

Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme

Universität Stuttgart  
Universitätsstraße 38  
D–70569 Stuttgart

Studienprojekt

## **Fusion von Wärme- und Tiefenbild im Kontext von Feuerwehren**

Georgios Balatzis, Désirée Brunner, Bamini  
Inderarajah, Rafael Janetzko, Tung Ahn Nguyen, Jens  
Reinhart, Valentin Seifermann, Marvin Tiedtke, Kim  
Truong

**Studiengang:** Softwaretechnik

**Prüfer/in:** Prof. Dr. Albrecht Schmidt

**Betreuer/in:** Jun.-Prof. Dr. Niels Henze,  
Pascal Knierim, M.Sc.  
Yomna Abdelrahman, M.Sc.

**Beginn am:** 9. April 2015

**Beendet am:** 31. März 2016

## Kurzfassung

Wärmebildkameras sind eine Möglichkeit, die menschlichen Sinne zu erweitern und damit zusätzliche Informationen über Temperaturen von Gegenständen und Plätzen auf größere Entfernung und teilweise sogar durch Wände hindurch zu erhalten. Durch diese Fähigkeit, spielen Wärmebildkameras bei Einsätzen von Feuerwehren eine wichtige Rolle. Allerdings bemängeln diese, Schwierigkeiten bei der Navigation und räumlichen Wahrnehmung, welche mit den Wärmebildkameras einhergehen. Um diesem Problem entgegenzuwirken ist das Projekt „**ProFire**“ entstanden, welches mit Hilfe von einer Tiefenbildkamera die Schwächen einer Wärmebildkamera versucht auszugleichen. Tiefenbildkameras dienen dazu, die Entfernung zu allen Objekten zu messen und sind damit hilfreich für die Erstellung eines räumlichen Bildes. „**ProFire**“ entwickelt sowohl einen tragbaren Handheld-Prototypen als auch einen in die typische Feuerwehrausrüstung integrierten Prototypen. Dieser Prototyp wurde in zwei verschiedenen Studien mit unterschiedlichen Benutzergruppen evaluiert. Dabei wurde der Prototyp in beiden Studien mehrheitlich positiv bewertet und als Verbesserung gegenüber existenter Technik empfunden.

Infrared cameras are a possible way to enhance human senses. They are used to gain additional information of the temperature of certain things and places, which might even be behind an obstacle. Infrared cameras play an important role for firefighters due to this ability. But firefighters criticize them for their weaknesses in navigation and spacial perception. The project „**ProFire**“ arose to fight this problem of infrared cameras with the help of a depth camera. Depth cameras are used to gain information about the distance to all objects, because of this they are highly helpful in creating spacial awareness. „**ProFire**“ develops a handheld as well as a head mounted prototype. This prototype was evaluated in two studies with different user bases and was positively rated in both as well as perceived as an enhancement to existing infrared cameras.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>7</b>
<b>2 Angebot</b>	<b>9</b>
2.1 Halterung . . . . .	10
2.2 Software und Ausgabe . . . . .	10
2.3 Beschreibung des Aufbaus . . . . .	11
2.4 Evaluierung der Nützlichkeit . . . . .	11
2.5 Meilesteine . . . . .	11
<b>3 Projektplan</b>	<b>14</b>
3.1 Einleitung . . . . .	14
3.2 Risiken . . . . .	18
3.3 Entwicklungsplan . . . . .	19
3.4 Entwicklungsprozess . . . . .	22
3.5 Projektorganisation . . . . .	23
3.6 Versionshistorie . . . . .	24
<b>4 Spezifikation</b>	<b>26</b>
4.1 Einleitung . . . . .	26
4.2 Allgemeine Beschreibung . . . . .	28
4.3 Einzelanforderungen . . . . .	31
4.4 Set-Up . . . . .	33
4.5 Anwendungsfälle . . . . .	35
4.6 Anhang . . . . .	43
4.7 Versionshistorie . . . . .	44
<b>5 Entwurf</b>	<b>45</b>
5.1 Einleitung . . . . .	45
5.2 Grundsätzliche Entwurfsentscheidungen . . . . .	46
5.3 Beschreibung der einzelnen Komponenten . . . . .	48
5.4 Versionshistorie . . . . .	51
<b>6 Dilatation</b>	<b>52</b>
6.1 Einleitung . . . . .	52
6.2 Motivation . . . . .	52

6.3	Dilatation . . . . .	52
<b>7</b>	<b>Kalibrierung</b>	<b>54</b>
7.1	Ziele der Kalibrierung . . . . .	54
7.2	Berechnung der intrinsischen und extrinsischen Kameraparameter . . . . .	55
7.3	Kalibrierung Tiefenbild auf Wärmebild Technischer Vorgang . . . . .	56
<b>8</b>	<b>Bildmodifusion</b>	<b>58</b>
8.1	Vor- und Nachteile der Kameras . . . . .	58
8.2	Explorierte Fusionsmöglichkeiten . . . . .	59
8.3	Gewählte Fusionsmöglichkeit . . . . .	64
<b>9</b>	<b>Studie</b>	<b>66</b>
9.1	Einführung . . . . .	66
9.2	Studie 1 . . . . .	67
9.3	Studie 2 . . . . .	72
9.4	Diskussion . . . . .	79
<b>10</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>82</b>
<b>11</b>	<b>Installationsanleitung</b>	<b>83</b>
11.1	Vorbereitende Maßnahmen . . . . .	83
11.2	Physischer Aufbau . . . . .	85
11.3	Programmstart . . . . .	86

# Abbildungsverzeichnis

---

4.1	Halterungsaufbau . . . . .	33
4.2	Mock-Ups der Ausgabe auf einem mobilen Anzeigegerät . . . . .	34
4.3	Zeigt die Funktionen von „ProFire“ . . . . .	35
4.4	Zeigt die genauen Funktionen von Bildart . . . . .	35
4.5	Zeigt die genauen Funktionen von Ausgabemethode . . . . .	36
5.1	Hardwareaufbau . . . . .	47
5.2	Komponentendiagramm . . . . .	48
5.3	Paketdiagramm . . . . .	49
5.4	Klassendiagramm . . . . .	50
6.1	Dilatationsoperation . . . . .	53
6.2	Effekte der Dilatation . . . . .	53
7.1	Kamerabilder vor der Kalibrierung . . . . .	54
7.2	Kamerabilder nach der Kalibrierung . . . . .	55
7.3	Testkalibrierung mit MATLAB . . . . .	55
7.4	Auszug der für die Kalibrierung erstellten Bilder . . . . .	56
8.1	Parallele Anzeige von beiden Kameramodi . . . . .	60
8.2	Ersetzung eines Teiles des Tiefenbildes mit Wärmebild . . . . .	60
8.3	Überlagerung eines Teiles des Tiefenbildes mit semitransparenten Wärmebild	61
8.4	Konturenverbesserung mit Hilfe von Linien im Tiefenbild . . . . .	61
8.5	Konturenverbesserung mit Hilfe von Linien im Tiefenbild . . . . .	62
8.6	Nachträgliches Überschreiben des Tiefenbildes mit ausgewählten Wärmebild-information . . . . .	63
8.7	Dynamischer Kamerawechsel . . . . .	63
8.8	Position der alten Pixel im entstandenes Fusionsgitter . . . . .	65
8.9	Implementierter Fusionsansatz . . . . .	65
9.1	Benutzte Halterung & Prototypaufbau . . . . .	68
9.2	Wärme-, Tiefen- und RGB-Bilder des Aufbaus . . . . .	69
9.4	Studienorte . . . . .	69
9.6	Interview-Ergebnisse . . . . .	70
9.7	Interview-Ergebnisse . . . . .	71
9.8	Bildmodi . . . . .	73

9.9	Tragbarer Prototyp + Halterung . . . . .	74
9.10	Headmounted-Prototyp . . . . .	74
9.11	Studienraum . . . . .	75
9.12	Studiendauer . . . . .	76
9.13	Eingestufte Nützlichkeit . . . . .	76
9.14	Eindruck der Probanden über den Prototyp . . . . .	77
9.15	Höchste gemessene Temperatur . . . . .	77
9.16	Gemessene Deckenhöhe . . . . .	78
9.17	Weitere Bilder aus der zweiten Studie . . . . .	79
9.3	Wärme- und Tiefenbilder des Aufbaus der ersten Studie . . . . .	80
9.5	Bilder des Aufbaus der ersten Studie . . . . .	81
11.1	Konfigurationsmenü . . . . .	84
11.3	Einstellungsmenü <b>Messfelder</b> . . . . .	84
11.2	Einstellungsmenü <b>Externe Kommunikation</b> . . . . .	85
11.4	Andeutung der benötigten Anschlüsse . . . . .	85
11.5	Abgeschlossenes Set-Up . . . . .	86

# 1 Einleitung

Feuerwehrleute können sich im Einsatz nicht immer auf ihre visuelle Wahrnehmung verlassen, unter anderem wegen Rauch ist es in brennenden Gebäuden dunkel. In solchen Situationen schnell den Brandherd, andere Gefahrenstellen oder Hilfsbedürftige zu erkennen ist wichtig. Auch in anderen Situationen, wie zum Beispiel der Menschenrettung, können Wärmebildkameras, wegen ihrer hohen Reichweite, eine Hilfe sein. Daher ist es nicht verwunderlich, dass Wärmebildkameras heutzutage in den meisten Feuerwehren anzutreffen sind.

Allerdings haben viele Feuerwehrleute Probleme damit, sich räumlich gut zurecht zu finden und Entfernungen korrekt einschätzen zu können. Navigation und Orientierung sind damit deutlich eingeschränkt. Auch Wärmereflexionen stellen häufig ein Problem dar. Um dem entgegenzuwirken wurde das Projekt „**ProFire**“ gegründet. „**ProFire**“ versucht die Schwächen von Wärmebildkameras durch das hinzufügen einer Tiefenbildkamera auszugleichen. Dabei werden die gewonnenen Tiefeninformationen dazu genutzt eine Bildfusion aus beiden Bildern zu erstellen.

Dazu wird ein physischer Prototyp entwickelt, welcher sowohl als tragbare Handheld-Version besteht, als auch in bestehende Feuerwehrausrüstung integriert werden kann.

Als erstes werden in diesem Dokument die zu erbringenden Leistungen des Projektteams beschreiben. Anschließend folgen die Rahmenbedingungen des Projekts und eine Spezifikation des zu entwickelnden Prototypen. Drauf folgt eine Beschreibung des erstellten Codes. Dies ist gefolgt von der Erklärung der verschiedenen gewählten Ansätze zur Bildverbesserung, Dilatation und Kalibrierung. Danach wird auf die verschiedenen betrachteten Fusionsansätze eingegangen. Das ganze ist gefolgt von zwei Studienberichten, welche den Prototypen zu unterschiedlichen Lebenszyklen mit unterschiedlich gut geschulten Probanden evaluierten. Diese bescheinigen dem Prototypen Erfolge bei der Stärkung der räumlichen Wahrnehmung und zeigten zudem auch eine benutzerfreundliche Handhabung.

## Gliederung

Die Arbeit ist in folgender Weise gegliedert:

**Kapitel 2 – Angebot** beschreibt die gegebenen Einschränkungen und zu erfüllenden Anforderungen an das Endprodukt.

**Kapitel 3 – Projektplan:** hält Ziele, Zeitplanung und Bedingungen des Projekts fest.

**Kapitel 4 – Spezifikation:** beschreibt die funktionale und nicht-funktionale Anforderungen und die Funktionsweise des Endproduktes.

**Kapitel 5 – Entwurf:** enthält das Grundgerüst und Komponentenbeschreibungen des Programms.

**Kapitel 6 – Dilatation** erklärt den Dilatationsprozess, durch welchen die Tiefenbilder verbessert wurden.

**Kapitel 7 – Kalibrierung** fasst die Vorgänge und Ergebnisse des Kalibrationsprozesses zusammen.

**Kapitel 8 – Bildmodifusion:** geht auf die explorierten Fusionsmöglichkeiten ein.

**Kapitel 9 – Studie:** beschreibt Studienaufbau, Studiendurchführung und Studienauswertung.

**Kapitel 10 – Zusammenfassung und Ausblick** fasst die Ergebnisse des Projekts zusammen und stellt Anknüpfungspunkte vor.

**Kapitel 11 – Installationsanleitung** enthält die Installations- und Startanleitung des Programms.

## 2 Angebot

Die Gruppe des studentischen Projektes (Studienprojekt) – „**ProFire**“ hat nach Auswertung der Informationen, die die beiden Kundenbefragungen ergaben, ein Angebot mit diversen möglichen Extras erarbeitet.

Die gegebenen Anforderungen begrenzen das Projekt insoweit, das wir die Nutzung folgender Hardware verworfen haben:

**Microsoft Kinect** – nur 2m scharfes Tiefenbild

**Softkinect** – schlechte Dokumentation des SDK, unpassende Programmiersprache

**Tiefenbildkamera der Meta 1** – nur 50cm Tiefenbild

**Oculus Rift** – Virtual Reality ist unpassend für die Anwendung

Verwendete Hardware:

**Optris PI400** – Wärmebildkamera

**Asus XtionPro Live** – Tiefenbildkamera

**Meta 1 Developer Kit** – Augmented Reality Brille

Durch die Hardware sind wir an folgende Werkzeuge gebunden:

**C# 5** – Programmiersprache

Die „**ProFire**“-Gruppe bietet folgendes Endprodukt an:

## 2.1 Halterung

Eine Spezialanfertigung einer Halterung für die Wärmebildkamera und die Tiefenbildkamera. Entscheidend hierfür ist dass die Abstände der beiden Kameras immer identisch ist, ansonsten würde das ausgegebene Bild verfälscht. Außerdem wird ermöglicht, dass die Bilder die später zur Bearbeitung und Anzeige dienen sollen den gleichen Bereich aufnehmen. Die Halterung soll über ein Stativgewinde verfügen, sodass sie auf einer tragbaren Halterung (zum Beispiel „GoPro-Stick“) montiert werden kann. Dies ermöglicht die Führung mit der Hand um selbst den Blickwinkel der Kameras zu beeinflussen. Der Rücken der Halterung soll die Möglichkeit bieten ein Handy zu halten, welches dadurch nicht in einer separaten Hand getragen werden muss.

Eine weitere Halterung soll eine Montage an einem Helm (nach Möglichkeit, einem echten Feuerwehrhelm) zulassen. Dies hat den Vorteil das der User beide Hände frei hat. Nachteil wäre, dass der Bildbereich der Kameras an den Blickwinkel des Benutzers gebunden ist und die zusätzliche Halterung zusätzliches Gewicht der Kamera bedeutet.

## 2.2 Software und Ausgabe

Die Software wird als C# Programm realisiert und soll das Tiefenbild und Wärmebild überlappen. Wir haben uns für C# entschieden, da der Großteil der Gruppe bisher nur mit objekt-orientierten Programmiersprachen Erfahrung hat, allerdings Java keine gute Alternative ist, da ein C Dialekt zum Ansprechen der Wärmebildkamera benötigt wird und wir eine geringe Reaktionszeit benötigen.

Die Ränder und Konturen des Wärmebildes sollen mithilfe des Tiefenbildes nachgezeichnet werden um ein schärferes Gesamtbild zu erzeugen. Außerdem sollen die Blinden Flecken im Wärmebild durch die zusätzlichen Informationen aus dem Tiefenbild entfernt werden. Zusätzlich wird im Bildmittelpunkt ein Fadenkreuz mit Informationen wie Abstand zum Objekt, auf das das Fadenkreuz zeigt, oder dessen Temperatur angezeigt.

Der Benutzer kann auswählen welches Bild angezeigt werden soll, da in verschiedenen Situationen nur das Wärmebild oder nur das Tiefenbild sinnvoll ist. Zur Auswahl stehen das Wärmebild, das Tiefenbild, das von der Software errechnete Wärmebild mit dem überlappten Tiefenbild und das RGB-Bild, welches von der Asus Xtion Pro aufgezeichnet wird. Das Bild soll standardmäßig auf der Augmented Reality Brille (Meta 1) angezeigt werden und der Benutzer kann auswählen ob er das Bild zusätzlich auf einem externen Bildschirm (zum Beispiel Tablet oder Handy) anzeigen will oder ausschließlich auf einem der Beiden. Außerdem soll das Bild auf der Brille komplett abschaltbar sein, sodass man die Brille nicht absetzen muss, sondern nur das Bild ausblenden kann. Eine weitere Ausgabe wird nicht realisiert, da sich der Kern der Aufgabe auf die generierten Bilder beschränkt.

### 2.2.1 Nice-to-have Feature

Das Bild wird mithilfe des Tiefenbildes dreidimensional modelliert und kann auf einem 3D-Fähigen Ausgabegerät angezeigt werden.

Außerdem wird eine Legende mit nützlichen Informationen am Rand des Bildes angezeigt.

## 2.3 Beschreibung des Aufbaus

Die Software soll auf einer Windows-Umgebung (Windows 7 oder neuer) auf einem Laptop laufen, an dem die Wärmekamera, die Meta 1 und der Tiefenbildsensor per USB angeschlossen sind. Der Laptop befindet sich in einem Rucksack, den der User auf dem Rücken trägt. Da wir zur Zeit noch in der Testphase sind und es sich um einen Prototypen handelt, ist Rechenleistung relevant, die Minimierung von Gewicht und Volumen dennoch nicht. Dies ermöglicht die Anbindung einer drahtlosen Maus die wir als Fernbedienung für unser Programm nutzen wollen.

## 2.4 Evaluierung der Nützlichkeit

Um den tatsächlichen Nutzen des Prototypen zu testen, sind zwei User Studies geplant. Die erste Studie soll mit einer abgeschwächten Version des Produkts von Studenten getestet werden. Das erhaltene Feedback soll zur Verbesserung des Produkts genutzt werden.

Die zweite Studie soll mit Personen, die bereits Erfahrung mit Wärmekameras haben (nach Möglichkeit Mitglieder der Feuerwehr / des THW), durchgeführt werden. Von ihnen wird das fertige Produkt beurteilt.

### 2.4.1 Nice-to-have Feature

Die Bilder werden in einem Archiv abgespeichert.

Die Bilder haben Metadaten.

Das Programm braucht wenige Ressourcen und ist sogar auf Single-Board-Computern ausführbar ohne dass es zu Abstürzen kommt.

Die Software ist sowohl auf MacOs als auch auf Unix Distributionen lauffähig.

## 2.5 Meilensteine

## 2.5 Meilensteine

---

Nr.	Meilenstein	Abzugebende Dokumente	Termin
1	Projektplan	Dokumente: Projektplan  Code: —  Ausführbare Datei: —  Physisches Objekt: —	1.7.2015
2	Spezifikation	Dokumente: Spezifikation / Anforderungsanalyse  Code: —  Ausführbare Datei: —  Physisches Objekt: —	8.7.2015
3	Entwurf	Dokumente: Entwurf / Design  Code: —  Ausführbare Datei: —  Physisches Objekt: —	5.8.2015
4	Implementierung	Dokumente: User Study mit Studenten  Code: Alpha (Wärmebild und Tiefenbild alleine, Ausgabe nur auf dem Smartphone)  Ausführbare Datei: Alpha (Wärmebild und Tiefenbild alleine, Ausgabe nur auf dem Smartphone)  Physisches Objekt: Halterung für Kameras	7.10.2015

## 2.5 Meilensteine

---

5	Implementierung	Dokumente: –  Code: Beta (Wärmebild mit Tiefenbild fusioniert, Ausgabemethoden wechseln, Ausgabe auf der AR Brille und Smartphone), Systemtest  Ausführbare Datei: Beta (Wärmebild mit Tiefenbild fusioniert, Ausgabemethoden wechseln, Ausgabe auf der AR Brille und Smartphone)  Physisches Objekt: Halterung auch für Smartphone	11.11.2015
6	Release Candidate	Dokumente: User Study mit Feuerwehrleuten  Code: –  Ausführbare Datei: –  Physisches Objekt: Helmhalterung	20.1.2016
7	Abnahme	Dokumente: Projektplan, Spezifikation, Entwurf, Kurze Installations- und Startanleitung, Lizenzen, falls erforderlich  Code: Vollständiger, kompilierbarer Programmcode  Ausführbare Datei: Ausführbares Programm  Physisches Objekt: Halterungen, bereitgestellte Hardware	31.3.2016
8	Abschluss	–	April 2016

# **3 Projektplan**

## **3.1 Einleitung**

### **3.1.1 Zweck des Projektplans**

Dieser Projektplan dokumentiert die Ziele des Projekts, die Zeitplanung für deren Verwirklichung und alle relevanten Bedingungen für das Projekt.

Da der Projektablauf nicht genau vorausgesagt werden kann, muss dieser Projektplan mit dem tatsächlichen Projektablauf synchron gehalten und damit verändert werden.

Die genauen Anforderungen können im Angebot beziehungsweise in der Spezifikation nachgelesen werden.

### **3.1.2 Lesekreis der Spezifikation**

Folgende Personen gehören zum Leserkreis des Projektplans:

- Der Kunde
- Das gesamte Entwicklerteam
- Die universitären Betreuer

### **3.1.3 Projektüberblick**

Das zu verwirklichende Projekt soll eine Software produzieren, die die einkommenden Bildinformationen einer Wärmebildkamera mit denen einer Tiefenbildkamera kombiniert. Dabei sollen einerseits Information über Wärme und Entfernung des Bildmittelpunkts dargestellt werden und andererseits die Umrisse der warmen Objekte, gegeben der Tiefenbildinformationen, nachgezeichnet werden und damit zu einem schärfen Bild führen.

Die zu verwirklichende Software muss in der Lage sein, auf einem Windows Laptop zu laufen und sollen neben der Ansteuerung der Outputgeräte auch für das Rendern zuständig sein.

Die Bildausgabe soll auf der Meta 1 via Augmented Reality geschehen und bei Bedarf auch an ein Smartphone oder Tablet weitergeleitet werden können, um mehreren Person den Zugang zu den bereitgestellten Information zu geben. Selbstverständlich soll die Ausgabe auch abgestellt werden können.

Die Bedienung soll über eine Funkmaus erfolgen, aber auch über das Handy möglich sein.

Zusätzlich muss eine Halterung hergestellt werden, welche die Wärmebildkamera mit der Tiefenbildkamera verbindet.

#### 3.1.4 Entwicklungsphilosophie

Bei der Bearbeitung des Projekts sollten ingenieurmäßige Prinzipien zur Anwendung kommen, um eine hohe Qualität der Ergebnisse und die Einhaltung der Ablaufplanung sicherzustellen. Daher ist auf Einhaltung aller gegebenen Normen und Standards zu achten.

So wird mindestens die Projektspezifikation einen Review unterzogen. Alle Dokumente werden immer aktuell gehalten, um am Projektende eine ausführliche Dokumentation des Projekts und des Projektablaufs zu haben.

Dies gewährleistet eine Funktionalität des fertigen Softwareprodukts.

#### 3.1.5 Vertragliche Grundlagen

##### Vertragliche Anforderungen

Die Teammitglieder verpflichten sich ohne eine feste Anstellung beziehungsweise ohne jegliches Gehalt die Software zu entwickeln.

Das Entwicklerteam übernimmt keinerlei Haftung für die Schäden, die durch Fehlfunktionen der entwickelten Software verursacht werden.

Die Entwicklung soll iterativ geschehen, das heißt, dass die einzelnen Arbeitspakete mehrmals zeitunabhängig durchgeführt werden.

Die Implementierung muss in C# 5 erfolgen.

Folgende Software darf/soll verwendet werden:

- C# 5
- SDKs der gegebenen Hardware
- Splashtop Personal
- optris PI Connect

Die Abgabe des fertigen und lauffähigen Produkts muss bis spätestens 31.3.2016 erfolgt sein.

Nach Abschluss des Projekts, werden alle Rechte an dem Produkt an die Universität Stuttgart überschrieben.

Die Entwickler verpflichten sich nicht zur Wartung des Produkts.

#### **Leistungen des Kunden**

Der Auftraggeber erklärt sich bereit

- Wärmebildkamera (Opbris PI400)
- Tiefenbildkamera (Asus XtionPro Live)
- Meta 1 Developer Kit
- Kundengespräch mit Feuerwehr
- Mittel zur Erstellung der Halterung

zur Verfügung zu stellen.

