



# Konzeption und Realisierung einer mobilen Anwendung zur Ortung von Lawinenverschütteten mittels Bluetooth Low Energy

Bachelorarbeit an der Universität Ulm

**Vorgelegt von:**

Alex Bäuerle  
alex.baeuerle@uni-ulm.de

**Gutachter:**

Prof. Dr. Manfred Reichert

**Betreuer:**

Marc Schickler

2015

Fassung 18. August 2015

© 2015 Alex Bäuerle

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/de/> or send a letter to Creative Commons, 543 Howard Street, 5th Floor, San Francisco, California, 94105, USA.

Satz: PDF- $\LaTeX$  2 $\epsilon$

## Kurzfassung

Die Lawinenverschüttetensuche ist für die Sicherheit beim Wintersport enorm wichtig. Werden Lawinenverschüttete Personen nicht schnell geborgen, so sinken ihre Überlebenschancen mit jeder Minute.

Leider ist es in manchen Fällen nicht möglich, die verschüttete Person zu orten, da viele Skifahrer keine Verschüttetensuchgeräte bei sich tragen, obwohl sie der Gefahr einer Verschüttung ausgesetzt sind.

Die neue Technologie Bluetooth Low Energy erlaubt es, die ungefähre Entfernung zweier Smartphones zueinander zu bestimmen, ohne dabei auf das Internet oder GPS angewiesen zu sein. Wäre es möglich, mittels Bluetooth Low Energy und einer diese Technologie ausnutzenden Anwendung für Smartphones einen Lawinenverschütteten orten zu können, so könnte man eine breitere Masse an Skifahrern im Ernstfall lokalisierbar machen. Diese Arbeit untersucht die Möglichkeit, durch die Verwendung von Bluetooth Low Energy die Lawinenverschüttetensuche möglich zu machen. Zudem wird versucht, dem Nutzer der mobilen Anwendung mit dem vollen Potential des Smartphones zu unterstützen. Hierzu zählen direkter Notruf, Lawineninformationen und Lawinenaufklärung.



## **Danksagung**

Vielen Dank an alle, die mich unterstützt haben. Das Institut für Datenbanken und Informationssysteme, in dem ich meine Bachelorarbeit geschrieben habe und im Besonderen an Marc Schickler für die Betreuung meiner Bachelorarbeit.

Danke an meine Mutter und meinen Vater, die meine Arbeit mit kritischen Augen durchgelesen haben und die ich immer um Rat fragen konnte.

Vielen Dank an das WSL Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF für die Bereitstellung vieler Informationen und Grafiken zum Thema Lawinenkunde.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Ziel der Arbeit . . . . .	4
1.2	Aufbau der Arbeit . . . . .	5
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>7</b>
2.1	Grundlagen der Lawinenkunde . . . . .	7
2.1.1	Lawinenkunde . . . . .	8
2.1.2	Lawinenwarnstufen . . . . .	12
2.2	Grundlagen der Lawinenverschüttetensuche . . . . .	13
2.3	Technische Grundlagen . . . . .	15
2.3.1	Standard LVS-Technologie . . . . .	15
2.3.2	LVS mittels Bluetooth Low Energy . . . . .	16
2.3.3	Warum nicht iBeacon? . . . . .	18
2.3.4	Bluetooth Low Energy im Vergleich mit konventionellen LVS-Geräten	19
2.3.5	Plattformspezifische Eigenschaften . . . . .	20
2.3.6	Eigenschaften der Programmiersprache Swift . . . . .	21
<b>3</b>	<b>Anforderungsanalyse</b>	<b>23</b>
3.1	Funktionale Anforderungen . . . . .	23
3.2	Nicht Funktionale Anforderungen . . . . .	26
3.3	Zusammenfassung der Anforderungen . . . . .	28
<b>4</b>	<b>Implementierung</b>	<b>29</b>
4.1	Architektur . . . . .	29

## *Inhaltsverzeichnis*

4.2	Sendefunktion der Anwendung . . . . .	32
4.3	Bluetooth Suche . . . . .	33
4.3.1	Mehrfachsuche . . . . .	36
4.3.2	Einzelsuche . . . . .	37
4.4	Lawinenwarnstufe . . . . .	39
4.5	Steigung und Kompass . . . . .	41
4.6	Notruf . . . . .	42
<b>5</b>	<b>Anforderungsabgleich</b>	<b>45</b>
5.1	Abgleich der funktionalen Anforderungen . . . . .	45
5.2	Abgleich der nicht funktionalen Anforderungen . . . . .	48
5.3	Anforderungsabgleich . . . . .	50
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>51</b>
6.1	Zusammenfassung . . . . .	51
6.2	Ausblick . . . . .	53
6.2.1	Genauigkeit der Entfernungsberechnung . . . . .	53
6.2.2	Plattformübergreifende Lawinenverschüttetensuche . . . . .	53
6.2.3	Notruf . . . . .	54
6.2.4	Lawinenlageberichte . . . . .	54

# 1

## Einleitung

*Variante*abfahrten, das heißt Skiabfahrten abseits des gesicherten Pistenraumes, sind ein enorm attraktiver Teil des Skifahrens. Immer mehr Wintersportler fahren gerne und viel auf nicht präparierten Pisten und begeben sich in den nicht überwachten Raum. Leider passiert es dabei immer wieder, dass es bei solchen Abfahrten zu Lawinenabgängen kommt und Menschen verschüttet werden. Von 1992/93 bis 2011/12 wurden in der Schweiz 805 Menschen vollverschüttet. Von diesen starben 44%, also über 350 Menschen [TZ13]. Fast keine andere Sportart ist derart risikoreich und wird gleichzeitig von so vielen unausgebildeten und unerfahrenen Sportlern ausgeübt. Die Suche nach Lawinenverschütteten ist daher extrem wichtig und oft überlebensnotwendig.

Die Chance auf ein Überleben nach Verschüttung sinkt erheblich mit jeder Minute, die der Verschüttete unter den Massen des Schnees verbringt. Es ist deshalb enorm wichtig, den Verschütteten schnell bergen zu können. Abbildung 1.1 zeigt diesen Zusammenhang.

## 1 Einleitung

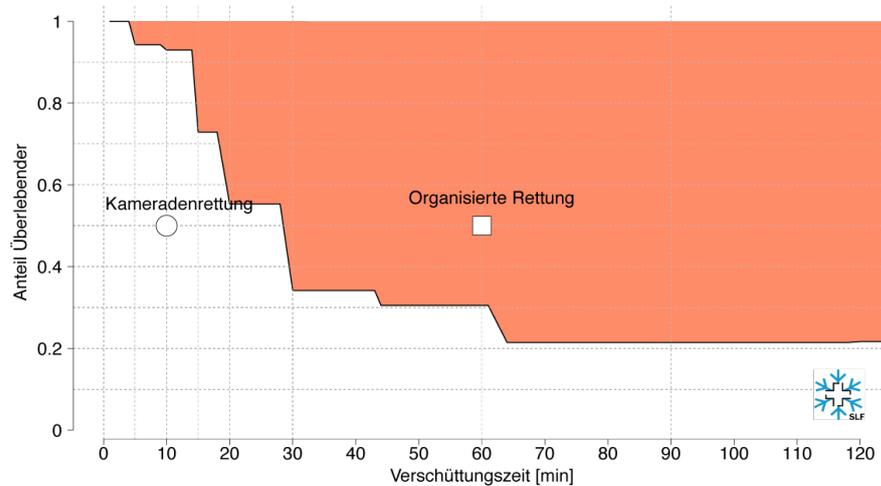


Abbildung 1.1: Korrelation von Überlebenschance mit Verschüttungszeit [slf13]

Abbildung 1.1 zeigt zunächst durch die schwarze Linie, in welchem Verhältnis die Bergungszeit mit dem Anteil überlebender Verschütteter steht. Die Abbildung macht deutlich, dass durch das Bergen eines Verschütteten in einem Zeitraum von zehn bis fünfzehn Minuten eine sehr hohe Überlebenschance besteht. Während innerhalb der ersten zehn Minuten eine statistische Überlebenschance von ca. 90% besteht, gibt es nach ca. 60 Minuten nur noch eine Überlebenschance von ca. 20%. Die Schnelligkeit, in der der Verschüttete ausgegraben werden kann, ist also lebensnotwendig.

Die Abbildung 1.1 zeigt darüber hinaus die durchschnittliche Rettungszeit in Abhängigkeit von der Rettungsart. Der Punkt für *Kameradenrettung*, also die Rettung durch Wintersportler, die sich beim Unglück schon an der Unglücksstelle befanden, zeigt, nach welcher Dauer ein Verschütteter heutzutage durchschnittlich bei der Kameradenrettung ausgegraben wird. Somit lag die Überlebenswahrscheinlichkeit der durchschnittlichen Bergungszeit durch die Kameradenrettung, welche von 2002/03 bis 2012/13 10 Minuten betrug, bei 72%.

Im Vergleich dazu symbolisiert das Viereck die *Organisierte Rettung*, das heißt die Rettung nach Eintreffen professioneller Hilfskräfte. Bei der organisierten Rettung, die aufgrund der Verzögerung zwischen Alarmieren und Ankunft der Rettungskräfte erst

viel später stattfinden kann, ist die Wahrscheinlichkeit, den Verschütteten lebend zu bergen, deutlich geringer als bei der Kameradensuche. Bei der organisierten Rettung betrug die durchschnittliche Bergungszeit 60 Minuten, mit der Konsequenz, dass die Überlebenschance bei der organisierten Rettung nur bei 28% lag [TZ13]. Die Überlebenschance ist bei der Kameradenrettung also um das 2,5-fache höher als bei der organisierten Rettung.

Bei einer Bergung durch die Kameradensuche konnte der Verschüttete in 88% der Fälle nur aufgrund eines *Lawinenverschüttetensuchgerätes (LVS)* geborgen werden. Deren Funktionsweise wird in Kapitel 2 Abschnitt 2.3 erläutert [TZ13]. Derzeit besitzen nicht alle Wintersportler, die sich in das ungesicherte Gelände begeben ein LVS-Gerät. Die Geräte sind relativ teuer (PIEPS DSP PRO ca. € 350) und helfen nur, wenn jedes Gruppenmitglied ein solches besitzt. Besitzt ein Wintersportler aus einer Gruppe kein LVS, kann dieser im Falle einer Verschüttung kaum gefunden werden. Auch kann ein Gruppenmitglied ohne LVS nicht an der LVS-Suche teilnehmen und reduziert somit die Auffindewahrscheinlichkeit.

Leider gibt es gelegentlich auch Lawinenabgänge auf gesichertem Gelände. Diese können auch Wintersportler auf Skipisten, Loipen und dergleichen in Gefahr bringen. Wintersportler, die sich auf gesichertem Gelände befinden, haben jedoch sehr selten ein LVS bei sich. Es zeigt sich also, dass die praktische Notwendigkeit zu einfacheren Alternativen zum LVS besteht. Eine solche einfachere Alternative könnten Smartphones darstellen.

Da die meisten Skifahrer immer ein Smartphone bei sich tragen, wäre eine Lawinenverschüttetensuche mithilfe des Smartphones eine einfache Möglichkeit für alle, die ohne LVS-Gerät fahren. Im Folgenden soll daher untersucht werden, ob sich Smartphones zur Verschüttetensuche eignen.

Zusätzlich kann ein Smartphone neben der Verschüttetensuche andere wichtige Hilfen für den Wintersportler geben. Diese sind Aufklärung vor dem Fahren, Gefahreinschätzung während dem Fahren und die Erleichterung des Notfallmanagements (z.B. durch Unterstützung mittels vereinfachtem Notruf und Anleitung zu Bergungs- und Erste-Hilfe-Maßnahmen).

### 1.1 Ziel der Arbeit

Aus der zuvor erläuterten Problematik ist die Idee entstanden, ein Instrument zur Kameradensuche zu etwerfen und einzusetzen, welches weniger kostet und die meisten Wintersportler ohnehin bei sich tragen. Diese Arbeit untersucht deshalb die Möglichkeit, ein iPhone mittels der Technologie *Bluetooth Low Energy* als LVS zu verwenden und damit die Verschüttetensuche einer breiteren Masse zugänglich zu machen. Es wird eine Anwendung für iOS mit der Programmiersprache Swift entwickelt, um dies zu ermöglichen. Hierbei soll nicht mit der Genauigkeit und Effizienz von professionellen LVS-Geräten konkurriert werden. Auch kann das Ergebnis der Arbeit keine Garantie für ein Überleben bei einer Verschüttung geben. Dies ist derzeit leider mit keiner Technologie möglich. Die entwickelte Anwendung soll dazu dienen, Menschen, die normalerweise nach einer Verschüttung überhaupt nicht lokalisierbar sind, mittels einer Applikation auf ihrem iPhone finden und bergen zu können.

Das Ziel der Arbeit ist die Konzeption und Entwicklung einer Anwendung zur Lokalisierung eines Verschütteten und der technischen Unterstützung der Lawinenverschüttetensuche. Zudem soll die Anwendung zur Aufklärung über die Lawinenkunde beitragen und die Risikobewertung bei Variantenabfahrten erleichtern. Das Potential des Smartphones gegenüber herkömmlichen LVS-Geräten soll möglichst in allen Bereichen ausgeschöpft werden.

Um einen Verschütteten finden zu können, soll die Entfernung der Geräte des Suchenden und des Verschütteten zueinander berechnet werden. Die Genauigkeit, mit der die Abstandsangaben ermittelt werden, variiert je nach Entfernung zum verschütteten Smartphone. Bei größerer Entfernung zum Verschütteten ist die Abstandsangabe noch relativ ungenau, wohingegen sie bei zunehmender Annäherung immer genauer wird. Da jedoch nur bei der in Kapitel 2 beschriebenen Punktortung eine genaue Entfernungsangabe von Nöten ist, kann dies als ein akzeptabler Nachteil der Technologie hingenommen werden. Bei größerer Entfernung muss lediglich ersichtlich sein, ob sich der Suchende auf das Ziel zu bewegt oder sich von ihm entfernt.

Neben diesem zentralen Nutzen der Verschüttetensuche soll der Nutzer außerdem von der Anwendung bei dem Thema Lawinenkunde und Notfallmanagement unterstützt

werden. Dies ist im Besonderen deswegen wichtig, da die Anwendung weniger erfahrene Skifahrer unterstützen soll, die nicht schon in Lawinenkunde ausgebildet sind und keine optimale Ausrüstung besitzen. Die Anwendung soll den Benutzer über den Ablauf der Verschüttetensuche aufklären, ihm das Risikomanagement erläutern und aktuelle Lawinenwarnstufen anzeigen.

Hierzu zählen die Aufklärung über Lawinenwarnstufen und die damit verbundenen Risiken und Möglichkeiten, sowie über andere Maßnahmen zur Bewertung einer Lawinengefahr. Außerdem soll die Anwendung den Benutzer im Notfall möglichst stark unterstützen und das Vorgehen beim Notruf und der Bergung erleichtern. Die Vorgehensweise bei der Bergung soll dem Nutzer auf einfache Weise klar gemacht werden. Im Ernstfall soll ein Notruf direkt aus der Anwendung abgesetzt werden können.

