

# Bachelor-Thesis BAT

HOCHSCHULE LUZERN T&A

STUDIENGANG ELEKTROTECHNIK

## Schwerpunkte

SIGNALVERARBEITUNG & KOMMUNIKATION,  
AUTOMATION & EMBEDDED SYSTEMS

---

# PIR Personendetektor

## Schlussbericht

---

*Autor:*

Daniel Zimmermann  
daniel.zimmermann.01@stud.hslu.ch

*Dozent:*

Kilian Schuster  
kilian.schuster@hslu.ch

*Industriepartner:*

Hr. Markus Kappeler  
Schindler Aufzüge AG  
6030 Ebikon  
markus.kappeler@ch.schindler.com

*Experte:*

Klassifikation | Rücksprache  
Horw, 14. März 2018

Erich Tschümperlin  
erich.tschuemperlin@bluewin.ch

# **Eigenständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Sämtliche verwendeten Textausschnitte, Zitate oder Inhalte anderer Verfasser wurden ausdrücklich als solche gekennzeichnet.

Wolfenschiessen, den 8. Juli 2017

Daniel Zimmermann

---

*Daniel Zimmermann*

# Abstract

This documentation is the result of the bachelor thesis PIR Person detector at the Lucerne School of Engineering and Architecture for the industry partner Schindler Aufzüge AG.

For maintenance and diagnostic purposes, the presence of persons in elevator cabins should be detected. Among other things, sensors for the detection of thermal radiation are suitable for this purpose. In the context of the work, it should therefore be clarified to what extent passive infrared imaging sensors (PIR) are suitable for use in a passenger elevator.

A state-of-the-art PIR sensor is available for this purpose. The Panasonic Grid-Eye AMG8834 sensor offers only 8x8 pixels and measures the surface temperature in a limited field of view.

In order to assess the suitability of the sensor, not only the physical and geometric properties are analysed, but also all sources of interference and influencing factors are determined. Several test procedures and measurement setups are used to identify and rate a wide variety of influencing factors. The analysis shows that the ambient temperature, the size of the person to be measured and the type of clothing play an important role in detecting people. Built-in light sources, reflections and emissions of the surrounding materials are determined as sources of interference.

In a further step, a neural network is created using machine learning and previously prepared data sets, which reflects the quality of person recognition. The person recognition is only carried out with zero to four persons, as the sensor characteristics in the measuring range no longer permit.

The suitability of passive infrared sensors in passenger elevators could be successfully verified with this work with corresponding restrictions, which are described in the document. An evaluation master and corresponding recommendations offer the possibility for further investigations.

# Abstract

Diese Dokumentation ist das Ergebnis der Bachelorarbeit acPIR Personendetektor an der Hochschule Luzern Technik & Architektur für den Industriepartner Schindler Aufzüge AG.

Für Wartungs- und Diagnosezwecke soll die Anwesenheit von Personen in Aufzugskabinen erfasst werden. Dazu bieten sich unter anderem Sensoren zur Erfassung der thermischen Strahlung an. Im Rahmen der Arbeit soll daher geklärt werden, inwieweit sich bildgebende passiv Infrarotsensoren (PIR) für den Einsatzbereich in einem Personenaufzug eignen.

Dafür steht ein State-of-the-Art PIR-Sensor zur Verfügung. Der verwendete Sensor Panasonic Grid-Eye AMG8834 bietet lediglich 8x8 Pixel und misst die Oberflächentemperatur in einem begrenzten Blickfeld.

Um die Eignung des Sensors zu beurteilen werden neben der Analyse der physikalischen und geometrischen Eigenschaften, vor allem auch Störquellen und Einflussfaktoren ermittelt. In mehreren Testdurchführungen und Messaufbauten werden verschiedenste Einflußfaktoren identifiziert und beurteilt. Bei der Analyse stellt sich heraus, dass bei der Personenerkennung hauptsächlich die Umgebungstemperatur, die Größe der zu messenden Person, sowie die Bekleidungsform eine bedeutende Rolle spielen. Als Störquellen werden eingebaute Lichtquellen, sowie Reflexionen und Emissionen der umgebenden Materialien ermittelt.

In einem weiteren Schritt wird mittels maschinellen Lernens und vorgängig vorbereiteten Datensätzen ein neuronales Netzwerk erstellt, welches die Qualität der Personenerkennung wiedergibt. Dabei wird die Personenerkennung lediglich mit null bis vier Personen durchgeführt, da die Sensoreigenschaften im Messbereich nicht mehr zulassen.

Die Eignung von passiv Infrarot Sensoren in Personenaufzügen konnte mit dieser Arbeit unter entsprechenden Einschränkungen, welche im Dokument ausgeführt sind, erfolgreich verifiziert werden. Ein Bewertungsraster und entsprechende Empfehlungen bieten die Möglichkeit für weitere Untersuchungen bzw. offenen Punkte.

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis . . . . .	1
Abbildungen . . . . .	2
Tabellen . . . . .	3
Formeln . . . . .	3
<b>1 Einleitung</b>	<b>4</b>
1.1 Aufgabenstellung . . . . .	4
1.2 Ziele . . . . .	5
1.3 Methodik . . . . .	5
<b>2 Informationsbeschaffung</b>	<b>6</b>
2.1 Grid-Eye AMG8834 . . . . .	6
2.2 Physikalische Aspekte . . . . .	8
2.3 geometrische Aspekte . . . . .	11
2.4 Messobjekt und Messumgebung . . . . .	12
2.5 Fazit . . . . .	15
<b>3 Testdurchführungen</b>	<b>16</b>
3.1 Grundlagenmessungen . . . . .	16
3.2 Personenmessungen . . . . .	17
3.3 Fazit . . . . .	18
<b>4 Personendetektion</b>	<b>19</b>
4.1 Datenverarbeitung . . . . .	19
4.2 Datenmanipulation mittels Interpolation . . . . .	19
4.3 Symetrische Erweiterung . . . . .	20
4.4 Musterauswertung . . . . .	20
4.5 Aufbau neuronales Netzwerk . . . . .	20
4.6 Convolution Neural Network . . . . .	21
4.7 c . . . . .	21
4.8 Ergebnisse . . . . .	21
4.9 Echtzeitpersonenerkennung . . . . .	21
4.10 Fazit . . . . .	21

<b>5 Empfehlung und Bewertung</b>	<b>22</b>
5.1 Teilbewertung . . . . .	22
5.2 Gesamtbewertung . . . . .	22
5.3 Empfehlung . . . . .	22
5.4 Weiteres Vorgehen . . . . .	22
5.5 Offene Punkte . . . . .	23
5.6 Ausblick . . . . .	23
<b>6 Reflexion</b>	<b>24</b>
6.1 Erläuterungen zum Projektmanagement . . . . .	24
6.2 Schlusswort . . . . .	24
6.3 Danksagung . . . . .	24
<b>A Meilensteinplan</b>	<b>25</b>
<b>B Detaillierter Projektplan</b>	<b>26</b>
<b>C Risikomanagement</b>	<b>27</b>
<b>D Übersicht Datensätze</b>	<b>28</b>
<b>E Digitale Projektanhänge</b>	<b>29</b>
E.1 Ordnerstruktur CD . . . . .	29