#### **3.1.6 Beschreibung des Projekts**

##### **Arbeitsumfang**

Das Projekt gliedert sich in folgende Teilaufgaben:

1. **Analyse** Test weiterer Ein- und Ausgabemethoden und Halterungen
2. **Projektplan aktualisieren** Termine und Arbeitspakete gegebenenfalls aktualisieren
3. **Spezifikation** Formale Niederschrift aller vom Kunden genannten Anforderungen an das zu entwickelnde System. Hierbei sollen insbesondere auch nicht funktionale Anforderungen (bezüglich Qualität etc.) detailliert festgehalten werden
4. **Review der Spezifikation** mit anschließender Korrektur der entdeckten Fehler und eventuelle Streichung von Anforderungen, die die Möglichkeiten der aktuellen Informatik beziehungsweise das zeitliche Budget überschreiten
5. **Entwurf** Aufteilung des zu entwickelnden Systems in Klassen und Festlegung der Schnittstellen zwischen einzelnen Teilen des System
6. **Review des Entwurfs** mit anschließender Korrektur der entdeckten Fehler
7. **Implementierung des Programms**
8. **Durchführung der Modultests** und gegebenenfalls Korrektur der Implementierung

9. Durchführung eines Systemstest und gegebenenfalls Korrektur des Codes
10. Evaluation des System durch User Studies
11. Auslieferung des Systems an den Kunden

### 3.1.7 Lieferumfang

Am Projektende werden an den Kunden folgende Dokumente ausgeliefert:

- Projektplan
- Spezifikation
- Entwurf
- Ausführbares Programm
- Vollständiger, kompilierbarer Programmcode
- Kurze Installations- und Startanleitung
- Lizizenzen, falls erforderlich

Zusätzlich werden die entwickelten Halterungen und die bereitgestellte Hardware beigefügt.

### 3.1.8 Aufwandsschätzung

Das Projekt wird von 10 Entwicklern durchgeführt.

Geplant ist, das Projekt bis 31.3.2016 fertigzustellen.

Pro Entwickler sind damit ca. 450 Stunden Arbeitszeit eingeplant.

## 3.2 Risiken

### 3.2.1 Risiken, ihre Bewertung und Gegenmaßnahmen

Risiko	Personeller Ausfall
Bewertung	Dieses Risiko hat eine hohe Eintrittswahrscheinlichkeit.
Auswirkung	Sollte ein Entwickler komplett ausfallen, ist damit zu rechnen, dass es zu einer Umverteilung der Aufgaben kommt und gegebenenfalls ist auch eine Eingrenzung der zu entwickelten Software nicht auszuschließen. In diesem Fall müssen unter allen Umständen die Betreuer informiert werden.
Gegenmaßnahme	Durch regelmäßige Treffen und Mailkontakt informiert jeder Projektteilnehmer die anderen über seine Arbeit und seinen Fortschritt, dadurch sollten alle einen groben Überblick über den Stand der anderen haben und auf kurzzeitige Ausfälle durch eine Umverteilung reagieren können. Zusätzlich müssen alle beteiligten Entwickler sehr ausführlich ihren Code sowie die restlichen Produktbestandteile kommentieren und erläutern.

Risiko	Terminprobleme
Bewertung	Dieses Risiko hat eine mittlere Eintrittswahrscheinlichkeit.
Auswirkung	Funktionen der Software oder Dokumente werden nicht rechtzeitig zum Abgabetermin fertig beziehungsweise sind mangelhaft was dazu führt das diese nachbearbeitet werden müssen und andere Aufgaben auf der Strecke bleiben.
Gegenmaßnahme	Um Terminproblemen entgegen zu wirken wird ein Terminplan erstellt und aktuell gehalten. Außerdem werden den Teammitgliedern verschiedene Zuständigkeitsbereiche zugewiesen. Ein „gold-plating“, also die Perfektionierung von kleinen, eher unbedeutenden Bestandteilen, soll vermieden werden.

Risiko	Entwicklung der falschen Funktionalität
Bewertung	Dieses Risiko hat eine geringe Eintrittswahrscheinlichkeit.
Auswirkung	Eine Entwicklung der falschen Funktionalität hat, im besten Fall, das fehlen eines Features zur Folge. Im schlechtesten Fall, wurde das Ziel des eigentlichen Projekts verfehlt, was ein Scheitern des Studienprojekts zur Folge hätte.
Gegenmaßnahme	Um einer falschen Funktionalität entgegen zu wirken, wird die Spezifikation von anderen (mit dem Projekt vertrauten) Entwicklern einem Review unterzogen. Der Entwurf wird erfahrenen Entwicklern präsentiert und auf seinen Sinn überprüft. Die Analyse soll ausführlich und genau durchgeführt werden, falls dennoch Zweifel bestehen, soll mit dem Kunden über das Kundenforum Kontakt aufgenommen werden. Zusätzlich werden Analyse, Projektplan, Spezifikation, sowie Entwurf auf Papier festgehalten und zu den gegebenen Meilensteinen überprüft. Durch die regelmäßigen Treffen mit den Betreuern, soll dieses Risiko zudem minimiert werden. Falls jedoch Anforderungen vergessen wurden, muss bei der Abnahme um eine Zeitverlängerung gebeten werden, um das Produkt noch den gewünschten Anforderungen anzupassen.

Risiko	Kommunikationsprobleme im Team
Bewertung	Dieses Risiko hat eine geringe Eintrittswahrscheinlichkeit.
Auswirkung	Es werden Funktionalitäten doppelt implementiert beziehungsweise gar nicht, weil keine Aufgaben verteilt wurden.
Gegenmaßnahme	Missverständnisse und Kommunikationsprobleme werden durch regelmäßige persönliche Treffen, sowie häufigen Mailkontakt entgegengewirkt. Die Zuständigkeitsbereiche werden außerdem sehr genau verteilt. Die durch Missverständnisse entstandene Zeitverschiebung muss rechtzeitig im Terminplan vermerkt werden.

## 3.3 Entwicklungsplan

### 3.3.1 Arbeitspakete

Das Projekt beinhaltet folgende unabhängige Arbeitspakete:

Diese Arbeitspakete sollen, während der Projektdauer, mehrmals durchlaufen werden, um ein möglichst hochwertiges Endprodukt zu gewährleisten.

- Analyse

- Überarbeitung des Projektplans
- Spezifikationserstellung & Spezifikationsreview & Spezifikationsüberarbeitung
- Entwurfserstellung & Entwurfsreview & Entwurfsüberarbeitung
- Implementierung & Modultest & Systemtest & gegebenenfalls Korrektur des Codes
- User Studies
- Halterungen erstellen
- Auslieferung
- Sonstiges

### 3.3.2 Zeitplan und Meilensteine

Nr.	Meilenstein	Abzugebende Dokumente	Termin
1	Projektplan	Dokumente: Projektplan  Code: —  Ausführbare Datei: —  Physisches Objekt: —	1.7.2015
2	Spezifikation	Dokumente: Spezifikation / Anforderungsanalyse  Code: —  Ausführbare Datei: —  Physisches Objekt: —	8.7.2015
3	Entwurf	Dokumente: Entwurf / Design  Code: —  Ausführbare Datei: —  Physisches Objekt: —	5.8.2015

### 3.3 Entwicklungsplan

4	Implementierung	Dokumente: User Study mit Studenten  Code: Alpha (Wärmebild und Tiefenbild alleine, Ausgabe nur auf dem Smartphone)  Ausführbare Datei: Alpha (Wärmebild und Tiefenbild alleine, Ausgabe nur auf dem Smartphone)  Physisches Objekt: Halterung für Kameras	7.10.2015
5	Implementierung	Dokumente: –  Code: Beta (Wärmebild mit Tiefenbild fusioniert, Ausgabemethoden wechseln, Ausgabe auf der AR Brille und Smartphone), Systemtest  Ausführbare Datei: Beta (Wärmebild mit Tiefenbild fusioniert, Ausgabemethoden wechseln, Ausgabe auf der AR Brille und Smartphone)  Physisches Objekt: Halterung auch für Smartphone	11.11.2015
6	Release Candidate	Dokumente: User Study mit Feuerwehrleuten  Code: –  Ausführbare Datei: –  Physisches Objekt: Helmhalterung	20.1.2016
7	Abnahme	Dokumente: Projektplan, Spezifikation, Entwurf, Kurze Installations- und Startanleitung, Lizenzen, falls erforderlich  Code: Vollständiger, kompilierbarer Programmcode  Ausführbare Datei: Ausführbares Programm  Physisches Objekt: Halterungen, bereitgestellte Hardware	31.3.2016
8	Abschluss	–	April 2016

## 3.4 Entwicklungsprozess

### 3.4.1 Dokumentation

Folgende Dokumente sollen während des Projekts erstellt und gepflegt werden:

- Analysenotizen & sonstige Dokumente des Kunden
- Projektplan
- Begriffslexikon
- Spezifikation
- Entwurf

### 3.4.2 Qualitätssicherung

Während des gesamten Entwicklungsprozesses soll eine hohe Qualität aller erstellten Dokumente gewährleistet sein, weshalb das Einhalten aller Standards unerlässlich ist. Dazu müssen die entstandenen Dokumente Reviews unterzogen werden und anhand der Befunde korrigiert werden. Es sind zwei Arten von Reviews geplant, einerseits ein internes Review der Spezifikation durch die Entwicklergruppe selbst und andererseits eine Präsentation vor erfahrenen Entwicklern.

Auch das Testen der Implementierung ist wichtig, weshalb es Modultests, sowie einen Systemtest geben wird.

Zudem muss der Projektfortschritt regelmäßig erfasst und die Zeitplanung gegebenenfalls daran angepasst werden. Damit sollen unerwartete Terminschwierigkeiten verhindert werden.

### 3.4.3 Eingesetzte Werkzeuge

Folgende Werkzeuge werden bei der Entwicklung eingesetzt:

**Eclipse / Visual Studio** – Entwicklungsumgebung &

**GitLab & Google Drive** – Konfigurationsmanagement

**LATEX** – Dokumentenerstellung

**UmLet** – UML-Modellierung

**RevAger** – Review-Organisation und -protokollierung

**Testsuite-Management (TSM)** – Testfallverwaltung

### 3.4.4 Programmierrichtlinien

Als Programmierrichtlinien dienen die Codekonventionen von Microsoft für C#<sup>1</sup>, an die sich die Entwickler halten um guten und verständlichen Quellcode zu erzeugen.

## 3.5 Projektorganisation

Projektmitglied 1	Matrikelnummer	Georgios Balatzis 2539443
	E-Mail	<a href="mailto:Georgios.Balatzis@tik.uni-stuttgart.de">Georgios.Balatzis@tik.uni-stuttgart.de</a>
Projektmitglied 2	Matrikelnummer	Désirée Brunner 2798873
	E-Mail	<a href="mailto:desiree.brunner3@gmail.com">desiree.brunner3@gmail.com</a>
Projektmitglied 3	Matrikelnummer	Bamini Inderarajah 2781738
	E-Mail	<a href="mailto:st100499@stud.uni-stuttgart.de">st100499@stud.uni-stuttgart.de</a>
Projektmitglied 4	Matrikelnummer	Rafael Janetzko 2906403
	E-Mail	<a href="mailto:st111995@stud.uni-stuttgart.de">st111995@stud.uni-stuttgart.de</a>
Projektmitglied 5	Matrikelnummer	Tung Anh Nguyen 2788508
	E-Mail	<a href="mailto:tunganh.nguyen@t-online.de">tunganh.nguyen@t-online.de</a>
Projektmitglied 6	Matrikelnummer	Valentin Seifermann 2853637
	E-Mail	<a href="mailto:seifervn@studi.informatik.uni-stuttgart.de">seifervn@studi.informatik.uni-stuttgart.de</a>
Projektmitglied 7	Matrikelnummer	Jens Reinhart 2876847
	E-Mail	<a href="mailto:jens-reinhart@web.de">jens-reinhart@web.de</a>

<sup>1</sup><https://msdn.microsoft.com/de-de/library/ff926074.aspx>

Projektmitglied 8	Matrikelnummer E-Mail	Marvin Tiedtke 2814650 <a href="mailto:st102418@stud.uni-stuttgart.de">st102418@stud.uni-stuttgart.de</a>
Projektmitglied 9	Matrikelnummer E-Mail	Kim Trong Truong 2834274 <a href="mailto:st104889@stud.uni-stuttgart.de">st104889@stud.uni-stuttgart.de</a>
Projektmitglied 10	Matrikelnummer E-Mail	Suraya Uddin 2787295 <a href="mailto:st100239@stud.uni-stuttgart.de">st100239@stud.uni-stuttgart.de</a>
Projektleiter		Marvin Tiedtke
Stellvertretender Projektleiter		Georgios Balatzis
Betreuer 1	E-Mail	Jun.-Prof. Niels Henze <a href="mailto:niels.henze@vis.uni-stuttgart.de">niels.henze@vis.uni-stuttgart.de</a>
Betreuer 2	E-Mail	Pascal Knierim, M.Sc. <a href="mailto:Pascal.Knierim@vis.uni-stuttgart.de">Pascal.Knierim@vis.uni-stuttgart.de</a>
Betreuer 3	E-Mail	Yomna Abdelrahman, M.Sc. <a href="mailto:Yomna.Abdelrahman@vis.uni-stuttgart.de">Yomna.Abdelrahman@vis.uni-stuttgart.de</a>
Kunde		Jun.-Prof. Niels Henze

## 3.6 Versionhistorie

**Version 0.1 (11.6.2015)** Erstellen eines ersten groben Entwurfs

**Version 1.0 (19.6.2015)** Überarbeitung des Angebots

**Version 1.1 (6.7.2015)** Überarbeitung der Meilensteine

**Version 1.2 (19.7.2015)** Überarbeitung der Arbeitspakete & Feststellung der Meilensteindokumentart

**Version 1.3 (3.3.2016)** Aktualisierung & Korrektur des Dokuments

# **4 Spezifikation**

Nachdem im Projektplan die Rahmenbedingungen und zeitlichen Abläufe formal festhalten wurden, werden nun in der Spezifikation, die Anforderungen an den, während des Projekts „ProFire“, zu entwickelnde Prototyp erfasst.

## **4.1 Einleitung**

### **4.1.1 Zweck der Spezifikation**

Die in der Analyse gesammelten Anforderungen an die Software müssen in der Spezifikation geordnet und schriftlich festgehalten werden. Des Weiteren ist die Spezifikation Grundlage für alle weiteren entstehenden Dokumente und entscheidet im Streitfall darüber, ob das Resultat den Abmachungen und Anforderungen des Kunden und den Betreuern an die Software entspricht. Außerdem ist die Spezifikation notwendig für den Entwurf, die Implementierung, die Testvorbereitung, die Prüfung und die Abnahme.

Das Team verpflichtet sich, die Spezifikation aktuell zu halten und mit anderen Dokumenten abzustimmen.

Auch nach der Auslieferung soll die Spezifikation anderen Entwicklern das Einarbeiten, Verbessern, Erweitern und die Wartung der Software erleichtern.

### **4.1.2 Lesekreis der Spezifikation**

Folgende Personen gehören zum Leserkreis der Spezifikation:

- Der Kunde
- Das gesamte Entwicklerteam
- Die universitären Betreuer

### 4.1.3 Einsatzbereich und Ziele von ProFire

Die Software wird im Rahmen des Studienprojekts 2015/2016 an der Universität Stuttgart für das Institut für Visualisierung und Interaktion entwickelt.

„ProFire“ soll Feuerwehrleute bei ihren Einsätzen unterstützen. Insbesondere dann, wenn diese sich nicht mehr auf ihre normale visuelle Wahrnehmung verlassen können. In solchen Situationen verwenden Feuerwehrleute häufig Wärmebildkameras. Hierbei entsteht jedoch das Problem der Überstrahlung und der fehlenden dreidimensionalen Wahrnehmung (vor allem Einschätzung von Distanzen). Diese Probleme sollen mit diesem Projekt angegangen und behoben werden.

Dazu wird ein Prototyp, bestehend aus einer Wärmebildkamera, Tiefenbildkamera, Halterung, Ausgabemodul und der passenden Software dazu, entwickelt. Die Software soll die Bilder dieser beiden Kameras so überlagern, sodass man Kanten des überstrahlten Objektes nachzeichnen kann und Entfernung bestimmen kann. Es sollen die positiven Eigenschaften beider Kameras ausgenutzt werden, um Schwächen der einen mit Hilfe der Stärken der anderen zu reduzieren.

Das Projekt wurde von Prof. Dr. Schmidt vom Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme der Universität Stuttgart initiiert.

### 4.1.4 Überblick über den Aufbau der Spezifikation

**Abschnitt 4.2 – Allgemeine Beschreibung** Gibt einen Ausblick über den Umfang dieser Software. Es werden außerdem Informationen über die Funktionen der Software erklärt.

**Abschnitt 4.3 – Einzelanforderungen** Zeigt alle Anforderungen von „ProFire“ auf. Diese werden in nicht-funktionale und funktionale Anforderungen aufgeteilt.

**Abschnitt 4.4 – Set-Up** Beschreibt den Prototypaufbau und die Oberfläche (mithilfe eines UI-Prototyps).

**Abschnitt 4.5 – Anwendungsfälle** Gibt einen Überblick über alle möglichen Anwendungsfälle dieser Software.

**Abschnitt 4.6 – Anhang** Hier findet man das Begriffslexikon.

**Abschnitt 4.7 – Versionshistorie** Dieses Kapitel beinhaltet die Versionshistorie dieser Spezifikation.

### 4.1.5 Verwendete Abkürzungen und Schreibweisen

Alle für das Projekt relevanten Fachbegriffe und Abkürzungen sind im Begriffslexikon (am Ende dieses Dokuments) aufgeführt.

### 4.1.6 Aufbau dieses Dokuments

Neben der allgemeinen Beschreibung des Systems, sollen die Profile aller späteren Nutzer des System skizziert werden. Darüber hinaus sollen die Anforderungen an die Funktion des Systems und die geforderten Qualitäten hinsichtlich der Software selbst dokumentiert werden.

## 4.2 Allgemeine Beschreibung

### 4.2.1 Einbettung

Das System „**ProFire**“ soll hauptsächlich bei der Feuerwehr genutzt werden. Das System soll in einer Windows-Umgebung (Windows 7 oder neuer) laufen und eine visuelle Ausgabe auf dem ausführenden Laptop, sowie einem im selben WLAN-Netz befindlichen Handy (LG G Flex 2) und einer angeschlossenen Augmented Reality-Brille (Meta 1), unterstützen.

Für die Funktionalität verwendet das System eine Kombination aus Wärmebild- und Tiefenbildkamera zur Messung der Daten. Die Auswertung erfolgt dann durch das System.

Das .NET Framework Version 4.5 oder neuer, sowie die SDKs der gegebenen Kameras müssen vorhanden sein.

### 4.2.2 Überblick über die Funktionen

- Einbenutzersystem
- Halterung als Case für Wärmebildkamera und Tiefenbildkamera (sowohl auf Stick als auch am Helm montierbar)
- Anzeige auf Augmented-Reality-Brille, Laptop und Smartphone
- Anzeige von Informationen wie Temperatur, Entfernung und Kontur von Objekten
- Möglichkeit des Wechseln der Anzeigebilder:
  - Tiefenbild
  - Wärmebild
  - RGB-Bild
  - Generiertes Bild (Wärmebild-Tiefenbild-Überlappung)

Weitere Einzelheiten und Erläuterungen werden im Abschnitt 3.2 „Funktionale Anforderungen“ beschrieben.

### 4.2.3 Mengengerüst

Folgende Kenngrößen sind relevant für das System:

- Es werden Daten aus einer Wärmebild- und Tiefenbildkamera verarbeitet.
- Das System kann mehrfach, aber immer nur von einer Person genutzt werden.
- Erkennt Temperaturen im Messbereich in °C durch Wärmebildkamera.
- Daten der Wärmebildkamera:
  - gemessene Objekt-Temperatur, Anzeige der Temperatur-Zonen in °C
  - Temperatur der Wärmebildkamera in °C
  - Umgebungstemperatur in °C
  - Emissionkoeffizient zur Bestimmung der Objekt-Temperatur
  - Geräte-spezifische Konstante
  - Auflösung von 382\*288 Pixel
- Erkennt Entferungen im Messbereich in m (Meter) durch Tiefenbildkamera.
- Daten der Tiefenbildkamera:
  - relative Distanz der Objekte in der Umgebung
  - Auflösung 640\*480

### 4.2.4 Profil der ProFire-Nutzer

Die Benutzer der Software arbeiten bei der Feuerwehr und haben bereits Erfahrungen mit Wärmebildkameras in der Praxis gesammelt. Für die Nutzung der Software „ProFire“ sind keine Programmierkenntnisse in der Sprache C# (auf welcher „ProFire“ basiert) oder anderen Programmiersprachen notwendig. Daher wird die Nutzung der Software auch keine Einschränkungen für den Nutzer haben.

### 4.2.5 Entwicklungswerkzeuge

**Eclipse / Visual Studio** – Entwicklungsumgebung

**GitLab & Google Drive** – Konfigurationsmanagement

**LATEX** – Dokumentenerstellung

**UmLet** – UML-Modellierung

**RevAger** – Review-Organisation und -protokollierung

**Testsuite-Management (TSM)** – Testfallverwaltung

### 4.2.6 Einschränkungen

- Programmiersprache C# 5
- Verwendung von den Kamera SDKs
- Splashtop Personal
- optris PI Connect 2.9.2147.0

### 4.2.7 Annahmen und Abhängigkeiten

Bei der Spezifikation wurde von folgenden externen Einflussfaktoren ausgegangen:

- Für das Projekt stehen ausreichend Personen zur Verwirklichung des Projekts zur Verfügung.
- Die Software soll nach der ersten Inbetriebnahme solange wie möglich bestehen bleiben, da sie voraussichtlich nicht durch ein Nachfolgesystem ersetzt wird. Es ist aber nicht ausgeschlossen, dass in Zukunft neue Funktionen in das bestehende System eingepflegt werden.

## 4.3 Einzelanforderungen

### 4.3.1 Nichtfunktionale Anforderungen

#### Auflösung

Die auf die Brille projizierten Bildern können mit einer Auflösung von mindestens 960\*540 angezeigt werden. Ziel ist es dadurch die Realität zu ergänzen, ohne die Wahrnehmung der Umgebung zu verhindern. Die genaue Auflösung und Anzeige wird während der Entwicklung noch optimiert.

#### Bedienbarkeit

Die Bedienbarkeit der Software soll intuitiv sein. Der User kann zwischen der Ausgabe von dem Wärmebild, Tiefenbild, RGB-Bild und der Fusion wechseln, indem er einen Schalter betätigt (Im Prototyp eine Maus, später eventuell durch Gesten die von der Brille wahrgenommen werden). Bei der Maus werden lediglich die Tasten benötigt.

#### Wartbarkeit / Erweiterbarkeit

Die Software wird zurzeit noch als Prototyp entwickelt, deshalb werden als Priorität die Projektion der Wärme- und Tiefenbilder gesetzt. Die Schnittstelle wird dennoch so implementiert, das später weiter Module eingebettet werden können.

#### Ausfallsicherheit

Da die Software zurzeit noch als Prototyp entwickelt wird soll die Ausfallsicherheit der Anwendung so sicher sein, dass sie Tests in nach simulierten Testumgebungen standhält. Das heißt sie sollte mindestens eine halbe Stunde ohne Probleme laufen können. Die Software muss nicht gegen hardwareseitige Abstürze, wie Crash der verwendeten SDKs oder Entfernen einer Kamera, unempfindlich sein. Dennoch wird eine höhere Ausfallsicherheit angestrebt.

### 4.3.2 Funktionale Anforderungen

#### Anzeigen von Temperatur und Distanz

Ziel der Anwendung ist es mehr Informationen über die Umgebung zu bekommen, vor allem die Distanz zu Objekten und die Temperatur sollen angezeigt werden. Um dies zu erreichen,

wird die Temperatur und Distanz vom Mittelpunkt des Bildes, welches durch ein Fadenkreuz festgelegt wird, am rechten oberen Bildrand in allen verschiedenen Kameramodi angezeigt.

### **RGB-Bildanzeige**

Die Anforderung der Projektion des RGB Bildes auf der Brille ohne weitere Informationen macht für den Endbenutzer Sinn, da er durch die Kamera in das Bild hineinzoomen kann. Zusätzlich ermöglicht die Kameraführung mit Hand dem User um die Ecke zu sehen, oder vor beziehungsweise hinter Hindernissen die Lage aufzunehmen.

### **Tiefenbildanzeige**

Um mehr Informationen über die Umgebung zu bekommen, kann man durch die Tiefenbildanzeige einen räumlichen Eindruck erreichen. Die Tiefenbildanzeige soll zuverlässig bei einer Reichweite von 0.5m bis 5m die Tiefe des Bildes anzeigen. Das Tiefenbild ist zuverlässig innerhalb von Umgebungen, welche nicht von direkter Sonnenbestrahlung betroffen sind. Zusätzlich wird das Tiefenbild auch bei Dunkelheit zuverlässig angezeigt.