Die Anwendung richtet sich an jene Wintersportler, die ohne LVS in ungesichertem Gelände unterwegs sind. Diesen soll eine einfache Möglichkeit eröffnet werden, sich gegenseitig bergen zu können. Außerdem sollen die Anwender einen Einblick in die Lawinenkunde erhalten, womit das Unfallrisiko bei dieser Personengruppe verringert werden kann.

## 1.2 Aufbau der Arbeit

Die in Abschnitt 1.1 beschriebene Zielsetzung der Arbeit wird in sechs Kapiteln, wie in Abbildung 1.2 zu sehen, behandelt.



Abbildung 1.2: Kapitelübersicht

Nach der vorliegenden Einleitung (Kapitel 1) werden zunächst die Grundlagen der Lawinenverschüttetensuche in Kapitel 2 beschrieben. Hierbei geht es darum, den Ein-

## *1 Einleitung*

satzzweck der in dieser Arbeit entwickelten Anwendung zu verstehen.

Zudem werden die momentan genutzte Technik (LVS) sowie die in der hier entwickelten Anwendung verwendete Technik erklärt. Dadurch sollen die Möglichkeiten erläutert werden, die aufgrund der hier dargestellten Anwendung im Vergleich zu der bereits bekannten Technik entstanden sind.

Basierend auf den zuvor vorgestellten Möglichkeiten werden in Kapitel 3 die Anforderungen an die hier entwickelte Anwendung definiert. Dabei wird auf funktionale sowie nicht-funktionale Anforderungen eingegangen.

Auf die technische Umsetzung dieser Anforderungen wird in Kapitel 4 eingegangen. Hier geht es vor allem um die technische Umsetzung der in Kapitel 3 definierten Anforderungen.

In Kapitel 5 werden daraufhin die in Kapitel 3 gesetzten Anforderungen mit der in Kapitel 4 erfolgten Implementierung verglichen.

Abschließend, in Kapitel 6, wird unter Betrachtung der vorhergegangenen Kapitel und der resultierenden Anwendung ein Fazit über die Einsatzmöglichkeiten gezogen und Ausblick über mögliche weitere Entwicklungs- und Einsatzmöglichkeiten gegeben.

# 2

## Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Grundlagen der Lawinenkunde und der Verschütteten-  
suche sowie die technischen Grundlagen der Verschüttetensuchgeräte und der hier  
verwendeten Technologien erläutert.

### 2.1 Grundlagen der Lawinenkunde

Aufgrund der Gefahr durch Lawinen und der gleichzeitig steigenden Attraktivität von  
Variantenabfahrten hat die Lawinenforschung einen enorm hohen Stellenwert in der  
Skifahrer- und Freerideszene erhalten. Inzwischen liegen auch vielfältige Erkenntnisse  
der Lawinenforschung vor. Im Folgenden werden einige der für die vorliegende Arbeit  
besonders relevante Ergebnisse dieser Forschung erläutert.

### 2.1.1 Lawinenkunde

Lawinen können in zwei Gruppen unterteilt werden: Lockerschneelawinen siehe Abbildung 2.1 und Schneebrettlawinen siehe Abbildung 2.2.

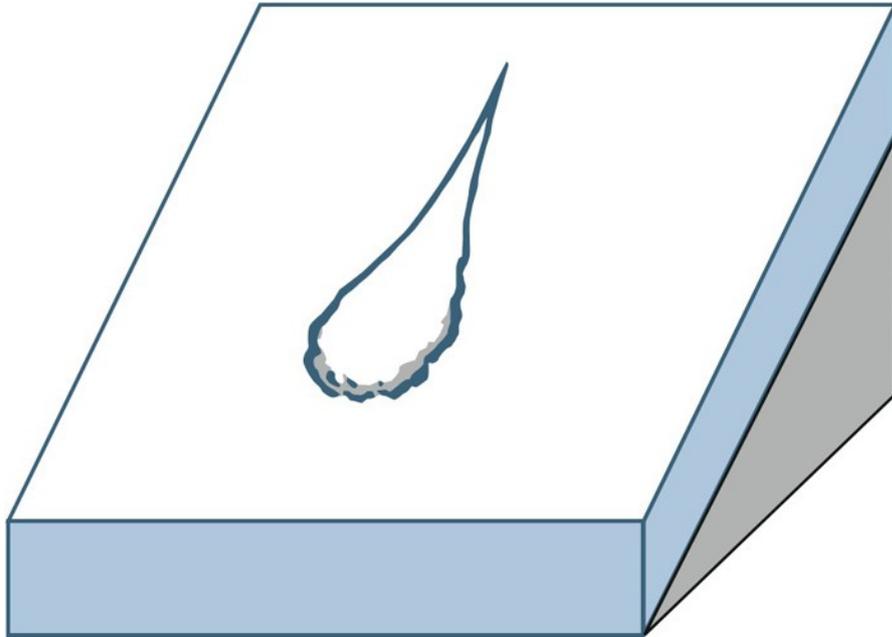


Abbildung 2.1: Lockerschneelawine [pow09a]

Abbildung 2.1 zeigt eine Lockerschneelawine. Sie ist gekennzeichnet durch einen punktförmigen Anriss. Lockerschneelawinen entstehen meist nur an sehr steilen Hängen mit ca 40° Hangneigung. Lockerschneelawinen werden im Verlauf des Abgangs breiter und sehr schnell. Aufgrund der geringeren Schneemasse und der selteneren Auslösung sind Lockerschneelawinen weniger gefährlich für Wintersportler [pow15]. Die Gefahr der Verschüttung ist hier nicht so hoch wie bei Schneebrettlawinen. Allerdings kann hierbei die enorme aufgewirbelte Schneemenge sehr gefährlich sein. Dem Skifahrer droht die Gefahr, mitgerissen zu werden oder an den Schneeverwirbelungen gar zu ersticken.

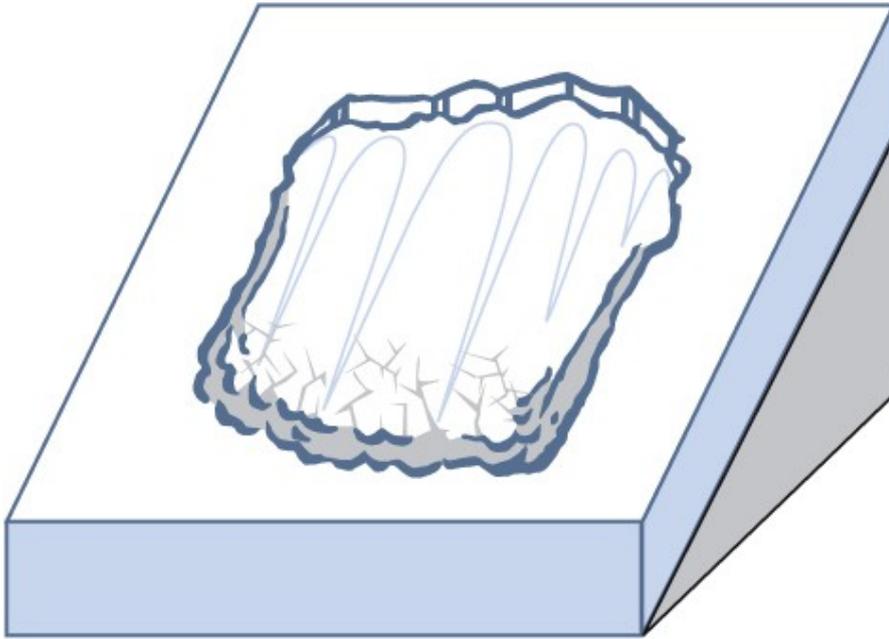


Abbildung 2.2: Schneebrettlawine [pow09b]

Die in Abbildung 2.2 gezeigte Schneebrettlawine ist die für den Skifahrer besonders gefährliche Lawinenart. 99% der von Skifahrern ausgelösten Lawinen sind Schneebrettlawinen. Bei Schneebrettlawinen bildet sich am Hang eine deutlich sichtbare Abrisskante. Von dieser Abrisskante rutscht ein ganzes Brett aus komprimiertem Schnee den Hang hinunter. Die durchschnittliche Schneebrettlawine mit Skifahrerbeteiligung ist an der Abrisskante 50 Meter breit und insgesamt im Abgang ca. 150 Meter lang. An der Abrisskante hat die durchschnittliche Schneebrettlawine eine Höhe von 45 bis 50 Zentimetern. Das daraus berechnete Volumen entspricht einer Schneemenge von ca. 3750 Kubikmetern. Die Gesamtlänge einer Lawine reicht von der Abrisskante bis zu dem Punkt, an dem die Lawine zum Stillstand kommt. Wird in Betracht gezogen, dass die Abrisslänge, also die Länge des Schneebrettes, welches sich löst im Gegensatz zur Gesamtlänge nur ca. 80 Meter beträgt sind dies immer noch 2000 Kubikmeter Schnee.

Die typische Skifahrerlawine hat in der abgleitenden Schicht eine Dichte von ca.  $200 \text{ kg/m}^3$ . Bei einer solchen Lawine mit  $2000 \text{ m}^3$  Schnee entspricht das Gesamtgewicht der Lawine demnach ca. 400 Tonnen. Es ist leicht verständlich, dass ein Mensch, der sich in einer solchen Lawine befindet, nur wenige Chancen hat, den Abgang der Lawine zu

## 2 Grundlagen

kontrollieren oder sich selbst zu retten [Sch99].

Nachdem der Abgang der Lawine beendet ist, wird der Schnee, der den Berg hinabgeglitten ist, nochmals komprimiert. Dies führt dazu, dass ein ca. 30 Zentimeter tief Verschütteter keine Chance hat, sich selbst zu befreien. Um einen Verschütteten bei einem Meter Verschüttungstiefe ausgraben zu können muss ca. eine halbe Tonne Schnee bewegt werden. Hierzu benötigen zwei Männer mit Lawinenschaufeln allein circa zehn Minuten, wobei die Zeit zur Suche des Verschütteten hierbei noch nicht in Betracht gezogen wird. Dies, in Verbindung mit der Überlebenschance, die nach 15 Minuten stark sinkt, verdeutlicht, wie wichtig es ist, einen Lawinenverschütteten schnell finden zu können. Denn an der Ausgrabungszeit kann im Gegensatz zur Suche nur wenig optimiert werden [GEO15].

Die häufigsten Umstände, die zur Auslösung einer Schneebrettlawine führen, können auf drei Ursachen reduziert werden. Diese sind:

1. Der Hang ist steil (meist über  $30^\circ$ )
2. Es gibt schlecht verbundene Schneeschichten, wie in Abbildung 2.3 zu sehen
3. Eine Zusatzbelastung wirkt auf die Schneedecke

Bei der Auslösung von Schneebrettlawinen mit Personenbeteiligung wird die Zusatzbelastung (Nr. 3) meist vom Wintersportler selbst herbeigeführt. Nur selten sind sogenannte *Spontanabgänge*, also Abgänge ohne ersichtlichen Grund, für die Auslösung einer Schneebrettlawine mit Beteiligung eines Wintersportlers die Ursache für den Abgang. Besonders gefährlich für die Auslösung eines Schneebretts sind Sprünge oder Stürze in den Schnee. Allerdings kann die Auslösung auch durch ganz normales Überfahren der Schneedecke stattfinden. Entsteht diese Zusatzbelastung bei den genannten Bedingungen, so entsteht die charakteristische Abrisskante und ein Schneebrett löst sich zwischen den schlecht verbundenen Schneeschichten. Dieses beschleunigt aufgrund der Steilheit des Hanges schnell und reißt den Skifahrer mit sich [Sch99].

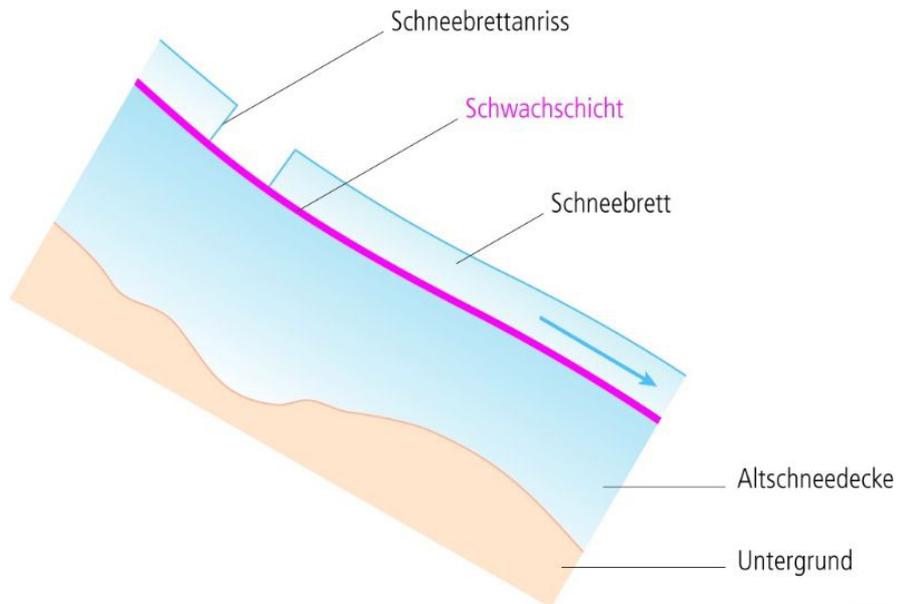


Abbildung 2.3: Abgang bei vorhandener Schwachschicht [Man12]

In Abbildung 2.3 ist zu sehen, dass sich der untere Altschnee nicht mit dem oberen Neuschnee verbunden hat und so eine Schwachschicht entsteht. Da der Neuschnee in sich jedoch besser verbunden ist, entsteht eine oben sichtbare Abrisskante. Diese kann durch die Zusatzbelastung, die entsteht, wenn sich ein Wintersportler im Hang befindet, ausgelöst werden. Passiert dies, so löst sich ein Schneebrett und ein ganzer Hang des Neuschnees rutscht ab.

Befindet sich ein Skifahrer beim Abgang einer solchen Lawine in deren Einzugsbereich, so hat dieser nur noch wenige Möglichkeiten, sich vor der Lawine zu retten. Die erste mögliche Maßnahme ist der Versuch, nicht in den Lawinenabgang hineinzugeraten. Um nicht erfasst zu werden, versuchen erfahrene Skifahrer bei einer Lawinenauslösung vor dieser weg zu fahren, und sich über eine von der Lawine nicht erreichbare Anhöhe in Sicherheit zu bringen. Hat dies keinen Erfolg, so kann nur versucht werden, nicht in der Lawine zu versinken. Der Skifahrer versucht hierbei auf der Lawine zu schwimmen. Gelingt dies nicht, und der Skifahrer wird vollverschüttet, hat er keine Chance mehr, sich selbst zu befreien.

### 2.1.2 Lawinenwarnstufen

Die Lawinenwarnstufe ist die wichtigste Kennzahl, um die Gefahr eines Lawinenabgangs einschätzen zu können. Die Lawinenwarnstufe ist in Europa seit 1993 unter dem Namen *Europäische Gefahrenskala für Lawinen* standardisiert. Sie besteht aus fünf Warnstufen: gering, mäßig, erheblich, groß und sehr groß. Im Folgenden wird auf die Definition der verschiedenen Warnstufen eingegangen [slf15].

