

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE  
WISSENSCHAFTEN

BACHELOR THESIS

---

**Machbarkeitsanalyse:  
Gefahrensituationen in der Kletterhalle  
erkennen**

---

*Autor:*

Yves HENDSETH

*Betreut von:*

Alexandre DE SPINNLER

Matrikel-Nr.: 18648386

ZHAW School of Management and Law  
Institut für Wirtschaftsinformatik

24. Mai 2022

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN

## *Abstract*

ZHAW School of Management and Law

Institut für Wirtschaftsinformatik

Bachelor of Science

### **Machbarkeitsanalyse: Gefahrensituationen in der Kletterhalle erkennen**

von Yves HENDSETH

Das Ziel der vorliegenden Bachelorarbeit ist es, herauszufinden, ob es möglich ist, Gefahrensituationen in der Kletterhalle automatisiert zu erkennen. Dazu wurde ein Prototyp entwickelt, welcher ein Kletter-Video mit einer automatisierten Bildanalyse untersucht. Somit wird die Umsetzbarkeit einer programmierten Gefahrenerkennung überprüft. Es zeigt sich, dass sich gewisse Risikoindikatoren mit einer Bildanalyse erkennen lassen. Daraus ergibt sich, dass nicht alle relevanten Informationen aus den Bildern einer Klettersituation entnommen werden können. In weiterführenden Untersuchungen könnte diese Arbeit als Anknüpfungspunkt verwendet werden, um zu versuchen, weitere Risikoindikatoren automatisiert zu erkennen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Nutzen . . . . .	2
1.2	Methodisches Vorgehen . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Hintergrund</b>	<b>3</b>
2.1	Gefahrensituationen . . . . .	3
2.2	Lösungsidee . . . . .	5
2.3	Herausforderung . . . . .	5
2.4	Bildanalyse . . . . .	5
2.4.1	Erkennung Gefahrensituation . . . . .	7
2.4.2	Insuffizienz . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Lösung</b>	<b>9</b>
3.1	Annahme . . . . .	9
3.2	Prototyp . . . . .	9
3.2.1	Ablauf . . . . .	11
3.2.2	Analyseresultat . . . . .	13
<b>4</b>	<b>Aufbau</b>	<b>15</b>
4.1	Technologien . . . . .	15
4.2	Domänen-Modell . . . . .	15
4.3	Bildmaterial einlesen . . . . .	17
4.4	Bildanalyse-Modell initialisieren . . . . .	17
4.5	Risikoanalyse . . . . .	17
<b>5</b>	<b>Validierung</b>	<b>21</b>
5.1	Experten . . . . .	21
5.2	Technisch . . . . .	24
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerung</b>	<b>28</b>
6.1	Interpretation der Berechnungsresultate . . . . .	28
6.2	Weiterführende Arbeiten . . . . .	29
6.3	Reflexion . . . . .	30
<b>7</b>	<b>Literatur</b>	<b>31</b>

# Abbildungsverzeichnis

3.1	Fixierpunkte markieren (eigene Darstellung) . . . . .	12
3.2	Personenerkennung und Analyseschema (eigene Darstellung) . . . . .	13
3.3	Personenerkennung fehlgeschlagen (eigene Darstellung) . . . . .	14
4.1	Klassendiagramm – Start-Skript (eigene Darstellung) . . . . .	16
4.2	Klassendiagramm – Risikoanalyse (eigene Darstellung) . . . . .	16
4.3	Berechnungsschema: Abstand Sicherer zur Wand (eigene Darstellung)	19
5.1	Risikomatrix (eigene Darstellung) . . . . .	23
5.2	Video: Distanz zur Wand – Validation (eigene Darstellung) . . . . .	25
5.3	Video: Horizontaler Abstand – Validation (eigene Darstellung) . . . . .	26

# Tabellenverzeichnis

3.1	Konfigurationsparameter	10
4.1	Verwendete Programmbibliotheken	15
5.1	Validierungsergebnisse: Distanz zur Wand	25
5.2	Validierungsergebnisse: Horizontaler Abstand	26
5.3	Modell Evaluationstabelle	27