### **Wärmebildanzeige**

Durch Anzeige des Wärmebildes kann der User die Objekte im Raum anhand deren Temperatur wahrnehmen. Da verschiedene Temperaturen einem Farbspektrum entsprechen, kann der User die verschiedene Temperaturen von Objekten und des Raumes wahrnehmen. Die Wärmebildkamera ignoriert, im Gegensatz zur Tiefenbildkamera, Sonne, Rauch und Lichtverhältnisse. Problematisch dagegen sind Metallflächen, Spiegel und Glasscheiben.

### **Generiertesbild (Wärmebild-Tiefenbild-Überlappung)**

Mit Ziel der besseren Konturenerkennung von reflektierenden / abstrahlenden / innerliegenden Gegenständen für den User zu rendern. Das Bild das der User am Ende bekommt, soll eine Fusion des Wärmebildes und Tiefenbilds sein, mit schärferen Konturen und Kanten. Ziel ist es das Wärmebild genauer und schärfer zu machen.

### **Zuverlässige Daten in Echtzeit**

Die Anwendung ist für den Gebrauch in Echtzeit bestimmt und muss daher die Temperatur und Distanz ohne Verzögerungen anzeigen können.

### Wahl der Ausgabemethode

Der Nutzer soll die Möglichkeit haben, eine Ausgabe auf der Brille zu verhindern. In diesem Fall, wird das mobile Anzeigegerät als einzige Ausgabemethode verwendet. Um dies zu erreichen, soll die Möglichkeit bestehen, auf der kompletten Brille ein schwarzes Overlay anzulegen. Dies hat die Wirkung, dass die Ausgabe für den Nutzer transparent erscheint.

## 4.4 Set-Up

Der schematische Aufbau soll wie in Abbildung 4.1 dargestellt aussehen, dabei trägt der Anwender einen Rucksack in dem ein Laptop enthalten ist. Beide Kameras sind dauerhaft mit dem Laptop verbunden. Zusätzlich trägt der Nutzer die Meta 1 Brille.

Die Wärmebildkamera und der Tiefenbildsensor werden in einer gemeinsamen Halterung montiert. Diese Halterung verfügt über ein Gewinde, welches eine Montage auf einem Standard GoPro-Handstavtiv ermöglicht. Der Benutzer trägt die Halterung, über diesen Stick, per Hand. Zusätzlich existiert die Möglichkeit, die Halterung an einem Feuerwehrhelm zu befestigen.

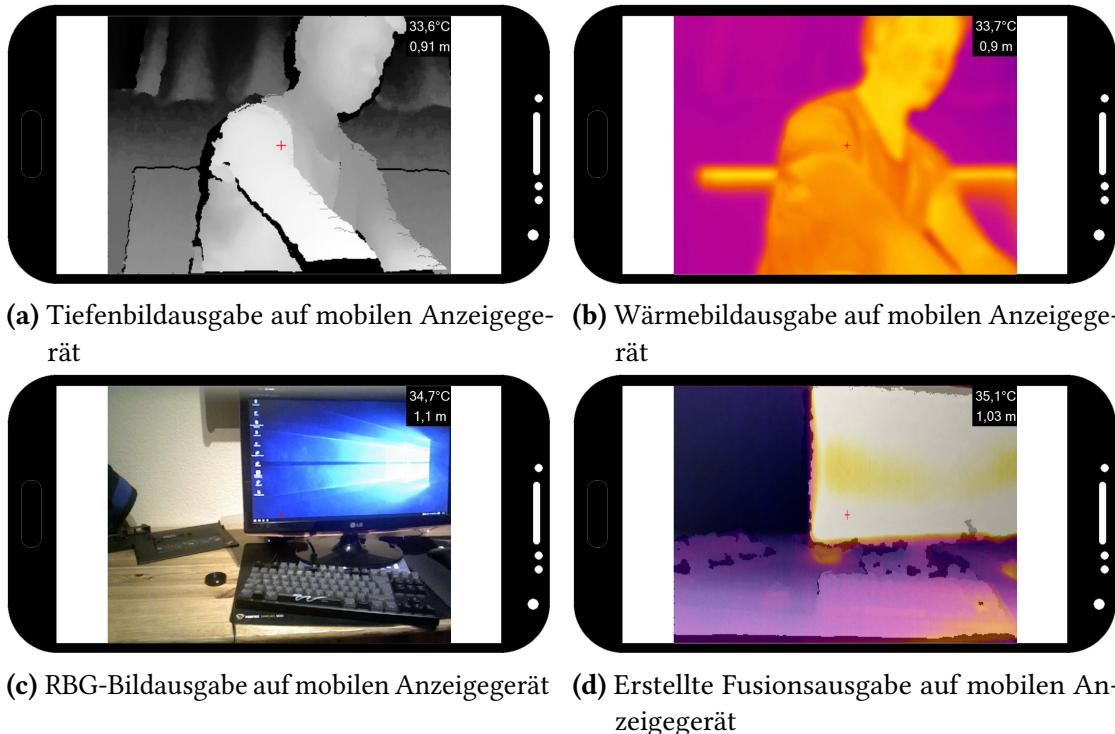
Die Programmsteuerung erfolgt über eine Maus oder ein mausähnliches Gerät, welches gegebenenfalls an der Halterung montiert ist. Dabei werden lediglich die Maustasten zum Steuern benötigt.



(a) Handheld Prototyp

(b) Prototyp in Kombination mit einem Head Mounted Display

**Abbildung 4.1:** Halterungsaufbau



**Abbildung 4.2:** Mock-Ups der Ausgabe auf einem mobilen Anzeigegerät

Es sind zwei Ausgabemöglichkeiten vorgesehen, welche sich in ihrer Funktionalität nicht unterscheiden: Erstere sieht so aus, dass der Benutzer eine Augmented Reality Brille (Meta 1) auf hat, welche am Laptop angeschlossen ist. Hierbei kann der Benutzer über die AR Brille die verschiedenen Ausgabemethoden, wie Wärmebild, Tiefenbild und beide fusioniert, direkt vor seinem Auge sehen. Die zweite Variante funktioniert ähnlich wie die Erste. Hierbei trägt der Benutzer ein mobiles Ausgabegerät (in unserem Fall ein Smartphone), welches gegebenenfalls sichtbar am Rücken der Halterung angebracht ist. Das Ausgabegerät muss dafür im selben WLAN-Netz wie der Laptop sein.

Die GUI-Skizzen aus Abbildung 4.2 geben einen Ausblick auf die anzustrebenden Ausgabemöglichkeiten:

## 4.5 Anwendungsfälle

### 4.5.1 Anwendungsfalldiagramm

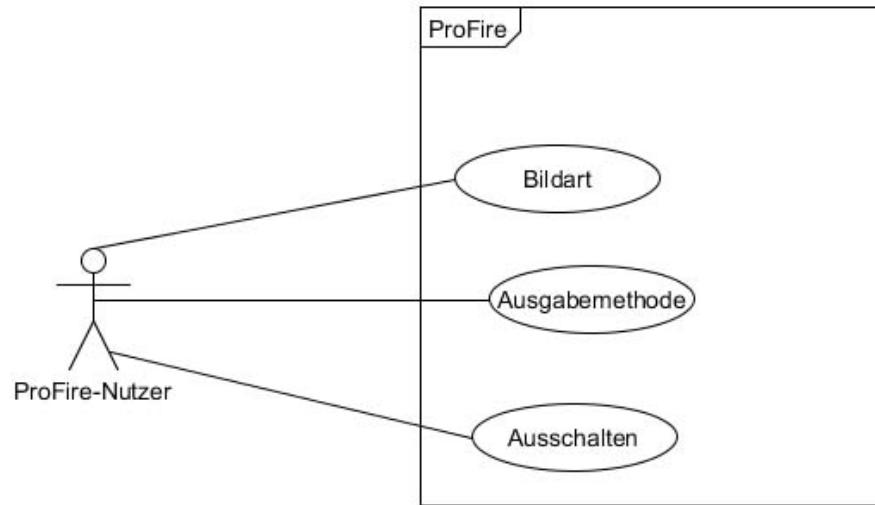


Abbildung 4.3: Zeigt die Funktionen von „ProFire“

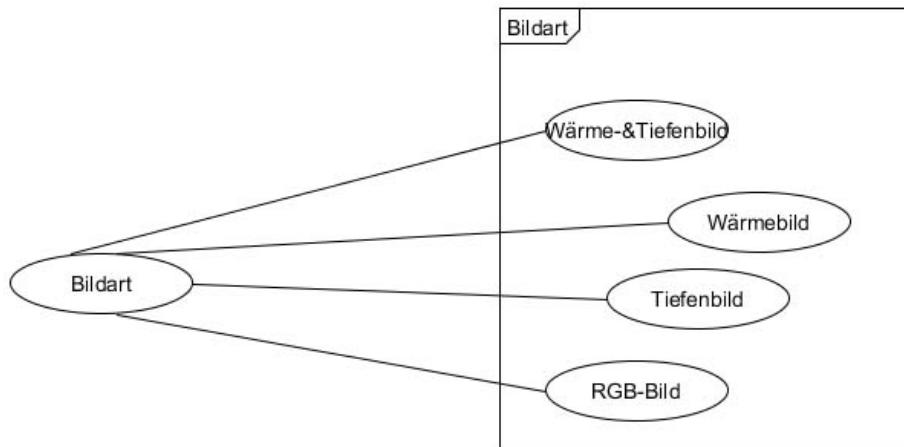
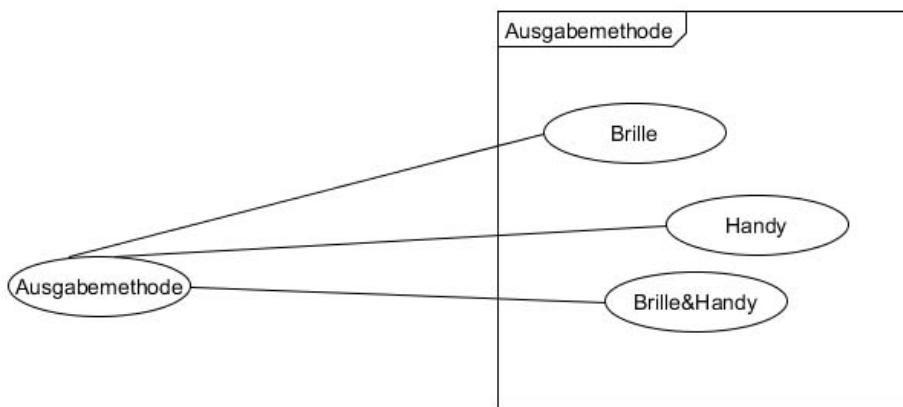


Abbildung 4.4: Zeigt die genauen Funktionen von Bildart



**Abbildung 4.5:** Zeigt die genauen Funktionen von Ausgabemethode

#### 4.5.2 Beschreibung der Anwendungsfälle

In den folgenden Anwendungsfälle wird davon ausgegangen, dass sowohl die Brille als auch das mobile Anzeigegerät zur Bildausgabe genutzt wird.

##### Das Tiefebild anzeigen

Ziel	Der Nutzer kann das Tiefenbild sehen.
Vorbedingung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Software wurde ordnungsgemäß gestartet.</li> <li>Die Software zeigt nicht das Tiefenbild an.</li> </ul>
Nachbedingung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Das Tiefenbild wird auf der Brille und auf dem mobilen Anzeigegerät angezeigt.</li> </ul>
Nachbedingung im Sonderfall	—

Regulärer Ablauf	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Der Nutzer betätigt den Linksklick der Maus.</li> <li>2. Es werden für jeden Klick nacheinander die verschiedenen Bildmodi angezeigt.</li> <li>3. Der Nutzer betätigt den Linksklick der Maus bis das Tiefenbild angezeigt wird.</li> <li>4. Das Tiefenbild wird angezeigt.</li> </ol>
Sonderfall	—
Akteure	Der Nutzer

### Das Wärmebild anzeigen

Ziel	Der Nutzer kann das Wärmebild sehen.
Vorbedingung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Software wurde ordnungsgemäß gestartet.</li> <li>• Die Software zeigt nicht das Wärmebild an.</li> </ul>
Nachbedingung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Wärmebild wird auf der Brille und auf dem mobilen Anzeigegerät angezeigt.</li> </ul>
Nachbedingung im Sonderfall	—
Regulärer Ablauf	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Der Nutzer betätigt den Linksklick der Maus.</li> <li>2. Es werden für jeden Klick nacheinander die verschiedenen Bildmodi angezeigt.</li> <li>3. Der Nutzer betätigt den Linksklick der Maus bis das Wärmebild angezeigt wird.</li> <li>4. Das Wärmebild wird angezeigt.</li> </ol>
Sonderfall	—
Akteure	Der Nutzer

### Das verbesserte Wärmebild anzeigen

Ziel	Der Nutzer kann das verbesserte Wärmebild sehen.
Vorbedingung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Software wurde ordnungsgemäß gestartet.</li> <li>• Die Software zeigt nicht das verbesserte Wärmebild an.</li> </ul>
Nachbedingung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das verbesserte Wärmebild wird auf der Brille und auf dem mobilen Anzeigegerät angezeigt.</li> </ul>
Nachbedingung im Sonderfall	—
Regulärer Ablauf	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Der Nutzer betätigt den Linksklick der Maus.</li> <li>2. Es werden für jeden Klick nacheinander die verschiedenen Bildmodi angezeigt.</li> <li>3. Der Nutzer betätigt den Linksklick der Maus bis das verbesserte Wärmebild angezeigt wird.</li> <li>4. Das verbesserte Wärmebild wird angezeigt.</li> </ol>
Sonderfall	—
Akteure	Der Nutzer

### Das RGB-Bild anzeigen

Ziel	Der Nutzer kann das RGB-Bild sehen.
Vorbedingung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Software wurde ordnungsgemäß gestartet.</li> <li>• Die Software zeigt nicht das RGB-Bild an.</li> </ul>
Nachbedingung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das RGB-Bild wird auf der Brille und auf dem mobilen Anzeigegerät angezeigt.</li> </ul>

Nachbedingung im Sonderfall	—
Regulärer Ablauf	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Der Nutzer betätigt den Linksklick der Maus.</li> <li>2. Es werden für jeden Klick nacheinander die verschiedenen Bildmodi angezeigt.</li> <li>3. Der Nutzer betätigt den Linksklick der Maus bis das RGB-Bild angezeigt wird.</li> <li>4. Das RGB-Bild wird angezeigt.</li> </ol>
Sonderfall	—
Akteure	Der Nutzer

### Ausgabe auf der Brille deaktivieren

Ziel	Es findet keine Ausgabe auf der Brille statt.
Vorbedingung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Software wurde ordnungsgemäß gestartet.</li> <li>• Das Bild wird auf der Brille und dem mobilen Anzeigegerät angezeigt.</li> </ul>
Nachbedingung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Der gleiche Bildmodus wird nur auf dem mobilen Anzeigegerät angezeigt.</li> </ul>
Nachbedingung im Sonderfall	—
Regulärer Ablauf	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Der Nutzer betätigt den Rechtsklick der Maus.</li> <li>2. Auf der Brille wird angezeigt ein schwarzes Overlay angezeigt, um eine Transparenz zu simulieren.</li> </ol>
Sonderfall	—
Akteure	Der Nutzer

### Ausgabe auf der Brille aktivieren

Ziel	Es findet eine Ausgabe auf der Brille und dem mobilen Anzeigegerät statt.
Vorbedingung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Software wurde ordnungsgemäß gestartet.</li> <li>• Das Bild wird nur auf dem mobilen Anzeigegerät angezeigt.</li> </ul>
Nachbedingung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Der gleiche Bildmodus wird auf der Brille und dem mobilen Anzeigegerät angezeigt.</li> </ul>
Nachbedingung im Sonderfall	—
Regulärer Ablauf	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Der Nutzer betätigt den Rechtsklick der Maus.</li> <li>2. Auf der Brille wird der ausgewählte Bildmodus angezeigt.</li> </ol>
Sonderfall	—
Akteure	Der Nutzer

### Das Programm starten

Ziel	Das Programm läuft und der Nutzer kann das Programm benutzen.
Vorbedingung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Der PC, auf dem die Software ausgeführt werden soll, läuft.</li> <li>• Das Setup ist fertig aufgebaut <ul style="list-style-type: none"> <li>– Die Brille ist eingeschaltet.</li> <li>– Alle Kabel sind eingesteckt.</li> <li>– Das Gerät für die Mobile Ausgabe ist mit dem PC verbunden.</li> </ul> </li> <li>• Der Nutzer hat den Ordner geöffnet, indem sich die Anwendung zum Starten des Programms befindet.</li> </ul>

Nachbedingung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Der Benutzer kann das Programm bedienen.</li> <li>Das verbesserte Wärmebild wird auf der Brille und auf dem mobilen Anzeigegerät angezeigt</li> </ul>
Nachbedingung im Sonderfall	—
Regulärer Ablauf	<ol style="list-style-type: none"> <li>Der Nutzer betätigt einen Doppelklick auf die Anwendung, die das Programm startet.</li> <li>Das Programm startet und es wird ein schwarzer Bildschirm angezeigt.</li> <li>Der Nutzer betätigt den Linksklick der Maus.</li> <li>Das verbesserte Wärmebild wird angezeigt.</li> </ol>
Sonderfall	—
Akteure	Der Nutzer

### Das Programm beenden

Ziel	Das Programm ist geschlossen.
Vorbedingung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Das Programm läuft und einer der Bildmodi wird angezeigt.</li> </ul>
Nachbedingung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Das Programm ist geschlossen.</li> <li>Der Nutzer hat den Ordner geöffnet, indem sich die Anwendung zum Starten des Programms befindet.</li> </ul>
Nachbedingung im Sonderfall	—

Regulärer Ablauf	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Der Nutzer drückt die „ESC“-Taste.</li> <li>2. Das Programm schließt sich.</li> <li>3. Der Nutzer hat den Ordner geöffnet, indem sich die Anwendung zum Starten des Programms befindet.</li> </ol>
Sonderfall	—
Akteure	Der Nutzer

### Das Tiefenbild anzeigen

Ziel	Der Nutzer kann das Tiefenbild sehen.
Vorbedingung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Software wurde ordnungsgemäß gestartet.</li> <li>• Die Software zeigt nicht das Tiefenbild an.</li> </ul>
Nachbedingung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Tiefenbild wird auf der Brille und auf dem mobilen Anzeigegerät angezeigt.</li> </ul>
Nachbedingung im Sonderfall	—
Regulärer Ablauf	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Der Nutzer betätigt den Linksklick der Maus.</li> <li>2. Es werden für jeden Klick nacheinander die verschiedenen Bildmodi angezeigt.</li> <li>3. Der Nutzer betätigt den Linksklick der Maus bis das Tiefenbild angezeigt wird.</li> <li>4. Das Tiefenbild wird angezeigt.</li> </ol>
Sonderfall	—
Akteure	Der Nutzer

## 4.6 Anhang

### 4.6.1 Begriffslexikon

Begriff, Synonyme	Tiefe, Tiefenbild
Bedeutung	Darstellung der Distanz von Objekten durch unterschiedliche Farbabstufungen
Abgrenzung	–
Gültigkeit	–
Bezeichnung	–
Unklarheiten	–
Querverweise	–

Begriff, Synonyme	direktes Sonnenlicht
Bedeutung	Sonnenlicht das direkt auf Objekte strahlt und zuvor nicht durch Glasfenster gefiltert wurde
Abgrenzung	–
Gültigkeit	–
Bezeichnung	–
Unklarheiten	–
Querverweise	–

Begriff, Synonyme	Überstrahlung, abstrahlen
Bedeutung	Objekt, welches so heiß ist, sodass es die herumliegende Umgebung mit erwärmt
Abgrenzung	–
Gültigkeit	–
Bezeichnung	–
Unklarheiten	–
Querverweise	–

Begriff, Synonyme	System, Programm, „ProFire“
Bedeutung	Das System ist die Software wie sie in diesem Dokument spezifiziert ist, mit all ihren geplanten bzw. schon realisierten Funktionen.
Abgrenzung	Der Begriff System ist insbesondere nicht gleich zu verstehen mit dem Begriff Anwendung, auch wenn eine Anwendung immer ein System ist.
Gültigkeit	—
Bezeichnung	—
Unklarheiten	—
Querverweise	Anwendung

Begriff, Synonyme	Anwendung, Software
Bedeutung	Die Anwendung ist eine voll ausführbare Version des System.
Abgrenzung	Entwicklungsprototypen oder Testversionen sind keine Anwendung
Gültigkeit	Sobald die Anwendung stabil läuft ist sie eine gültige Anwendung.
Bezeichnung	Die Anwendung ist durch die Funktionen und durch die Versionsnummer gekennzeichnet.
Unklarheiten	—
Querverweise	System

## 4.7 Versionhistorie

**Version 0.1 (28.06.2015 )** Erstellung des Dokuments

**Version 1.0 (7.07.2015)** Überarbeitung Setup

**Version 1.1 (18.7.2015)** Genauere Spezifizierung der Nicht-funktionalen Anforderungen & Programmsteuerung

**Version 1.2 (3.3.2016)** Aktualisierung & Korrektur des Dokuments

# **5 Entwurf**

Während in der Spezifikation noch auf den zu erstellenden Prototypen eingegangen wurde, protokolliert der Entwurf die Designentscheidungen und Struktur der zu erstellenden Software.

## **5.1 Einleitung**

### **5.1.1 Zweck des Entwurfs**

Der Entwurf bietet den Entwicklern ein Grundgerüst, das als Orientierung der Software dienen soll. Es werden alle grundlegenden Entscheidungen bezüglich der Struktur der Software festgehalten. Hierbei werden das Gesamtsystem, sowie einzelne Komponenten detailliert mit Hilfe von UML-Diagrammen beschrieben. Durch das Dokument soll auch den zukünftigen Software-Entwicklern die Wartung der Software erleichtert werden.

### **5.1.2 Lesekreis des Entwurfs**

Folgende Personen gehören zum Leserkreis dieses Dokuments:

- Der Kunde
- Das gesamte Entwicklerteam
- Die universitären Betreuer

### **5.1.3 Überblick über das Entwurfsdokument**

Zunächst werde in Kapitel 2 die grundsätzliche Entwurfsentscheidungen beschrieben.

In Kapitel 3 werden die einzelnen Komponente detailliert beschrieben.

### 5.1.4 Schreibweisen und Abkürzungen

Paketnamen werden im Dokument **fett** hervorgehoben. Klassennamen werden *kursiv* dargestellt.

Bei eventuell unklaren Fachbegriffen und Abkürzungen, ist im Begriffslexikon der Spezifikation beziehungsweise der Spezifikation selbst eine Erklärung zu selbigen zu finden.

### 5.1.5 Aufbau dieses Dokuments

Zunächst sollen allgemeine Entwurfsentscheidungen, wie verwendete Entwurfs- und Architekturmuster erläutert werden. Dies soll ein Überblick über die grundsätzliche Struktur und Vorgehensweise im Entwurf verschaffen. Im darauffolgenden Kapitel werden die Komponenten mit ihren Paketen und Klassen detailliert beschrieben.

### 5.1.6 Einschränkungen in der Technik

Die Implementierung muss in C# 5 erfolgen. Zusätzlich müssen die SDKs der Kameras bestmöglich benutzt werden.

## 5.2 Grundsätzliche Entwurfsentscheidungen

### 5.2.1 Entworfene Software und Anforderung an den Entwurf

Die Software soll die Bilder einer Wärmebildkamera oder Tiefenbildkamera anzeigen und in beiden Bildern soll zusätzlich die Distanz zum Objekt im Mittelpunkt des Bildes angezeigt werden. Außerdem soll die Software bei Kamerabilder überlagern, sodass man Kanten des überstrahlten Objektes nachzeichnen kann und die Entfernung bestimmen kann.

Die zu entwickelnde Systemsoftware ist ein Einbenutzersystem, welches dementsprechend mehrmals parallel ausgeführt werden kann, aber jeweils immer nur von einem Nutzer bedient werden kann.

Alle in diesem Dokument getroffenen Entwurfsentscheidungen orientieren sich an den oben genannten Funktionen der Software, die in der Spezifikation genauer beschrieben sind.

Der Entwurf berücksichtigt im Besonderen die nicht-funktionalen Anforderungen, wie Test-, Wart-, Portier- und Erweiterbarkeit des Systems.

### 5.2.2 Entwurfsmuster und allgemeine Prinzipien

Es werden folgende Entwurfsmuster verwendet:

**Adapter** — Übersetzung einer Schnittstelle zu einer anderen.

Allgemein soll eine möglichst lose Kopplung zwischen den Modulen und ein hoher Zusammenspiel innerhalb von Klassen und Paketen herrschen.

### 5.2.3 Hardwareansicht

Im folgenden soll eine Übersicht über die beteiligten Geräte und deren Verbindungen untereinander gegeben werden.