1. Gering: *Eine Lawinenauslösung ist nur bei großer Zusatzbelastung an sehr wenigen, extremen Steilhängen möglich. Spontan sind keine Lawinen (sog. Rutsche) zu erwarten. Allgemein sichere Verhältnisse.*
2. Mäßig: *Eine Lawinenauslösung ist bei großer Zusatzbelastung vor allem an den angegebenen Steilhängen wahrscheinlich. Größere Lawinen sind nicht zu erwarten. Die Schneedecke ist allgemein gut verfestigt, außer an einigen Steilhängen. Vorsichtige Routenwahl bei den angegebenen Steilhängen und Hangexpositionen.*
3. Erheblich: *Eine Lawinenauslösung ist bereits bei geringer Zusatzbelastung vor allem an den angegebenen Steilhängen wahrscheinlich. Fallweise sind spontan einige mittlere, vereinzelt aber auch große Lawinen möglich. Die Schneedecke ist an vielen Steilhängen nur mäßig bis schwach verfestigt. Erfahrung in der Lawinenbeurteilung notwendig. Angegebene Steilhänge und Hangexpositionen möglichst meiden.*
4. Groß: *Eine Lawinenauslösung ist bereits bei geringer Zusatzbelastung vor allem an den angegebenen Steilhängen wahrscheinlich. Fallweise sind spontan viele mittlere, mehrfach auch große Lawinen möglich. An vielen Steilhängen ist die Schneedecke nur schwach gefestigt. Bei der Routenwahl Beschränkung auf mäßig steiles Gelände sowie Beachtung der Lawinenauslaufgebiete. Viel Erfahrung in der Lawinenbeurteilung notwendig.*
5. Sehr groß: *Spontan sind zahlreiche große Lawinen, auch in mäßig steilem Gelände, zu erwarten. Bei dieser Warnstufe ist in Skigebieten somit kein sicherer*

## 2.2 Grundlagen der Lawinenverschüttetensuche

*Betrieb mehr möglich. Die Schneedecke ist allgemein schwach verfestigt und instabil. Verzicht auf Touren ist empfohlen.*

Anhand dieser Warnstufen kann die Lawinengefahr tagesaktuell eingeschätzt werden. Die Warnstufen helfen dem Wintersportler dabei, abschätzen zu können, ob ein Hang an einem bestimmten Tag befahrbar ist oder ein Einfahren in den Hang gemieden werden sollte.

Auch für die im Rahmen dieser Arbeit konzipierte Anwendung sind die Lawinenwarnstufen sehr entscheidend. Mithilfe der Lawinenwarnstufen und der Neigung des Hanges kann der Nutzer die Gefahr einer möglichen Abfahrt besser abschätzen.

Die Kenntnis über die Lawinenwarnstufen und die Fähigkeit diese zu beurteilen sind ein entscheidender Faktor in der Risikobewertung und werden in vielen wintersportlichen Ausbildungen gelehrt. Durch eine größere Verbreitung und Erreichbarkeit dieser Lawinenwarnstufen kann verhindert werden, dass sehr gefährliche Hänge befahren werden. Somit kann auch die Zahl der Lawinenunfälle verringert werden.

Daher finden sich die Lawinenwarnstufen auch in dieser Anwendung wieder und stellen den zentralen Teil der Unterstützung bei der Risikobewertung dar.

## 2.2 Grundlagen der Lawinenverschüttetensuche

Bei einem Lawinenunfall gibt es ein geregeltes Vorgehen. Bevor die Suche beginnt, wird wie bei jedem Notfall ein Notruf abgesetzt und somit die Bergrettung alarmiert. Anschließend wird sofort mit der Kameradensuche begonnen. Die Kameradensuche ist der erste, sehr wichtige Schritt zur Bergung eines Lawinenverschütteten. Bei der Kameradensuche wird ein von einer Lawine mitgerissener Verunglückter von den Personen, die mit dem Verunglückten unterwegs waren, sowie anderen Personen, die sich in der Nähe befinden und Hilfe leisten können, gesucht. Auf die Wichtigkeit der Kameradensuche wurde bereits in Kapitel 1 genauer eingegangen.

Zuerst wird die Augen- und Ohrensuche durchgeführt. Hierbei schaut der Suchende, ob ein Lawinenopfer an der Schneeoberfläche zu sehen ist und versucht gleichzeitig, eventuelle Geräusche des Opfers wahrzunehmen. Führt dieser erste Schritt nicht zum

## 2 Grundlagen

Erfolg, muss angenommen werden, dass die Personen vollverschüttet sind und geortet werden müssen.

Hat das Opfer ein Lawinenverschüttetensuchgerät, kurz LVS, bei sich (genaueres hierzu in Abschnitt 2.3), wird mit der Signalsuche begonnen. Hierbei wird zuerst nach dem Sendesignal gesucht. Die Suche nach dem Signal erfolgt mit dem Ablaufen des Lawinenkegels. Hierbei wird der Einzugsbereich der Lawine im Abstand von ca. 20 Metern abgelaufen. So wird sichergestellt, dass das Signal nicht übersehen wird.

Anschließend, in der Grobsuche, muss die Distanz zum Signal minimiert werden. Bei der Grobsuche versucht der Suchende sich dem Verschütteten anzunähern.

Ist eine sehr geringe Entfernung erreicht, welche nicht mehr abnimmt, beginnt die Feinsuche. Das LVS wird auf einer Geraden direkt oberhalb der Schneedecke vor und zurück bewegt. Beim Punkt der geringsten Entfernung wird das Vorgehen rechtwinklig zur Ausgangsgeraden wiederholt.

Anschließend wird mit einer *Lawinensonde*, einem zwei bis vier Meter langem Stab aus einem möglichst leichten und stabilen Material (Karbon/ Aluminium) [hoe15], in den Schnee gestochen, um festzustellen, ob sich das Opfer an der Stelle befindet. Dieser Vorgang wird Punktsuche genannt.

Wurde der Verschüttete gefunden, muss dieser mit einer Schaufel ausgegraben und erste Hilfe geleistet werden. Oft ist das Opfer unterkühlt und aufgrund des Sauerstoffmangels in vielen Fällen auch bewusstlos. Dieses Vorgehen stellt den Optimalfall der Verschüttetenrettung dar. Es ist die schnellste und sicherste Methode, einen Lawinenverschütteten zu bergen.

Hat der Verschüttete kein LVS bei sich, kann er bei der Kameradenrettung nur durch Zufall gefunden werden. Die Suchenden beginnen an der Stelle, an der der Verschüttete am ehesten vermutet wird, den Schnee zu sondieren. Hierbei hofft der Suchende, durch wiederholtes Sondieren auf den Körper des Opfers zu treffen. Leider ist es bei der Bewegung solcher Schneemassen, wie in Abschnitt 2.1 beschrieben, sehr unwahrscheinlich, den Verschütteten schnell zu finden. So waren in der Schweiz im Zeitraum von 1992/93 bis 2012/13 insgesamt nur 12% der erfolgreichen Kameradenrettungen bei Vollverschüttungen ohne ein LVS-Gerät möglich [TZ13].

Hat die Kameradensuche keinen Erfolg, so kommt es zur *organisierten Rettung* durch

den Bergrettungsdienst. Die Bergrettung sucht ebenfalls überwiegend mit LVS-Geräten, ergänzend werden auch heute noch oft Suchhunde eingesetzt. Zusätzlich kann in manchen Skigebieten das *RECCO*<sup>1</sup> System eingesetzt werden. Bei der organisierten Rettung ist die Überlebenschance des Verunglückten aufgrund der Verzögerung bis zum Eintreffen der Rettungskräfte jedoch deutlich geringer als bei der Kameradensuche, was bereits in Kapitel 1 erläutert wurde.

## 2.3 Technische Grundlagen

Im Folgenden wird auf die technischen Eigenschaften sowohl von konventionellen LVS-Geräten als auch der in dieser Arbeit verwendeten Technologie Bluetooth Low Energy eingegangen. Außerdem werden die beiden Methoden vergleichend gegenübergestellt. Anschließend werden die plattformspezifischen Eigenschaften erläutert.

### 2.3.1 Standard LVS-Technologie

LVS-Geräte, wie in Abbildung 2.4 gezeigt, sind derzeit die beste und zuverlässigste Hilfe bei der Kameradensuche. Ein LVS ist meist unter der Skikleidung am Körper festgurtet, um es bei einem Lawinenabgang vor äußeren Einflüssen zu schützen. Jedes der Geräte hat einen Sende- und einen Suchmodus, zwischen denen im Notfall umgeschaltet werden kann. Im Normalfall befindet sich das Gerät im Modus *Senden*. Im Notfall wird von nichtverschütteten Kameraden auf den Suchmodus umgeschaltet, um verschüttete Personen finden zu können.

Die Geräte dienen hauptsächlich der Kameradensuche und basieren auf dem Prinzip, dass diejenigen Fahrer, die nicht verschüttet sind, nach ihren verschütteten Kameraden suchen und diese bergen können. Moderne LVS-Geräte senden auf einer Frequenz von 465kHz und müssen den meisten äußeren Einflüssen wie beispielsweise extremen Temperaturen trotzen. Die Reichweite der Geräte beträgt zwischen 20 und 40 Metern. Das verschüttete Gerät sendet Feldlinien aus, welche vom Suchenden geortet werden

---

<sup>1</sup> Passive Reflektoren, die keinen Strom konsumieren, werden in der Skikleidung vernäht und können mit einer Radartechnik gefunden werden [REC15]

## 2 Grundlagen

können. Die Entfernung zum sendenden Gerät kann aufgrund der empfangenen Signalstärke errechnet werden. Smartphones sind nicht kompatibel zu der Frequenz dieser Geräte und können daher nicht in Verbindung mit konventionellen LVS-Geräten genutzt werden.

Moderne LVS-Geräte verfügen zudem über drei Antennen, wodurch eine Richtungsbestimmung möglich ist und ein Verschütteter schnell lokalisiert werden kann [Law15].



Abbildung 2.4: LVS-Gerät der Firma Pieps. [Ber15]

In Abbildung 2.4 ist ein LVS-Gerät der Firma Pieps abgebildet. Oben auf der digitalen Anzeige ist die Entfernungsangabe zu dem Verschütteten zu erkennen. Außerdem sind Pfeile dargestellt, die in die Richtung weisen, in die gegangen werden muss, um sich dem Verschütteten zu nähern. Auf der rechten Seite ist ein gelber Schieberegler zu erkennen. Wird die Position dieses Reglers verändert, wechselt das Gerät zwischen Sende- und Suchmodus.

### 2.3.2 LVS mittels Bluetooth Low Energy

Bluetooth Low Energy bietet alle essentiellen Funktionen, die benötigt werden, um ein verschüttetes Gerät, beziehungsweise eine verschüttete Person, finden zu können.

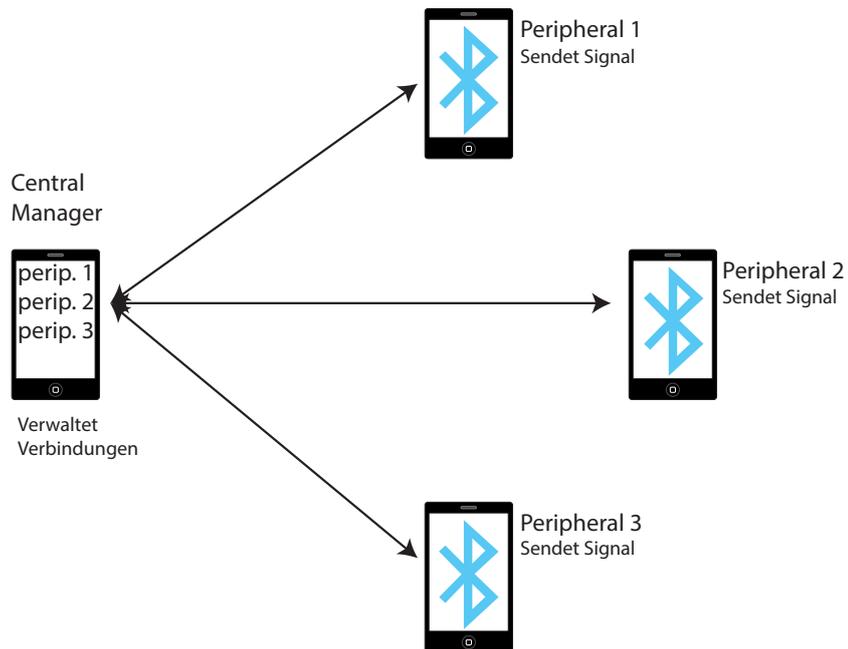


Abbildung 2.5: Central Manager und Peripherals bei Bluetooth Low Energy

Bei der Technologie verwaltet ein Gerät als *Central Manager* für andere Geräte, die als *Peripheral* ein Signal aussenden, die Verbindungen, wie in Abbildung 2.5 abgebildet. In der Anwendung ist das verschüttete Gerät ein Peripheral und das Suchgerät der Central Manager [Inc15a]. Da der Central Manager gleichzeitig mehrere Verbindungen zu Peripherals haben kann, und diese auch eindeutig unterscheidbar sind, ist eine Mehrfachverschüttetensuche mit der Technologie sehr einfach zu realisieren. Dies birgt einen großen Vorteil gegenüber herkömmlichen Geräten zur Lawinenschüttetensuche. Der Central Manager verbindet sich mit allen Peripherals in seiner Reichweite und kann das sendende Gerät dann eindeutig identifizieren. Über die Signalstärke *RSSI* (*Received Signal Strength Indication*) kann dann eine ungefähre Entfernung berechnet werden. Dies erfolgt, indem die Signalstärke in einem Meter Abstand mit der aktuell gemessenen Signalstärke verrechnet wird. Während das Signal bei großem Abstand zum Verschütteten relativ ungenau ist, kommt bei zunehmender Nähe zum Sender eine

## 2 Grundlagen

sehr genaue Entfernungsbestimmung zu Stande.

Bluetooth Low Energy hat keine Probleme mit der Durchdringung von Schnee. In Feldversuchen in einem Gletscherskigebiet wurde das Peripheral mehrmals zwischen 0,5 und 1,5 Meter tief im Schnee vergraben (mittlere Verschüttungstiefe von 1992/93 bis 2011/12 in der Schweiz: 80cm [TZ13]). Das Signal war daraufhin noch im Umkreis von 20 bis 30 Metern ohne Probleme empfangbar. Bei geringer Entfernung zum Eingrabungspunkt war außerdem eine sehr genaue Angabe möglich. Hierbei wäre es ohne Probleme möglich gewesen, den Verschütteten durch eine Sondierung zu finden. Auch bei größeren Entfernungen war ersichtlich, ob der Suchende sich auf den Verschütteten zu- oder sich von ihm weg bewegte. Hierbei spielte auch das schlechte Wetter oder starker Wind keine Rolle. Diese Versuche zeigten, dass die Technologie dazu ausreicht, einen Verschütteten lokalisieren zu können.

Auch der Energieverbrauch der Technologie ist sehr gering. Bei Tests, in denen ein iPhone nur die entwickelte Anwendung ausführte, wobei diese im Modus *Senden* war, hielt der Akku des Smartphones mehrere Tage. Dies ist ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt, wenn berücksichtigt wird, dass ein Skifahrer den ganzen Tag auf der Skipiste verbringt, und ein Versagen des Akkus im Notfall fatale Folgen haben kann. Bei einer Verschüttung ist es inakzeptabel, dass ein hoher Energieverbrauch der Auffindbarkeit des Lawinenopfers Abbruch tut. Mit Bluetooth Low Energy ist der Energieverbrauch jedoch gering genug, so dass ein mehrtägiger Betrieb möglich ist.