# 1 Einleitung

Beim Sportklettern in einer Kletterhalle oder am Felsen kann es zu gefährlichen Situationen kommen (Kron & Schaff, 2002, S. 73). Grundsätzlich liegt die Verantwortung für die Sicherheit bei der sichernden Person und beim Kletterer selbst. In Kletterkursen lernen die Teilnehmer die Verhaltensregeln, um risikoreiche Situationen und Unfälle zu vermeiden (Kron & Schaff, 2002, S. 73). Trotz dieser Regeln kommt es immer wieder zu Unfällen, bei welchen sich die beteiligten Personen schwer verletzen (Weissmüller, 2017, S. 4). Aktuelle Unfallstatistiken zeigen, dass in den meisten Fällen menschliches Versagen der Grund für einen Unfall ist (Weissmüller, 2017, S. 12). Aus dieser Erkenntnis resultiert die Motivation für diese Arbeit: das Sportklettern sicherer zu gestalten. Die auf dem Markt üblichen Sicherungsgeräte (zum Beispiel: Sicherungskarabiner) bieten bei adäquater Anwendung einen zusätzlichen Schutz, jedoch gibt es aktuell keine Hilfsmittel, welche die Sporttreibenden aktiv bei der Risikominimierung unterstützen (Kron & Schaff, 2002, S. 73). So entstand die Idee einer Software, welche die Situation an der Kletterwand mittels Bilderkennung analysiert und eine Risikoeinschätzung durchführt. Dieses Programm würde im Falle einer gefährlichen Situation eine Meldung produzieren, um die beteiligten Personen zu informieren und auf ihr Fehlverhalten hinzuweisen. Da es aktuell noch keinen dokumentierten Versuch gibt, ein solches System umzusetzen, wird in dieser Arbeit versucht, herauszufinden, ob es möglich ist, Gefahrensituationen an der Kletterwand durch Bildanalyse zu erkennen. Dafür wurde ein Prototyp umgesetzt und die Tauglichkeit der Risikoanalyse validiert.

Nach der Beschreibung des Nutzens und des methodischen Vorgehens der Arbeit folgt die Erläuterung der Hintergründe der zugrundeliegenden Thematik. Für diesen Teil werden einerseits Informationen aus der Literaturrecherche und die eigene Erfahrung des Autors verwendet. Andererseits wird die entwickelte Lösung, der Prototyp, vorgestellt sowie seine Funktionalität und sein technischer Aufbau aufgezeigt. Vor der Schlussfolgerung wird die durchgeführte Validierung mit ihren Resultaten dokumentiert.

## 1.1 Nutzen

Die Erkenntnisse dieser Arbeit nützen in erster Linie den Betreibern der Kletteranlagen. Diese können sich ein Bild darüber verschaffen, welche technischen Möglichkeiten es gibt, um ihre Anlage sicherer und moderner zu gestalten. In einer erweiterten Betrachtung nützt die Lösung auch den Sportlern selbst. Sie werden aktiv bei der Risikominimierung unterstützt und werden gleichzeitig über ihr Fehlverhalten informiert. Dadurch verbessern sich zugleich die eigenen Fähigkeiten, gefährliche Situationen zu erkennen. Schlussendlich wird der Risikofaktor, der vom menschlichen Verhalten ausgeht (siehe nächstes Kapitel), reduziert und das Sportklettern sicherer beziehungsweise risikoärmer.

## 1.2 Methodisches Vorgehen

Bei diesem Projekt wird grundsätzlich iterativ vorgegangen. Pro Iteration wird jeweils der Prototyp erweitert beziehungsweise verbessert, um die Änderungen anschliessend testen und fortlaufend Erfahrungen sammeln zu können. Bevor allerdings mit der Entwicklung der Software begonnen wird, müssen die ersten Bildmaterialien zur Verfügung stehen. Aus diesem Grund werden zuerst die Videos und Bilder für den ersten Test gesammelt. Dieses Bildmaterial wird einerseits vom Autoren und andererseits vom Betreuer erstellt. So lässt sich die Entwicklung der ersten Softwareversion effizienter gestalten.