Die Kameras und die Brille sind über einen USB-Port an dem Laptop angeschlossen, während der Laptop via WLAN mit dem Smartphone kommuniziert.

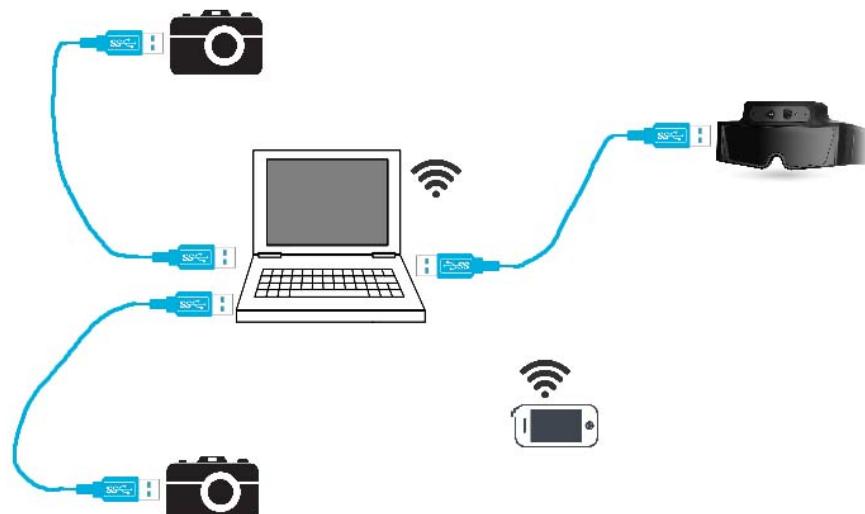


Abbildung 5.1: Hardwareaufbau

### 5.2.4 Komponentendiagramm

Das Komponentendiagramm bietet eine grobe Übersicht, über die geplanten Interaktionen der Komponenten untereinander. Eine genauere Beschreibung der einzelnen Komponenten erfolgt im Paketdiagramm.

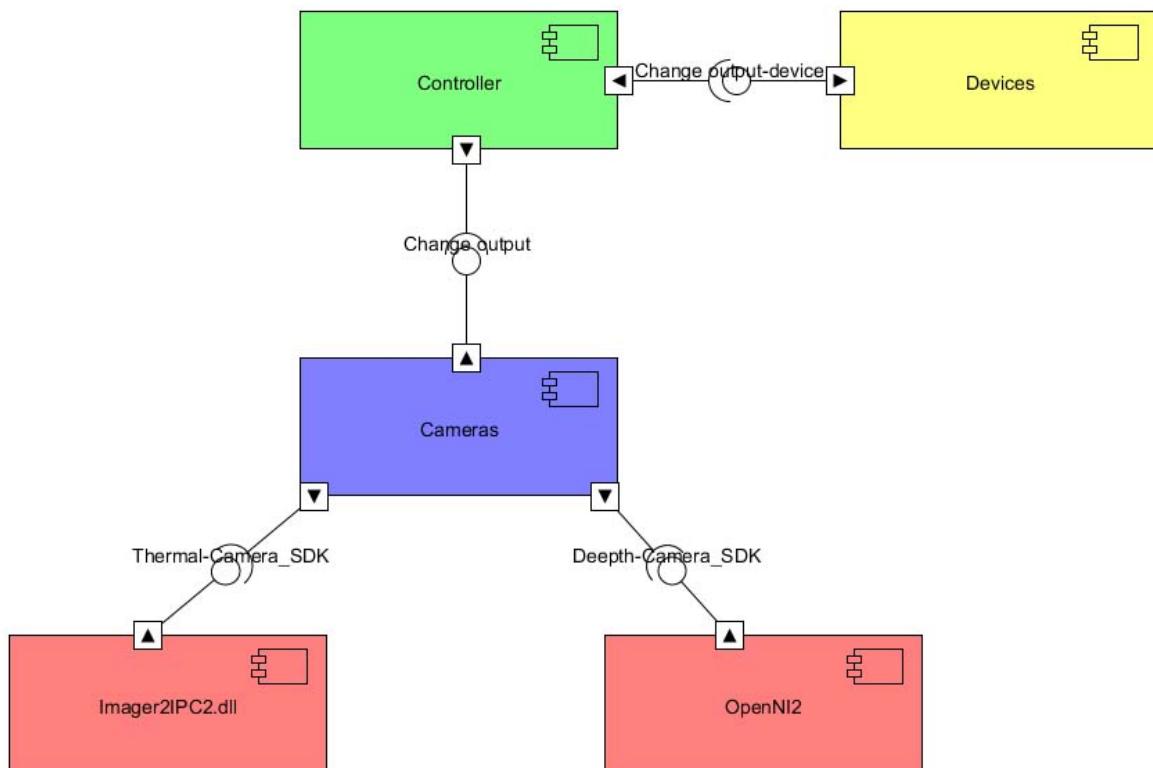


Abbildung 5.2: Komponentendiagramm

## 5.3 Beschreibung der einzelnen Komponenten

Die Komponente Controller ist für den Programmfluss und das Benutzerobermenü mitsamt Interaktion zuständig.

Die Cameras-Komponente ist der Adapter für die externen Bibliotheken. Alle bilderstellende und informationsgenerierende Bestandteile sind in dieser Komponente enthalten.

Die Devices-Komponente ist für den Umgang mit allen Ausgabegeräten verantwortlich. Sämtliche Hardware-Interaktion mit nicht bilderstellenden Geräten wird hier geregelt.

Sowohl die Imager2IPC2 als auch die OpenNI2 Komponente sind externe Bibliotheken, die zur Bilderstellung benötigt werden.

### 5.3.1 Die Komponenten Cameras, Controller und Devices

#### Paketdiagramm

Das Paketdiagramm verschafft einen Überblick über die in den Komponenten vorkommenden Pakete. Die einzelnen Pakete werden durch ihre Klassen und deren Methoden spezifiziert.

Während das **Controller**-Paket Zugriff auf ausgewählte Teile von **Devices** und **Camera.net** hat, können diese nicht auf Teile von Controller zugreifen. Zwischen **Devices** und **Camera.net** stehen in keiner Beziehung zueinander.

**Camera.net** importiert zusätzlich allerdings Funktionen aus den gegebenen Bibliotheken **Camera SDK**. Logischerweise ist dies eine einseitige Beziehung.

Damit ist eine hierarchische Ordnung gegebenen.

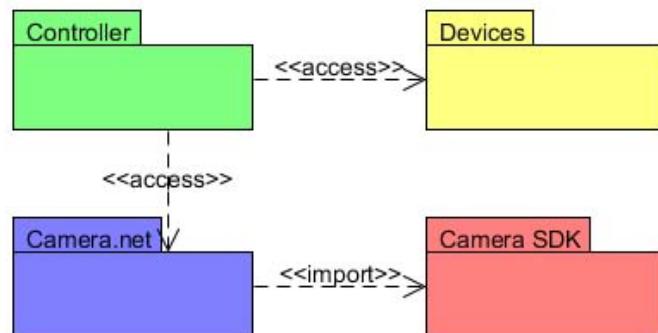


Abbildung 5.3: Paketdiagramm

#### Klassendiagramm

Das Klassendiagramm dient zur Veranschaulichung der einzelnen Beziehungen zwischen den Paketen und ihren Klassen.

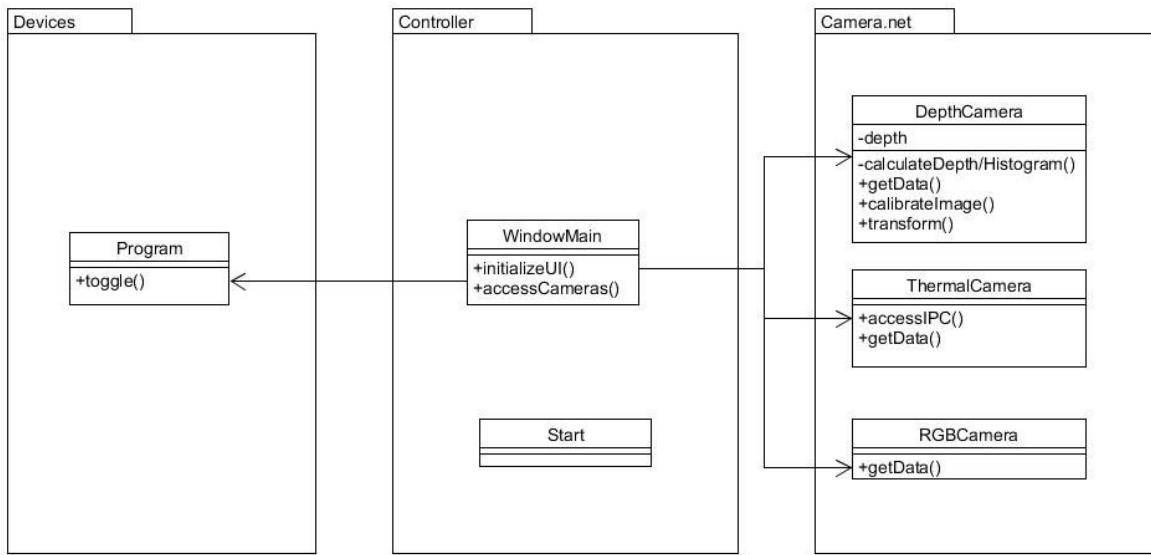


Abbildung 5.4: Klassendiagramm

## Beschreibung

Die Komponente **Cameras** besteht aus den Klassen *DepthCamera*, *ThermalCamera*, *RGBCamera*. Die Klasse *DepthCamera* ist für die Generierung der Tiefenbilder zuständig. Die Klasse *ThermalCamera* für die Generierung der Wärmebilder verantwortlich. Zusätzlich wird die Temperatur des Bildmittelpunktes gemessen und der *Viewer*-Klasse zu Verfügung gestellt. In diesen beiden Klassen können auf die jeweiligen Informationen zugegriffen werden.

Die Klasse *RGBCamera* ist für die Generierung des RGB-Bilds zuständig.

Das Paket **Controller** besteht aus den Klassen *Form* und *Start*.

Die Klasse *WindowMain* ist zuständig für die Erstellung, Anzeige und Bedienung der Benutzeroberfläche. Alle auswählbaren Optionen werden von hier aus an die zuständigen Objekte weitergereicht.

Die Klasse *Start* ist zuständig für die Ausführung des Programms und dafür verantwortlich, dass zum Programmstart die gewünschten Windows-Einstellungen gesetzt, sowie zum Programmende die alten wiederhergestellt werden.

Die Klasse *Monitor* ist eine abstrakte Klasse, die die Grundfunktionen jedes Ausgabegerätes enthält. Dazu gehört das Aktivieren und Deaktivieren eines Ausgabegeräts.

### 5.3.2 Externe Komponenten

Für die Generierung der Tiefenbilder wird das SDK OpenNI verwendet. Für die Generierung der Wärmebilder wird die Bibliothek Imager2IPC.dll verwendet.

## 5.4 Versionhistorie

**Version 1.0 (27.7.2015)** Erstellung des Dokuments

**Version 1.1 (9.8.2015)** Spezifizierung der Klassen

**Version 1.2 (20.3.2016)** Korrektur des Klassendiagramms

# 6 Dilatation

Nach der theoretischen Beschreibung der zu entwickelnden Software, besteht das Problem, dass das Tiefenbild an manchen Stellen flimmert oder auf Grund von Reflexionen teilweise nicht dargestellt werden kann. Um diesem Problem zu begegnen und ein hochwertigeres Tiefenbild zu erhalten, wurde die Dilatation eingesetzt.

## 6.1 Einleitung

In der digitalen Bildverarbeitung werden viele Verfahren zur Bildmanipulation verwendet. Darunter auch die morphologische Bildverarbeitung. Sie wird unter anderem zur Veränderung der Form von Bildstrukturen eingesetzt. Im genaueren handelt es sich hierbei also um Operationen auf der Gestalt von Objekten, um diese zu verändern und Störungen zu beseitigen.

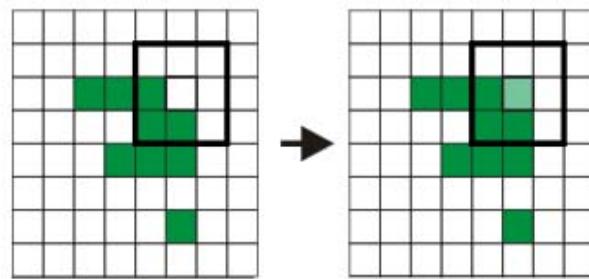
## 6.2 Motivation

Durch das Auftreten von Löchern in der Bildstruktur der Tiefenbildkamera ist es nötig, Bildmanipulationen durchzuführen um die Qualität zu verbessern. Die Basis hierfür bildet die Erosion und Dilatation, welche die Basisoperationen der Bildverarbeitung darstellen. Für unser Projekt haben wir die Dilatation verwendet, um die bestmöglichen Ergebnisse zu erzielen. Hierbei wurde die Dilatation modifiziert, um diese auf ein Tiefenbild anwenden zu können.

## 6.3 Dilatation

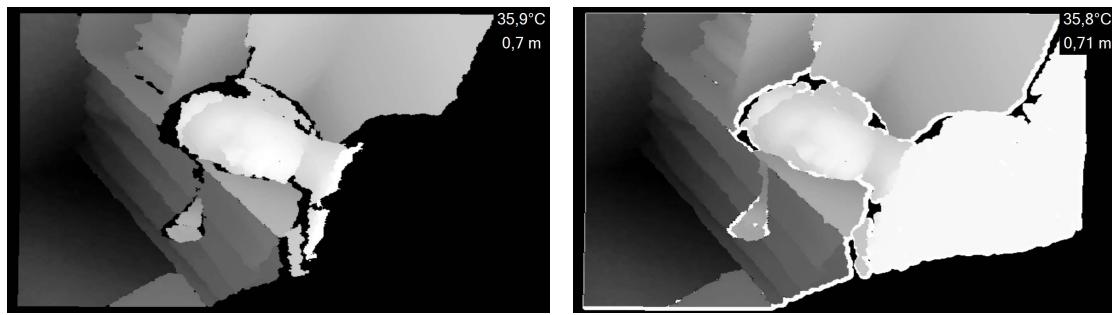
Die Dilatation ermöglicht eine Vergrößerung von Objekten sowie das Schließen von Löchern als auch das Verbinden von Strukturen. Durch die Verwendung eines Strukturelements wird die Formveränderung erzeugt. Dieses Strukturelement wird nun schrittweise über das Bild gesetzt.

Hierbei wird, wie in Abbildung 6.1 dargestellt, im Tiefenbild ein Tiefenwert gesetzt, wenn letztendlich ein Tiefenwert im Bereich des Strukturelements enthalten ist. Der gesetzte Tiefenwert ergibt sich aus den Tiefenwerten der Nachbarschaftspixel.



**Abbildung 6.1:** Dilatationsoperation

Abbildung 6.2 zeigt die hiermit erreichten Erfolge.



**Abbildung 6.2:** Effekte der Dilatation

# 7 Kalibrierung

Nachdem im vorherigen Kapitel auf die Methode der Dilatation zur Verbesserung des erstellten Tiefenbildes eingegangen wurde, wird in diesem Kapitel der Vorgang der Kalibrierung beschrieben.

## 7.1 Ziele der Kalibrierung

Das Ziel bei unserer Kalibrierung ist es die Bilder zweier verschiedener Kameras aufeinander anzupassen, sodass in beiden Kameras das gleiche Bild angezeigt wird.

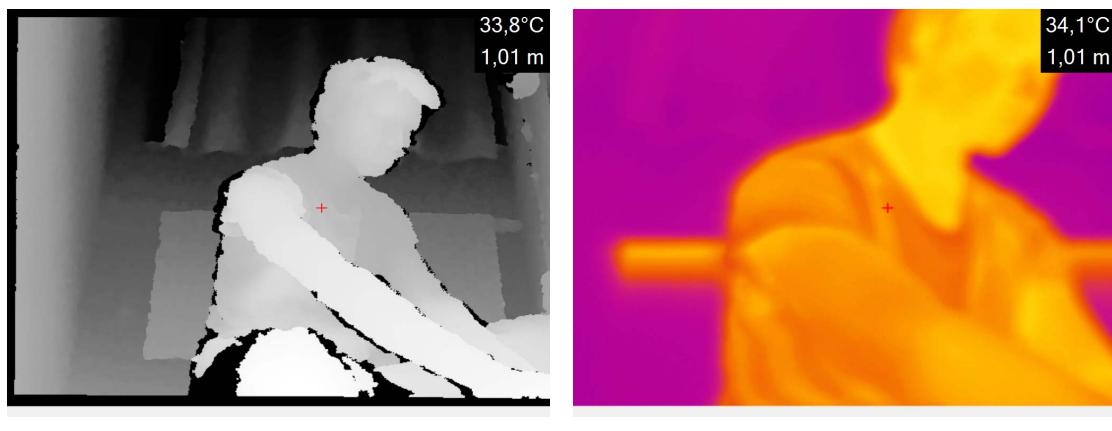


Abbildung 7.1: Konsolidierte Jahresabschlüsse

D. für  $\alpha = 1 - \frac{1}{n}$  ist

### Intrinsicer Kameraparameter: $R = 1 \text{ cm}^{-1}$

- Fokallänge (focal length)
  - Bildmittelpunkt (principal point)

**extrinsischer Kameraparameter:** Bestehend aus:

- Rotationsmatrix
  - Translationsmatrix

## 7.2 Berechnung der intrinsischen und extrinsischen Kameraparameter

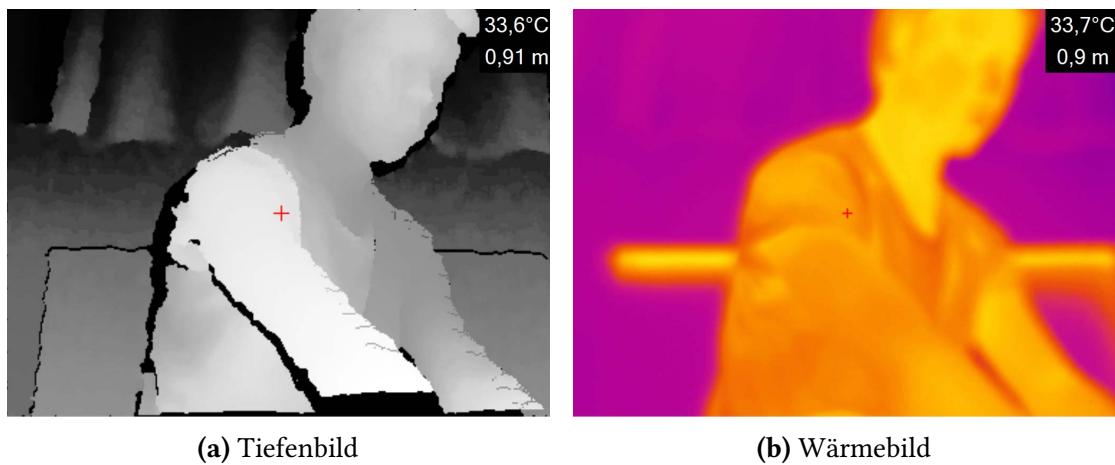


Abbildung 7.2: Kamerabilder nach der Kalibrierung

## 7.2 Berechnung der intrinsischen und extrinsischen Kameraparameter

Diese intrinsischen und extrinsischen Kameraparameter wurden für uns in MATLAB mithilfe der Computer Vision Toolbox berechnet.

### Testkalibrierung

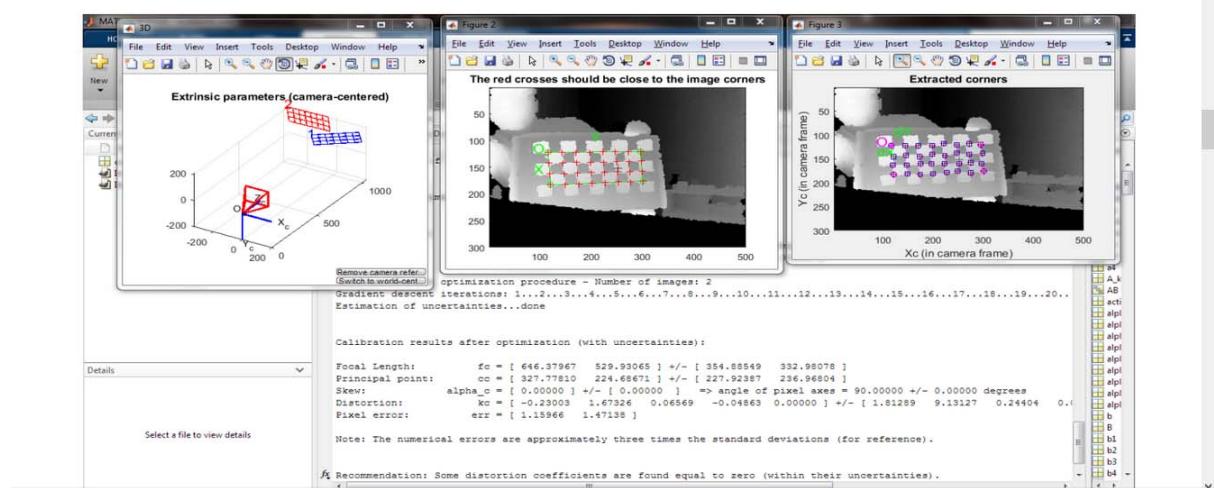
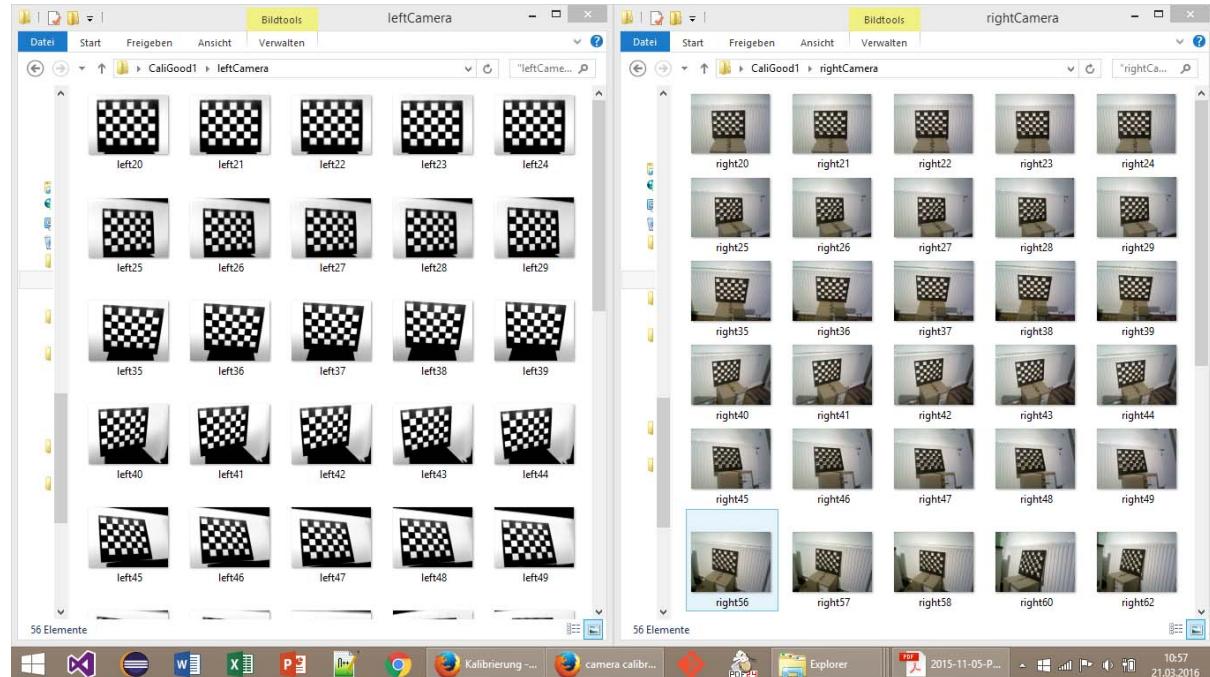


Abbildung 7.3: Testkalibrierung mit MATLAB

### 7.2.1 Vorgehen

Es werden von den beiden zu kalibrierenden Sensoren Bilder von einem Schachbrett gemacht. Dabei sollten diese Bilder möglichst aus verschiedene Positionen und und Winkeln erstellt werden. Mithilfe von MATLAB kann dann durch diese Bilder die intrinschen Kameraparameter und extrinsischen Kameraparameter, welche die Position zwischen den beiden Sensoren beschreibt berechnet werden. Mithilfe der oben genannten Werten konnten wir jedes Pixel im



**Abbildung 7.4:** Auszug der für die Kalibrierung erstellten Bilder

Tiefenbild seinem zugehörigen Pixel im Wärmebild zuweisen.