## Abkürzungverzeichnis

ASIC	Anwendungsspezifische Integrierte Schaltung eine elektronische Schaltung, die als integrierter Schaltkreis realisiert wurde
ADC	Analog/Digital-Converter Element zur Quantisierung von analogen Signalen
CNN	Convolutional Neural Network künstliches Neuronales Netzwerk, vorwiegend für maschinelle Bildverarbeitung
IoT	Internet of Things Technologien einer globalen Infrastruktur der Informationsgesellschaften
I2C	Inter-Integrated Circuit serieller Datenbus für asynchrone Datenübertragung
MEMS	Mikroelektromechanisches System miniaturisiertes System in der Größenordnung von Mikrometern mit eigener Logik
PIR	Passiv Infrarot Sensoren Sensor der auf langwellige Infrarotstrahlen reagiert
FOV	Field Of View bezeichnet den Bereich im Bildwinkel eines optischen Sensors
NETD	Rauschäquivalente Temperaturdifferenz Ein Maß für das Bildrauschen einer Infrarotkamera

# Abbildungen

2.1	Aufbau des AMG8834 Sensors . . . . .	6
2.2	Schema des AMG8834 Sensors . . . . .	7
2.3	Aufbau Thermosäulenelement . . . . .	8
2.4	Aufbau Thermosäule . . . . .	10
2.5	Einfluss Luftfeuchtigkeit . . . . .	11
2.6	Wärmebild eines Probanden . . . . .	13
2.7	Wärmebild eines Probanden . . . . .	13
2.8	Edelstahl warmgewalzt . . . . .	14
2.9	Edelstahl kaltgewalzt . . . . .	14
2.10	Emissionsgrad in Abhängigkeit zur Wellenlänge . . . . .	14
3.1	Streuung der einzelnen Pixel im Vergleich . . . . .	16
3.2	Personenmessung Messraster . . . . .	18
4.1	Pixeldarstellung einer Person . . . . .	19
4.2	Aufbau des Convolutional Neural Network . . . . .	21

# Tabellen

2.1 Physikalische Größen . . . . .	8
------------------------------------	---

# Formeln

2.2.1 Seebeck-Effekt . . . . .	9
2.2.2 Plank'sches Strahlungsgesetz . . . . .	9
2.2.3 Wärmestrahlung . . . . .	9
2.2.4 Schwarzer Stahler, Energieerhaltung . . . . .	10
2.2.5 Strahlung Energieerhaltung Festkörper . . . . .	10

# 1 Einleitung

Durch den technologischen Wandel, den die Industrie 4.0 sowie Internet of Things (IoT) mit sich bringen, entstehen in verschiedenen Einsatzbereichen neue Möglichkeiten. Die Sensoren werden zunehmend kleiner, vernetzter und günstiger. Dazu stehen stetig schnellere Prozessoren und größere Speicherkapazitäten zur Verfügung, daher werden vermehrt auch in alltäglichen Situation intelligente Systeme eingesetzt.

Für Wartungs- und Diagnosezwecke von Personenaufzügen bieten solche intelligente Systeme ein bedeutendes Potential. Durch die ortsunabhängige Kommunikation von übergreifenden Netzwerken und der Echtzeitverarbeitung bieten solche Messeinheiten Alternativen zu teuren Servicegängen. Mittels ständiger Überwachung und Fernwartung können Probleme frühzeitig erkannt und behoben werden. Die Anforderungen an eine solche Messeinheit hängt jedoch stark von Einsatzort ab. Dabei spielen Langzeiteinsatz, Zuverlässigkeit, Flexibilität, sowie auch der Energieverbrauch eine bedeutende Rolle.

Ein relevantes Messobjekt für eine solche Messeinheit ist unter anderem die Anzahl Personen innerhalb eines Aufzugs. Da übliche Überwachungskameras und bildgebende TOF-Sensoren teuer sind und einen bedeutenden Energiebedarf besitzen, stellt sich in diesem Bereich die Frage nach einer Alternative.

## 1.1 Aufgabenstellung

An diesem Punkt setzt nun die Aufgabenstellung dieser Bachelorarbeit an. Es soll die Eignung von Passiv Infrarot Sensoren (PIR) für eine solche Messeinheit geprüft werden. Dabei wird ein typischer bildgebender PIRSensor in möglichst breiter und wegweisender Form beurteilt. Es wird dabei der State-Of-the-Art Sensor AMG8834 von Panasonic verwendet. Mit diesem sollen in einer ersten Phase grundlegende Grenzen und Eigenheiten dieses passiven Messprinzips erarbeitet werden. In einem weiteren Schritt soll auf der Grundlage von Messresultaten und Testdurchführungen ein prototypische Messeinheit und einen Auswertealgorithmus entwickelt werden, mit welchem sich Personen innerhalb des Messbereichs detektieren lassen. Abschließend wird das Messprinzip beurteilt und eine Empfehlung für die Weiterführung gebildet.

## 1.2 Ziele

In erster Linie soll mit dieser Arbeit die Fragestellung geklärt werden, ob sich bildgebende PIR für die Personendetektion in Personenaufzügen eignen. Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, einen breiten und fundierten Katalog über die Möglichkeiten und Grenzen des Messprinzips zu liefern. Aus diesem Katalog wird eine Bewertung, welche auf Basis von Messungen und dessen Ergebnissen aufbaut. Diese Bachelorarbeit begrenzt sich auf die Analyse des Messprinzips von bildgebenden PIR Sensoren. Es werden keine Vergleiche mit anderen Sensorarten und Messprinzipien durchgeführt.

## 1.3 Methodik

Das Vorgehen wurde anfänglich durch einen Meilensteinplan gegliedert und ist etappenweise aufgebaut. Als erstes wurde einen Zeitraum für die Informationsbeschaffung definiert. Danach wiederholen sich Testphasen, Datenerfassungen und Auswertungen. Einzelne Testkonzepte geben Auskunft über die Testdurchführungen, sowie die entsprechenden Testspezifikationen.

Das Projektmanagement in Anhang A - C beinhaltet neben den detaillierten Projektplan auch die anfänglich definierten Meilensteine. Im detaillierten Projektplan sind neben den Tätigkeiten auch die zeitlichen Abschätzungen als Soll-/Ist-Vergleich angefügt. im Kapitel 6 Reflexion wird zum Projektmanagement kurz Stellung genommen und grössere Differenzen kommentiert.