Als Anhaltspunkt für die Entwicklung wird die *SocialDistancingAI* verwendet (Anwar, 2020). Diese Software analysiert jedes Frame eines Videos und versucht darauf mithilfe eines Bildanalyse-Modells die Personen zu erkennen (Anwar, 2020). Somit bietet der Quellcode eine adäquate Basis für die Entwicklungsarbeiten.

## 2 Hintergrund

Beim Sportklettern kann es zu gefährlichen Situationen kommen, welche für die Kletterer nachhaltig körperliche Schädigungen zur Folge haben können. Folgende drei Faktoren spielen eine zentrale Rolle für die Sicherheit beim Klettern (Kron & Schaff, 2002, S. 73):

1. Mensch
2. Ausrüstung
3. Kletteranlage

Für die Faktoren Ausrüstung und Kletteranlage gibt es verschiedene Richtlinien und zertifizierte Standards, um Unfällen vorzubeugen (Kron & Schaff, 2002, S. 73). Aus diesem Grund lassen sich über 80% der Kletterunfälle auf menschliches Fehlverhalten zurückführen (Kron & Schaff, 2002, S. 73).

### 2.1 Gefahrensituationen

Die Fehleinschätzungen des Kletterers oder des Sichernden bilden so das grösste Sicherheitsrisiko beim Klettern (Kron & Schaff, 2002, S. 73). Nachfolgend werden häufig vorkommende Fehlverhalten genauer beschrieben.

#### Falsche Position des Sichernden

Der Sichernde ist dafür zuständig, den Fall des Kletterers auszubremsen, so dass letzterer nicht auf dem Boden aufprallt. Dabei ist die richtige Positionierung des Sicherers entscheidend. Ist er zu weit von der Kletterwand entfernt, kann er einen möglichen Fall nicht mit seinem Eigengewicht abfedern, da er horizontal zur Kletterwand gezogen wird (Österreichischer Alpenverein, 2019). Dabei verletzt sich nicht nur der Kletternde, welcher auf dem Boden aufschlägt, sondern auch der Sichernde. Befindet er sich direkt unter dem Kletterer, besteht die Gefahr einer Kollision beim Abfedern. Die Faustregel lautet: Der Sicherer sollte sich einen Meter von der Wand entfernt und einen Meter neben dem Kletterer befinden (Schweizer Alpen-Club SAC, 2020, S. 25).

## Übereinander Klettern

*Nicht übereinander Klettern* – das ist eine der ersten Regeln, welche in einem Kletterkurs vermittelt werden (Messner et al., 2015, S. 10). Trotzdem kommt es immer wieder zu Unfällen aufgrund von übereinander kletternden Personen (Schubert, 2006, S. 31). Verliert der Kletterer in einer solchen Situation den Halt, reisst er die Person unter sich mit in den Sturz. Das Problem ist, dass beim Klettern schnell vergessen wird, regelmässig weiter nach oben zu schauen als einfach nur zum nächsten Griff. So kann es schnell passieren, dass zwei Kletterer, welche zu Beginn noch nebeneinander waren, plötzlich übereinander sind. Grundsätzlich sollten die Sichernden dies vermeiden, indem sie die Kletternden aufeinander hinweisen. Wird allerdings ohne Sichernden geklettert, wie beim Paarklettern, oder der Sichernde vergisst, selbst auf andere an der Wand zu achten, sind die Kletternden auf sich allein gestellt.

## Sichernder abgelenkt

In der Unfallstatistik für Kletterhallen des Deutschen Alpenvereins wird die Unachtsamkeit des Sichernden spezifisch erwähnt (Weissmüller, 2017, S. 5). Es hat sich gezeigt, dass die Ablenkung der sichernden Person in mehreren Unfallmeldungen als Faktor zu erkennen ist (Weissmüller, 2017, S. 5). Problematisch wird es vor allem bei unangekündigten Stürzen, bei welchen der abgelenkte Sichernde keine Chance hat, den Fall abzufedern. Der Kletternde kommt somit hart auf dem Boden auf und kann sich schwer verletzen.