## 7.3 Kalibrierung Tiefenbild auf Wärmebild Technischer Vorgang

### 7.3.1 Vorgang

#### 1. Umwandlung Bildkoordinaten (bezüglich Tiefenbildsensor) zu Weltkoordinaten (bezüglich Tiefensensor)

Dazu wurde jedes Pixel mit den Bildkoordinaten unseres Bitmapbildes ( $x, y$ ) und seiner zugehörigen Distanz  $z$  (durch den Tiefensensor ermittelt) mithilfe der intrinsischen

### 7.3 Kalibrierung Tiefenbild auf Wärmebild Technischer Vorgang

Kameraparameter des Tiefensensors in Weltkoordinaten (bezüglich Tiefensor) umgewandelt.

#### **2. Umwandlung Weltkoordinaten (bezüglich Tiefensor) zu Weltkoordinaten (bezüglich Wärmesensor)**

Diese Weltkoordinaten (bezüglich Tiefensor) wurde dann mithilfe der extrinsischen Kameraparameter (Rotation und Translation) in die Weltkoordinaten (bezüglich Wärmesensors) umgewandelt.

#### **3. Umwandlung Weltkoordinaten (bezüglich Wärmesensor) zu Bildkoordinaten (bezüglich Tiefenbildsensor)**

Diese Weltkoordinaten (bezüglich Wärmesensor) werden dann mithilfe der intrinsischen Kameraparameter des Wärmesensors in die Bildkoordinaten (bezüglich Tiefenbildsensor) umgewandelt.

Durch diese 3 Schritte können wir herausfinden, wo ein eingezeichnetes Pixel des Tiefenbildsensor sich im Bild des Wärmesensors befinden würde. Dadurch können wir diese Pixel dann an ihren neuen Ort verschieben.

### **7.3.2 Technische Details**

In unserem Projekt konnten wir die Objekte welche zwischen 1.7m und 3.7m vom Tiefenbildsensor entfernt sind genau zwischen Tiefenbildsensor und Wärmesensor kalibrieren. Objekte zwischen 0.6m und 1.7m oder 3.7m und 8m werden, nachträglich mithilfe einer Funktion welche abhängig von der Entfernung ist, manuell nach verschoben.

Außerdem wurde bei uns bei der Berechnung der intrinsischen und extrinsischen Kamera-parameter nicht Bilder des Tiefenbildsensors verwendet sondern einer RGB-Kamera welche bereits zuvor vom Hersteller aufeinander kalibriert wurde. Grund für dies war die schlechte Erkennung des Schachbretts durch den Tiefenbildsensor.

# 8 Bildmodifusion

Nachdem im vorherigen Kapitel auf die Methode der Dilatation zur Verbesserung des erstellten Tiefenbildes eingegangen wurde, wird in diesem Kapitel der Vorgang der Kalibrierung beschrieben. Dabei werden zuerst Problematiken der einzelnen Kameras beschrieben, um ein Verständnis für die auszugleichenden Schwächen zu schaffen. Danach werden die betrachteten Fusionsmöglichkeiten und der Grund für ihr Verwerfen genannt, sowie die letztendlich gewählte Fusionsart beschrieben.

## 8.1 Vor- und Nachteile der Kameras

Um eine qualitative Fusion zu erreichen, muss ein Verständnis für die Stärken und Schwächen der jeweilig verwendeten Systeme vorhanden sein. Im folgenden werden die für relevant erachteten Einschränkungen aufgelistet.

### 8.1.1 Wärmebildkamera

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"><li>• Kann Temperaturunterschiede darstellen</li><li>• Zeichnet sehr gute Konturen bei geringen Temperaturunterschieden</li><li>• Große Reichweite</li><li>• Ermöglicht Sicht durch diverse Materialien</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Wärmerefexion an vielen Materialien</li><li>• Schlechte Bildqualität bei nahezu nicht vorhandenem Temperaturunterschied</li><li>• „Wärmeflecken“ an Orten, wo zuvor ein warmes Objekt war</li><li>• Geringere Auflösung / Kleinerer Blickwinkel</li></ul>

### 8.1.2 Tiefenbildkamera

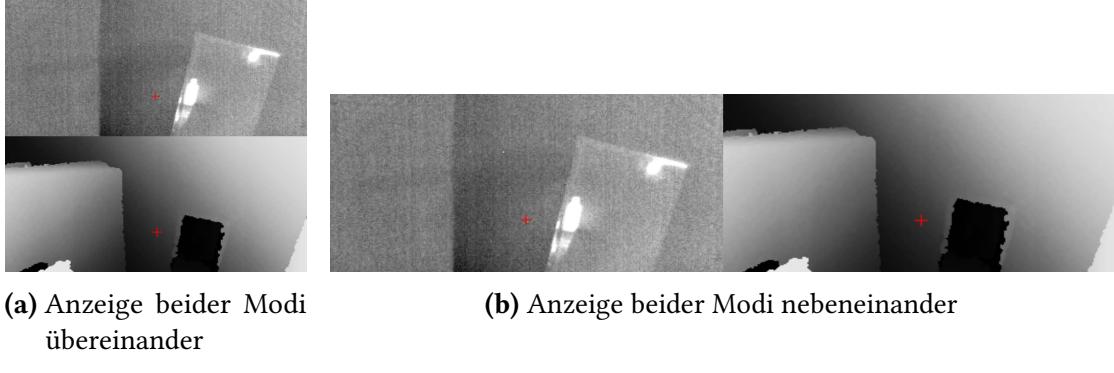
Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gute Darstellung von Konturen größerer Objekte</li> <li>• Größere Auflösung / Größerer Blickwinkel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eingeschränkte Reichweite (circa 0,5m - 7,5m)</li> <li>• Flimmerndes Bild</li> <li>• Teilweise werden kurze Distanzen nicht gut dargestellt</li> <li>• Einige Materialien reflektieren</li> <li>• Reflexion bei gewissem Haltungswinkel</li> <li>• Einzelne Objektdetails schwerer zu erkennen</li> </ul>

## 8.2 Explorierte Fusionsmöglichkeiten

In diesem Abschnitt werden die genauer betrachteten Fusionsmöglichkeiten und der Grund für ihr Verwerfen diskutiert. Dabei sind in einigen der Abbildungen nicht die optimierten Bildarten integriert, da diese Möglichkeiten bereits früher verworfen wurden.

### 8.2.1 Parallelle Anzeige beider Modi

Das Tiefenbild und das Wärmebild werden wie in Abbildung 8.1 entweder nebeneinander oder übereinander angezeigt. Dadurch könnten beide Bildmodi verlustfrei angezeigt werden, allerdings würden die Probleme nur begrenzt verringert werden.

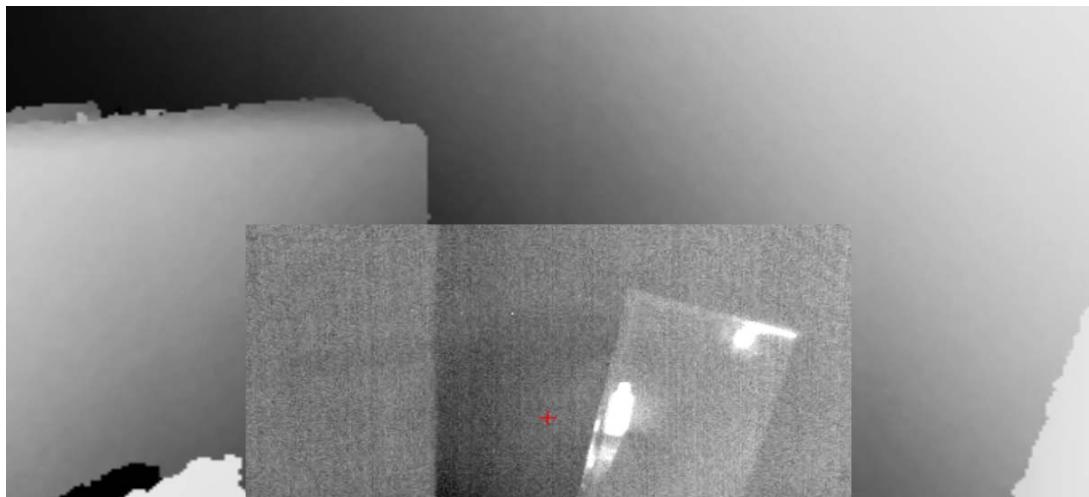


**Abbildung 8.1:** Parallelle Anzeige von beiden Kameramodi

Dieser Ansatz wurde verworfen, da dieser Ansatz keine wirkliche Fusion darstellt und bei internen Tests einige Teilnehmer noch Schwierigkeiten hatten, Objekte auf beiden Teilen zu lokalisieren. Auch wirkte sich dieser Ansatz negativ auf das mobile Anzeigegerät, da die Anzeige bereits aus kurzer Entfernung für zu klein befunden wurde.

### 8.2.2 Ersetzen des Tiefenbild mit Wärmebild

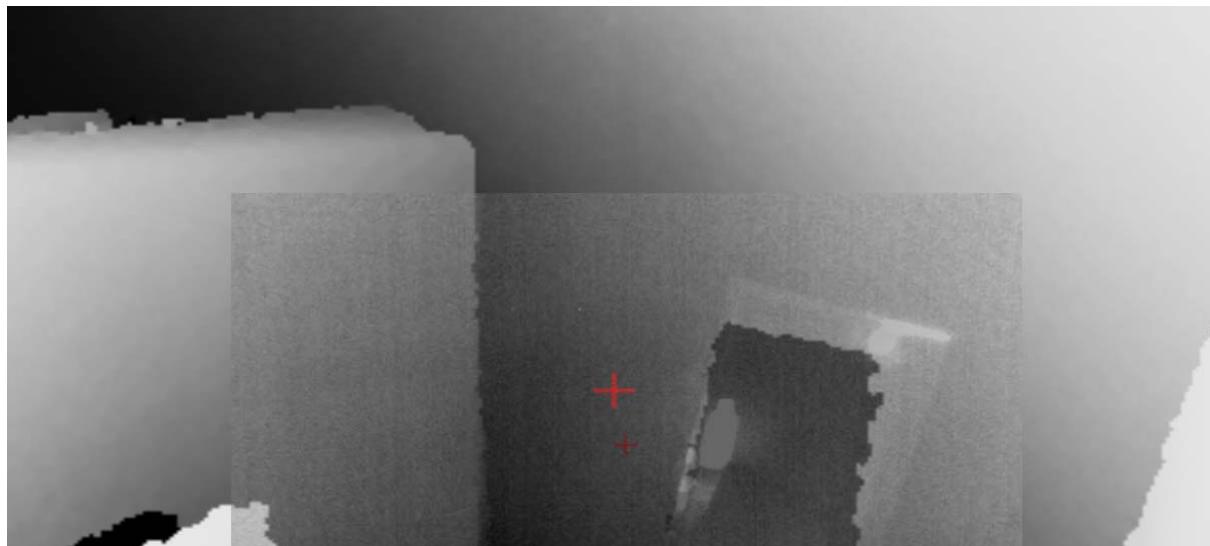
Abbildung 8.2 zeigt, dass das Wärmebild über den Bildteil des normalen Tiefenbildes gelegt wird. Problematisch hierbei ist, dass lediglich der Vorteil des größeren Bildausschnitts der Tiefenbildkamera genutzt wird. Alle anderen Probleme bestehen weiterhin. Zudem wurde, in Abstimmung mit den Projektbetreuern, entschieden, dass der unterschiedlich große Bildausschnitt, beider Kameras nicht beachtet und durch verkleinern der Auflösung der Tiefenbildkamera eliminiert wird, da dies durch ein anderes Objektiv der Wärmebild gelöst werden könnte.



**Abbildung 8.2:** Ersetzung eines Teiles des Tiefenbildes mit Wärmebild

### 8.2.3 Semi-Transparenz des Wärmebilds über dem Tiefenbild

Dieser Ansatz ist ähnlich der in 8.2.2 beschriebenen Möglichkeit. Der Unterschied besteht darin, dass anstelle das Tiefenbild mit dem Wärmebild zu ersetzen, das Wärmebild mit einem geringen Transparenzwert überlagert wird.

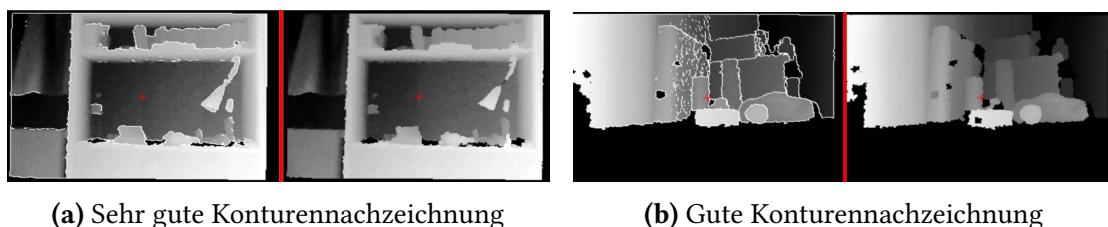


**Abbildung 8.3:** Überlagerung eines Teiles des Tiefenbildes mit semitransparenten Wärmebild

Gegen diesen Ansatz sprach, die oben beschriebene Entscheidung, das Tiefenbild auf die gleiche Größe, wie das Wärmebild zu regulieren. Zudem sorgte, diese Überlagerung in bestimmten Kombinationen, wie heißer Gegenstand in mehr als 10m Entfernung, für ein unangenehmes Bild. Letztendlich waren Reflexionen nicht besser zu erkennen.

### 8.2.4 Konturen im Wärmebild nachzeichnen

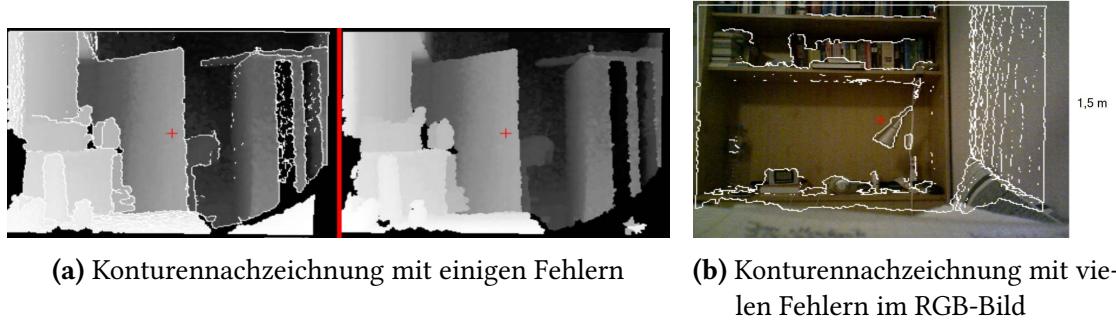
Diese Möglichkeit sieht das Nachzeichnen von Konturen im Wärmebild, mit den Informationen des Tiefenbildes vor.



(a) Sehr gute Konturennachzeichnung

(b) Gute Konturennachzeichnung

**Abbildung 8.4:** Konturenverbesserung mit Hilfe von Linien im Tiefenbild

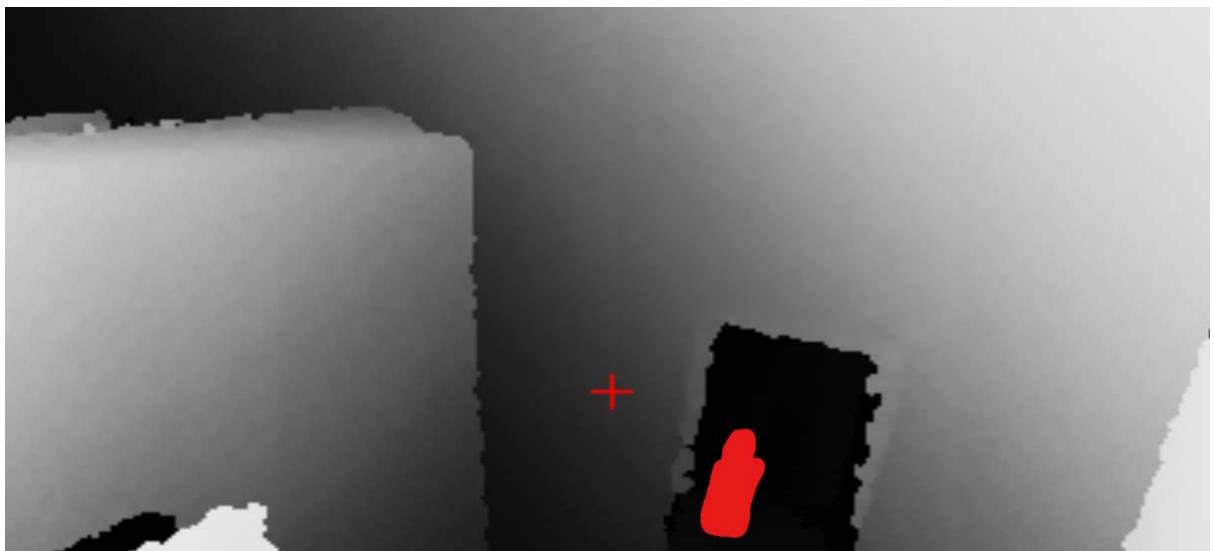


**Abbildung 8.5:** Konturenverbesserung mit Hilfe von Linien im Tiefenbild

Obwohl dieser Ansatz, wie in Abbildung 8.4 zu sehen, gute Ergebnisse im Tiefenbild produziert, sorgt er in anderen Bildmodi, wie in Abbildung 8.5, zu der fehlerhaften Anzeige von vielen zusätzlichen Konturen. Zusätzlich zu dem häufig fehlerhaften Ergebnis, kommt ein Performanceverlust, welcher selten Verzögerungen im Bild oder Standbilder zur Folge hatte. Da dies in einer sicherheitskritischen Real-Time Anwendung nicht tragbar ist, wurde dieser Ansatz verworfen.

### 8.2.5 Temperaturunterschiede im Tiefenbild nachzeichnen

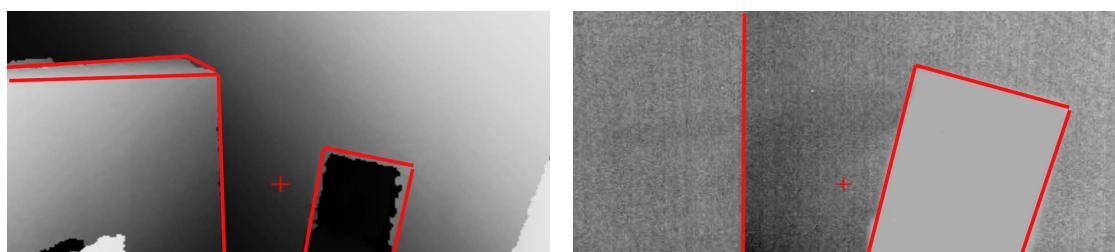
Bei dieser Möglichkeit wird nur das Tiefenbild gezeichnet. Falls die Wärmebildkamera nun einen Gegenstand erfasst, welcher eine andere Temperatur hat, wird dieser Bereich im Tiefenbild mit den Informationen der Wärmebild überschrieben. Diskutierte Metriken waren eine lokale Temperaturabweichung um einem zu bestimmenden Prozentsatz von der Durchschnittstemperatur oder eine lokale Temperaturabweichung von der unmittelbaren Umgebung. Abbildung 8.6 zeigt, das gewünschte Ergebnis, allerdings wurde in der Realität häufig die Umgebung des zu zeichnenden Objekts mit übernommen. Dies führte zu dem Verlust der Möglichkeit, Reflexionen zuverlässig zu erkennen. Außerdem war eine zuverlässige Kalibrierung hier nur schwer zu erreichen. Zusätzlich hatte diese Methode eine spürbar negative Wirkung auf die Performance.



**Abbildung 8.6:** Nachträgliches Überschreiben des Tiefenbildes mit ausgewählten Wärmebildinformation

### 8.2.6 Dynamischer Bildmodiwechsel

Dieser Ansatz war als Mischung aus Abschnitt 8.2.4 und Abschnitt 8.2.5 geplant. Dabei würde hauptsächlich das Tiefenbild angezeigt werden, allerdings mit den nachgezeichneten Linien, für eine bessere Konturendarstellung. In Abbildung 8.7a ist schematisch das Identifizieren von Objekten anhand dieser Linien dargestellt. Wenn nun ein bestimmtes Kriterium getroffen wird, wird automatisch auf das Tiefenbild gewechselt. Sobald das Kriterium nicht mehr eingehalten wird, wird wieder das Tiefenbild angezeigt. Angedachte Kriterien waren unter anderem die Metriken aus Abschnitt 8.2.5, aber auch Eigenschaften wie ein Prozentsatz an nicht vorhandenen Tiefenbildinformationen, welcher nicht überschritten werden darf oder ein festgelegter Temperaturunterschied der einen automatischen Wechsel auslöst. Ebenso wie das automatische Wechseln, falls ein warmes Objekt in der Nähe des Bildmittelpunktes erkannt wird.



(a) Objekterkennung im Tiefenbild mittels Konturenzeichnung      (b) Entfernung von Reflexionen mittels kontextbezogener Temperatur

**Abbildung 8.7:** Dynamischer Kamerawechsel

Das Wärmebild wird nun mit den aus dem Tiefenbild erhaltenen Informationen, über die enthaltenen Objekte, verbessert. Dabei wird die wärmste und kälteste Temperatur in diesem Objekt gesucht. Wird dabei ein Unterschied festgestellt, wird das komplette Objekt mit der Durchschnittstemperatur dieses Objekts belegt. Durch diese Maßnahme könnten nahezu alle Reflexionen und „fehlerhafte“ Wärmeflecke eliminiert werden. Abbildung 8.7b zeigt wie ein solches Wärmebild aussehen könnte.

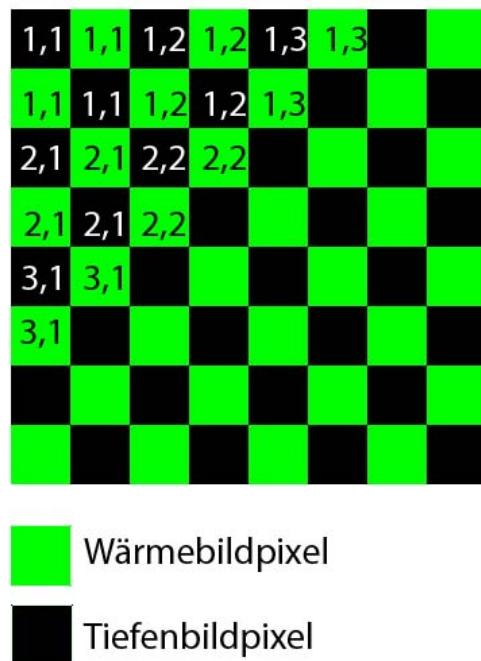
Problematisch an diesem Ansatz ist, zum einen der enorme Performanceverlust, der mit der mehrmaligen Überprüfung jedes gelieferten Bildes einhergeht. Selbst eine Reduktion der Bildüberprüfungsrate führt zu keiner akzeptablen Laufzeit. Zum weiterhin würden auch warme Objekte, wie zum Beispiel ein Induktionskochfeld mit nur einer aktivierten Platte, ihre korrekte Information verlieren. Auch ist es nicht mehr möglich, durch dünne Wände hindurch Wärmestrahlung anzuzeigen. Ein weiteres Problem ist, die in Abschnitt 8.2.4 angeprochene Fehleranfälligkeit der Konturennachzeichnung. Ohne einen guten und zuverlässigen „Linienalgorithmus“, kann die Objekterkennung nicht verlässlich funktionieren.