### 2.3.3 Warum nicht iBeacon?

Ursprünglich war zur Realisierung der Verschüttetensuche beabsichtigt, die iBeacon Technologie zu verwenden. iBeacon ist ein von Apple Inc. eingeführter Standard, welcher auf Bluetooth Low Energy aufbaut und für ebensolche Anwendungen geeignet ist, in denen ein Gerät der Sender und ein anderes der Empfänger ist.

Das Empfängergerät erhält Informationen vom sendenden Gerät. Die iBeacon Technologie bietet auch einige für den Einsatz bei einer Verschüttetensuche nützliche Eigenschaften, wie beispielsweise die integrierte Entfernungsberechnung. Mit der Entwicklung von iBeacon wurde eine einfachere und umfangreichere Schnittstelle zu Bluetooth Low

Energy geschaffen. Somit wäre das Verwenden der iBeacon Technologie die einfachere Lösung des Anwendungsfalles gewesen [Inc15b].

Außer dem automatischen Übermitteln der Signalstärke und der daraus berechneten Entfernung unterscheiden sich die Konzepte von iBeacon und Bluetooth Low Energy kaum. Im Gegensatz zu Bluetooth Low Energy werden bei der iBeacon Technologie sogenannte *Major* und *Minor* IDs übertragen, welche zur Identifizierung der einzelnen Beacons helfen sollen. iBeacon ist folglich ein Standard, welcher den Übertragungskanal Bluetooth Low Energy nutzt und einige nützliche Übertragungsparameter enthält [War14].

Allerdings kann eine iOS-Anwendung nur im aktiven Zustand über diesen Standard Informationen übertragen. Sobald die Anwendung minimiert wird oder das Smartphone in den Standby-Modus wechselt, wird das Senden abgebrochen. Da bei einer Verschüttung nicht garantiert werden kann, dass sich die Anwendung aktiv im Vordergrund befindet, macht dieser Umstand die iBeacon Technologie für die Anwendung bei der Lawinenverschüttetensuche unbrauchbar. Deshalb wurde in dieser Arbeit nicht die iBeacon-Technologie, sondern natives Bluetooth Low Energy mit dem CoreBluetooth Framework von iOS verwendet.

### 2.3.4 Bluetooth Low Energy im Vergleich mit konventionellen LVS-Geräten

Beim Vergleich der beiden Technologien fallen sofort einige Unterschiede auf. Ein sehr zentraler Unterschied ist, dass mit der 3-Antennen-Technologie von modernen LVS-Geräten eine Richtungsbestimmung möglich ist. Dies ist mittels Bluetooth Low Energy bei nur einem Sender nicht möglich. Hier kann nur die Entfernung gemessen werden, was vergleichbar ist mit alten LVS, bei denen nur eine Antenne verbaut war.

Bluetooth Low Energy hat jedoch einen großen Vorteil bei einer Mehrfachverschüttung, also dann, wenn nach mehr als einer verschütteten Person gesucht werden muss. Während normale LVS-Geräte immer nur die Entfernung zum stärksten Signal, also dem nächstgelegenen Sender anzeigen, kann Bluetooth Low Energy die verschiedenen Sender anhand einer eindeutigen ID unterscheiden und somit die Entfernung zu allen

## 2 Grundlagen

Verschütteten gleichzeitig anzeigen. Bei der Feinsuche ist damit auch ausgeschlossen, dass die Sendesignale miteinander interferieren.

Die Genauigkeit von Bluetooth Low Energy erreicht nicht die Leistungen moderner LVS-Geräte. Die Entfernungsberechnung mittels der RSSI ist vor allem bei größeren Entfernungen relativ ungenau und zeigt keinen konstanten Wert an. Auch die Störanfälligkeit ist höher, beispielsweise durch andere elektronische Geräte oder Hindernisse, die sich zwischen Sender und Empfänger befinden.

Außerdem unterscheiden sich die Kosten zur Ermöglichung der Kameradensuche. Durch den Kauf einer Applikation entstehen Kosten zwischen €0 und €5. Ein professionelles LVS hingegen kostet ca. €350.

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass professionelle LVS-Geräte zuverlässiger, sicherer und genauer sind als jegliche Smartphone Technologie, die momentan existiert. Ein LVS mittels Bluetooth Low Energy kann den Vorteil haben, einige Zusatzfunktionen bieten zu können. Dies wird in dieser Arbeit untersucht.

### 2.3.5 Plattformspezifische Eigenschaften

Die Anwendung, die im Rahmen dieser Arbeit entwickelt wird, ist für die mobile Plattform iOS von Apple ausgelegt. Aufgrund der großen Verbreitung und intensiven Beschäftigung mit der Plattform in anderen Arbeiten werden die allgemeinen Aspekte dieser Plattform als bekannt vorausgesetzt. Hier wird daher nur insofern auf die Eigenschaften und Möglichkeiten von iOS eingegangen, wie dies in Verbindung mit der Verschüttetensuche relevant ist.

iOS macht es möglich, mit der Erlaubnis des Nutzers auch im Hintergrund, also wenn sich die Anwendung nicht aktiv im Vordergrund befindet, über Bluetooth Low Energy zu kommunizieren. Da bei einer Verschüttung niemals garantiert werden kann, dass sich die Anwendung im Vordergrund bleibt, ist dies ein entscheidendes Kriterium.

### 2.3.6 Eigenschaften der Programmiersprache Swift

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Anwendung wird mithilfe der Programmiersprache Swift implementiert. Swift ist eine neue Programmiersprache, die von Apple auf der Worldwide Developers Conference (WWDC) 2014 vorgestellt wurde. Neben Objective-C ist Swift nun eine weitere Möglichkeit, Anwendungen für die von Apple entwickelten Betriebssysteme zu implementieren. Swift wird jedoch mit der kommenden Version 2.0 als OSI-konforme Open Source Lizenz theoretisch auch für alle anderen Plattformen verfügbar sein.

Eine sofort ersichtliche Änderung im Gegensatz zu vielen anderen Programmiersprachen und im besonderen Objective-C ist, dass enorm viele, nicht unbedingt notwendige, Zeichen weggelassen wurden. Hierzu zählen zum Beispiel das Semikolon am Ende einer Zeile oder die Klammern bei den Bedingungen von Verzweigungen oder Schleifen. Außerdem gibt es im Vergleich zu Objective-C kein Header File. Diese Änderungen sollen den Programmcode in Swift leichter lesbar machen.

Swift unterstützt einige der neuen Programmierparadigmen, wie Closures, Tupel, mehrere Rückgabewerte, Generics, Optionals und viele mehr [Inc15c].



# 3

## Anforderungsanalyse

In diesem Kapitel werden die Anforderungen an die im Rahmen dieser Arbeit zu entwickelnde Anwendung definiert. Es geht hierbei um funktionale sowie nicht funktionale Anforderungen.

### 3.1 Funktionale Anforderungen

In diesem Abschnitt werden zunächst die funktionalen Anforderungen an die Anwendung definiert.

1. **Verschüttetensuche:** Die zentrale Funktion der Anwendung ist die Verschüttetensuche. Mit der Anwendung soll es ermöglicht werden, einen Wintersportler, der bei einem Lawinenabgang vollverschüttet wurde, finden zu können.

### 3 Anforderungsanalyse

- a) **Mehrfachsuche:** Die Mehrfachsuche ist der erste Schritt der Verschüttensuche. Hierbei muss zunächst das Signal eines Verschütteten gefunden werden.
    - i. Das Signal eines Verschütteten muss auch unter einer Schneedecke erkannt werden.
    - ii. Die jeweiligen Sendesignale der einzelnen Verschütteten müssen eindeutig identifizierbar sein und in einer Übersicht gleichzeitig und unterscheidbar dargestellt werden.
    - iii. Zu allen gefundenen Signalen wird eine approximierte Entfernung berechnet und dem Benutzer angezeigt.
  - b) **Einzelsuche:** Nachdem in der Mehrfachsuche Signale von Verschütteten gefunden wurden, gelangt der Benutzer durch die Auswahl eines Signals in die Einzelsuche. Diese dient zur genauen Lokalisierung eines Verschütteten.
    - i. In der Einzelsuche wird weiterhin eine Entfernung zum Verschütteten berechnet. Diese muss nicht exakt sein, es muss jedoch ersichtlich sein, ob der Suchende sich auf den Verschütteten zu bewegt oder sich von ihm entfernt.
    - ii. Das System erstellt bei einer Entfernung von mehr als fünf Metern aufgrund vorheriger Entfernungen einen Richtungsvorschlag.
    - iii. Bei weniger als fünf Metern Entfernung soll nur noch die approximierte Entfernung zur verschütteten Person angezeigt werden, da hier häufige Richtungswechsel erfolgen.
2. **Sendefunktion:** Befindet sich die Anwendung im Sendemodus, so muss auch bei Ausführung im Hintergrund gesendet werden und eine Lokalisierung möglich sein.
  3. **Notfallmanagement:** Um schnell Hilfe holen zu können, muss es möglich sein, direkt aus dem Suchmodus der Anwendung einen Notruf abzusetzen.
    - a) Die richtige Nummer soll im Notfall automatisch ausgewählt werden, damit die Notrufzentrale direkt kontaktiert werden kann.

- b) Die aktuelle Position des Lawinenunglückes soll direkt an die Rettungskräfte übermittelt werden. Dies ist wichtig, um möglichst wenig Zeit bei der Suche zu verlieren. Hierzu soll entweder eine direkte Positionsübermittlung stattfinden oder die Position für den Anwender leicht auslesbar sein.

Der Benutzer soll außerdem darüber aufgeklärt werden, wie er bei einem Notfall vorzugehen hat.

- 4. **Entscheidungsfindung:** Bei Variantenabfahrten sind Bewertungen des Risikos bezüglich der Befahrung eines Hanges unabdinglich. Denn nicht jeder Wintersportler will vollkommen auf die beliebten Variantenabfahrten verzichten. Die Anwendung soll den Nutzer deshalb auch bei der Einschätzung der Lawinengefahr unterstützen. Wichtige Informationen hierzu sind Lawinenwarnstufe, Hangneigung und Hangausrichtung, worauf bereits in Kapitel 2 eingegangen wurde.

- a) Die Lawinenwarnstufe ist die wichtigste Kennzahl zur Einschätzung des Risikos. Die Lawinenwarnstufe soll direkt in der Anwendung für möglichst viele Skigebiete abrufbar sein.
- b) Neben der Lawinenwarnstufe sollen auch aktuelle Bewertungen, wie in einem herkömmlichen Lawinenlagebericht enthalten, ausgewiesen werden. Dazu zählen unter anderem die aktuelle Wetterlage und professionelle Risikobewertungen.
- c) Die Hangneigung stellt einen sehr entscheidenden Faktor für die Risikobewertung dar. Je steiler ein Hang ist, desto höher ist die Gefahr für die Auslösung einer Lawine. Eine in der Anwendung integrierte Steigungsermittlung soll dem Nutzer helfen, die Hangneigung zu bestimmen.
- d) Durch die Anwendung soll die Ausrichtung des Smartphones ermittelt werden, womit daraufhin die Hangausrichtung (Nordhang, Südhang etc.) ermittelt werden kann.

- 5. **Aufklärung:** Da die Anwendung sich vor allem an Fahrer mit weniger Erfahrung im Freeridebereich wendet, soll mit dieser auch zur Gefahrenaufklärung beigetragen werden. Der Nutzer soll wichtige Informationen zum Thema Lawinenkunde und Lawinenverschüttetensuche abrufen können. Es ist hierbei wichtiger, die Informatio-

### 3 Anforderungsanalyse

nen verständlich darzustellen, als den Nutzer über alle Aspekte der Lawinenkunde aufzuklären. Dem Benutzer ist in erster Linie ein Einblick in die Lawinenkunde und das Notfallmanagement zu geben.

## 3.2 Nicht Funktionale Anforderungen

Nun wird auf die nicht funktionalen Anforderungen an die Anwendung eingegangen.

1. **Verschüttetensuche:** Bei der Verschüttetensuche ist vor allem die Zeit ein entscheidender Faktor. Durch schnelle Aktualisierungen und relativ genaue Angaben soll daher ein schnelles Auffinden des Lawinenopfers möglich sein.
  - a) Das Signal eines Lawinenverschütteten, der bis zu zwei Meter tief verschüttet ist, soll korrekt erkannt werden.
  - b) Der Umkreis, in der das Signal erkannt wird, muss mindestens 20 Meter betragen.
  - c) Die Anwendung muss den Entfernungswert zum Verschütteten mindestens im Abstand von 0,2 Sekunden aktualisieren.
  - d) Die Entfernungsberechnung muss innerhalb von ca. zwei Sekunden nach dem Verbindungsaufbau sichtbar sein.
  - e) Der Entfernungswert darf um maximal 20% von der tatsächlichen Entfernung abweichen.
  - f) Die berechnete Entfernung darf keine Sprünge von mehr als 30% aufweisen, da sonst eine Richtungsbestimmung enorm schwierig ist.
  - g) **Mehrfachsuche:** Bei der Übersicht über alle empfangenen Signale soll der Benutzer schnell entscheiden können, welches Signal er verfolgen will. Dies wird durch eine anschauliche Übersicht über alle Signale realisiert.
    - i. Alle empfangenen Signale müssen sich deutlich sichtbar unterscheiden.
    - ii. Es müssen mindestens zehn Signale gleichzeitig dargestellt und aktualisiert werden.

- h) **Einzeluche:** In der Einzeluche ist das schnelle Erkennen der Entfernung zum Verschütteten wichtig.
  - i. Wenn der Nutzer sich auf den Sender zubewegt soll er nach einer Entfernungsänderung von maximal 15% erkennen, ob er sich entfernt oder sich auf das Opfer zubewegt.
  - ii. Bei der Suche nach einem Verschütteten wird die Entfernung bis auf den Zentimeter genau ausgerechnet, um auch bei geringen Entfernungen eine Änderung erkennen zu können. Hierbei kann die berechnete Entfernung jedoch von der tatsächlichen Entfernung abweichen.
  - iii. Die Richtungsangaben sollen jeweils maximal 90 Grad von der tatsächlichen Richtung unterscheiden, in der sich der Verschüttete befindet.
  - iv. Der Benutzer kann die Richtungshilfen zu Gunsten der Übersichtlichkeit abschalten.
- 2. **Sendefunktion:** Das Senden innerhalb der Anwendung muss dem Benutzer verdeutlicht werden. Hierbei muss klar erkennbar sein, ob die Anwendung sich im Sendemodus befindet, oder nicht.
- 3. **Notfallmanagement:** Aufgrund der Wichtigkeit des Notrufes muss diese Funktion einfach zu finden und leicht zu bedienen sein.
- 4. **Entscheidungsfindung:** Bei der Entscheidungsfindung ist ein schneller und akkurater Zugang zu den gewünschten Informationen notwendig.
  - a) Der wichtigste Aspekt des Lawinenlageberichtes ist die Lawinenwarnstufe. Deshalb muss diese direkt ersichtlich sein.
  - b) Die Hangneigung muss bis auf einen Grad genau gemessen werden. Die Messung muss sich innerhalb von weniger als einer halben Sekunde aktualisieren.
  - c) Die Ausrichtung des Smartphones muss nicht exakt ausgegeben werden, es muss jedoch ersichtlich sein, in welche Himmelsrichtung das Smartphone

### 3 Anforderungsanalyse

zeigt. Auch diese Information muss innerhalb einer halben Sekunde aktualisiert dargestellt werden.