Für die Datenverarbeitung und Aufbereitung wurde mittels Matlab und Python 3.5 programmiert. Für den Auswertealgorithmus wird das Prinzip des maschinellen Lernens angewendet. Dafür steht die Open-Source-Library Tensorflow r1.7 von Google zur Verfügung. Im Anhang D sind die erarbeiteten Datensätze für Tensorflow kurz spezifiziert. Der gesamte Sourcecode, Rohdaten, sowie die vorbereiteten Datensätze stehen im digitalen Ahang E zur Verfügung.

## 2 Informationsbeschaffung

Dieses Kapitel bietet fundamentale physikalische Gegebenheiten, sowie die relevanten Eigenheiten des verwendeten PIR-Sensors. Da es sich um eine bildgebendes Messprinzip handelt, werden des Weiteren geometrische Aspekte erläutert. Schlussendlich bietet dieses Kapitel auch nötige Informationen über das Messobjekt bzw. die Messumgebung geliefert.

### 2.1 Grid-Eye AMG8834

Der verwendete Panasonic AMG8834 ist ein bildgebender Mikroelektromechanisches System (MEMS)-Sensor, der mit insgesamt 64 temperaturempfindlichen Thermosäulenelementen ausgestattet ist. Diese sind als 8x8 Pixelmatrix auf den Chip aufgebracht. In Abbildung 2.1 ist der Aufbau des Sensors dargestellt. Nachfolgende Angaben sind auch dem Datenblatt zu entnehmen, wenn nicht anders angegeben.

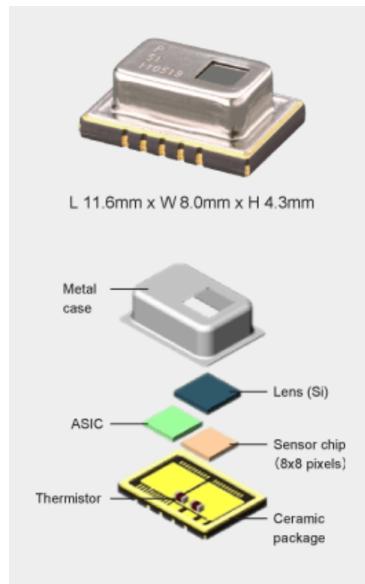


Abbildung 2.1: Aufbau des AMG8834 Sensors  
[AMG8834]

Die eintreffenden Infrarotwellen werden durch die Siliziumlinse, welche einen Field Of View (FOV) von  $60^\circ$  besitzt, gefiltert. Dabei durchdringen lediglich langwellige Infrarotstrahlungen mit den Wellenlängen  $8\text{-}13 \mu\text{m}$  die Linse. Dies entspricht dem dritten atmosphärischen Fenster.

In Abbildung 2.2 ist das Prinzipschema des Sensors darstellt. Die Umwandlung der Infrarotwellen in die Thermospannung wird im Unterkapitel 2.2.1 detailliert erläutert, daher wird in diesem Abschnitt darauf verzichtet. Die Signale der einzelnen Pixel werden durch die Anwendungsspezifische Integrierte Schaltung (ASIC) des MEMS-Sensor verarbeitet. Die selektierte Thermospannung wird verstärkt, mit dem integrierten Thermistor verglichen und mit dem Analog/Digital-Converter (ADC) gewandelt. Durch die hohe interne Verstärkung besitzt der Sensor bei normalen Bedingungen<sup>1</sup> eine Genauigkeit von  $+/- 3^\circ\text{C}$ .

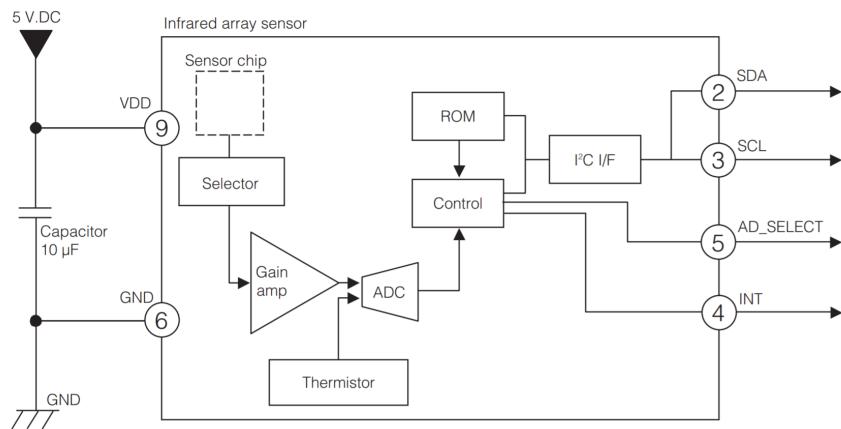


Abbildung 2.2: Schema des AMG8834 Sensors

[AMG8834]

Über die Inter-Integrated Circuit (I<sup>2</sup>C)-Schnittstelle lassen sich die Werte der Thermoelemente und der Thermistoren je aus 2 Register auslesen. Die Messwerte werden alle 100 ms aktualisiert. Dabei werden lediglich 12 Bit pro Pixel für die Temperaturregister genutzt. Dies führt zu der kleinsten unterscheidbaren Größe von  $0.25^\circ\text{C}$ . Die Thermistorregister lassen sich mit der Auflösung von  $0.625^\circ\text{C}$  unterscheiden. In Abbildung 2.2 ist klar ersichtlich, dass die Umgebungstemperatur, bzw. die Temperatur, welche vom Thermistor gemessen wird, direkten Einfluss auf die Pixelwerte besitzt. Variieren die Thermistorwerte aufgrund von Raumtemperaturschwankungen entstehen bei den Pixelwerten dadurch entsprechende Schwankungen.

<sup>1</sup>Umgebungstemperatur 0-80 °C bei Luftfeuchtigkeit 15-85%

## 2.2 Physikalische Aspekte

Dieser Abschnitt erläutert auf kurze und prägnante Weise, physikalischen Aspekte die dem Sensor zu Grunde liegen. Dies bietet die Grundlage für die Bestimmung der Störquellen und das Verhalten des Sensors bei entsprechenden äußereren Einwirkungen. Die Tabelle 2.1 gibt die Bezeichnungen der nachfolgenden Formeln wieder.