## Sicherungspunkt vergessen

Auf der Kletterroute sind in regelmässigen Abständen Sicherungskarabinier vorhanden (Hummel & Hellberg, 2014, S. 64). Durch diese kann der Kletterer sein Sicherungsseil ziehen, um so die Fallhöhe zu reduzieren und den freien Fall zu minimieren (Hummel & Hellberg, 2014, S. 64). Dies hilft auch der sichernden Person beim Abbremsen des Falls (Hummel & Hellberg, 2014, S. 64). Es kann vorkommen, dass der Kletterer durch seinen Fokus auf den nächsten Griff einen Sicherungspunkt übersieht und ohne dies zu bemerken, weiter klettert (Hummel & Hellberg, 2014, S. 64). Passiert dies in einer Höhe, in welcher der Sichernde nicht erkennen kann, ob das Sicherungsseil durch den kleinen Karabiner in der Wand gezogen wurde, wird es besonders gefährlich. Durch die längere Fallzeit wird eine höhere Fallgeschwindigkeit erreicht, welche zu einem härteren Aufprall an der Wand oder sogar am Boden führen kann. Zur gleichen Zeit wird es für den Sichernden in signifikanter Weise schwieriger, die benötigte Bremskraft einzuschätzen (Hummel & Hellberg, 2014, S. 64).

## 2.2 Lösungsidee

Es ist möglich, mithilfe von Handlungsempfehlungen die Sportkletterer an die bedeutsamsten Regeln zu erinnern und ihnen die Konsequenzen nochmals vor Augen zu führen. Letztendlich bleiben sie jedoch auf sich alleine gestellt und werden nicht aktiv bei der Risikominimierung von Unfällen unterstützt. Aus diesem Grund verfolgt diese Arbeit die Vision, die Sportler mithilfe einer Software aktiv zu unterstützen und sie auf mögliche Gefahrensituationen aufmerksam zu machen. Ziel ist es, herauszufinden, ob es möglich ist, durch Bildanalyse gefährliche Situationen zu identifizieren beziehungsweise zu klassifizieren (zum Beispiel, wenn der Sicherer von der Wand zu weit weg ist). Es stellt sich somit die Frage, ob durch den Einsatz digitaler Technologien das Risiko für Unfälle verringert beziehungsweise minimiert werden kann. Die Lösung besteht also aus einer Software, welche die Bilder einer Kamera in der Kletterhalle auswertet und über programmierte Regeln entscheidet, ob die aktuelle Situation vermeidbare Gefahren aufweist. Im Rahmen dieser Arbeit wird jedoch lediglich ein Prototyp der erwähnten Software erstellt. Dieser soll die Umsetzbarkeit der Lösung validieren, indem gezeigt wird, welche Informationen sich aus einer Situation an der Kletterwand entnehmen lassen.

## 2.3 Herausforderung

Aktuell gibt es noch keine Lösung auf dem Markt, welche die Kletterer aktiv bei der Unfallverhütung unterstützt (Stand Dezember 2021). Folglich ist auch nicht klar, ob es überhaupt möglich ist, spezifische Gefahrensituationen beim Klettern mithilfe einer Bildanalyse zu identifizieren. Die grundlegende Herausforderung dieser Arbeit besteht also darin, herauszufinden, ob es möglich ist, mithilfe einer Software gefährliche Situationen beim Klettern verlässlich zu identifizieren. Um die Grösse und Komplexität dieser Herausforderung besser einschätzen zu können, wird ein Prototyp erstellt und anschliessend getestet.