5. **Aufklärung:** In anschaulichen Darstellungen soll der Benutzer über die Lawinkunde und Verschüttetensuche aufgeklärt werden.

## 3.3 Zusammenfassung der Anforderungen

In der folgenden Tabelle werden die oben definierten Anforderungen an die Anwendung zusammengefasst.

Tabelle 3.1: Zusammenfassung der Anforderungen

<b>Kontext</b>	<b>Funktional</b>	<b>Nicht-Funktional</b>
Verschüttetensuche	Finden des Lawinenverschütteten mittels Smartphone möglich	Schnelle Aktualisierung der Entfernungsangaben, Hilfreiche Entfernungsangaben
Notfallmanagement	Absetzen eines Notrufes aus der Anwendung möglich, Automatische Auswahl der Notrufzentrale	Notruf leicht sichtbar und schnell abzusetzen
Entscheidungsfindung	Anzeigen von Lawinenwarnstufen, Hangneigung und -exposition	Genaue Berechnung der Hangneigung und -exposition, Schnelle Aktualisierung der Daten
Aufklärung	Bereitstellung von Informationen aus der Lawinkunde	Übersichtlichkeit der Informationen

# 4

## Implementierung

In diesem Kapitel wird auf die Realisierung und Implementierung der Anwendung eingegangen. Hierbei wird die der Anwendung zugrundeliegende Architektur veranschaulicht. Außerdem wird im Folgenden die technische Umsetzung der in Kapitel 3 definierten Anforderungen dargestellt. Dabei werden im Einzelnen die Funktionsbereiche der Bluetooth Sendefunktion, der Bluetooth Suche, des Abrufens einer Lawinenwarnstufe, des Anzeigens von Steigung und Ausrichtung des Gerätes sowie die Notruffunktion erklärt.

### 4.1 Architektur

In diesem Abschnitt wird die Architektur des Systems erläutert. Hierbei wird zunächst die Struktur der implementierten Anwendung vorgestellt.

## 4 Implementierung

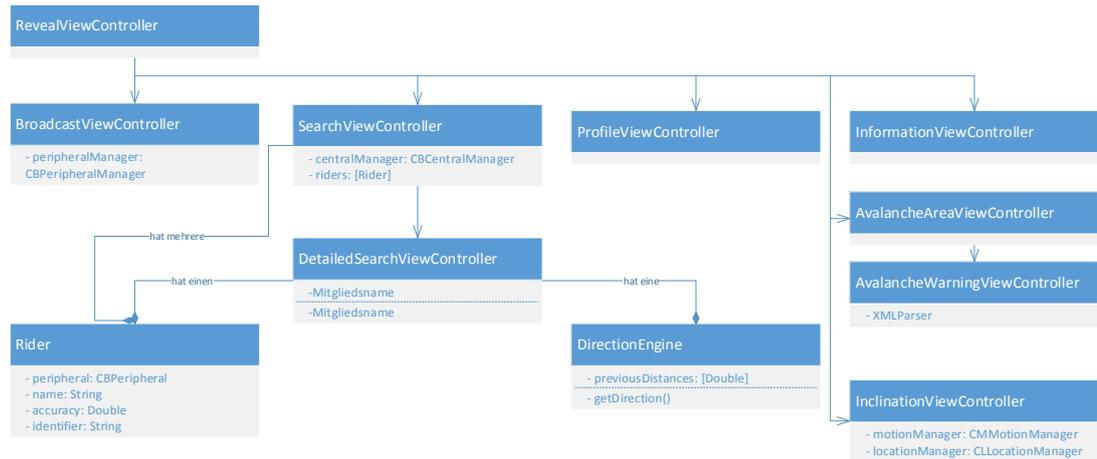


Abbildung 4.1: Architektur der mobilen Anwendung

In Abbildung 4.1 ist die Architektur der mobilen Anwendung dargestellt. Man sieht als zentralen Verwaltungspunkt den *RevealViewController*. Dieser ist für die Darstellung der einzelnen Views in der Anwendung zuständig. Der Benutzer kann hier zwischen den zentralen Funktionen der Anwendung wechseln. Diese sind *Senden*, *Suchen*, *Profilverwaltung*, *Information über Lawinenkunde*, *Hangneigungs- und Ausrichtungsbestimmung* und *Abrufen von Lawinenlageberichten*. Durch diese Implementierung werden die verschiedenen Anwendungsszenarien voneinander getrennt. Der Benutzer kann so je nach Situation entscheiden, welche der zuvor genannten Funktionen der Anwendung ausgeführt werden soll. Dieses Konzept wurde von dem konventioneller LVS übernommen, bei denen zwischen Senden und Suchen durch einen Schalter gewechselt werden kann. Auch in der Anwendung wurden diese Teile durch den *BroadcastViewController* und die ViewController zur Suche logisch voneinander getrennt.

Die Suchfunktion wurde in zwei Teile aufgeteilt: die Mehrfachsuche (in der Abbildung als *SearchViewController* sichtbar) und die Einzelsuche (*DetailedSearchViewController*). Hierbei geht es darum, dass bei der Mehrfachsuche mehrere Signale gleichzeitig angezeigt werden. Es kann also nach mehreren potentiell verschütteten Personen gleichzeitig gesucht werden.

Bei der Einzelsuche wird nur nach einer Person gesucht. Die Einzelsuche folgt immer

erst nach der Mehrfachsuche, wenn die Suche durch Auswahl auf ein Signal beschränkt wird. Daher hat der *SearchViewController* mehrere Objekte vom Typ *Rider*, wohingegen der *DetailedSearchViewController* nur ein solches Objekt besitzt. Außerdem hat der *DetailedSearchViewController* ein Objekt vom Typ *DirectionEngine*, um Richtungsvorschläge anzeigen zu können.

Der *AvalancheAreaViewController* dient zur Auswahl eines Skigebietes, für welches ein Lawinenlagebericht abgerufen werden soll. Dieser wird dann im *AvalancheWarningViewController* angezeigt.

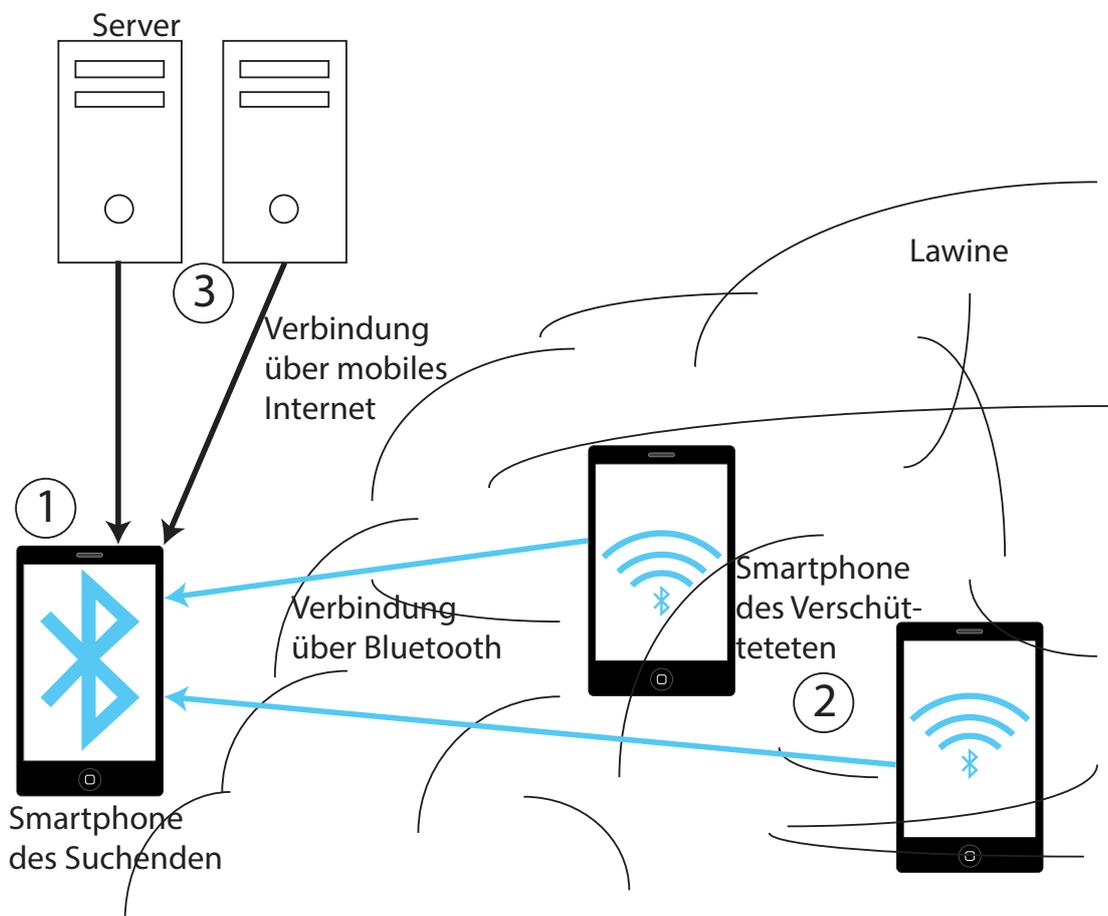


Abbildung 4.2: Architektur der Schnittstellen

Abbildung 4.2 zeigt die Szenarien der Verschüttetensuche und des Abrufens eines

## 4 Implementierung

Lawinenlageberichtes in der Anwendung.

① ein Smartphone im Suchmodus. Dieses empfängt von den verschütteten Smartphones ② je ein Signal über Bluetooth, was durch die blauen Pfeile dargestellt ist. So kann die Entfernung zu verschütteten Personen berechnet werden und die Suche nach diesen erfolgen. Auf die genaue Auswertung dieses Signal wird in Abschnitt 4.3 genauer eingegangen.

Außerdem ist in Abbildung 4.2 dargestellt, dass die Anwendung mit Servern ③ kommuniziert. Diese Schnittstelle dient zum Herunterladen und Anzeigen des aktuellen Lawinenlageberichtes. Dieser Vorgang ist in Abschnitt 4.4 genauer beschrieben.

Aufgrund der Tatsache, dass beim Skifahren im Gelände oft kein Zugang zum Internet möglich ist, wurde auf weitere Serverkommunikation verzichtet.

### 4.2 Sendefunktion der Anwendung

Für die im Rahmen dieser Arbeit entwickelte mobile Anwendung wurde Bluetooth Low Energy verwendet, um ein potentiell verschüttetes Smartphone lokalisierbar zu machen. Hierbei wird das Smartphone im Sendemodus zum Bluetooth-Peripheral. Dem Peripheral wird hierzu ein Service mit einer speziellen UUID hinzugefügt, um später erkennen zu können, ob das empfangene Signal von der Anwendung verwertet werden kann und um das Signal von anderen Bluetooth Signalen unterscheidbar zu machen.

Diesem Service werden anschließend notwendige *Characteristics*, Eigenschaften des Services, hinzugefügt. Diese haben je wieder eine UUID zur Identifikation.

Für die Sendefunktion dieser Anwendung wurden Characteristics für die einmalige Geräte-ID und für den Namen des Nutzers der Anwendung verwendet. Diese dienen zur Identifizierung des gefundenen Signals durch die Anwendung (Geräte-ID) und durch den Benutzer (Name). Der Name, der beim Senden übertragen wird, kann vom Nutzer manuell eingestellt und ausgewählt werden und wird zur Anzeige auf dem suchenden Gerät verwendet.

Die Geräte-ID ist notwendig, um die verschiedenen Geräte bei der Mehrfachverschüttensuche systemseitig unterscheiden zu können.

Die Anwendung wurde so konzipiert, dass sie beim Sendevorgang auch im Hintergrund

weiterhin als Peripheral fungiert und ein potentielles Lawinenopfer immer auffindbar ist. Sobald der Suchmodus aktiviert wird, sind die oben beschriebenen Characteristics abrufbar und ein Lawinenopfer kann somit erkannt und identifiziert werden.

### 4.3 Bluetooth Suche

Im Suchmodus wirkt die Anwendung als Bluetooth Central Manager. Dieser Central Manager wurde so entwickelt, dass alle 50 ms der RSSI-Wert aller verbundenen Peripherals ausgelesen wird. Es kommt bei Bluetooth Low Energy häufig vor, dass ein Peripheral die Verbindung verliert und nicht wieder als dasselbe Peripheral erkannt wird. Dies gilt es zu vermeiden um im Notfall mögliche Verwirrung zu verhindern. Daher wurde nicht allein mit den Peripherals gearbeitet, sondern für jeden gefundenen Verschütteten ein Objekt vom Typ *Rider* erstellt. Durch dieses Vorgehen kann ein empfangenes Signal mit allen vorhandenen Rider Objekten verglichen werden. Der Aufbau dieses Objektes wird in Abbildung 4.3 verdeutlicht.

Rider
<pre>var peripheral: CBPeripheral var RSSI: Double? var name = "Peripheral" var accuracy: Double? var identifier: String</pre>
<pre>init (identifier: String, peripheral: CBPeripheral)</pre>

Abbildung 4.3: Objekt für empfangenes Signal von Lawinenopfern

#### 4 Implementierung

Abbildung 4.4 zeigt das Vorgehen bei Empfang eines neuen Signals. Dieses Vorgehen wird im Folgenden erläutert.

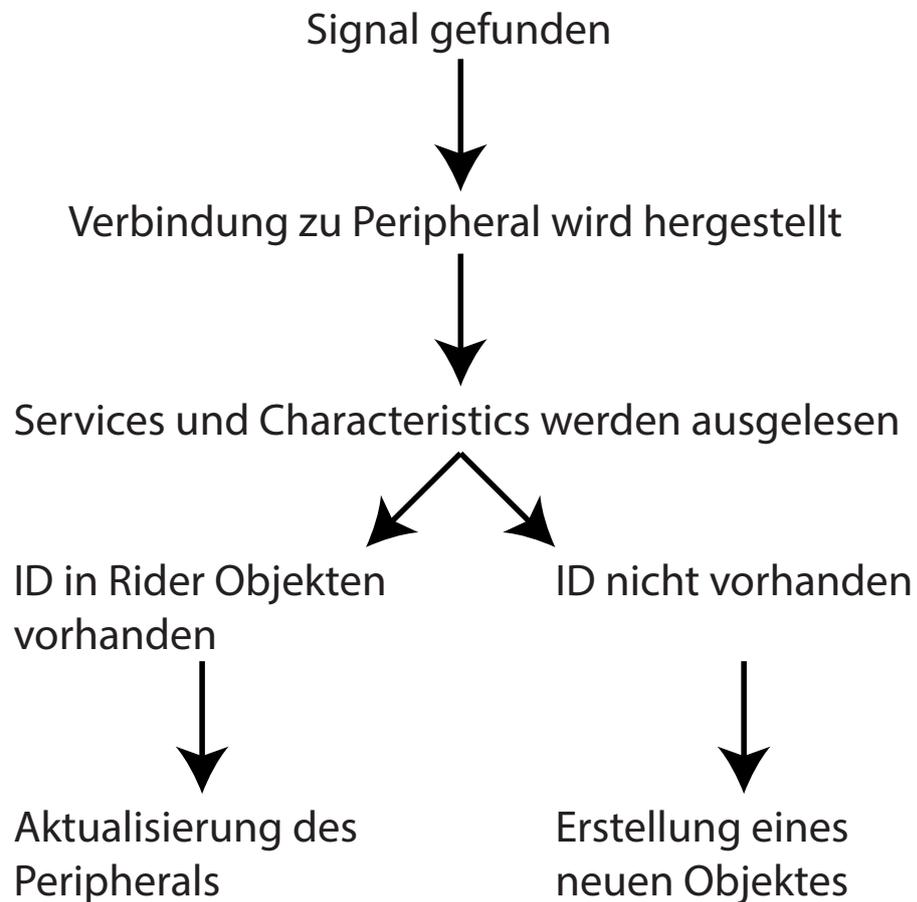


Abbildung 4.4: Vorgang nach Empfang eines neuen Signals

Sobald ein Peripheral vom Central Manager erkannt wird, wird dieses einem eigenen Array hinzugefügt und eine Verbindung zu dem Peripheral hergestellt. Hier wird für das Peripheral jedoch zunächst kein Objekt erstellt. Dies kann noch nicht erfolgen, da nicht bekannt ist, ob es sich um ein neues Peripheral, oder um ein Peripheral handelt, welches

sich nach Verbindungsverlust nur neu verbindet.