Grösse	Bezeichnung	Einheit
Thermospannung	$U_t$	J
Thermokraft P/N -Silizium	$\alpha_p, \alpha_n$	V/K
Temperatur P/N -Silizium	$T_p, T_n$	V/K
Wärmestrom	$\dot{Q}$	J
Emission	$\epsilon$	—
Reflektion	$\rho$	—
Transmission	$\tau$	—
Absoprtion	$\alpha$	—
Strahlungsleistung	$\dot{Q}$	W
spektrale spezifische Ausstrahlung	$M_\lambda$	W/sr <sup>2</sup>
Planksches Wirkungsquantum	$h$	Js
Lichtgeschwindigkeit im Vakuum	$c$	m/s
Stefan-Boltzmann-Konstante	$\sigma$	W/m <sup>2</sup> K <sup>2</sup>

Tabelle 2.1: Physikalische Grössen

### 2.2.1 Seebeck-Effekt

In Abbildung 2.3 ist ein einzelnes Pixel funktionell dargestellt. Die durch die konvexe Linse gesammelten Infrarotstrahlen verursachen auf den dünnen Thermosäulenflächen (2), dass die Oberfläche erwärmt wird. Es entsteht zwischen der erwärmten, n-dotierten Siliziumschicht (4) und der kühleren p-dotierten Siliziumschicht (6) ein Temperaturgefälle.

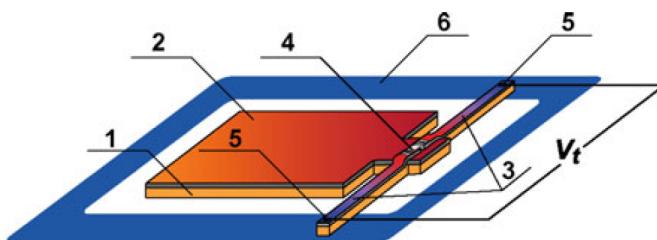


Abbildung 2.3: Aufbau Thermosäule  
[AMG8834]

Durch die unterschiedlichen Thermokräfte (auch Seebeckkoeffizienten) der zwei Halbleitermaterialien entsteht ein Potentialunterschied, den man an den Punkten 3 und 5 abgreifen kann. Diese Spannung  $U_t$  ist die Grundlage des Messprinzips und wird mit Formel 2.2.1 [**AMG8834**] beschrieben.

$$U_t = (\alpha_p + \alpha_n) * (T_p - T_n) \quad (2.2.1)$$

## 2.2.2 Strahlungstheorie

Das vorherige Unterkapitel erläutert die Funktion des Sensors als Infrarotempfänger. Nicht unwesentlich ist weiter die Betrachtung des Senders. Grundsätzlich gilt, jeder Körper, der eine Temperatur oberhalb des absoluten Nullpunkt aufweist, strahlt Wärmestrahlung im Infrarotbereich ab.

Im Allgemein wird für die Betrachtung vom Plank'schen Strahlungsgesetz ausgegangen. Nach dieser gilt für eine spektrale spezifische Ausstrahlung eines Schwarzkörpers mit der Temperatur  $T$  folgende Formel [**Thermoformeln**]:

$$M_\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} * \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1} \quad (2.2.2)$$

Wie in der Formel ersichtlich ist die Ausstrahlung eines schwarzen Körpers mit 5. Potenz von der Wellenlänge und exponentiell von der Temperatur abhängig. Durch die Siliziumlinse des Sensors werden Störquellen, welche andere Wellenlängen aufweisen, gefiltert. Dies ist vor allem bei Lichtquellen ein relevante Eigenschaft. Da dessen Spektrum sich bedeutend tiefer<sup>3</sup> befinden, können Strahlungseinflusse von herkömmlichen Lichtquellen ignoriert werden kann.

Das Stefan-Boltzmann-Gesetz [**Thermoformeln**] gibt die Strahlungsintensität  $\dot{Q}$  eines idealen Temperaturstrahlers an. Diese Formel bietet für die Anwendung die relevanten Erkenntnisse.

$$\dot{Q} = \frac{dQ}{dt} = \epsilon * \sigma * A * T_{obj}^4 \quad (2.2.3)$$

Diese Formel zeigt auf, dass die Wärmestrahlung eines Körpers im wesentlichsten (mit 4. Potenz) von der eigenen Temperatur abhängig ist. Die Fläche  $A$  ist lediglich proportional. Dies verursacht, dass bereits flächenmäßig kleine, jedoch stark erwärmte Objekte im Messbereich einen

<sup>3</sup>Bereich 0.4μm - 2 μm

bedeutenden Einfluss auf die Messresultate liefern können. Zusätzlich verursachen Wärmequellen im nahen Umfeld des Sensors Abweichungen auf die Messresultate. In Abbildung 2.3 ist das Sender/Empfänger-Prinzip dargestellt.

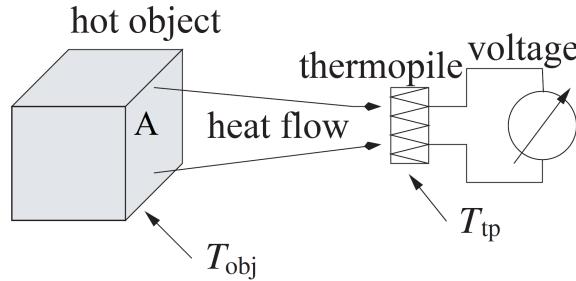


Abbildung 2.4: Aufbau Thermosäule  
[seebeck]

Das Stefan-Boltzmann-Gesetz deutet auf eine weitere relevante physikalische Gegebenheit hin, der mit dem Emissionsgrad  $\epsilon$  in Verbindung steht. Der Emissionsgrad  $\epsilon$  ist ein materialabhängiger, jedoch wellenlängenunabhängiger Faktor, welcher zwischen 0-1 wird. Dieser gilt für graue Körper d.h. für Körper, dessen Oberfläche auftreffende Strahlung nicht vollständig absorbieren. Diese Eigenheit gilt für alle realen Körper. Da der Emissionsgrad vom Material und dessen Oberfläche abhängt können starke Unterschiede entstehen. Im Unterkapitel 2.4.2 werden übliche Aufzugsmaterialien betrachtet.