## 2.4 Bildanalyse

Die Bildanalyse mithilfe von Software ist Methodik, die in der Industrie genutzt wird (Hussin et al., 2012, S. 340). Ein Beispiel dafür ist die Anwendung in der Automobilindustrie (Khanna, 2020). Für die Vision eines autonomen Autos spielt die automatische Bildanalyse in Echtzeit eine zentrale Rolle (Khanna, 2020). Die Software im Auto muss dazu im Stande sein, die Objekte auf der Strasse zu erkennen und auszuwerten, um Kollisionen mit anderen Fahrzeugen zu vermeiden (Khanna, 2020). So entstand die Idee, die Identifikation gefährlicher Situationen in der Kletterhalle durch eine automatisierte Bildanalyse umzusetzen. Dabei ist zu beachten, dass es vier verschiedene Arten der Bildanalyse gibt (Hoeser & Kuenzer, 2020, S. 8):

1. Bilderkennung: die Erkennung des gesamten Bildes mit einer Vorhersage dessen, was dieses Bild zeigt
2. Bildsegmentierung: einzelne Segmente in einem Bild erkennen, zum Beispiel: asphaltierte Flächen von Wiesenflächen unterscheiden
3. Objekt-Identifikation: Erkennen von einzelnen Objekten im Bild mit Vorhersage in Bezug darauf, welche Objekte das Bild beinhaltet
4. Instanz-Segmentierung: Diese kann als Erweiterung der Objekt-Identifikation angesehen werden. Es geht darum, die Grenzen des Objektes genau zu erkennen. So werden auch nah beieinander liegende Objekte einzeln erkannt und klassifiziert.

Die Modelle, mit welchen die Bildanalyse durchgeführt wird, müssen zuerst für ihren spezifischen Anwendungszweck trainiert werden (Hoeser & Kuenzer, 2020, S. 3). Dafür werden Bilder, welche die zu erkennenden Objekten beinhalten gesammelt und manuell die Koordinaten der Objekten eruiert (Hoeser & Kuenzer, 2020, S. 3). Die gesammelten Bilder mit den Koordinaten der Objekte werden dann dem Bildanalyse-Modell übergeben (Hoeser & Kuenzer, 2020, S. 8). So lernt das Modell die Objekte zu erkennen und zu klassifizieren (Hoeser & Kuenzer, 2020, S. 8). Für die Lösungsidee dieser Arbeit ist die Objekt-Identifikation der Personen im Bild von zentraler Bedeutung. Da die Personenerkennung ein weitverbreiteter Anwendungszweck ist, finden sich bereits trainierte Open-Source Modelle im Internet, welche für nicht kommerzielle Zwecke frei benutzt werden dürfen (TensorFlow, 2021). Das Resultat einer Objekt-Identifikation besteht aus vier Teilen (TensorFlow, 2021; Subramanyam, 2021):

1. Die Position des erkannten Objektes:  
Die Position des Objektes wird mit den Koordinaten eines Begrenzungsrahmens, auch Bounding-Box genannt, ausgedrückt. Dieser Rahmen umgrenzt das erkannte Objekt so eng wie möglich.
2. Klasse des Objektes:  
Das erkannte Objekt wird jeweils klassifiziert damit eine Aussage über die Art des Objektes gemacht werden kann. Für diese Arbeit ist die Klasse *Person* besonders relevant.
3. Konfidenzintervall:  
Die Bildanalyse gibt bei jedem erkannten Objekt an, mit welcher Konfidenz sie dieses Objekt erkannt hat. Dieser Wert wird in Prozent angegeben.
4. Anzahl erkannte Objekte:  
Zusätzlich wird die Gesamtzahl der erkannten Objekte im Bild zurückgegeben.

Durch das Erkennen von Personen im Bild ist es möglich, ihre Position zu bestimmen und Letztere für die Risikoeinschätzung zu verwenden. Es ist zwar erwiesen, dass die Personenerkennung auf offener Strasse zuverlässig funktioniert, jedoch gilt dies nicht für Personen an einer Kletterwand (Anwar, 2020). Es ist möglich, dass der Kontrast zwischen der Wand und dem Kletterer für eine automatisierte Personenerkennung nicht ausreicht. Tritt dieser Fall ein, so könnte mittels spezieller Kleidung der Kontrast zur Wand erhöht werden.

An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass nicht alle relevanten Objekte identifiziert werden können:

- Sicherungspunkte: Diese sind zu klein und weisen eine zu hohe Ähnlichkeit zu den Klettergriffen auf.
- Sicherungsseil: Ein solches ist zu dünn und damit ebenfalls zu klein, um identifiziert zu werden.