## 8.3 Gewählte Fusionsmöglichkeit

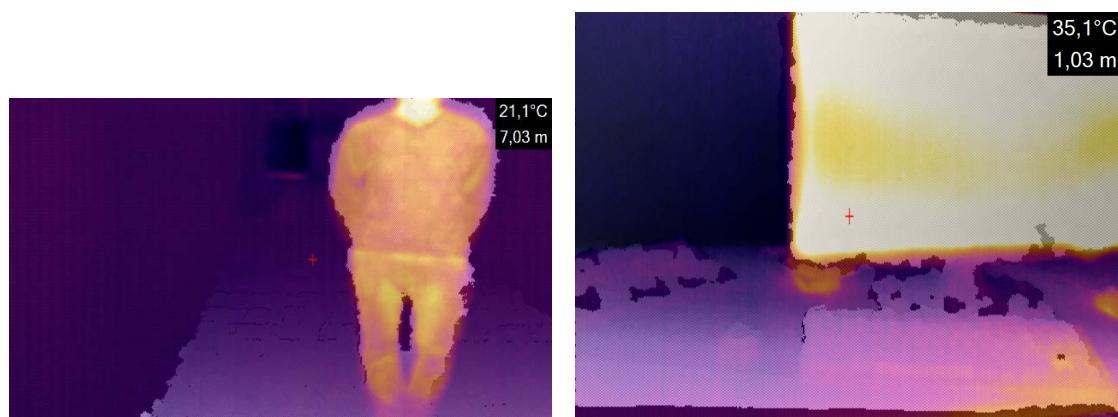
Der Fusionsansatz, welcher letztendlich umgesetzt wurde, vervierfacht die ursprüngliche Auflösung. Dies passiert, indem das Tiefenbild als Ausgangsbild verwendet wird und nun zwischen jeden Tiefenbildpixel der entsprechende Wärmebildpixel gelegt wird. Darauf wird zwischen jede „normale“ Spalte, eine weitere Spalte eingefügt, in welcher Tiefenbildpixel zwischen den entsprechenden Wärmebildpixel eingefügt werden. Abbildung 8.8 stellt das schematisch entstehende Gitter dar. Dabei ist zu erkennen, dass jeder Pixel beider Kameras nun zweifach im Gitter enthalten ist.

Durch diesen Ansatz, bekommt das Wärmebild eine weitere Schnitt. Nahe Objekte schimmern nun heller, entfernte Gegenstände haben dagegen eine dunklere Farbe. Auch Wärmereflexionen sind besser zu erkennen, da die überlagerte Schicht um das angezeigte Objekt, die gleiche „Dicke“ hat. Diese fehlende Konturverstärkung um Objekte, ist damit als Symptom einer Reflexion oder glatten Fläche zu deuten.

In Abbildung 8.9 kann man erkennen, dass das Wärmebild relativ originalgetreu dargestellt wird. Das Tiefenbild sorgt auf kurze Distanzen für eine helle „Schattierung“, wogegen auf größere Distanzen das Bild dunkler wird. Dies erzeugt einen „3D-Effekt“, der für die räumliche Wahrnehmung vorteilhaft sein sollte.



**Abbildung 8.8:** Position der alten Pixel im entstandenes Fusionsgitter



(a) Objekterkennung im Tiefenbild mittels Konturen nachzeichnung      (b) Entfernung von Reflexionen mittels kontextbezogener Temperatur

**Abbildung 8.9:** Implementierter Fusionsansatz

# 9 Studie

Nachdem die vorherigen Kapiteln den Ablauf des Projekts, den zu erstellenden Prototypen und die dabei verwendeten Methoden beschrieben haben, dient dieses Kapitel nun der Evaluierung des Prototypen.

## 9.1 Einführung

In der Analyse, während den Gesprächen mit der Feuerwehr, wurde deutlich, dass das Wärmebild allein für ein fehlendes beziehungsweise fehlerhaftes räumliches Verständnis sorgt. Zusätzlich spiegeln einige Materialien, wie Glas oder Metall, die Wärmestrahlung. Feine Unterschiede und Objektübergänge sind in der Nähe von warmen beziehungsweise heißen Gegenständen kaum auszumachen. Auch existieren „fehlerhafte Wärmeflecke“ an Stellen, an welchen für eine längere Zeitperiode warme Gegenstände waren, welche zum aktuellen Zeitpunkt aber nicht mehr da sind. Zudem ist die Navigation mit Hilfe einer Wärmebildkamera in Räumen ohne merkbaren Temperaturunterschied schwierig, da sich die dargestellten Farben kaum unterscheiden. Objekte gehen damit ineinander über.

Um nun zu evaluieren, ob der erstellte Prototyp mit der Einbindung einer Tiefenbildkamera für eine Verbesserung dieser Problematiken sorgt, wurden zwei Studien durchgeführt. Die erste Studie wurde mit 16 jungen Erwachsenen durchgeführt, welche größtenteils einen Hintergrund in der Informatik, und weder Erfahrung mit Wärme- noch Tiefenbildkameras hatten. Die zweite Studie erfolgte mit 11 Mitgliedern einer Feuerwehr, welche bis dato nur Erfahrungen mit einer Wärmebildkamera hatten. Um den Prototypen qualitativ bewerten zu können, wurden die Probanden in beiden Studien vor diverse Aufgaben in einem abgedunkelten Raum gestellt. Zu den Aufgaben zählten das Lokalisieren eines bestimmten warmen Gegenstands und das Schätzen von Entfernungen. Zusätzlich wurde das Navigationsverhalten und die Interaktion mit diversen Hindernissen beobachtet. Außerdem wurde die Nutzungsdauer der verschiedenen Modi gemessen und Interviews mit den Probanden durchgeführt.

Dabei stellte sich heraus, dass der Großteil der Probanden einen der Modi, welcher Tiefenbildinformationen erhält, bevorzugt zum navigieren benutzt und die Wärmebildfunktion hauptsächlich zur Lokalisierung des warmen Objekts verwendet wurde. Die Bewertung des Prototypen fiel in den Interviews überwiegend positiv aus.

## 9.2 Studie 1

Diese Studie wurde zu einem frühen Zeitpunkt im Projekt durchgeführt, weshalb sie zum Einen als Möglichkeit der Problemidentifikation des Prototypen und andererseits als Bildmodi-Test genutzt wurde. Das heißt dass die Nutzungsdauer beider Modi besonders interessant ist, um zu testen, welche Kamera hauptsächlich zum Navigieren genutzt wird.

### 9.2.1 Methode

Die Probanden wurden in einen komplett abgedunkelten Keller geführt und mussten zuerst die Länge und Breite eines Nebenraums abschätzen. Darauf wurden sie in einen anderen Raum geführt, in welchem ein Labyrinth mit diversen Hindernissen aufgebaut war. Hier mussten sie eine Wärmflasche finden und zurück zum Eingang bringen. Der unterstützende Prototyp, den die Probanden erhielten, bestand aus lediglich einer tragbaren Form einer Wärme- und Tiefenbildkamera, mit angebrachtem Handy als Anzeigemöglichkeit. Nutzer hatten nur Wärme- oder Tiefenbild zur Verfügung.

### 9.2.2 Design

Jeder Proband wurde nur einmal in den Keller geführt und hatte diesen noch nie zuvor betreten. Dazu gab es keine Einschränkung in der Auswahl, welchen Bildmodus die Probanden nutzen dürfen. Auch ihre Bewegungen wurden nicht eingeschränkt oder in eine Richtung geleitet.

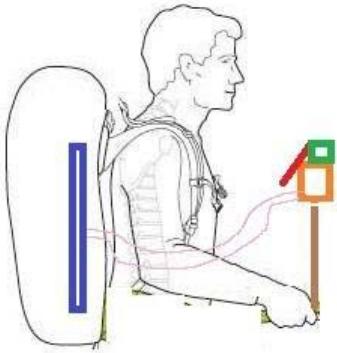
#### Probanden

Zur Studiendurchführung wurden 16 Probanden zwischen 20 und 30 Jahren befragt. Aus dieser Gruppe hat noch niemand bisherige Erfahrungen mit Wärmebild- oder Tiefenbildkameras gesammelt. Die Probanden kamen dabei aus unterschiedlichen Berufsfeldern, wobei ein Großteil einen Hintergrund in der Informatik hatte. 25% der Probanden waren weiblich.

### 9.2.3 Vorgehen

#### Die Aufgabe

Die Probanden wurden vor dem Keller empfangen, über ihre Rechte und den Zweck des Prototypen sowie der Studie aufgeklärt und in die Funktionsweise des Prototypen eingewiesen. Der komplette Keller wurde bereits zuvor abgedunkelt, um die visuelle Wahrnehmung des Probanden möglichst stark einzuschränken und eine „normale“ Navigation zu verhindern.



### (a) Schematischer Aufbau des Prototyps



### (b) Realer Prototyp

**Abbildung 9.1:** Benutzte Halterung & Prototypaufbau

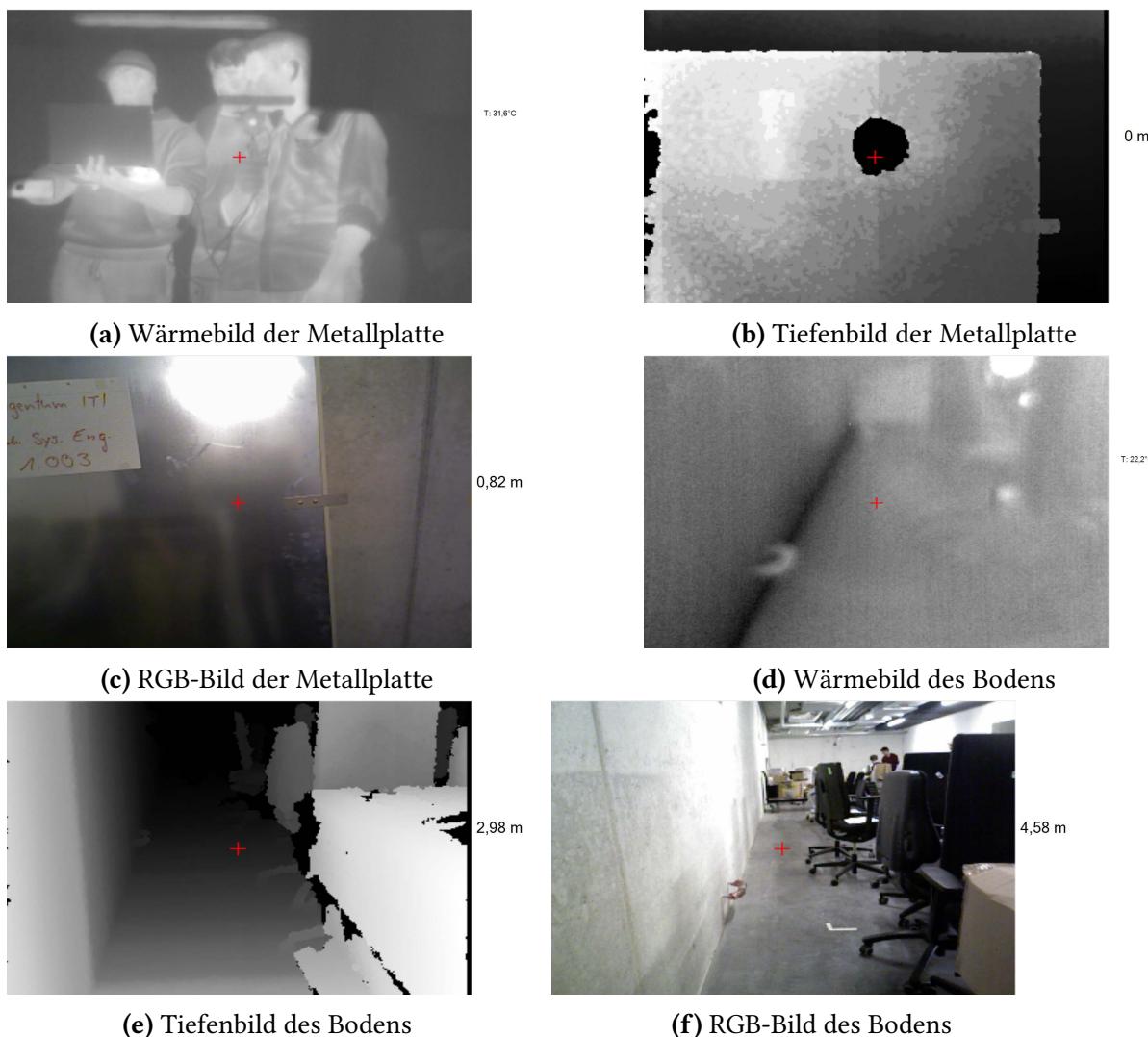
Damit ist der Prototyp die einzige visuelle Hilfe, auf die sich der Proband verlassen kann. Abbildung 9.1 stellt den Prototyp dar. Es standen lediglich der Wärme- und Tiefenbildmodus, mit jeweils dem am Bildmittelpunkt gemessenen Wert, als Hilfe zur Verfügung. Bilder beider Modi, welche unterschiedliche Stellen des Raumes zeigen, sind in Abbildung 9.2 und Abbildung 9.3 aufgeführt.

Als erstes wurden die Probanden in den, ihnen unbekannten, Nebenraum des abgedunkelten Kellers geführt. In diesem, in Abbildung 9.4b dargestellten, Raum durften sie sich für maximal 30 Sekunden frei in der Nähe des Eingangs bewegen und mussten dann Angaben zu Länge und Breite machen. Darauf wurden die Teilnehmer in einen anderen Raum geführt, in welchem das Labyrinth aus Abbildung 9.4a mit mehreren Hindernissen aufgebaut war. Der Aufbau des Labyrinths bestand aus Stühlen, Tischen und Kartons, wobei die Teilnehmer darauf hingewiesen wurden, dass sie diese nicht verstetzen oder überklettern dürfen. Dabei war die Aufgabe eine mit heißem Wasser gefüllte Wärmeflasche zu finden und zum Eingang zu bringen. Zu den Hindernissen zählten zwei spiegelnde Objekte, ein Spiegel und eine Metallplatte, und vier normale Flaschen, welche auch mit heißem Wasser gefühlt waren. In Abbildung 9.5 sind Bilder des Aufbaus enthalten.

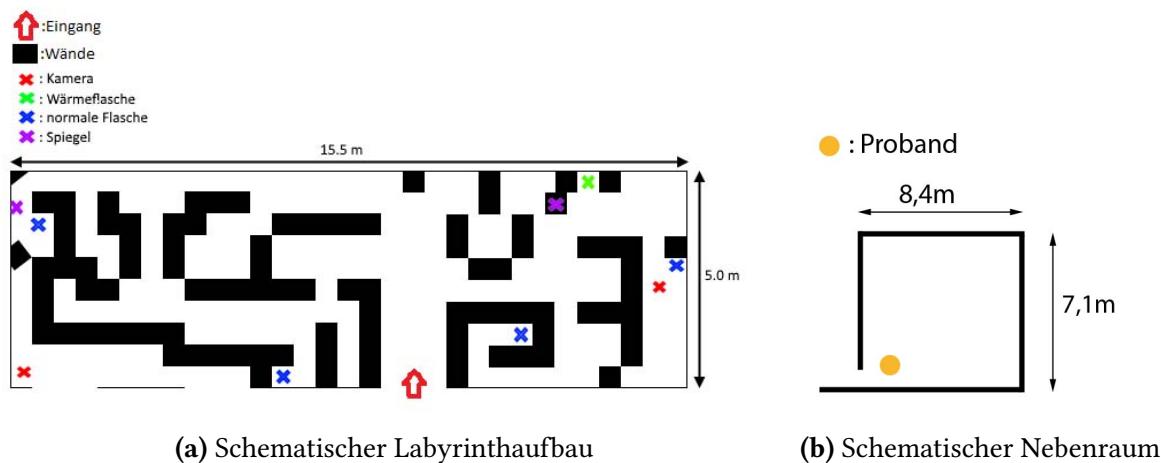
Dabei wurde sowohl die benötigte Dauer, bis die Flasche zurückgebracht, sowie wie lange welcher Modus genutzt wurde gemessen. Zusätzlich wurde die Ausgabe aufgenommen. Der ganze Verlauf wurde von zwei Infrarotkameras aufgezeichnet und gleichzeitig darüber überwacht.

## **Das Interview**

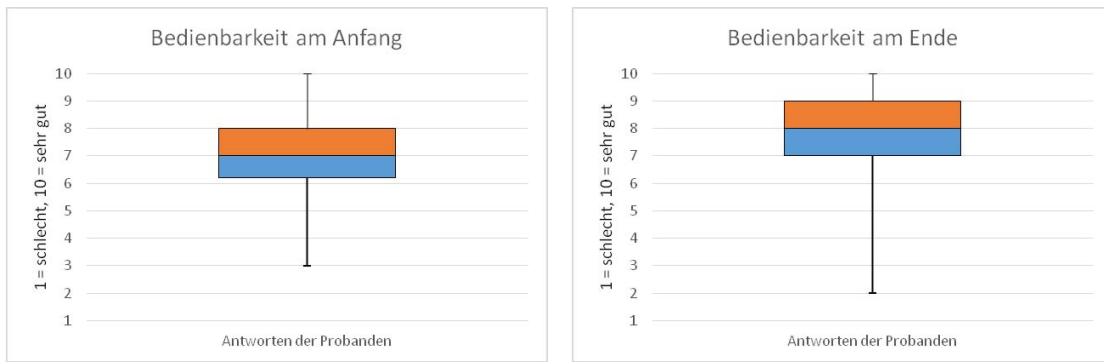
Nachdem der Proband die Wärmeflasche zurückgebracht hatte, wurde ein Interview mit selbigem durchgeführt. Dabei wurden unter anderem diverse Metadaten, bisherige Erfahrung mit Wärme- wie Tiefenbildkameras, sowie Beurteilungen des Prototypen und Testlaufs festgehalten.



**Abbildung 9.2:** Wärme-, Tiefen- und RGB-Bilder des Aufbaus



**Abbildung 9.4:** Studienorte



(a) Eingestufte Bedienbarkeit nach Ende

**Abbildung 9.6:** Interview-Ergebnisse

## 9.2.4 Ergebnisse

Die durchschnittliche Studiendurchlaufsdauer lag bei 8,3 Minuten, dabei gab es allerdings, wie in Abbildung 9.7a zu sehen, einige größere Ausreißer.

Abbildung 9.7b zeigt, dass der mögliche Nutzen des Prototypen durchweg als sehr gut eingestuft wurde.

Probanden würden den Prototypen, allerdings nicht zwingend weiterempfehlen, wie Abbildung 9.7c zeigt.

Generell hatten die Probanden einen positiven Eindruck von dem Prototypen, wie Abbildung 9.7d zeigt.

Die Bedienbarkeit des Prototypen lag, laut den Studienteilnehmern, von Anfang an in einem hohen Bereich und verbesserte sich, wie an Abbildung 9.6 über die Studie hinweg.

Das Tiefenbild wurde in 87% der Zeit von den Probanden genutzt. Die durchschnittliche Abweichung der Raumschätzung von der tatsächlichen Größe betrug 0,75m in der Länge und 1m in der Breite. Die größte Abweichung betrug 2m in Länge wie Breite.

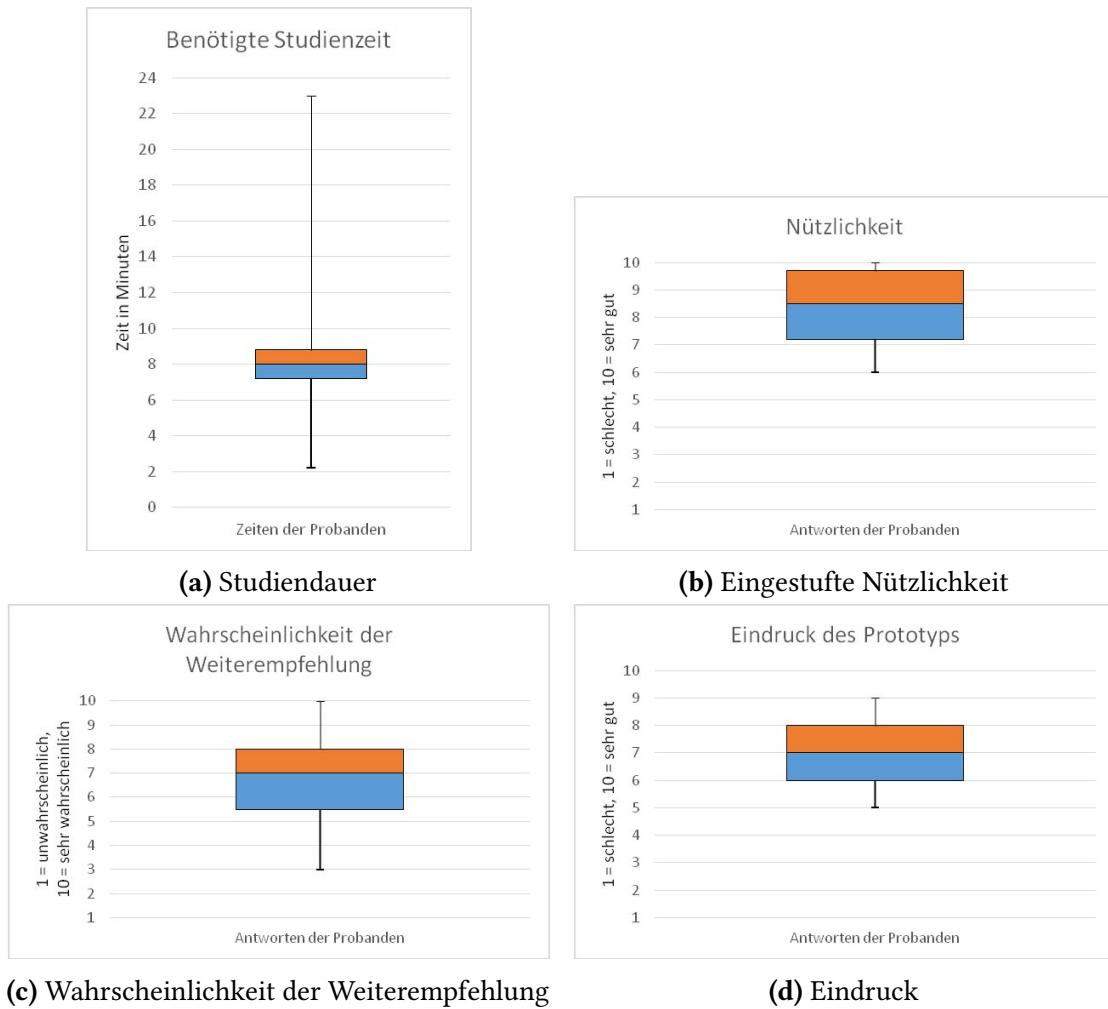


Abbildung 9.7: Interview-Ergebnisse

## 9.2.5 Diskussion

Die Unterschiede in der benötigten Dauer können über unterschiedliche Strategien der Probanden erklärt werden. Die Studienteilnehmer, welche sich zuerst einen Überblick verschafften indem sie nach der ersten Wärmequelle suchten, kamen schneller an die Wärmeflasche, als diejenigen, die sich „zufällig“ für eine Richtung entschieden. Es hat sich gezeigt, dass die Probanden hauptsächlich das Tiefenbild für die Navigation benutzten und lediglich an Abzweigungen oder anderen strategischen Punkten auf das Wärmebild wechselten, um zu überprüfen, ob sich ein warmer Gegenstand im Blickfeld befindet.

Auch zeigt die relativ geringe Abweichung, bei der Raumschätzung, dass der Prototyp die räumliche Wahrnehmung und das Gefühl für Distanzen stärkt.

Die etwas geringe Wahrscheinlichkeit für eine Weiterempfehlung des Prototyps, trotz der an derweiterig hohen Einstufung, wurde von den Teilnehmern damit begründet, dass dieser Prototyp für spezielle Situationen gedacht ist, welche nicht häufig im alltägliche Leben vorkommen.

Die Probanden wünschten sich in den Interviews ein fusioniertes Bild, da sie das häufige Wechseln als störend empfanden. Diejenigen, die genauer darauf eingingen, beschrieben ihre Vorstellung davon ähnlich Temperaturunterschiede im Tiefenbild nachzeichnen.

Einige wünschten sich ein anderes Farbspektrum für die Wärmebildkamera, da sie, mit dem häufigem Wechseln, die Bildmodi teilweise verwechselten.

Wenige Studienteilnehmer empfanden den weißen Balken mit den Bildmittelpunktinformationen als störend und hätten diesen lieber durch ein Kästchen im Bild ersetzt. Andere hätten auf diesem Balken noch gerne eine Legende gesehen.

Im ganzen, kann diese erste Stufe des Prototypen als Erfolg gewertet werden. Es folgt nun die Verbesserung des Prototypen und eine ähnliche Studie mit Probanden, welche Erfahrungen mit Wärmebildkameras gesammelt haben.

## 9.3 Studie 2

### 9.3.1 Methode

Die Probanden wurden in einen komplett abgedunkelten Raum geführt und mussten zuerst die Deckenhöhe schätzen. Darauf sollten sie durch den Raum zu einem anderen Ausgang navigieren und dabei den wärmsten Punkt im Raum entdecken. Der unterstützende Prototyp, den die Probanden erhielten, bestand aus einer tragbaren Halterung für eine Wärme- und Tiefenbildkamera, mit angebrachtem Handy als Anzeigmöglichkeit oder einem Feuerwehrhelm, an welchem diese Halterung montiert war, mit einer Augmented Reality Brille. Nutzer hatten Wärme- oder Tiefenbild oder die erstellte Fusion aus Beidem zur Verfügung.