Neben der Emission können auch Reflexion und Transmission von Störquellen Einfluss auf die Messwerte besitzen. In den nachfolgenden Formeln wird dies erläutert. Nach dem Energieerhaltungsgesetz [**Thermoformeln**] gilt für Transmission, Reflexion und Absorption die Formel 2.2.4.

$$\tau + \alpha + \varphi = 1 \quad (2.2.4)$$

Wobei bei thermischen Gleichgewicht angenommen werden kann, dass der Emissionsgrad der Absorption entspricht.

$$\epsilon \approx \alpha \quad (2.2.5)$$

Da in Aufzügen nur von Festkörper ausgegangen wird, fällt die Transmission  $\tau$  aus der Gleichung. Es können lediglich Reflexionen oder die Emission eines Festkörpers Einfluss auf die einwirkende Infrarotstrahlung nehmen. Der Sensor AMG8834 ist auf einen Emissionsgrad von 0.93 kalibriert. Dies entspricht dem Emissionsgrad von Haut und Glas.<sup>4</sup>

<sup>4</sup> zu entnehmen Emissionsgradtabelle Anhang E

## 2.3 geometrische Aspekte

Da die Strahlungsintensität mit zunehmender Distanz im Quadrat abnimmt, spielt die Distanz zum Messobjekt eine entscheidende Rolle. Ein weiterer Punkt ist der begrenzten FOV des Sensors von  $60^\circ$ . In der nachstehenden Skizze (Abbildung 2.5) sind die Verhältnisse perspektivisch dargestellt. Dabei wird von einer Raumhöhe von 2.10m ausgegangen.<sup>5</sup>

### High gain type

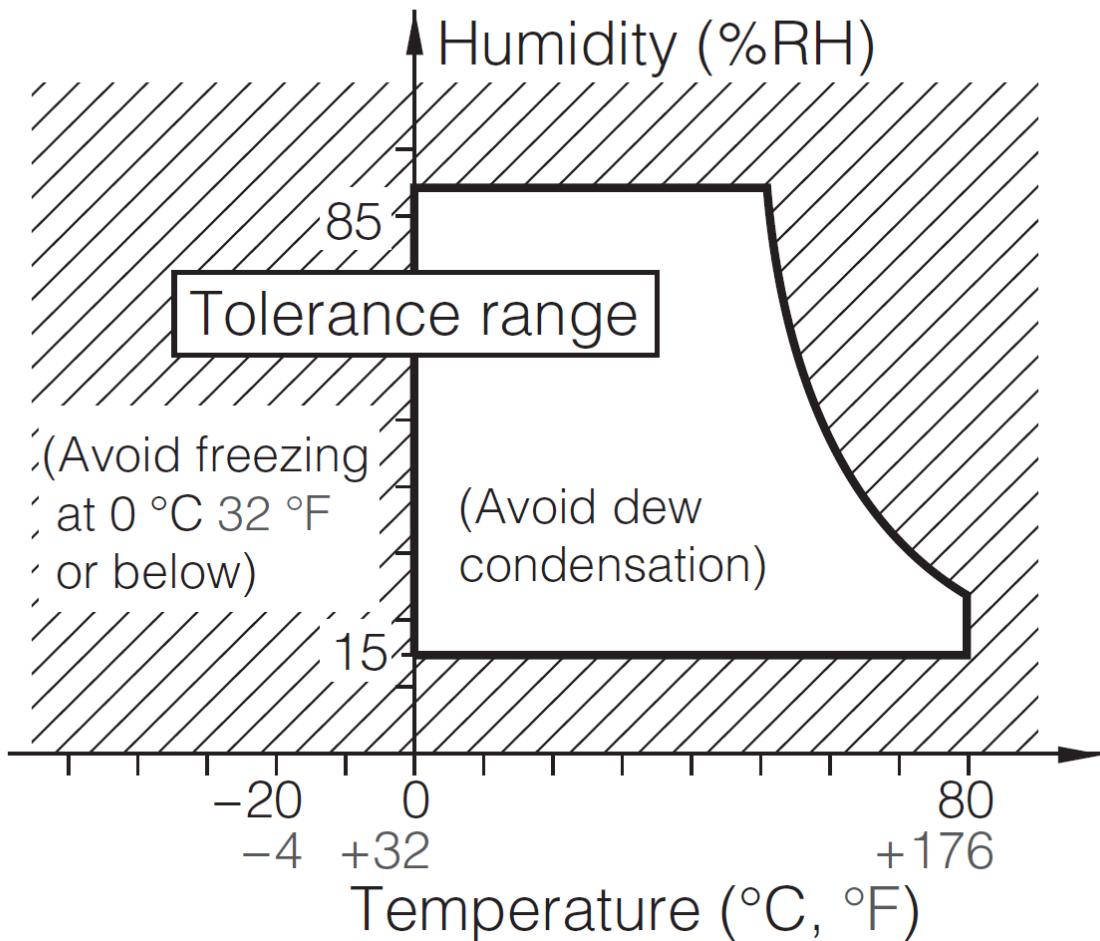


Abbildung 2.5: Einfluss Luftfeuchtigkeit  
[AMG8834]

Die räumliche Streckungen verursacht zusätzlich eine perspektivische Verzerrung, die in dieser Betrachtung nicht weiter beachtet wird. Zu sehen ist jedoch deutlich, dass bei der Messung von Personen der Messabstand zwischen 10 bis 110 Zentimeter am relevantesten ist. In diesem

<sup>5</sup>nach Standardkabine EN 81-20

Bereich kann jedoch mit dem aktuellen FOV im besten Fall eine Fläche von  $0.666m^2$  erfasst werden. Um eine Aufzugskabine mit 8 Personen<sup>6</sup> bei mittlerem Messbereich wird im optimalen Fall ein Öffnungswinkel von  $84^\circ \times 109^\circ$  benötigt.

Problematisch kann in diesem Zusammenhang die Abschattung des Messbereichs durch grosse Personen sein, welche zentral positioniert sind.

## 2.4 Messobjekt und Messumgebung

Dieses Kapitel beschreibt die Erkenntnisse bei der Betrachtung des Messobjekts und der Messumgebung. Dabei wurden einerseits die Kennwerte von Personen zusammengetragen, sowie die Messumgebung auf Störquellen und Einflussfaktoren begutachtet. Dank der Firma ARLEWO AG konnten unterschiedliche Aufzüge vermessen und bewertet werden.

### 2.4.1 Personen

Die Reaktionen im menschlichen Körper sind auf eine Kerntemperatur von  $37^\circ C$ . Am kältesten ist die Haut, die etwa 4 bis 7 Kelvin (Grad) kälter ist. Die Aufteilung der verschiedenen Arten der Wärmeabgabe beträgt bei einem ruhenden Menschen in einer Umgebung von  $20^\circ C$ :

- 46 % Strahlung
- 33 % Konvektion<sup>7</sup>
- 19 % Schwitzen
- 2 % Atmung

Die Höhe der Wärmeabgabe hängt im wesentlichen von der Schwere der Tätigkeit und von der Größe der Körperfläche ab. Daraus folgt, dass größere Personen mehr Wärme abgeben. Strahlung und Konvektion nehmen mit zunehmender Umgebungstemperatur bis zum Wert null bei  $36^\circ C$  ab. Hat die Umgebung die Körpertemperatur erreicht, kann folglich durch Strahlung und Konvektion keine Wärme mehr abgeführt werden. In einer Umgebung mit Temperaturen oberhalb  $37^\circ C$  kann also die Wärme nur noch durch Schwitzen abgeführt werden. [MenschWaerme]

Da die Personenerkennung auf Temperaturdifferenzen beruht, kann bei einer Umgebungstemperatur um  $37^\circ C$  eine Personen nicht mehr zweifelsfrei von der Umgebung differenziert werden.