Anschließend sucht der Central Manager nach den Services des neu verbundenen Peripheral. Anhand des gefundenen Services wird über den Central Manager nun auf die Characteristics des Peripheral zugegriffen, wodurch der Identifier, welcher in Abschnitt 4.2 beschrieben wurde, ausgelesen wird.

Nachdem der Identifier des Peripherals bekannt ist, wird er mit den Identifiern aller vorhandener Rider Objekte verglichen, um festzustellen, ob dieses Signal schon einmal vorhanden war. Ist der Identifier bereits vorhanden, so handelt es sich lediglich um ein Peripheral, welches die Verbindung temporär verloren hat. Bei dem Objekt mit demselben Identifier, den auch das verbundene Peripheral hat, wird lediglich das Peripheral und gegebenenfalls der Name aktualisiert.

Ist der Identifier bei keinem vorhandenen Objekt zu finden, so wird ein neues Rider Objekt anhand des Peripherals und des Identifiers erstellt (Methode *init* in Abbildung 4.3). Anschließend wird über das Auslesen der Name-Characteristic der Name des neuen Rider Objektes gesetzt. Nun kann das Objekt zur Anzeige auf der Benutzeroberfläche verwendet werden und der RSSI-Wert wird regelmäßig aktualisiert.

Dieser Mechanismus ist notwendig, um verhindern zu können, dass derselbe Verschütete mehrfach in der Liste aller gefundener Peripherals auftaucht.

Der RSSI-Wert wird in regelmäßigen Abständen bei allen vorhandenen Objekten aktualisiert. Gleichzeitig wird auch immer eine Berechnung der Entfernung zur verschütteten Person durchgeführt, welche auf der Variable *accuracy*, eine Verrechnung des RSSI-Wertes mit der Signalstärke in einem Meter Entfernung, gespeichert wird. Dieser *accuracy* Wert stellt eine berechnete Entfernung zum Peripheral dar und wird für die Entfernungsbestimmung in der Anwendung verwendet.

Die Signalstärke des Senders kann leider nicht ausgelesen werden und muss daher durch Versuche angenähert werden. Die Entfernungsberechnung stellt deshalb und aufgrund der Ungenauigkeit des Signals einen Näherungswert dar, der nicht unbedingt exakt der tatsächlichen Entfernung entspricht. Es handelt sich nicht um eine exakt gemessene Entfernungsangabe, sondern um das Resultat einer, durch mehrere Versuche ermittelten, Umrechnungsformel. Diese Problematik wurde in [Sta15] betrachtet und mit einer Annäherungsformel gelöst. In der hier entwickelten Anwendung wird die Entfernung

## 4 Implementierung

mit derselben Umrechnungsformel berechnet.

Die Verschüttetensuche wurde in eine Mehrfach- und Einzelsuche unterteilt. Auf die Eigenschaften der unterschiedlichen Suchmethoden wird im Folgenden eingegangen.

### 4.3.1 Mehrfachsuche

Bei der Mehrfachsuche nach Verschütteten verbindet die Anwendung sich mit allen Peripherals, deren Signale in Erkennungsreichweite des Suchgerätes sind. Diese werden daraufhin ausgewertet und gegebenenfalls als Objekt aus Abbildung 4.3 dargestellt.

Bei der Mehrfachsuche werden die Entfernungen zu allen Verschütteten, deren Signale empfangen werden, in einer Tabelle dargestellt und der Benutzer erhält eine Übersicht über alle Signale, die sich in seiner Reichweite befinden. Hierbei geht es darum, möglichst viele Signale zu erkennen und dem Benutzer so eine Entscheidung zu ermöglichen, welches Signal verfolgt werden soll.

Um die Entfernung vom Sender zum Empfänger bestimmen zu können, wird der RSSI-Wert verwendet. Da der RSSI-Wert jedoch sehr stark schwankt und daher keine Tendenz bei der Entfernung ablesbar ist, wird er wie folgt geglättet:

```
1 rssi = oldRssi*0,8 + newRssi*0,2
```

Listing 4.1: Glättung des RSSI-Wertes

Diese Glättungsfunktion erster Ordnung ist das Ergebnis mehrerer Versuche. Mit diesen Werten wurde in der Versuchsreihe eine akzeptable Aktualisierungsrate trotz geringer Sprunghaftigkeit des Wertes erreicht. Die Glättung des RSSI-Wertes ist deshalb wichtig, da ansonsten sehr große Sprünge in der Entfernungsangabe existieren und keine eindeutige Tendenz festgestellt werden kann.

Außerdem werden bei der Berechnung extreme Werte, solche die weniger als 50 oder mehr als 150% des ursprünglichen Wertes entsprechen, ignoriert. Lediglich die restlichen Werte werden für die Berechnung der Entfernung herangezogen. Dieser Ausschluss von Extremwerten ist notwendig, um zu vermeiden, dass der Nutzer durch extreme Schwankungen in der Abstandsberechnung zum Verschütteten verwirrt wird und keine klare Richtung für seine Suche bestimmt werden kann.

Nachdem bei der Mehrfachsuche eine Übersicht über alle vorhandenen Signale gegeben wurde, kann der Benutzer in die nachfolgend beschriebene Einzelsuche wechseln.

#### 4.3.2 Einzelsuche

Sobald der Benutzer in der Mehrfachsuche eine Entscheidung über die Auswahl eines bestimmten Eintrags in der Tabelle der gefundenen Signale trifft, gelangt er zur Einzelsuche. In der Einzelsuche wird nur die Entfernung zum gewählten Wintersportler angezeigt. Die Suche beschränkt sich dabei auf ein einziges Signal, um sich auf die Lokalisierung einer verschütteten Person zu konzentrieren. Die Berechnung der Entfernung zum Lawinenopfer und die Verbindung mit dem Peripheral erfolgt hierbei auf dieselbe Weise wie bei der Mehrfachsuche.

Bei der Einzelsuche werden von der Anwendung zusätzlich Vorschläge generiert, in welche Richtung der Nutzer sich bewegen muss, um sich dem Verschütteten anzunähern. Um dies zu ermöglichen, wurde eine Klasse für die Richtungsbestimmung implementiert. Diese generiert einen Richtungsvorschlag, basierend auf der bisherigen Richtung und einer Reihe von aufgezeichneten Entfernungswerten zum Verschütteten. Bei der Richtungsbestimmung zur Suche eines Verschütteten wird angenommen, dass der Benutzer sich entweder auf den Verschütteten zubewegt oder sich von ihm entfernt. Mit dieser Annahme wurde eine Funktion implementiert, die dem Nutzer vorschlägt, in welche Richtung er sich bewegen soll, um sich dem Verschütteten zu nähern.

Nähert sich der Nutzer beispielsweise dem verschütteten Kameraden, wird er aufgefordert weiter in die bisherige Richtung zu gehen. Entfernt er sich vom Verschütteten, wird er aufgefordert umzudrehen und sich an dem Punkt, an dem die Entfernung zu dem Verschütteten am geringsten war, nach rechts oder links zu drehen. Dieses Vorgehen resultiert im Optimalfall darin, dass sich der Suchende sich dem Lawinenopfer immer weiter annähert und nach kurzer Zeit im direkten Umfeld des Opfers befindet.

## 4 Implementierung

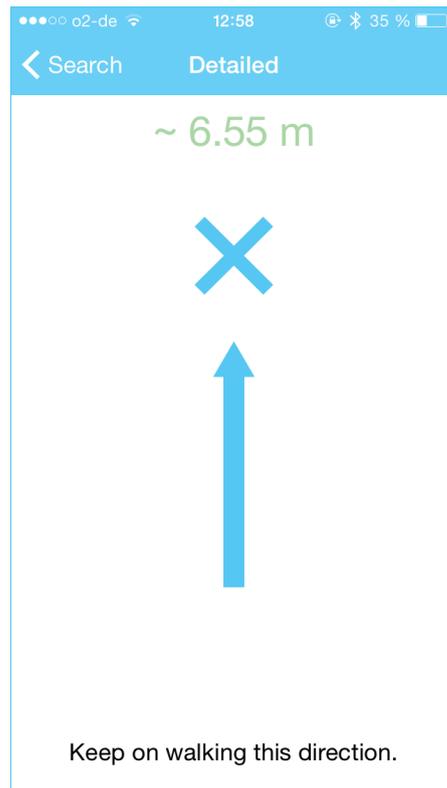


Abbildung 4.5: Einzelsuche in der Anwendung

Abbildung 4.5 stellt die Ansicht in der Einzelsuche dar. Die oben angezeigte Zahl zeigt die berechnete Entfernung zum Sender. Die Farbe der Entfernungsangabe ist grün bei Annäherung an den Verschütteten und wird rot, wenn sich die Entfernung zum Verschütteten vergrößert. Der Pfeil symbolisiert zusätzlich die Richtung, in der der Verschüttete vermutet wird. Im unteren Bereich der Abbildung 4.5 wird ein weiteres Vorgehen bei der Suche eines Verschütteten vorgeschlagen.

Sobald eine Entfernung von weniger als fünf Metern erreicht ist, und Richtungsänderungen häufiger werden, sowie genaue Entfernungsangaben an Wichtigkeit gewinnen, werden keine Richtungsvorschläge mehr erstellt. Es kommt nun darauf an, die genaue Position des Verschütteten auszumachen, um ihn bergen zu können. Hierbei muss durch bodennahe Suche versucht werden, den Punkt des geringsten Abstandes zum Verschütteten zu finden. Ist dies erfolgt, so kann mit der Sondierung begonnen und ein Verschütteter anschließend ausgegraben werden.

Mit dieser Abfolge aus Lokalisieren des Signals in der Mehrfachsuche und anschließend Annähern und Punktorten des Signals in der Einzelsuche wird das allgemeine Vorgehen bei der Lawinenverschüttetensuche aus Kapitel 2 in der Anwendung aufgegriffen und umgesetzt.

### 4.4 Lawinenwarnstufe

Die Lawinenwarnstufe, wie in Abbildung 4.6 dargestellt, wird über den kanadischen Standard CAAML (Canadian Avalanche Association Markup Language) erfasst.



Abbildung 4.6: Lawinenwarnstufe in der Anwendung

CAAML ist ein auf XML und GML basierender Standard von der kanadischen Organisation *Canadian Avalanche Association*. Das Konsortium für diesen Standard besteht aus

#### 4 Implementierung

mehreren internationalen Instituten, namentlich der Canadian Avalanche Association, dem Canadian Avalanche Centre, Parks Canada, den European Avalanche Warning Services, dem Tyrolean Avalanche Warning Service, dem WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF, der Associazione Interregionale Neve e Valanghe (AINEVA) und dem Colorado Avalanche Information Center [caa15].

Die tagesaktuellen Lawinenwarndaten werden über die jeweiligen Webserver von den verfügbaren Stationen angefordert und in der Anwendung verarbeitet. Daraufhin können dem Nutzer wichtige Informationen wie Lawinenwarnstufe und textuelle Empfehlungen in Form eines Lawinenlageberichtes zur Verfügung gestellt werden (Abbildung 4.6). Hierbei wurde vor allem Wert auf die Einfachheit des Lawinenlageberichtes gelegt. Nur die in dem jeweiligen Skigebiet höchste Warnstufe wird angezeigt. Abhängigkeiten von Höhe und Exposition werden nicht mit einbezogen. Zur Visualisierung der Lawinenwarnstufe werden die in Europa standardisierten Warnstufenicons verwendet. Der Nutzer kann somit einen einfachen Überblick über die aktuelle Lawinenlage erhalten ohne durch eine Vielzahl komplexer Informationen überfordert zu werden. Detaillierte Berichte können daraufhin direkt beim Anbieter eingeholt werden.

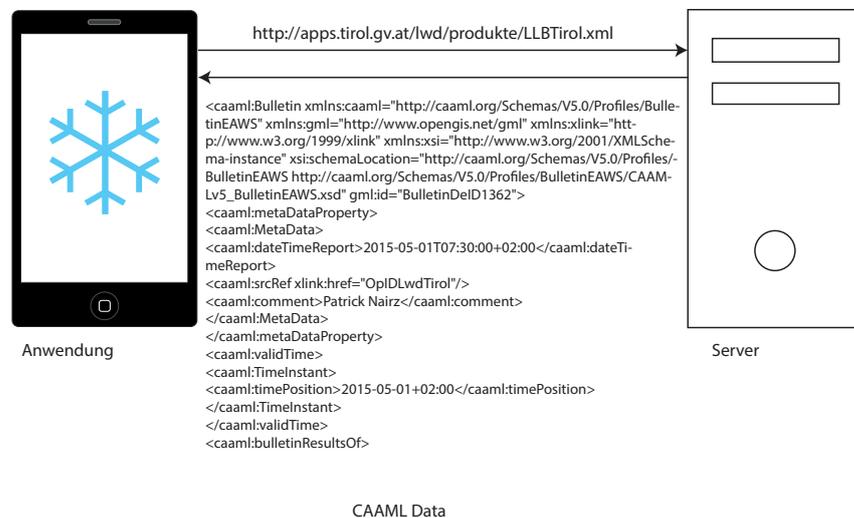


Abbildung 4.7: Anforderung des Lawinenlageberichtes

Das Abrufen des Lawinenlageberichtes erfolgt über eine URL von dem jeweiligen Webserver des Anbieters wie in Abbildung 4.7 dargestellt. Das empfangene Dokument wird dann mittels einem XMLParser verarbeitet. Hierbei wird der XMLParser mit einer URL wie folgt aufgerufen:

```
1 url = "http://apps.tirol.gv.at/lwd/produkte/LLBTirol.xml"  
2 parser = NSXMLParser(contentsOfURL: (NSURL(string: url)))!
```

Listing 4.2: Aufrufen des XMLParsers

Anschließend wird der Übersetzungsvorgang gestartet und anhand der Tags in dem CAAML Dokument die wichtigsten Inhalte des Lawinenlageberichtes ausgelesen. Beim Verarbeiten wird hierbei nach den entscheidenden Tags gesucht und ihr Inhalt weiter verarbeitet. Gelangt man auf die Ebene in dem Dokument, an der nur noch Inhalt und keine weiteren Tags zu finden sind, so wird dieser ausgelesen und in der Anwendung zur Anzeige verwendet. Die Lawinenwarnstufe wird daraufhin mit den standardisierten Lawinenwanstufenicons wie in Abbildung 4.6 dargestellt, angezeigt. Zusätzlich werden dem Benutzer Kommentare zur aktuellen Lawinenlage bereitgestellt [SSPR15].