### 9.3.2 Design

Jeder Proband wurde nur einmal in den Raum geführt. Dabei wurden die Probanden in zwei Teilgruppen aufgesplittet. Die eine erhielt den Handheld Prototypen, die andere die Helmhalterung mit Brille. Es gab keine Einschränkung in der Auswahl der Bildmodi. Auch ihre Bewegungen wurden nicht eingeschränkt oder in eine Richtung geleitet.

## Probanden

Zur Studiendurchführung wurden 11 Probanden zwischen 19 und 51 Jahren befragt. Aus dieser Gruppe hat noch niemand bisherige Erfahrungen mit Tiefenbildkameras gesammelt. Die Probanden kamen dabei aus unterschiedlichen Berufsfeldern, wobei alle Mitglieder einer freiwilligen Feuerwehr waren. Alle hatten bereits einige Erfahrung mit Wärmebildkameras. Es gab nur eine weibliche Studienteilnehmerin.

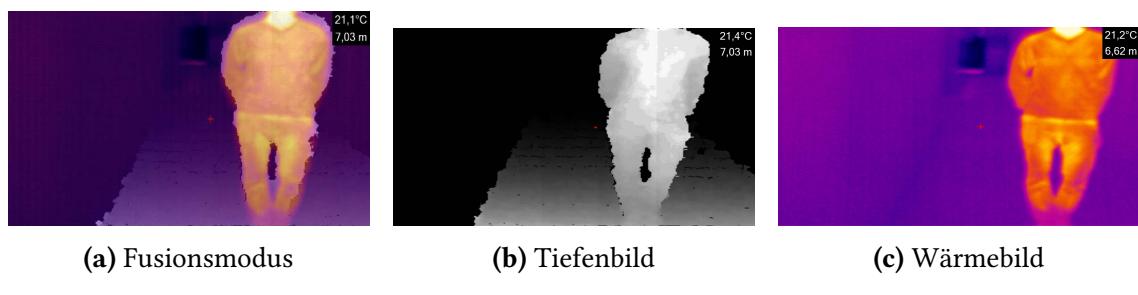
Dabei wurden sechs Probanden mit dem Headmounted-Prototypen und die anderen fünf mit dem Handheld-Prototypen ausgestattet.

### 9.3.3 Vorgehen

#### Die Aufgabe

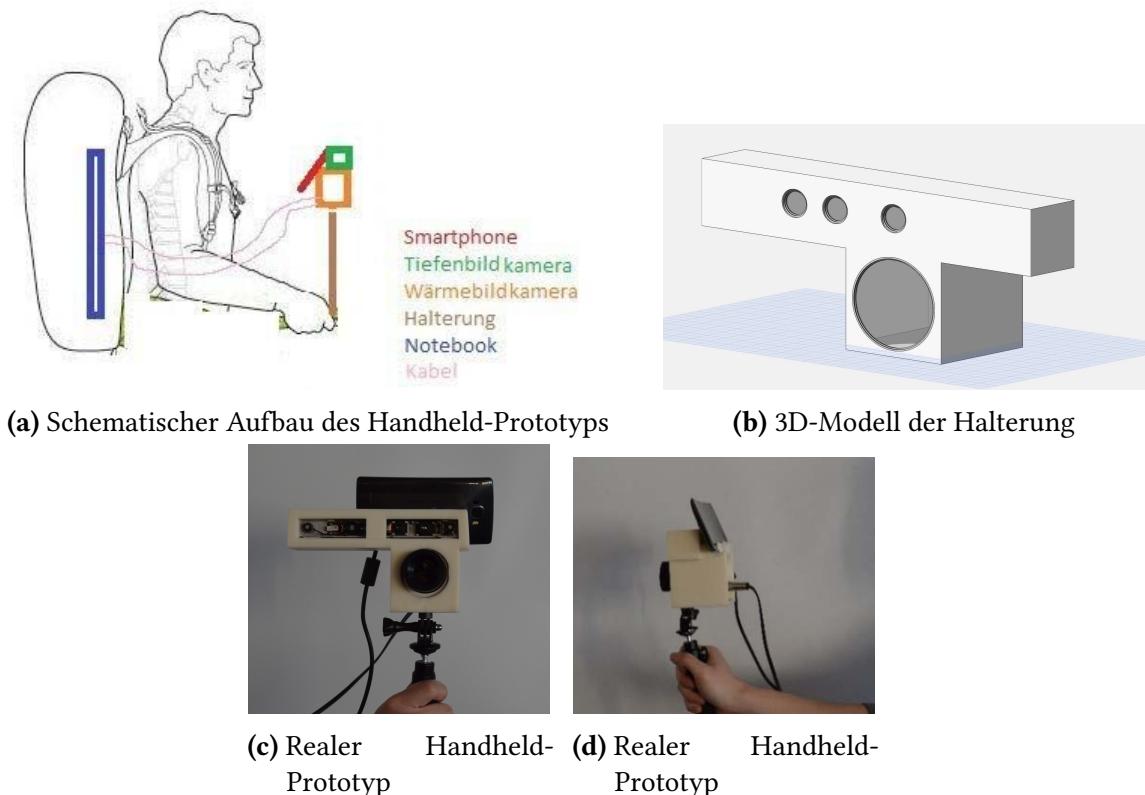
Die Probanden wurden empfangen, über ihre Rechte und den Zweck des Prototypen sowie der Studie aufgeklärt und in die Funktionsweise des Prototypen eingewiesen. Darauf wurden sie in einen bereits zuvor abgedunkelten Raum geführt. Dies hat den Grund, die visuelle Wahrnehmung des Probanden möglichst stark einzuschränken und eine „normale“ Navigation zu verhindern. Damit ist der Prototyp die einzige visuelle Hilfe, auf die sich der Proband verlassen kann. Abbildung 9.9 stellt den Handheld-Prototyp dar, Abbildung 9.10 den am Helm befestigten. Es standen der Wärme- und Tiefenbildmodus, sowie die erstellte Fusion aus beiden als Hilfe zur Verfügung. Entfernung und Temperatur des am Bildmittelpunkt gemessenen Wertes wurde auch angezeigt. Bilder des Wärmebilds, Tiefenbilds und der Fusion sind in Abbildung 9.8 enthalten.

Die Probanden wurden zuerst in den abgedunkelten Raum geleitet. Dort sollten sie die Deckenhöhe messen und dann zu einem Ausgang auf der anderen Seite des Raums navigieren. Während dieser Zeit sollten sie zudem die heißeste Temperatur ausfindig machen. Abbildung 9.11 zeigt den Raum und die darin platzierten Hindernisse, Abbildung 9.17 zeigt zudem weitere Bilder der Studie.

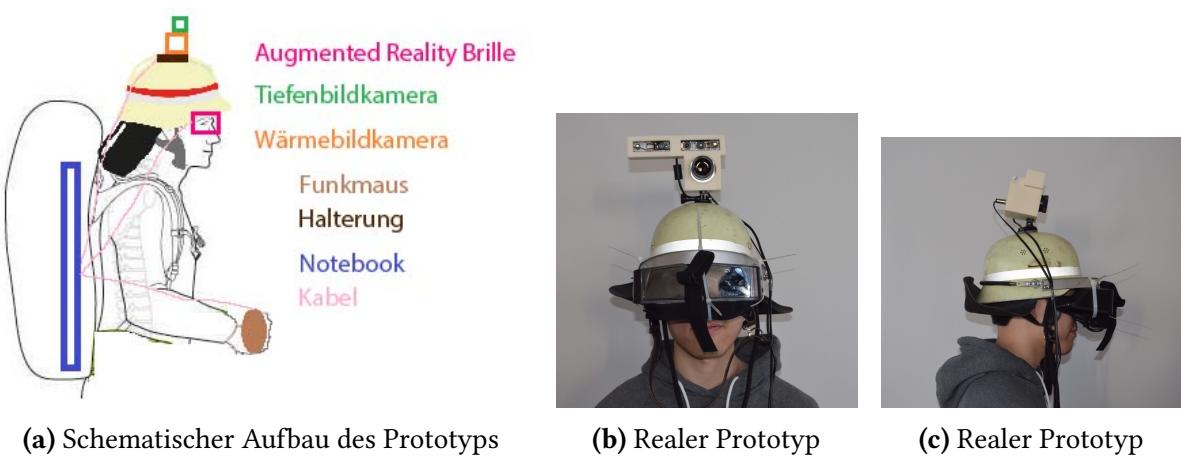


**Abbildung 9.8:** Bildmodi

Dabei wurde sowohl die benötigte Dauer, sowie wie lange welcher Modus genutzt wurde gemessen. Zusätzlich wurde die Ausgabe aufgenommen. Der ganze Verlauf wurde von einer Infrarotkamera aufgezeichnet und gleichzeitig darüber überwacht. Die Zeit, die der Proband zum Lösen der Aufgaben hatte, betrug zehn Minuten.



**Abbildung 9.9:** Tragbarer Prototyp + Halterung



**Abbildung 9.10:** Headmounted-Prototyp



**Abbildung 9.11:** Studienraum

## Das Interview

Nachdem der Proband den Raum durch den vorgegebenen Ausgang verlassen hatte, wurde ein Interview mit selbigen durchgeführt. Dabei wurden unter anderem diverse Metadaten, bisherige Erfahrung mit Wärme- wie Tiefenbildkameras, sowie Beurteilungen des Prototypen und Testlaufs festgehalten.

### 9.3.4 Ergebnisse

Die durchschnittliche Studiendurchlaufsdauer, lag bei 3,4 Minuten. Abbildung 9.12 zeigt, dass es dabei zwischen den verschiedenen Prototypen keinen nennenswerten Unterschied gab.

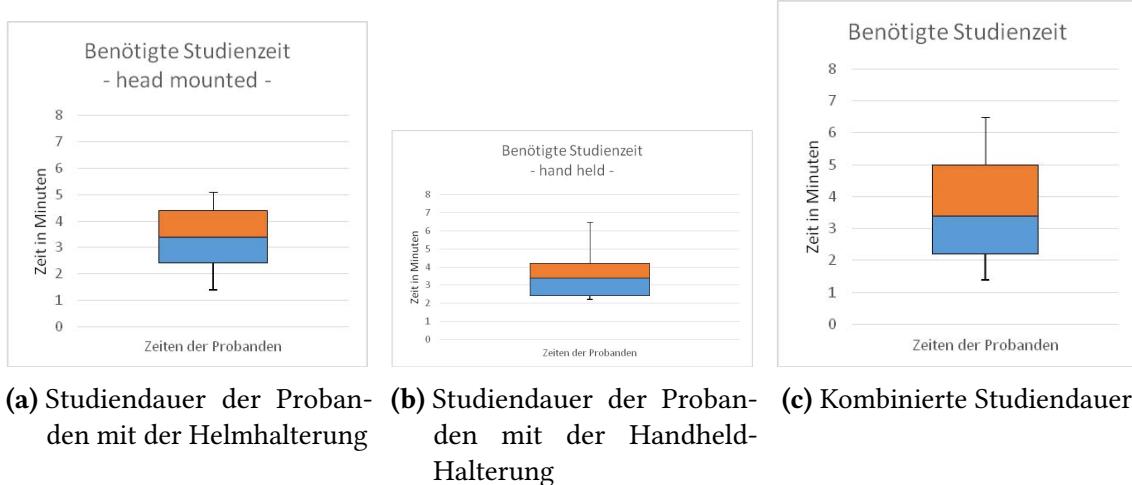
Die Probanden haben die Nützlichkeit des Prototypen, wie Abbildung 9.13 zeigt, größtenteils als positiv bewertet. Dabei ist zu erkennen, dass die Nützlichkeit von den Nutzern mit der Helmhalterung deutlich besser bewertet wurde.

Generell hatten die Probanden einen positiven Eindruck von dem Prototypen, wie Abbildung 9.14 zeigt. Dabei hatte nur der Handheld-Prototyp Ausreißer.

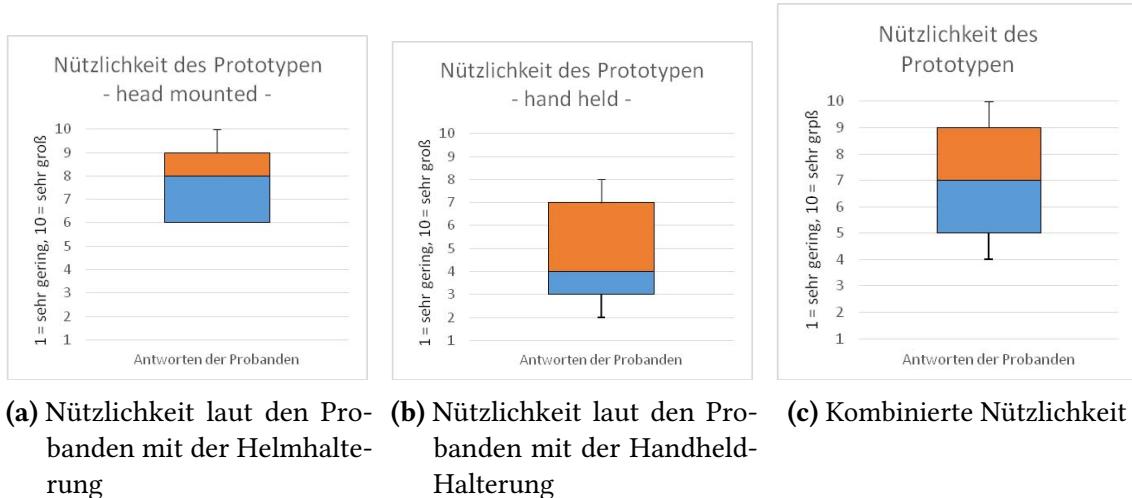
Abbildung 9.15 zeigt die höchste gemessene Temperatur über die Studie hinweg.

Die Probanden mit dem Handheld-Prototypen schätzten die Deckenhöhe durchschnittliche 30cm zu klein ein. Dagegen schätzten die Studienteilnehmer mit der Helmhalterung, die Deckenhöhe durchschnittliche knapp 1,2m zu tief ein, wie Abbildung 9.16 darstellt.

Das Tiefenbild wurde lediglich zu 26% der Studie von den Probanden genutzt. Die Fusion von Tiefenbild mit Wärmebild wurde zu 35% der Zeit genutzt. Dagegen wurde das Wärmebild in 39% der Zeit genutzt.



**Abbildung 9.12:** Studiendauer



**Abbildung 9.13:** Eingestufte Nützlichkeit

### 9.3.5 Diskussion

Die Studiendauer hat keine extremen Ausreißer und einige der Probanden gaben in dem folgenden Interview an, dass sie schneller hätten sein können, aber den Prototypen etwas länger behalten wollten.

Interessant ist, dass die Nützlichkeit für besser befunden wurde, solange die Helmhalterung genutzt wurde. Dies lässt darauf schließen und wurde tatsächlich auch so in den Interviews vernommen, dass die Probanden keinen Mehrwert der Tiefenbildkamera allein sehen. Auch

erlaubte diese Halterung nicht den direkten Vergleich zu der Wärmebildkamera der Feuerwehr.

Bei der Messung des wärmsten Punktes wurde von einigen Probanden angekommen, dass der Heizkörper nicht zu berücksichtigen ist, daher ist dieser Wert zu vernachlässigen.

Das die geschätzte Distanz zur Decke, mit dem Headmounted-Prototyp eine größere Abweichung hat, kann daran liegen, dass die Studienteilnehmer die Höhe des Prototypen versuchten mit einzubeziehen. Das heißt dass sie neben ihrer normalen Körpergröße, einen zu hohen Wert für den Prototypen addierten. Im Gegensatz dazu maßen die Probanden mit dem tragbaren Prototyp auf Kopfhöhe und hatten damit eine Variable weniger zu beachten.

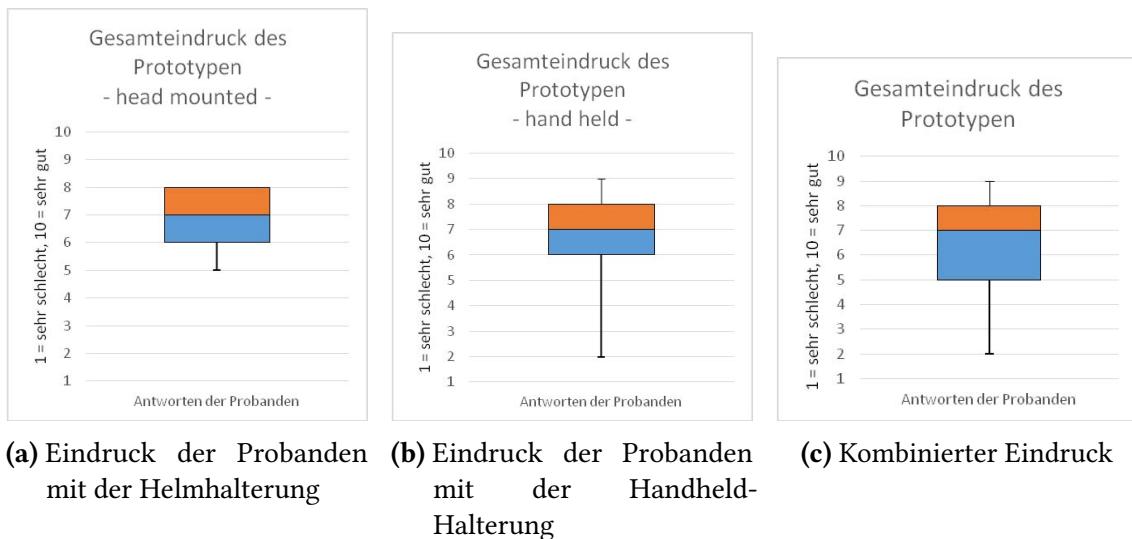


Abbildung 9.14: Eindruck der Probanden über den Prototyp

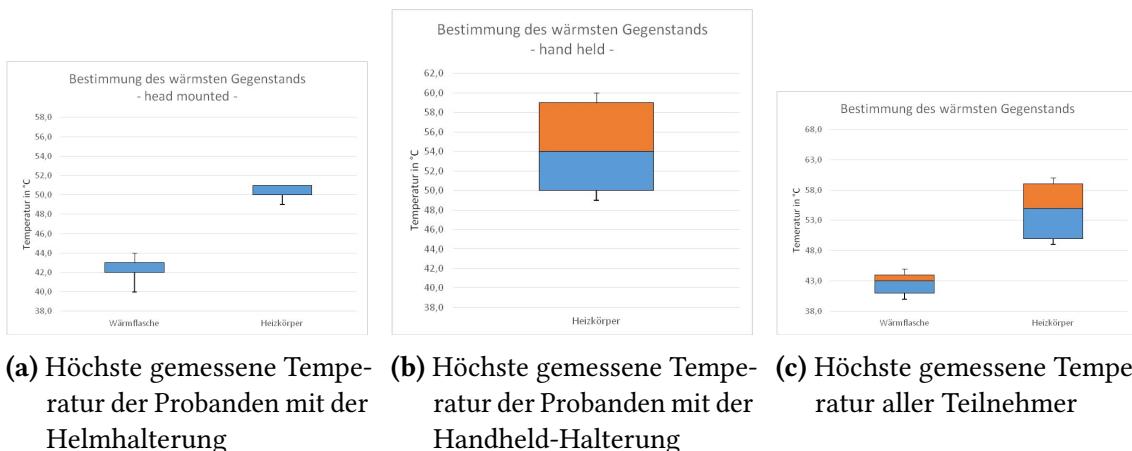
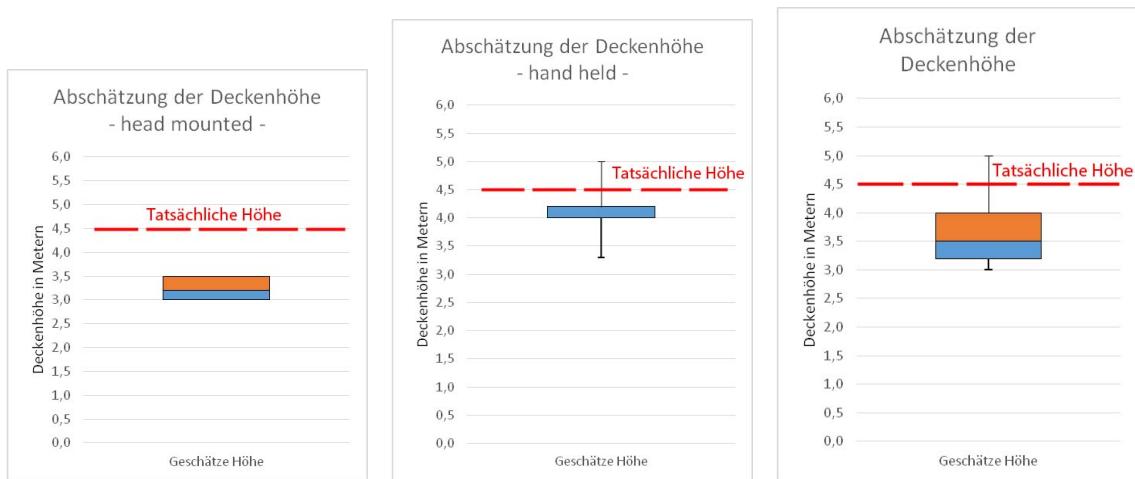


Abbildung 9.15: Höchste gemessene Temperatur



(a) Gemessene Deckenhöhe der Probanden mit der Helmhalterung    (b) Gemessene Deckenhöhe der Probanden mit der Handheld-Halterung    (c) Gemessene Deckenhöhe aller Teilnehmer

Abbildung 9.16: Gemessene Deckenhöhe

Die Bedienung wurde von allen Studienteilnehmern als einfach und intuitiv eingestuft. Einige Probanden wünschten sich jedoch eine Art Label mit dem gerade aktiven Modus, da sie kurzzeitig im Wärmebildmodus waren anstelle des von ihnen angenommenen Fusionsmodus. Damit und gegebenenfalls der Tatsache, dass alle Probanden bis dato nur Erfahrungen mit einer Wärmebildkamera hatten und diesen Modus zum Aufwärmten mit dem System benutzten, kann die überwiegende Nutzung des Wärmebildmodus zusammenhängen.

Auch die Fusion wurde von allen positiv bewertet, da sie zusätzliche Informationen bietet, welche niemand als schädlich oder verwirrend empfunden hat.

Die Probanden mit der Helmhalterung wünschten sich eine andere, größere Bedienfläche als die Maus. Und eine bessere Gewichtsverteilung auf dem Helm. Die Teilnehmer äußerten unterschiedliche Präferenzen für die Position der Kamera. Auch die Möglichkeit, den Kamerawinkel während der Nutzung dauerhaft ändern zu können wurde gewünscht.

Studienteilnehmer, welche den Handheld-Prototypen nutzen, wünschten sich noch einen Standbildmodus, um Sachen genauer betrachten zu können. Auch wurde das gekippte Display, im Gegensatz zum geraden Display der Wärmebildkamera der Feuerwehr, als gewöhnungsbedürftig, aber größtenteils positiv beschrieben.