<sup>6</sup>Masse: (HxBxT) 2100 x 1100 x 1400 [mm]

<sup>7</sup>Konvektion bezeichnet die Wärmeabgabe an das umgebende Medium, in der Regel Luft

Ein weiterer Aspekt, der sehr stark ins Gewicht fällt, ist die Art der Bekleidung. In Abbildung 2.6 und Abbildung 2.7 ist deutlich zu sehen, dass das thermische Profil einer Person durch die Bekleidung stark variiert.

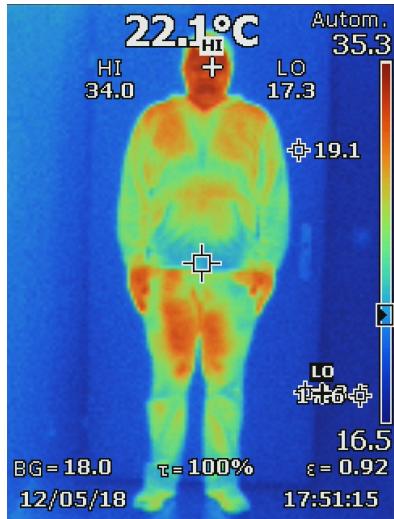


Abbildung 2.6: Wärmebild eines Probanden vollbekleidet

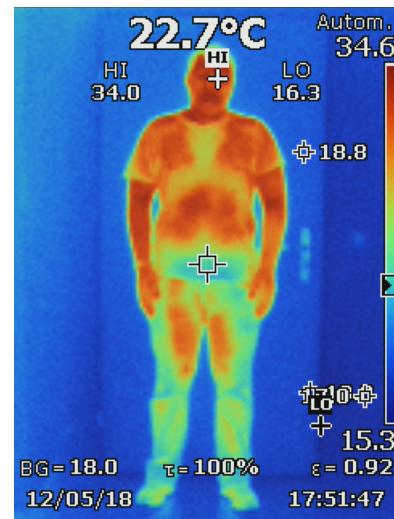


Abbildung 2.7: Wärmebild eines Probanden teilbekleidet

Unbekleidete Zonen sind üblicherweise die wärmsten Regionen. Die Bekleidung hängt von der Art ab und variiert zwischen Hauttemperatur und Umgebungstemperatur. Im Falle von einem Umgebungstemperaturwechsel besitzt die Kleidung eine verzögerte Reaktion bis sich die neue Temperatur einstellt. Dies ist insofern relevant, weil bei einem Wechsel vom Aussenbereich zu einem beispielsweise klimatisierten Innenbereich, die Bekleidung im Verhältnis zur Umgebungstemperatur abweicht.

#### 2.4.2 Personenaufzüge

In diesem Unterkapitel wurde der Personenaufzug als Messobjekt näher betrachtet. Neben räumlichen Parametern wie Höhe, Grundfläche und Volumen spielen vor allem die Oberflächenbeschaffenheit bzw. das Oberflächenmaterial Rolle. Weitere Einflussfaktoren finden sich in der Umgebungstemperatur und der verbauten Leuchtmittel.

Wie bereits in Unterkapitel 2.2.2 erläutert, besitzen die Materialien in einem Personenaufzug zum Teil stark abweichende Emissionsgrade. Dies verursacht, dass die gemessenen Temperaturen nicht den effektiven Temperaturen entsprechen.

In Abbildung 2.8 und 2.9 sind kalt- und warmgewaltzte Edelstahloberflächen dargestellt welche auch in Aufzügen verwendet werden.

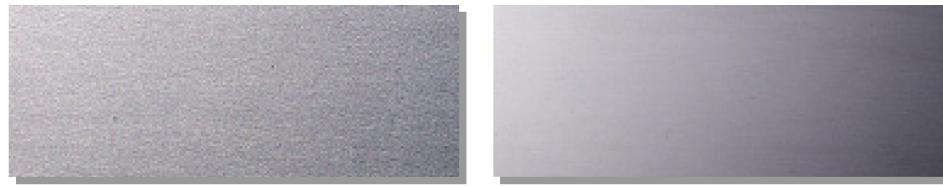


Abbildung 2.8: Edelstahl warmgewalzt  
[Edelstahl]

Die



Abbildung 2.9: Edelstahl kaltgewalzt  
[Edelstahl]

Zusätzliches Augenmerk wird beim Material Glas gelegt. Glas besitzt die Eigenschaft, auch als Festkörper Infrarotstrahlung zu transmittieren. In Abbildung ?? sind die drei Grade dargestellt.

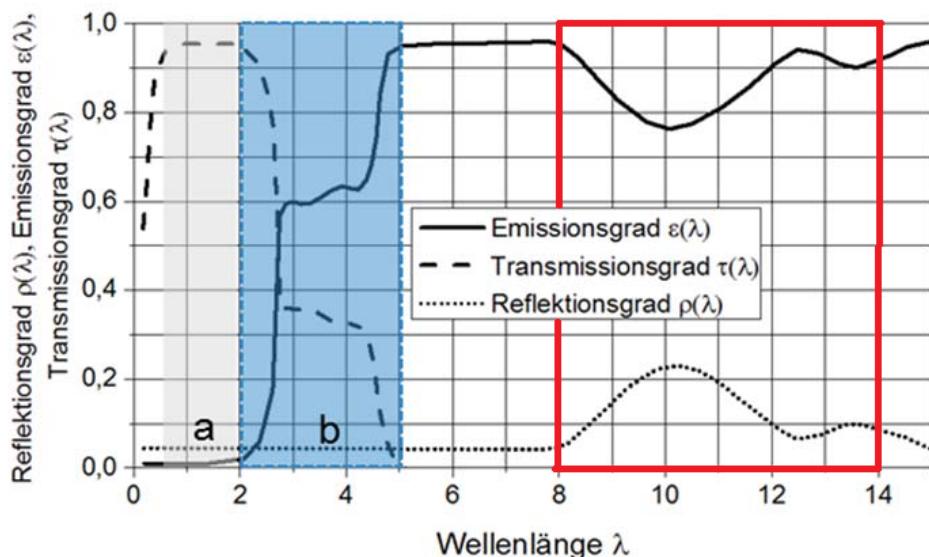


Abbildung 2.10: Emissionsgrad in Abhängigkeit zur Wellenlänge von Glas

Aus der Grafik geht hervor, dass im Arbeitsbereich des Sensors<sup>8</sup>

<sup>8</sup> 8- 14  $\mu\text{m}$ : rote Markierung

## 2.5 Fazit

Die Personenerkennung in Aufzügen mit PIR Sensoren ist am meisten von der Individualität einer Person abhängig. Faktoren wie Körpertemperatur, Körpergröße und Bekleidung verursachen enorme Differenzen. Dadurch kann kein einheitliches Profil erstellt werden. Da Personenaufzüge Normgrößen besitzen, besteht mit dem AMG8834 durch den begrenzten FOV nur einen begrenzten Messbereich. Entsprechende Linsenanpassung können die Problematik lösen. Weitere physikalische Gegebenheiten wie die Umgebungstemperatur oder indirekte Sonneninstrahlung bewirken veränderte Bedingungen für den Messbereich, welche bei einer Messeinheit berücksichtigt werden müssen. Die verwendeten Leuchtmittel besitzen, soweit Einfluss, da deren Betriebstemperatur

## 3 Testdurchführungen

Es wurden im Rahmen dieser Arbeit eine grosse Anzahl an Messungen und Testfällen durchgeführt. Die Testkonzepte im digitalen Anhang E geben detailliert Auskunft über die Testdurchführung. Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den bedeutendsten Ergebnissen.