## 4.5 Steigung und Kompass

Über die Sensoren des Smartphones kann die Anwendung die Hangneigung und die Hangausrichtung bestimmen, was für die Einschätzung des Lawinenrisikos sehr wichtig ist. Dies ist in Abbildung 4.8 dargestellt.

Die Hangneigung wird mit Hilfe des *MotionManagers*, welcher kleinste Bewegungen des Smartphones registriert, bestimmt. Dazu wird der *Pitch* des iPhones ausgelesen und wie in Abbildung 4.8 veranschaulicht, dargestellt. Der *MotionManager* berechnet hierbei den korrekten Winkel im Bogenmaß. Dieser muss anschließend noch in das Gradmaß umgerechnet und normalisiert werden, damit keine negativen Werte oder Werte größer 90 Grad auftreten [SPSR15].

Über den *LocationManager*, der für die Position des Smartphones zuständig ist, wird die Kompassausrichtung des Gerätes ausgelesen. Hierbei wird die Gradverschiebung

#### 4 Implementierung

zu Norden berechnet und die in Abbildung 4.8 dargestellte Kompassnadel je nach Ausrichtung des Smartphones gedreht [Gei12].

Der Benutzer kann nun, wie in Abbildung 4.8 dargestellt, anhand der Ausrichtung und der Neigung des Hanges, die am aktuellen Hang existierende Gefahr einschätzen.

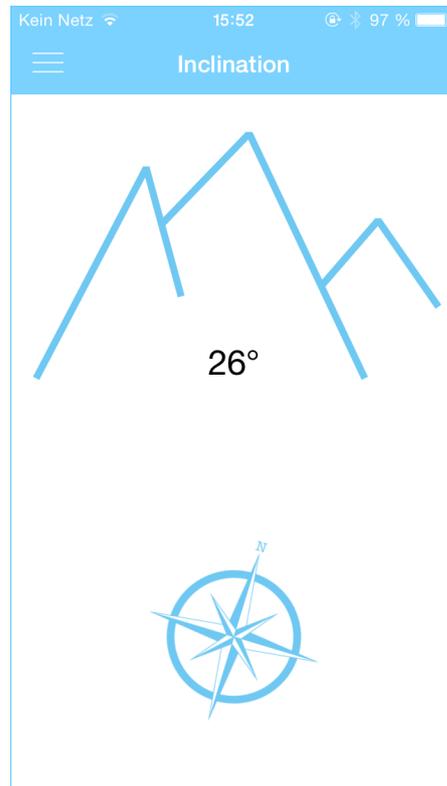


Abbildung 4.8: Hangneigung und -ausrichtung in der Anwendung

### 4.6 Notruf

Sobald der Benutzer in den Suchmodus der Anwendung wechselt, hat er die Möglichkeit, direkt aus der Anwendung einen Notruf abzusetzen. Da dies normalerweise immer der erste Schritt bei der Lawinenverschüttensuche ist, wird diese Möglichkeit dem Benutzer direkt beim Aufruf der Verschüttetensuche eröffnet. Wird diese Funktion gewählt, so wird

von der Anwendung aufgrund der geografischen Position des Smartphones aus einer Liste automatisch und direkt die passende Notrufnummer für einen Notruf verwendet. Für Europa wäre dies beispielsweise die 112. Um schnell Hilfe zu holen geht so keine wertvolle Zeit verloren.

Die Telefonanwendung des Smartphones wird sofort über einen URL-Aufruf aufgerufen und der Notruf abgesetzt:

```
1 UIApplication.sharedApplication().openURL("tel://112")
```

Listing 4.3: Absetzen eines Notrufes

Nach dem Beenden des Notrufs kann sofort mit der Suche begonnen werden, da die Anwendung nach dem Telefonat wieder aktiv wird und sich an dem Punkt befindet, an dem sie verlassen wurde.



# 5

## Anforderungsabgleich

Dieses Kapitel dient der Gegenüberstellung der in Kapitel 4 realisierten Charakteristika und der ursprünglich in Kapitel 3 definierten Anforderungen an die Anwendung. Die Erfüllung der Anforderungen wird jeweils in Prozent von 0 bis 100 bewertet.

### 5.1 Abgleich der funktionalen Anforderungen

Im Folgenden werden die in Kapitel 3 an die Anwendung gestellten funktionalen Anforderungen mit der erreichten Funktionalität verglichen.

1. **Verschüttetensuche:** Die Verschüttetensuche ist mit der Anwendung möglich und wurde in einem Feldversuch erfolgreich getestet. Bei dem Vergraben eines Smartphones im Schnee konnte das Signal erkannt und die Entfernung berechnet

## 5 Anforderungsabgleich

werden. Hiermit ist diese allgemeine Anforderung komplett erfüllt. Aus den folgenden Bewertungen der Verschüttetensuche insgesamt ergibt sich insgesamt ein Erfüllungsgrad für die Verschüttetensuche von 80%.

a) **Mehrfachsuche:** Bei der Mehrfachsuche ist es möglich, alle Signale zeitgleich zu empfangen. Auch hier ist also die Anforderung erfüllt. Aus den folgenden Bewertungen der einzelnen Komponenten der Mehrfachsuche ergibt sich ein Erfüllungsgrad von 80%.

i. Bei Feldversuchen wurde ein Smartphone in einem Geltscherskigebiet mehrmals ca. einen Meter tief im Schnee vergraben und anschließend gesucht. Dies war möglich. Das Signal wurde auch unter der Schneedecke gut erkannt. Bei tieferem Vergraben nahm das Signal jedoch ab, was die Effektivität ein wenig mindert. Erfüllungsgrad 80%.

ii. Die Identifizierung der Sender ist ohne Probleme möglich und wird anhand einer eindeutigen Geräte-ID realisiert. Erfüllungsgrad 100%.

iii. Die Entfernungsberechnung mithilfe des RSSI-Wertes ist möglich. Daher kann die Entfernung zu einer verschütteten Person approximiert werden. Leider ist die Entfernungsmessung nicht sehr genau und unterliegt merklichen Schwankungen. Bei großen Entfernungen liegt die berechnete Entfernung oft deutlich über der tatsächlichen Entfernung. Erfüllungsgrad 60%.

b) **Einzelsuche:** Die genaue Lokalisierung eines Verschütteten in der Einzelsuche ist möglich und wurde erfolgreich getestet. Entfernungen werden berechnet und es ist dem Benutzer ersichtlich, ob er sich einem Verschütteten nähert. Aus den folgenden Komponentenbewertungen ergibt sich die Erfüllungsgrad 80%.

i. Die Genauigkeit der Entfernungsbestimmung ist bei größeren Entfernungen zum Lawinenopfer nicht perfekt. Auch hier gibt es leider in manchen Fällen Schwankungen, die einen unerfahrenen Nutzer eventuell verwirren könnten. Insgesamt entspricht die berechnete Entfernung bei größeren Distanzen nicht der tatsächlichen Entfernung, sondern liegt in der Re-

## 5.1 Abgleich der funktionalen Anforderungen

gel über dem tatsächlichen Wert. Es ist zwar meist ersichtlich, ob man sich auf den Verschütteten zu oder sich von ihm weg bewegt. In der Genauigkeit besteht jedoch noch Optimierungspotential. Erfüllungsgrad 60%.

- ii. Richtungsvorschläge werden vom System generiert. Aufgrund der Schwankungen und der Ungenauigkeit der Entfernungen sind diese jedoch nicht vollkommen zuverlässig. In seltenen Fällen werden somit falsche Richtungsvorschläge generiert, was den Benutzer verwirren und die Suche erschweren kann. Erfüllungsgrad 60%.
  - iii. Bei Entfernungen von weniger als fünf Metern ist die Ungenauigkeit der Entfernungsberechnung nur unwesentlich, weshalb die Feinsuche sehr detailliert durchgeführt werden kann. Hier ist der berechnete Entfernungswert wesentlich genauer und Schwankungen wesentlich geringer. Erfüllungsgrad 100%.
2. **Sendefunktion:** Das Senden im Hintergrundbetrieb ist mit Bluetooth Low Energy problemlos möglich. Erfüllungsgrad 100%.
  3. **Notfallmanagement:** Ein Notruf kann direkt aus der Anwendung abgesetzt werden. Hierbei wird die Notrufnummer automatisch ausgewählt. Leider ist eine Positionsübermittlung direkt aus der Anwendung nicht möglich. Erfüllungsgrad 60%.
  4. **Entscheidungsfindung:** Zur Entscheidungsfindung werden viele hilfreiche Informationen bereitgestellt. Hierzu zählen Lawinenlagebericht, Hangneigung und Hangausrichtung. Der einzige Kritikpunkt hierbei ist, dass der für diese Anwendung genutzte Standard für Lawinenlageberichte nicht von vielen Skigebieten unterstützt wird. Erfüllungsgrad 80%.
  5. **Aufklärung:** Zur Aufklärung sind interessante Informationen in der Anwendung vorhanden. Der Benutzer wird auf die Gefahr des alpinen Wintersportes hingewiesen und erhält Informationen zur Lawinenkunde und Lawinenverschüttetensuche. Erfüllungsgrad 100%.

## 5.2 Abgleich der nicht funktionalen Anforderungen

In diesem Abschnitt wird ein Vergleich zwischen den nicht funktionalen Anforderungen, welche in Kapitel 3, Abschnitt 3.2 definiert wurden und der entwickelten Anwendung angestellt.

1. **Verschüttetensuche:** Der Umkreis in dem das Signal erkannt wird, ist groß genug, um den Anforderungen zu genügen. Auch beim Vergraben in mehr als einem Meter Tiefe wird das Signal korrekt erkannt. Die Aktualisierungsrate liegt bei weniger als 0,2 Sekunden, leider ist die Genauigkeit der Entfernungsberechnung nicht optimal. Erfüllungsgrad 80%.
  - a) Das Signal eines Lawinenverschütteten, der bis zu zwei Meter tief verschüttet ist, wird korrekt erkannt und kann zur Weiterverarbeitung verwendet werden. Erfüllungsgrad 100%.
  - b) Der Umkreis, in der das Signal erkannt wird, beträgt mehr als 20 Meter. Erfüllungsgrad 100%.
  - c) Die Anwendung aktualisiert den Entfernungswert zum Verschütteten mindestens im Abstand von 0,2 Sekunden. Erfüllungsgrad 100%.
  - d) Die Entfernungsberechnung ist innerhalb von ca. zwei Sekunden nach dem Verbindungsaufbau sichtbar. Erfüllungsgrad 100%.
  - e) Der berechnete Entfernungswert ist bei größeren Entfernungen zum Lawinenverschütteten leider sehr ungenau und liegt deutlich über dem tatsächlichen Entfernungswert. Erfüllungsgrad 60%.
  - f) Die berechnete Entfernung ist leider aufgrund der schwankenden RSSI-Werte sehr sprunghaft und trotz Glättungen manchmal schwer zu interpretieren. Erfüllungsgrad 40%.
  - g) **Mehrfachsuche:** Die Übersicht in der Mehrfachsuche ist klar strukturiert und stellt alle empfangenen Signale gleichzeitig in einer Übersicht dar. Erfüllungsgrad 100%.

## 5.2 Abgleich der nicht funktionalen Anforderungen

- i. Die Signale können mittels der Geräte-ID klar unterschieden werden und sind auch nach Verbindungsverlust zuordenbar. Erfüllungsgrad 100%.
  - ii. Es können mehr als zehn Signale zugleich dargestellt und aktualisiert werden. Erfüllungsgrad 100%.
- h) **Einzelsuche:** Die Einzelsuche ist mit der Anwendung möglich. Leider ist die Richtungs- und Entfernungsbestimmung hier aufgrund des schwankenden Signals nicht perfekt. Erfüllungsgrad 60%.
- i. Wenn sich der Nutzer auf den Sender zubewegt ist dies ersichtlich, kann jedoch aufgrund der Signalschwankungen in manchen Fällen auch fehlinterpretiert werden und den Benutzer so in eine falsche Richtung lenken. Erfüllungsgrad 60%.
  - ii. Die ausgerechnete Entfernung kann bis auf einen Zentimeter angegeben werden, stellt jedoch nicht immer den tatsächlichen Wert dar. Erfüllungsgrad 60%.
  - iii. Die Richtungsangaben werden aufgrund der ungenauen Entfernungsrechnung in manchen Fällen falsch ausgegeben. Erfüllungsgrad 40%.
2. **Notfallmanagement:** Der Notruf ist von einer zentralen Stelle in der Anwendung erreichbar. Erfüllungsgrad 80%.
3. **Entscheidungsfindung:** Die Informationen über die Lawinenwarnstufe müssen von Servern angefordert werden. Dies dauert in manchen Fällen relativ lang. Die Hangneigung und -ausrichtung wird innerhalb kürzester Zeit berechnet. Erfüllungsgrad 80%.
4. **Aufklärung:** Die Aufklärung erfolgt über anschauliche Bebilderungen und Erklärungen. Erfüllungsgrad 100%.

### 5.3 Anforderungsabgleich

Die folgende Tabelle enthält einen kurzen zusammenfassenden Vergleich der geforderten Funktionalität mit der implementierten Anwendung.

Tabelle 5.1: Anforderungsabgleich

<b>Kontext</b>	<b>Anforderung</b>	<b>Erfüllung</b>
Verschüttetensuche	Finden des Lawinenverschütteten mittels Smartphone möglich, Schnelle Aktualisierung der Entfernungsangaben, Hilfreiche Entfernungsangaben	Alle Anforderungen im Rahmen der technologischen Möglichkeiten erfüllt. Verbesserungspotential bei der Genauigkeit.
Notfallmanagement	Absetzen eines Notrufes aus der Anwendung möglich, Automatische Auswahl der Notrufzentrale, Notruf leicht sichtbar und schnell abzusetzen	Notruf aus der Anwendung absetzbar. Leider keine Positionsangabe möglich.
Entscheidungsfindung	Anzeigen von Lawinenwarnstufen, Hangneigung und -exposition, Genaue Berechnung der Hangneigung und -exposition, Schnelle Aktualisierung der Daten	Alle Anforderungen erfüllt. Lawinenlageberichte jedoch nur für einige Skigebiete, die CAAML unterstützen.
Aufklärung	Bereitstellung von Informationen aus der Lawinenkunde, Übersichtlichkeit der Informationen	Anforderungen erfüllt, Umfang der Informationen ausbaufähig.

# 6

## Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Kapitel werden die im Rahmen dieser Bachelorarbeit gewonnenen Erkenntnisse zusammengefasst und Weiterentwicklungsmöglichkeiten der Technologie und Anwendung diskutiert.