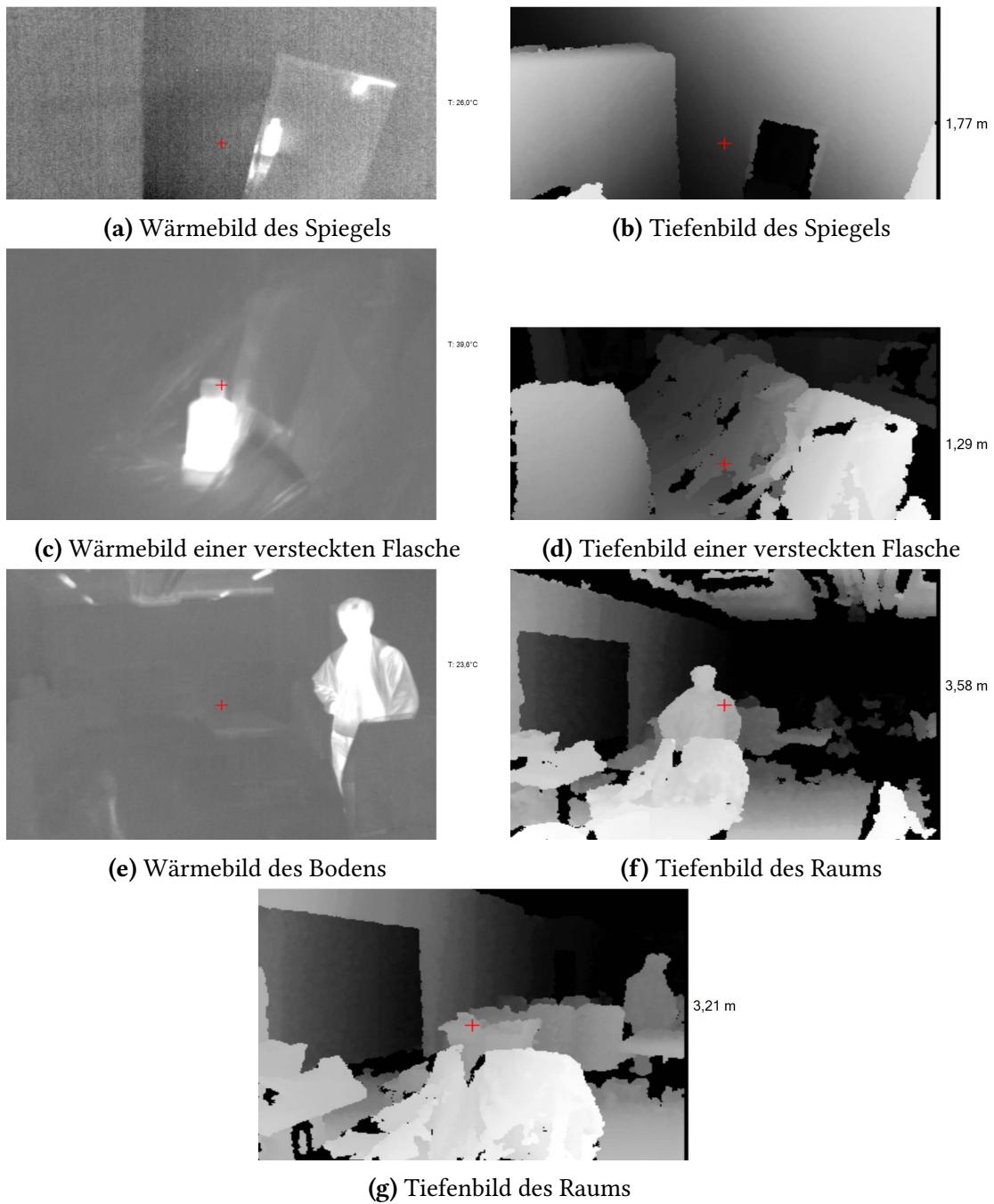
## 9.4 Diskussion

Da der Prototyp in beiden Studien positiv bewertet wurde und auch positive Effekte gemessen werden konnten, kann das Projekt „ProFire“ als Erfolg gewertet werden.

Die beiden durchgeföhrten Studien liefern größtenteils ein ähnliches Ergebnis, jedoch besteht eine deutliche Diskrepanz zwischen ihnen. Während unerfahrene Nutzer zu dem Tiefenbild für die Navigation tendieren, nutzen Feuerwehrleute, welche schon Erfahrungen mit Wärmebildkameras gesammelt haben, bevorzugt einen Bildmodus mit Wärmebild. Dabei ist nun nicht klar, ob dies daran liegt, dass das Tiefenbild einsteigerfreundlicher ist oder das Wärmebild eine steile Lernkurve besitzt. Auch könnte dies mit den unterschiedlichen Zuständen des Prototypen, in beiden Studien, zusammenhängen. Um diese Fragen zu beantworten, wird eine Testgruppe benötigt, die mit beiden Kameratypen vertraut ist. In diesem Fall wäre es am besten, diese Gruppe aus Anfängern mit beiden Systemen zu rekrutieren und sie über einen längeren Zeitraum an diese Bildmodi zu gewöhnen. Der Vorteil dabei ist, dass auch die entwickelte Fusion problemlos miteinbezogen werden kann. Das heißt die Rekrutierung von Probanden, welche sich über einen längeren Zeitraum, mit allen Bildmodi vertraut machen können, gepaart mit der Evaluation zu verschiedenen Zeitpunkten, wäre der nächste Schritt, bevor an ein Marktvorstoß gedacht werden kann.



**Abbildung 9.17:** Weitere Bilder aus der zweiten Studie



**Abbildung 9.3:** Wärme- und Tiefenbilder des Aufbaus der ersten Studie



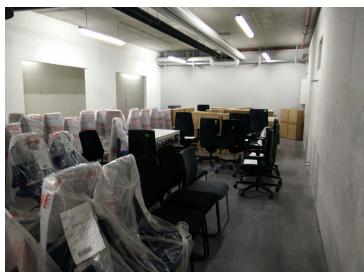
(a) Labyrintheingang



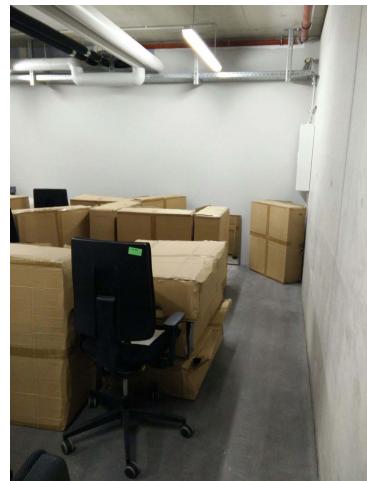
(b) Linke Seite des Labyrinths



(c) Linke Seite des Labyrinths mit Kameraposition



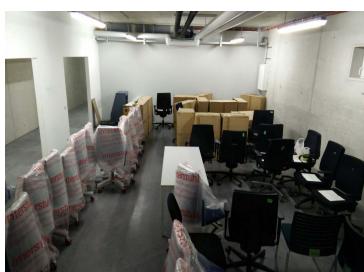
(d) Linke hintere Seite des Labyrinths



(e) Linke hintere Seite des Labyrinths



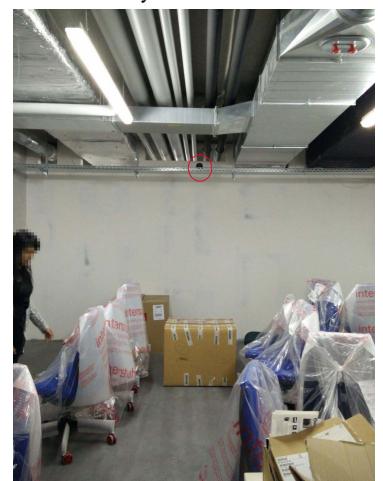
(f) Linke hintere Ecke des Labyrinths



(g) Übersicht der linken Seite des Labyrinths



(h) Übersicht der rechten Seite des Labyrinths



(i) Rechte Seite des Labyrinths mit Kameraposition

**Abbildung 9.5:** Bilder des Aufbaus der ersten Studie

# 10 Zusammenfassung und Ausblick

Wärmebildkameras können dazu genutzt werden, die visuelle Wahrnehmung zu verstärken. Für Feuerwehren sind diese Kameras besonders nützlich, allerdings ist eine Einschätzung von Distanzen und die räumliche Wahrnehmung, mit Wärmebildkameras allein, schwer. Auch Wärmereflexionen sind ein häufig auftretendes Problem. Aus diesen Gründen wurde das Projekt „**ProFire**“ gestartet. Zu Anfang des Projekts „**ProFire**“ festgelegt, dass bis zum 31.3.2016 ein Prototyp, welcher eine Bildfusion einer Wärmebildkamera mit einer Tiefenbildkamera realisiert, entwickelt und abgegeben werden muss. Neben dieser Fusion wurde eine Halterung entwickelt, welche es erlaubt, beide Kameras als tragbares Gerät, wie eine normale Wärmebildkamera zu nutzen. Diese Halterung kann allerdings auch an einem Helm befestigt werden und mit einem Headmounted-Display kombiniert, verwendet werden.

Um ein möglichst gutes Bildergebnis zu erreichen, werden erst die Tiefenbilder mit der Methode der Dilatation verbessert. Nach Kalibrierung der beiden Kameras, wurden beide Bildmodi, durch ein vervierfachen der Auflösung mit anschließender Aufteilung der Pixel für Tiefenbild und Wärmebild, fusioniert.

Darauf wurde der Prototyp mit Mitgliedern einer freiwilligen Feuerwehr evaluiert. Dabei konnten einige Verbesserungsvorschläge und viel positives Feedback gesammelt und auch nachgewiesen werden.

## Ausblick

Da allerdings die Feuerwehrleute, welche bereits Erfahrung mit Wärmebildkameras hatten, im Gegensatz zu einer Anfängergruppe, mit keinerlei Tiefen- oder Wärmebilderfahrung, kaum das normale Tiefenbild als hilfreich für die Navigation empfanden, wäre einer der nächsten Schritte, eine neue Nutzergruppe zu erstellen. Diese sollte dann über einen längeren Zeitraum an alle drei Bildmodi gewöhnt werden. Die folgende Evaluation wäre aussagekräftiger, als die durchgeführten Schritte.

Zudem muss die Tiefenbildkamera auf lange Sicht, mit einem Sonar oder Radar ausgetauscht werden, da auch der Tiefenbildsensor Probleme mit Spiegelungen hat. Zusätzlich dazu ist die funktionstüchtigen Distanz stark begrenzt und nahezu untauglich in verrauchten Umgebungen.

# 11 Installationsanleitung

## 11.1 Vorbereitende Maßnahmen

1. Splashtop Streamer auf dem ausführenden Laptop installieren
2. Splashtop Personal auf dem mobilen Anzeigegerät installieren
3. OpenNI installieren
  - a) Führen Sie alle **.MSI** Dateien des OpenNi Ordners aus.
  - b) Folgen Sie den Anweisungen der Installationsprozedur.
4. PI Connect installieren
  - a) Rufen Sie die Datei **Setup.exe** im zugehörigen PI Connect Ordner auf.
  - b) Folgen Sie den Anweisungen der Installationsprozedur.
5. Zur erstmaligen Konfiguration PI Connnect starten.
6. Wählen Sie, wie in Abbildung 11.1, unter dem Menüpunkt **Extras** das Menü **Konfiguration**
7. Wählen Sie, wie in Abbildung 11.2, den Tab „**Externe Kommunikation**“ aus und wählen Sie den Modus **IPC**
8. Gehen Sie auf den Tab „**Messfelder**“. Führen sie folgende Aktionen durch:
  - a) Klicken Sie auf die Schaltfläche „**Zentrieren**“
  - b) Setzen Sie den Wert im Feld „**Breite**“ (in der Abbildung 11.3 blau markiert) auf „**1**“
  - c) Setzen Sie den Wert im Feld „**Höhe**“ auf „**1**“

## 11.1 Vorbereitende Maßnahmen

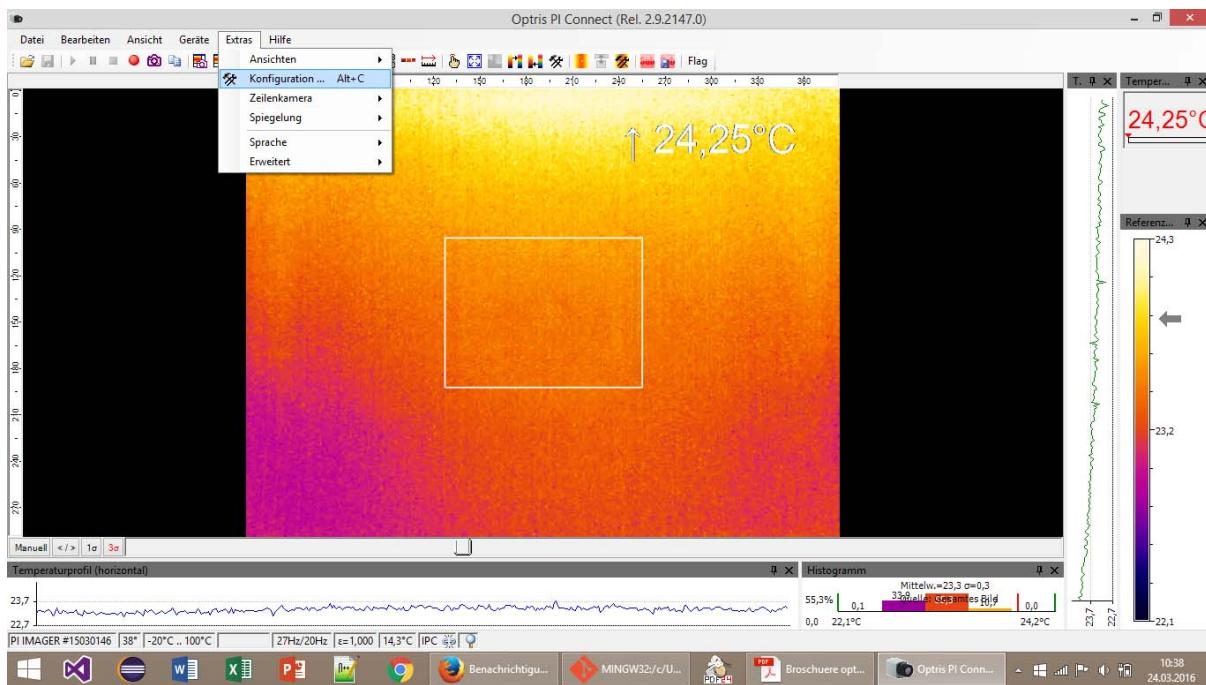


Abbildung 11.1: Konfigurationsmenü

9. Klicken Sie auf nun unten zum Bestätigen auf OK.

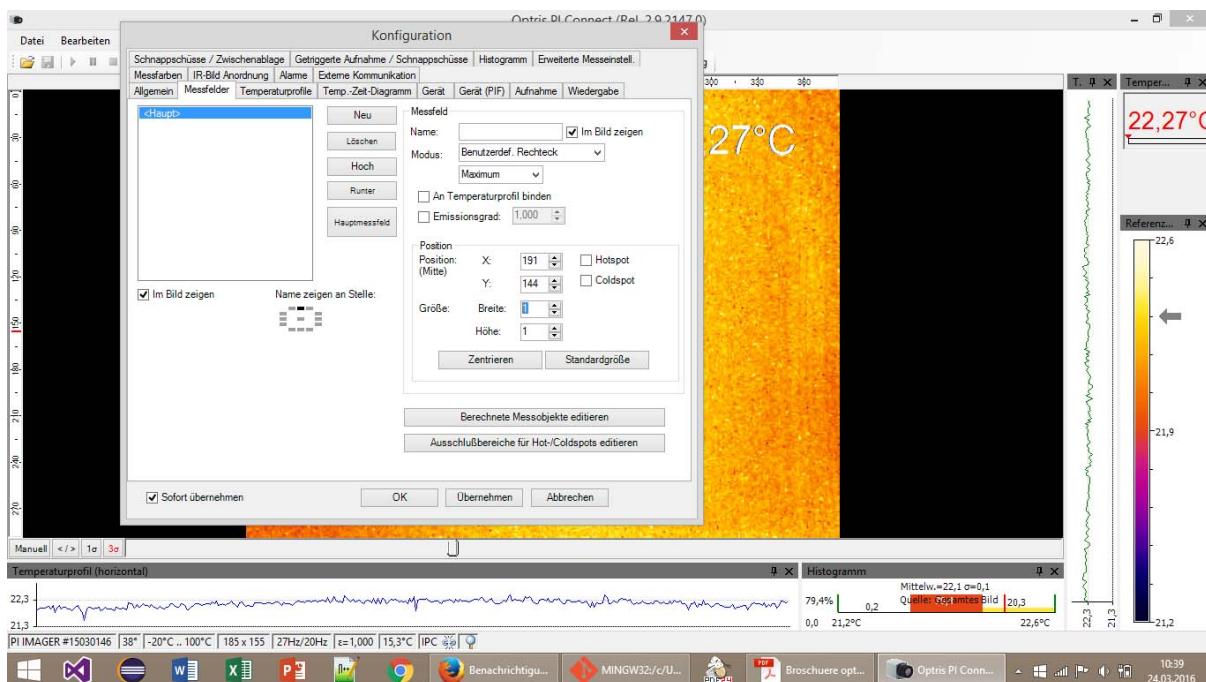
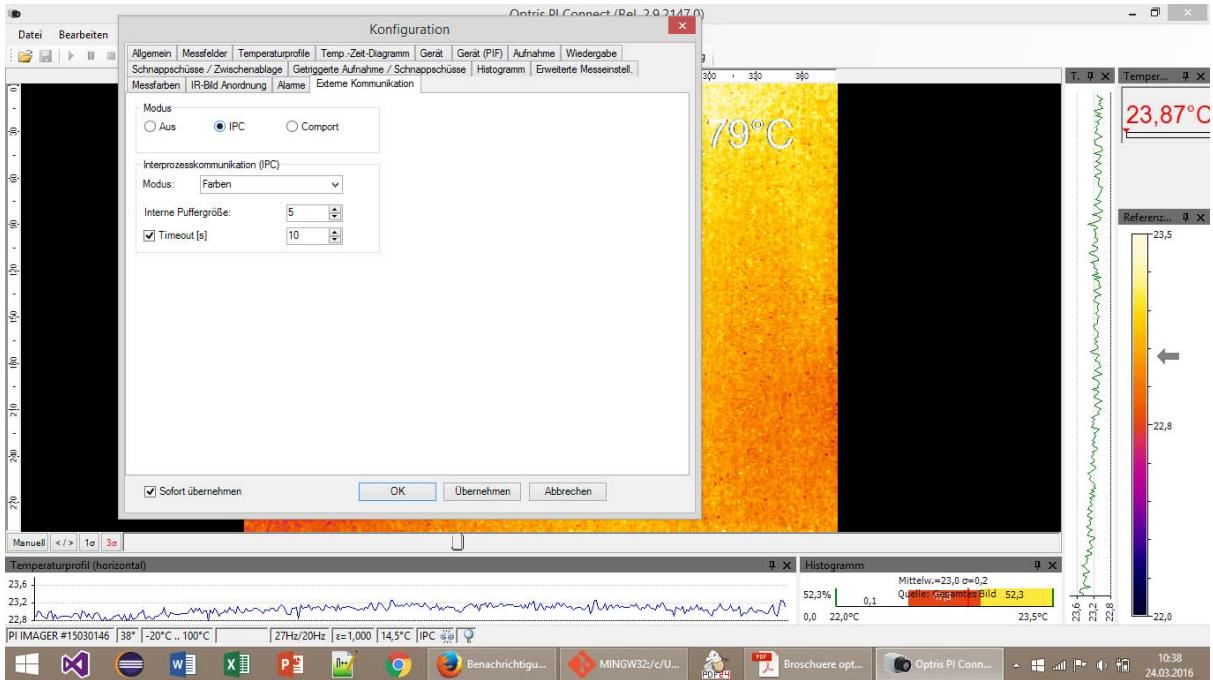
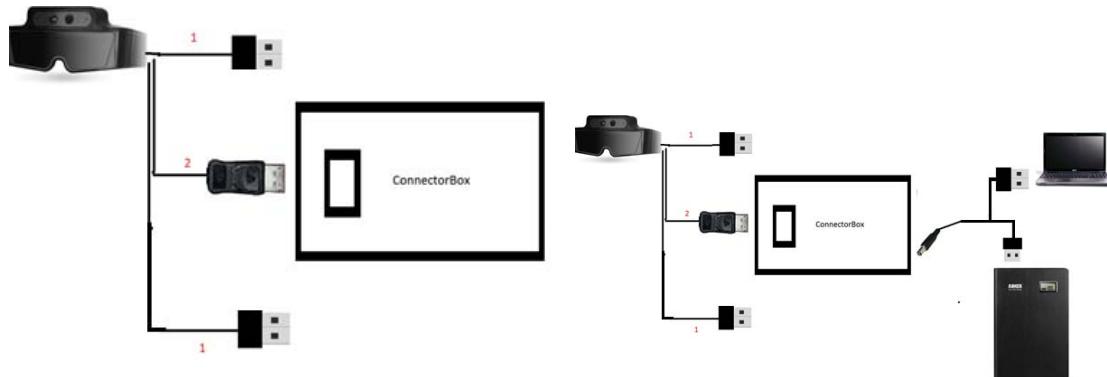


Abbildung 11.3: Einstellungsmenü Messfelder

## 11.2 Physischer Aufbau



**Abbildung 11.2:** Einstellungsmenü Externe Kommunikation



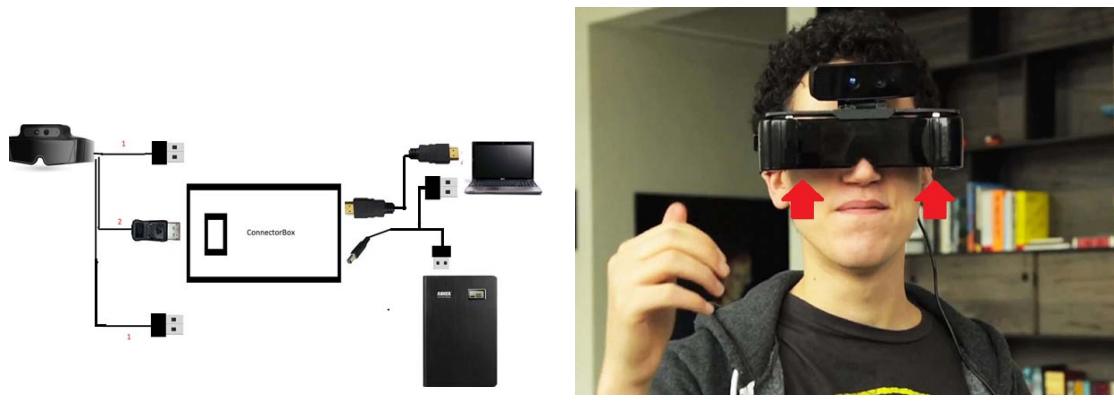
(a) Benötigte Anschlüsse der Meta 1

(b) Benötigte Anschlüsse des Akkus

**Abbildung 11.4:** Andeutung der benötigten Anschlüsse

## 11.2 Physischer Aufbau

1. Funkmaus mit dem Laptop verbinden
2. Meta 1 Anstecken
  - a) Das Bildübertragungskabel (2) der Meta 1 Brille, wie in Abbildung 11.4a angedeutet, in die dazugehörige Connector Box einstecken und beide USB-Ports der Meta 1 nicht verbinden.



(a) HDMI Verbindung der Meta 1 über die Controllerbox an den Laptop

(b) Getragene Meta 1

**Abbildung 11.5:** Abgeschlossenes Set-Up

- b) Im nächsten Schritt wird das Y-USB-Stromkabel mit der runden Seite in die Connectorbox gesteckt. Von beiden anderen Enden, welche aus jeweils einem USB-Stecker bestehen wird anschließend ein Ende in den Akku gesteckt und das andere gelangt in den dazugehörigen Laptop. Dies ist in Abbildung 11.4b angedeutet.
  - c) Im dritten Schritt wird, wie in Abbildung 11.5a angedeutet, das HDMI-Kabel an die ConnectorBox und den Laptop angesteckt.
  - d) Akku anschalten und warten bis die Brille startet dann ist die Brille einsatzbereit.
  - e) Nun kann man dann die Brille aufsetzen und Linsen der Brille unten an der Brille ausrichten. Diese Stellen sind in Abbildung 11.5b markiert.
3. Falls die *Helmhalterung* genutzt werden soll: Halterung an die vorgesehenen Stelle anbringen und Helm aufsetzen.
- Falls die *Handhalterung* genutzt werden soll: Handy in der dafür vorgesehenen Halterungskeibe platzieren.

## 11.3 Programmstart

1. Splashtop Streamer auf dem Laptop starten

Vorhandenes Benutzerkonto

**User** abc12g3@trash-mail.com

**Passwort** 123456

2. PI Connect starten und warten bis der Startvorgang vollendet ist

3. **start\_network.bat** ausführen
4. **ProFire\_v.1.0.exe** ausführen
5. Splashtop Personal auf dem Handy starten
6. Mit lokalem Netzwerk verbinden

**SSID** profire

**Passwort** 12345678

Alle URLs wurden zuletzt am 23.03.2016 geprüft.



## **Erklärung**

Wir versichern, diese Arbeit selbstständig verfasst zu haben. Wir haben keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt und alle wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommene Aussagen als solche gekennzeichnet. Weder diese Arbeit noch wesentliche Teile daraus waren bisher Gegenstand eines anderen Prüfungsverfahrens. Wir haben diese Arbeit bisher weder teilweise noch vollständig veröffentlicht. Das elektronische Exemplar stimmt mit allen eingereichten Exemplaren überein.

---

Ort, Datum, Unterschrift

## **Erklärung**

Wir versichern, diese Arbeit selbstständig verfasst zu haben. Wir haben keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt und alle wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommene Aussagen als solche gekennzeichnet. Weder diese Arbeit noch wesentliche Teile daraus waren bisher Gegenstand eines anderen Prüfungsverfahrens. Wir haben diese Arbeit bisher weder teilweise noch vollständig veröffentlicht. Das elektronische Exemplar stimmt mit allen eingereichten Exemplaren überein.

---

Ort, Datum, Unterschrift

---

Ort, Datum, Unterschrift

---

Ort, Datum, Unterschrift

---

Ort, Datum, Unterschrift

---

Ort, Datum, Unterschrift