### 3.1 Grundlagenmessungen

Die Grundlagenmessungen geben Auskunft über die Eigenheiten des Sensors. Dabei wurde einerseits

#### 3.1.1 Streuung

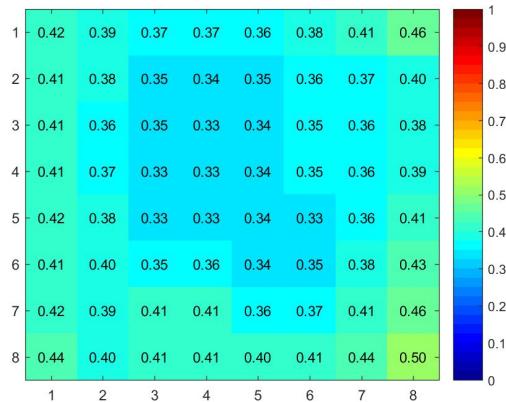


Abbildung 3.1: Streuung der einzelnen Pixel im Vergleich

### 3.1.2 Reflektion

### 3.1.3 Streuung

### 3.1.4 Einfluss Störquellen

Dieser Abschnitt befasst sich mit den Einfluss von externen Quellen auf den Sensor. Dabei spielen natürliche Einwirkungen wie Luftströme, Umgebungstemperaturen und Lichtquellen einen enormen Einfluss.

Weitere Störquellen sind Objekte, welche sich innerhalb des FOV des Sensors befinden. In Abbildung 26 ist eine

Neben natürlichen Störquellen und Objekten besteht ein enormer Unterschied bei der Bekleidung der zu messenden Personen.

## 3.2 Personenmessungen

Bei der Personenmessungen wurden unterschiedliche Probanden in einem Aufzug ausgemessen auf dessen Wärmestrahlung analysiert.



Abbildung 3.2: Personenmessung Messraster

### 3.3 Fazit

## 4 Personendetektion

Dieser Abschnitt beschreibt das Vorgehen, um die Anzahl Personen in einem Aufzug zu erkennen. In einem ersten Schritt wird die Verarbeitung der Rohdaten aufgezeigt. Für den Auswertealgorithmus wurden mehrere unterschiedliche Aufzüge evaluiert und ein Profil erstellt.

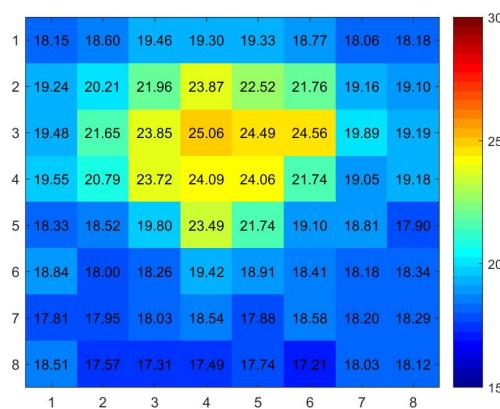


Abbildung 4.1: Pixeldarstellung einer Person

### 4.1 Datenverarbeitung

### 4.2 Datenmanipulation mittels Interpolation

Die Auflösung von 8x8 Pixel bietet optisch nur begrenzte Aussagekraft über die Anzahl Personen in einem Aufzug. Daher wurde mittels MATLAB mehrere Interpolationsverfahren benutzt, um die Auflösung der Personenerkennung zu verbessern. Im Zusammenhang mit den Pixelwerten eignet sich eine bikubische

Da im Zusammenhang mit dem Auswertealgorithmus mittels TensorFlow

#### 4.2.1 Profilbildung

Im Verlauf der Arbeit wurden mehrere Profile von Personenaufzügen erstellt. Diese dienten als Datensätze für das Convolutional Neural Network (CNN)

### 4.3 Symmetrische Erweiterung

Um die Datensätze zu vergrössern wurden die drei Profile erweitert.

### 4.4 Musterauswertung

### 4.5 Aufbau neuronales Netzwerk

Convolutional Networks work by moving small filters across the input image. This means the filters are re-used for recognizing patterns throughout the entire input image. This makes the Convolutional Networks much more powerful than Fully-Connected networks with the same number of variables. This in turn makes the Convolutional Networks faster to train

The convolutional filters are initially chosen at random, so the classification is done randomly. The error between the predicted and true class of the input image is measured as the so-called cross-entropy. The optimizer then automatically propagates this error back through the Convolutional Network using the chain-rule of differentiation and updates the filter-weights so as to improve the classification error. This is done iteratively thousands of times until the classification error is sufficiently low.

$$(W - F + 2P) : S + 1$$

## 4.6 Convolution Neural Network

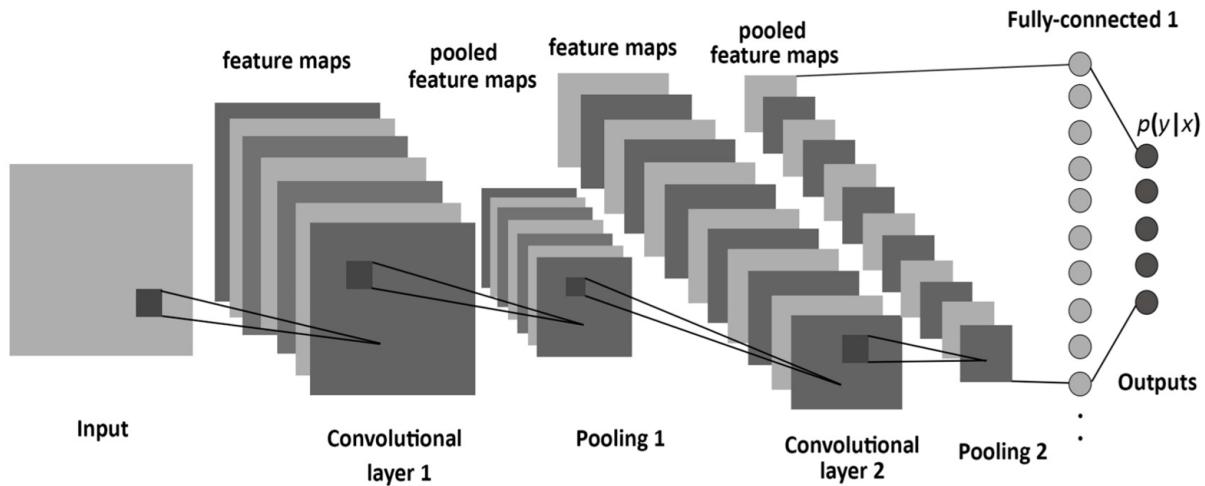


Abbildung 4.2: Aufbau des Convolutional Neural Network

## 4.7 c

Entweder alle Sekunde der Mittelwert auswerten, doer alle 100 ms die Daten auswerten