### 6.1 Zusammenfassung

Die hier entwickelte Anwendung ist dazu geeignet, einen lawinenverschütteten Menschen zu finden. Dies stellt eine einfache Möglichkeit der nichtprofessionellen Verschüttetensuche dar. Die Lokalisierung eines Verschütteten ist mittels Bluetooth Low Energy möglich. Hierzu werden nur zwei Smartphones, welche die meisten Wintersportler ohnehin immer bei sich tragen, mit der gleichen, in dieser Arbeit konzipierten Anwendung benötigt. Die Effizienz und Genauigkeit der konventionellen LVS-Geräte ist mit Bluetooth Low Energy

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

jedoch, wie erwartet, nicht zu erreichen.

Gegenüber konventionellen LVS-Geräten hat die Anwendung jedoch auch entscheidende Vorteile. Beispielsweise ist die Mehrfachverschüttetensuche sehr komfortabel möglich und kann über eine tabellarische Übersicht über alle Verschütteten im Umkreis visualisiert werden. Dies ist bei konventionellen LVS nicht in dieser Form möglich.

Die Sensoren und vor allem die Bildschirme von Smartphones sind im Gegensatz zu denen der LVS-Geräte sehr vielfältig und können dem Nutzer helfen, an interessante Zusatzinformationen zu gelangen. Vor allem für den unerfahrenen Nutzer ist die einfache Bestimmung der Hangneigung und der Hangausrichtung, sowie die Aufklärungsmöglichkeiten über Lawinenkunde und Notfallmanagement, die in der Anwendung enthalten sind, von großem Wert.

Vergleicht man die Kosten, die mit der Anschaffung der Technologien einhergehen, so sind dies bei einer Anwendung für das Smartphone wohl zwischen €0 und €5. Ein professionelles LVS hingegen kostet ca. €350.

Der Versuch, ein LVS mit Bluetooth Low Energy zu realisieren, ist also gelungen. Bei einem Lawinenunglück kann ein Suchender einen Verschütteten mit Hilfe der Anwendung finden und zusätzlich einige hilfreiche Informationen abrufen. Vor allem für den in der Lawinenkunde nicht bewanderten Wintersportler, der kein LVS besitzt, stellt die Anwendung eine große, neue Möglichkeit der Lebensrettung dar.

Als erfahrener und passionierter Skifahrer, der auch Variantenabfahrten macht, werde ich jedoch weiterhin professionelle LVS-Geräte einsetzen. Diese sind aufgrund ihrer Genauigkeit, der Richtungsangabe und der durch jahrelanger Erfahrung und Weiterentwicklung erlangten Zuverlässigkeit das sicherste Lawinenverschüttetensuchgerät. Ihre Robustheit und Resistenz gegenüber äußeren Einflüssen ist von Smartphones nicht zu erreichen. Daher bleibt für jeden Wintersportler die Empfehlung bestehen, sich niemals ohne professionelle Ausrüstung, wozu Schaufel, Sonde und LVS gehören, abseits der gesicherten Skipisten aufzuhalten. In beschränktem Umfang kann die entwickelte Anwendung jedoch ein LVS teilweise ersetzen oder ergänzen.

## 6.2 Ausblick

Natürlich existieren noch einige Möglichkeiten, die hier untersuchte Technologie besser zu nutzen und auszuschöpfen. Hierauf wird nun eingegangen.

### 6.2.1 Genauigkeit der Entfernungsberechnung

Die Entfernungsberechnung zum Verschütteten unterliegt großen Schwankungen und ist bei größeren Entfernungen relativ ungenau. Über längere Tests und Messungen wäre eventuell eine genauere Entfernungsberechnung möglich. Die Schwankungen in der Entfernungsberechnung könnten somit vielleicht besser ausgeglichen oder geglättet werden.

Wären die Schwankungen des RSSI Wertes nicht in dem Maße vorhanden, wäre eine zuverlässige Entfernungsberechnung mittels Bluetooth Low Energy möglich. Somit wäre der größte Nachteil dieser Technologie gegenüber professionellen LVS-Geräten behoben.

### 6.2.2 Plattformübergreifende Lawinenverschüttetensuche

Da jedes moderne Smartphone die neue Technologie Bluetooth Low Energy nutzen kann und diese Technologie nicht herstellerabhängig ist, wäre es sehr leicht möglich, die Anwendung auch auf den anderen großen Plattformen Android und Windows Phone zu realisieren.

Durch das Portieren der Anwendung auf die anderen großen Plattformen Windows Phone und Android wäre es tatsächlich fast allen Wintersportlern möglich, diese Technologie zu nutzen. Dadurch könnten sich viel mehr Menschen an der Verschüttetensuche beteiligen; die Technologie könnte im Notfall auch ergänzend zu LVS-Geräten genutzt werden, indem auch Personen bei der Suche Hilfe leisten könnten, die selbst kein LVS besitzen.

### 6.2.3 Notruf

Leider wird der technische Fortschritt, den moderne Smartphones mit sich bringen, von Notrufzentralen derzeit noch nicht genutzt. Es gibt außer dem direkten Anruf bei der Notfallzentrale keine Möglichkeit, Informationen an diese zu übertragen. Jedoch gäbe es einfache Möglichkeiten, über eine Serverkommunikation oder das Versenden von Textnachrichten, neue Technologien in Notrufe zu integrieren. Beispielsweise könnte die Position des Hilfesuchenden automatisch übertragen und damit die Unglücksstelle viel leichter auffindbar werden. Gerade beim Skifahren in Variantenabfahrten weiß der Fahrer manchmal nicht, wie er seinen genauen Aufenthaltsort schildern soll. Dadurch geht bei der Suche häufig wichtige Zeit verloren.

In manchen Fällen kann es zudem sein, dass der Anrufer nicht mit der Notfallzentrale sprechen kann. Sei es aufgrund einer Sprachbehinderung oder weil der Anrufer durch den Notfall nicht in der Lage ist, zu sprechen. Hier wäre durch einfaches Einstellen der wichtigsten Informationen und ihrer Übertragung an die Notfallzentralen ein großer Fortschritt möglich.

Eine Möglichkeit, diese Funktionalität zu realisieren wäre, einem Server eine Notrufnachricht zu schicken, welcher diese dann anschließend in Sprache übersetzt und einen Notruf an eine Notrufzentrale absetzt. Auch dies könnte in einer Erweiterung dieser Arbeit realisiert werden [SSP<sup>+</sup>13].

### 6.2.4 Lawinenlageberichte

Die Veröffentlichung von Lawinenlageberichten über den Standard CAAML ist eine enorme Hilfe für alle Entwickler, die Lawinenlageberichte darstellen wollen. Dadurch, dass mit dem Standard mehr Anwendungen auf Lawinenlageberichte zugreifen können, wird auch ihre Verbreitung und damit die Sicherheit in Wintersportgebieten erhöht.

Wie bereits erwähnt, hat der Kanadische Standard vor allem in Europa noch eine sehr geringe Verbreitung. Hieraus resultiert, dass nur wenige Lawinenlageberichte angezeigt werden können. Wenn in Zukunft mehr Skigebiete auf diesen Standard setzen würden, wäre die Verbreitung und Archivierung von Lawinenlageberichten um ein vielfaches einfacher und komfortabler.

# Abbildungsverzeichnis

1.1	Korrelation von Überlebenschance mit Verschüttungszeit [slf13] . . . . .	2
1.2	Kapitelübersicht . . . . .	5
2.1	Lockerschneelawine [pow09a] . . . . .	8
2.2	Schneebrettlawine [pow09b] . . . . .	9
2.3	Abgang bei vorhandener Schwachschicht [Man12] . . . . .	11
2.4	LVS-Gerät der Firma Pieps. [Ber15] . . . . .	16
2.5	Central Manager und Peripherals bei Bluetooth Low Energy . . . . .	17
4.1	Architektur der mobilen Anwendung . . . . .	30
4.2	Architektur der Schnittstellen . . . . .	31
4.3	Objekt für empfangenes Signal von Lawinenopfern . . . . .	33
4.4	Vorgang nach Empfang eines neuen Signals . . . . .	34
4.5	Einzelsuche in der Anwendung . . . . .	38
4.6	Lawinenwarnstufe in der Anwendung . . . . .	39
4.7	Anforderung des Lawinenlageberichtes . . . . .	40
4.8	Hangneigung und -ausrichtung in der Anwendung . . . . .	42



# Tabellenverzeichnis

3.1	Zusammenfassung der Anforderungen . . . . .	28
5.1	Anforderungsabgleich . . . . .	50



# Literaturverzeichnis

- [Ber15] BERGSPORT, Baechli: *Pieps DSP PRO*. <https://www.baechli-bergsport.ch/Pieps-DSP-Pro-Pieps-LVS-De.htm>.  
Version:2015. – [Online; Stand 12. Juli 2015]
- [caa15] CAAML.ORG: *CAAML*. <http://caaml.org>. Version:2015. – [Online; Stand 17. Juni 2015]
- [Gei12] GEIGER, Philip: Entwicklung einer Augmented Reality Engine am Beispiel des iOS. (2012)
- [GEO15] GEO.DE: *Wie überlebt man eine Lawine?* <http://www.geo.de/GEO/natur/wie-ueberlebt-man-eine-lawine-59922.html>.  
Version:2015. – [Online; Stand 02. Juli 2015]
- [hoe15] HOEHENRAUSCH.DE: *Lawinensonde*. <http://www.hoehenrausch.de/lexikon/lawinensonde/index.php>. Version:2015. – [Online; Stand 05. Juni 2015]
- [Inc15a] INC., Apple: *Core Bluetooth Programming Guide*. [https://developer.apple.com/library/ios/documentation/NetworkingInternetWeb/Conceptual/CoreBluetooth\\_concepts/AboutCoreBluetooth/Introduction.html](https://developer.apple.com/library/ios/documentation/NetworkingInternetWeb/Conceptual/CoreBluetooth_concepts/AboutCoreBluetooth/Introduction.html).  
Version:2015. – [Online; Stand 25. Mai 2015]
- [Inc15b] INC., Apple: *iBeacon for Developers*. <https://developer.apple.com/ibeacon/>. Version:2015. – [Online; Stand 14. Mai 2015]

## Literaturverzeichnis

- [Inc15c] INC., Apple: *Swift. A modern programming language that is safe, fast, and interactive.* <https://developer.apple.com/swift/>. Version:2015. – [Online; Stand 30. Juni 2015]
- [Law15] LAWINENPIEPSER: *Funktionsweise von LVS-Geräten.* <http://www.lawinenpiepser.info/funktionsweisen-von-lvs>. Version:2015. – [Online; Stand 10. August 2015]
- [Man12] MANNEH, Lisa: *Poorly bonded layer.* [http://www.avalanches.org/eaws/en/includes/glossary/glossaryImages/012\\_poorly\\_bonded\\_layer\\_1\\_%5BLisa\\_Manneh%5D.jpg](http://www.avalanches.org/eaws/en/includes/glossary/glossaryImages/012_poorly_bonded_layer_1_%5BLisa_Manneh%5D.jpg). Version:2012. – [Online; Stand 26. Juni 2015]
- [pow09a] POWDERGUIDE.COM: *Lockerschneelawine.* [http://mt1.powderguide.com/fileadmin/artikel/2009/01/0109\\_lawinenkunde\\_fuer\\_freerider\\_\\_teil\\_i/Lockerschneelawine.jpg](http://mt1.powderguide.com/fileadmin/artikel/2009/01/0109_lawinenkunde_fuer_freerider__teil_i/Lockerschneelawine.jpg). Version:2009. – [Online; Stand 26. Juni 2015]
- [pow09b] POWDERGUIDE.COM: *Schneebrett-Grafik.* [http://mt1.powderguide.com/fileadmin/artikel/2009/01/0109\\_lawinenkunde\\_fuer\\_freerider\\_\\_teil\\_i/Schneebrett-Grafik.jpg](http://mt1.powderguide.com/fileadmin/artikel/2009/01/0109_lawinenkunde_fuer_freerider__teil_i/Schneebrett-Grafik.jpg). Version:2009. – [Online; Stand 26. Juni 2015]
- [pow15] POWDERGUIDE.COM: *Lawinenkunde für Freerider Teil 1.* <http://www.powderguide.com/mountain/artikel/lawinenkunde-fuer-freerider-teil-i.html>. Version:2015. – [Online; Stand 26. Juni 2015]
- [REC15] RECCO: *Das RECCO System.* <http://de.recco.com/das-recco-system>. Version:2015. – [Online; Stand 12. Juli 2015]
- [Sch99] SCHWEIZER, Jürgen: Die typische Schifahrerlawine Untersuchung zu den Charakteristiken von Schifahrerlawinen. In: *SLF, Interner Bericht* (1999)
- [slf13] SLF.CH: *Verschuettung/Rettung.* [http://www.slf.ch/praevention/lawinenunfaelle/lawinenstatistik/verschuettung\\_rettung\\_d.pdf](http://www.slf.ch/praevention/lawinenunfaelle/lawinenstatistik/verschuettung_rettung_d.pdf). Version:2013. – [Online; Stand 02. Juli 2015]

- [slf15] SLF.CH: *Europäische Lawinengefahrenskala mit Empfehlungen*. [http://www.slf.ch/schneeinfo/zusatzinfos/lawinenskala-europa/index\\_DE](http://www.slf.ch/schneeinfo/zusatzinfos/lawinenskala-europa/index_DE). Version:2015. – [Online; Stand 12. Juli 2015]
- [SPSR15] SCHICKLER, Marc ; PRYSS, Rüdiger ; SCHOBEL, Johannes ; REICHERT, Manfred: An Engine Enabling Location-based Mobile Augmented Reality Applications. Version:2015. <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/1137/>. In: *Web Information Systems and Technologies - 10th International Conference, WEBIST 2014, Barcelona, Spain, April 3-5, 2014, Revised Selected Papers*. Springer, 2015 (LNBIP)
- [SSP+13] SCHOBEL, Johannes ; SCHICKLER, Marc ; PRYSS, Rüdiger ; NIENHAUS, Hans ; REICHERT, Manfred: Using Vital Sensors in Mobile Healthcare Business Applications: Challenges, Examples, Lessons Learned. In: *9th Int'l Conference on Web Information Systems and Technologies (WEBIST 2013), Special Session on Business Apps, 2013*, 509–518
- [SSPR15] SCHOBEL, Johannes ; SCHICKLER, Marc ; PRYSS, Rüdiger ; REICHERT, Manfred: Process-Driven Data Collection with Smart Mobile Devices. Version:2015. <http://dbis.eprints.uni-ulm.de/1136/>. In: *Web Information Systems and Technologies - 10th International Conference, WEBIST 2014, Barcelona, Spain, Revised Selected Papers*. Springer, 2015
- [Sta15] STACKOVERFLOW: *Umrechnung der RSSI in Entfernung*. <http://stackoverflow.com/questions/20416218/understanding-ibeacon-distancing>. Version:2015. – [Online; Stand 10. August 2015]
- [TZ13] TECHEL, Frank ; ZWEIFEL, Benjamin: Recreational avalanche accidents in Switzerland: Trends and patterns with an emphasis on burial, rescue methods and avalanche danger. In: *International Snow Science Workshop Grenoble – Chamonix Mont-Blanc - 2013* (2013)
- [War14] WARSKI, Adam: *How do iBeacons work?* <http://www.warski.org/blog/2014/01/how-ibeacons-work/>. Version:2014. – [Online; Stand 11. August 2015]

Name: Alex Bäuerle

Matrikelnummer: 816403

**Erklärung**

Ich erkläre, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Ulm, den .....

Alex Bäuerle