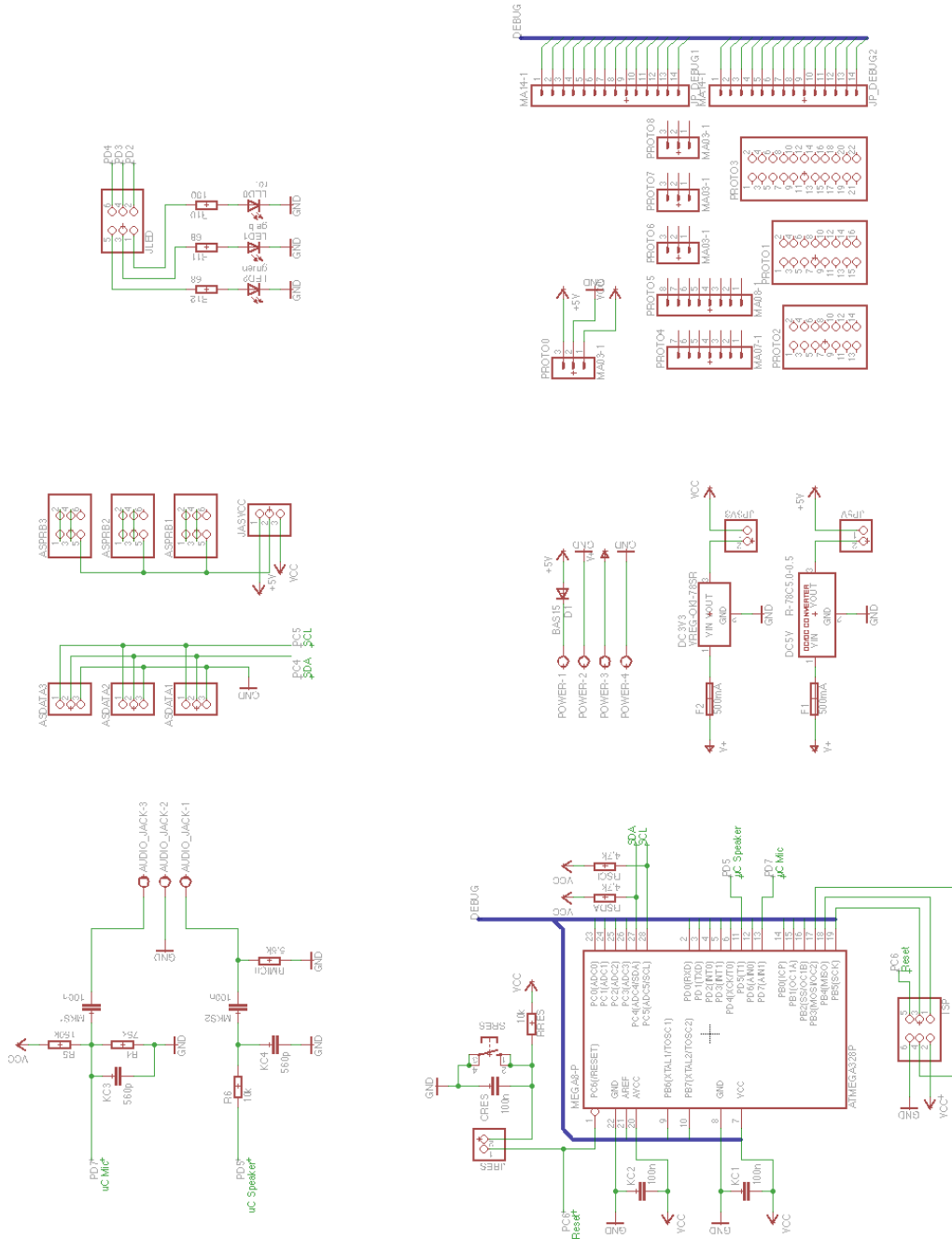


Abbildung A.1.: Schaltplan der externen Hardware

A. Schaltplan und Layout der externen Hardware

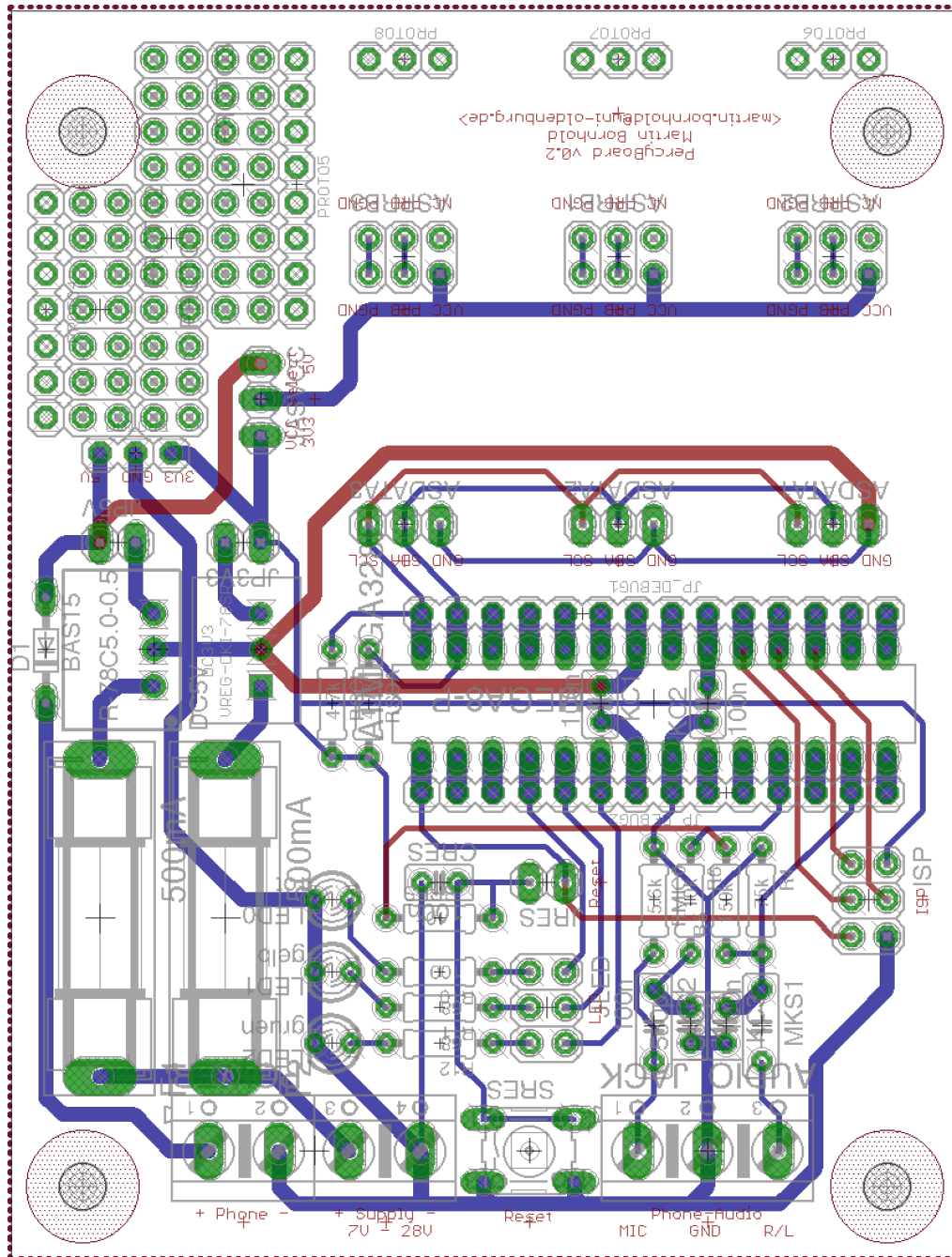


Abbildung A.2.: Layout der externen Hardware

Versicherung

Hiermit versichere ich, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Außerdem versichere ich, dass ich die allgemeinen Prinzipien wissenschaftlicher Arbeit und Veröffentlichung, wie sie in den Leitlinien guter wissenschaftlicher Praxis der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg festgelegt sind, befolgt habe.

(Martin Bornhold B.Sc.)