## 4.8 Ergebnisse

## 4.9 Echtzeitpersonenerkennung

Um

## 4.10 Fazit

# 5 Empfehlung und Bewertung

Dieses Kapitel beinhaltet eine Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse. Dabei werden die

## 5.1 Teilbewertung

Bewertung von Auflösung Bewertung von Geometrischen Aspekte Bewertung Messprinzip

Bewertung Personenerkennung

Bewertung von Personenerkennung

## 5.2 Gesamtbewertung

## 5.3 Empfehlung

Bewertungsraster

## 5.4 Weiteres Vorgehen

Es bietet sich an die Profilbildung mit diesem Messprinzip zu verfeinern, damit noch mehr Anwendungs Weitere Profilbildung,

Temperaturbereich erweitern

## 5.5 Offene Punkte

Dieser Abschnitt erläutert offene Punkte, welche im Rahmen der Arbeit nicht untersucht wurden.

### **Bewegungfehlverhalten**

Bei der aktuellen Betrachtung wird weitgehend von still stehenden Personen ausgegangen und dies zeigt sich auch bei der Auswertung mit der Echtzeitmesseinheit.

### **thermische Grenzfälle**

Es konnten aufgrund fehlender Möglichkeiten keine Messungen durchgeführt werden, welche Grenzfälle abdeckten. Vor allem das Verhalten des Sensor bei Umgebungstemperatur von 0° und 37° bietet eventuell Erkenntnisse für den Anwendungsfall im Außenbereich.

### **Bewegungfehlverhalten**

### **Bewegungfehlverhalten**

## 5.6 Ausblick

Diese Bachelorarbeit hat sich mit dem dem Panasonic Grid-Eye AMG8834 befasst. Während der Informationsbeschaffung wurde dieser mit erhältlichen Sensoren anderer Hersteller verglichen und als State-Of-The-Art beurteilt. Ab Mai 2018 wurde von der Firma Melexis der Sensor MLX90640 auf den Markt gebracht. Dieser Sensor könnte die Lücken, welche der verwendete Sensor besitzt schließen. Der MLX90640 besitzt mit einer Auflösung von 24x32 Pixel bedeutende Darstellung- und Auswertemöglichkeiten. Der Einsatztemperatur erstreckt sich zwischen -40° bis 85°, daher ist er auch für extremere Umgebungstemperaturen geeignet. Interessant ist bei diesem Sensor das Model mit dem Öffnungswinkel von 110°x75°. Der Öffnungswinkel könnte die geometrische Problematik aus Kapitel 2.3 lösen und somit für den Einsatzbereich in Personenaufzügen besser geeignet sein. Preislich ist dieser Sensor jedoch doppelt so teuer wie der AMG8834. Das entsprechende Datenblatt ist im digitalen Anhang E angefügt.

## 6 Reflexion

Dieses Kapitel beinhaltet neben den bedeutendsten Erläuterungen zum Projektmanagement auch ein persönliches Resümee im Schlusswort. Mit den entsprechenden Danksagung an alle Personen, welche mich bei dieser Arbeit unterstützt haben endet der inhaltliche Teil.

### 6.1 Erläuterungen zum Projektmanagement

Im Rahmen dieser Arbeit wurde anfänglich die Meilensteine definiert, welche im Anhang A zu sehen sind. Der detaillierte Projektplan im Anhang B bietet vollständigen Überblick über die erledigten Tätigkeiten. Des Weiteren wurden Problematiken nach dem Risikomanagement in C angegangen.

In Anhang A

### 6.2 Schlusswort

### 6.3 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich bei der Ausführung dieser Arbeit unterstützt haben. Zuallererst gebührt der Dank an Kilian Schuster, der mich als betreuender Dozent bei dieser Bachelorarbeit tatkräftige unterstützt hat, sowie mit wertvollen Hinweisen und ehrlichen Rückmeldungen zur Seite gestanden ist. Mein Dank geht auch an Manuel Serquet, der mich mit TensorFlow vertraut gemacht hat und mir

Ebenfalls bedanken ich mich bei den Gegenlesern Andreas Zimmermann, Marie-Theres Zimmermann und Angela Burch für die syntaktische und inhaltliche Korrektur der wissenschaftlichen Dokumentation.

Ein spezieller Dank geht an die Immobilienverwaltungsfirma ARLEWO in Stans, welche mir ein breites Spektrum an Schindler Aufzügen bereitstellte, damit die Feldmessungen praxisnahe durchgeführt werden konnten. An diesem Punkt besten Dank auch allen Probanden, welche sich für die Feldmessungen zur Verfügung gestellt haben.

## **A Meilensteinplan**

## B Detaillierter Projektplan

## **C Risikomanagement**

## **D Übersicht Datensätze**

Die erstellten Datensätze wurden folgendermasse unterteilt

## E Digitale Projektanhänge

Der Projektanhang enthält neben dem Schlussbericht und dem Projektmanagement, alle Skizzen, Rohdaten in strukturierter Form. Alle Matlab und Python-Codes sind entsprechend kommentiert und geben Auskunft über die erstellten Programme. Jeder Unterordner enthält ein "readme", welches zusätzliche Informationen enthält..

### E.1 Ordnerstruktur CD

Die beiliegende CD hat folgende Ordnerstruktur.

1. Abgabedokument
  - Abgabedokument
2. Projektmanagement
  - Aufgabenstellung
  - Detaillierter Projektplan Teil 1
  - Detaillierter Projektplan Teil 2
  - Risikomanagement
3. Graphiken
  - Skizze Konzept Plattform
  - Skizze Konzept Turm unrotierend
  - Skizze Konzept Turm rotierend
4. Messdaten
  - Testkonzepte & Testmappen
5. Matlab Codes
  - dxf-Files
  - stl-Files

6. Tensorflow

- Laser\_3D

7. Datenblätter

- Panasonic AMG8834
- Melexis MLX90640
- Schrittmotor
- Schleifringe