#### 2.4.1 Erkennung Gefahrensituation

Es stellt sich die Frage, welche der zuvor beschriebenen Risiken sich mittels einer Bildanalyse effektiv identifizieren lassen. In diesem Kapitel wird für jede Gefahrensituation beschrieben, ob und wie sie mithilfe der Objekt-Identifikation erkannt werden kann.

##### Falsche Position des Sichernden

Wie bereits beschrieben sollte, die Personenerkennung kein Problem darstellen und darum ist es auch möglich, die Positionen dieser Personen zu ermitteln. Es wird möglich sein, die Positionen des Sichernden und diejenige des Kletternden miteinander zu vergleichen, um eine Einschätzung über dieses Risiko zu treffen. Ebenfalls ist es möglich, die Grösse einer Person zu messen. Dies geschieht vom oberen bis zum unteren Rand des identifizierten Objektes (Person). Mit dieser Information kann die Distanz des Sichernden zur Wand berechnet und somit eine weitere Gefahrensituation untersucht werden. Damit die berechnete Distanz in eine nachvollziehbare Metrik gebracht werden kann, muss eine Referenzgrösse verwendet werden. Dies könnte zum Beispiel die physische Grösse einer erkannten Person sein.

##### Übereinander Klettern

Ähnlich wie bei der Situation einer falschen Position des Sichernden, lässt sich dieses Risiko ebenfalls untersuchen. Dafür werden die Positionen der beiden Kletterer miteinander verglichen. Sollten sie sich genau übereinander befinden, würde die Situation als gefährlich eingestuft.

### Sichernder abgelenkt

Dieses Risiko lässt sich nicht mithilfe der Bildanalyse identifizieren. Es wäre möglich, die Kopf-Position und Blickrichtung der Person zu erkennen, um eine mögliche Ablenkung festzustellen. Doch eine diesbezügliche Aussage wäre vage und nicht verwertbar, da der Sichernde auch in solchen Momenten aufmerksam sein kann. Zusätzlich kann es sein, dass der Kopf auf die Wand sowie den Kletternden gerichtet ist und der Sichernde trotzdem unachtsam ist. Es lässt sich also nicht von aussen erkennen, ob eine Person konzentriert ist oder nicht und somit bleibt dieses Risiko in der Verantwortung der Sportler.

### Sicherungspunkt vergessen

Wie zu Beginn dieses Kapitels erwähnt, ist es nicht möglich das Sicherungsseil oder die Sicherungspunkte zu erkennen. Aus diesem Grund wird es auch nicht möglich sein, diese Gefahrensituation zu untersuchen, denn die entsprechenden Daten fehlen. Eine Möglichkeit besteht darin, dass die Sicherungspunkte manuell vom Benutzer markiert werden und so die Distanz zum letzten passierten Sicherungskarabinier berechnet werden kann. Damit ist es allerdings immer noch nicht möglich, nur mithilfe einer Bildanalyse zu erkennen, ob der Kletternde das Sicherungsseil auch eingehakt hat.

#### 2.4.2 Insuffizienz

Es zeigt sich, dass die Risikoeinschätzung einer Situation an der Kletterwand nicht vollumfänglich mittels einer Bildanalyse durchgeführt werden kann. Klar ist, dass die Konzentration des Sichernden auch mit anderen Technologien schwer zu erfassen, doch gerade der grosse Risikofaktor mit den Sicherungspunkten würde sich mithilfe anderer Methoden einschätzen lassen. Es wäre zum Beispiel möglich, durch einen Sensor am Sicherungshaken zu erkennen, ob ein Sicherungsseil durchgezogen wurde oder nicht (Bernal et al., 2017, S. 167). Mit dieser Information, in Kombination mit den Positionen des Kletterers und des Sicherungspunktes, könnte die Distanz zum zuletzt benutzen Sicherungskarabinier berechnet werden. Ist diese Distanz ungleich der Distanz zum letzten passierten Sicherungspunkt, hat der Kletterer einen Sicherungshaken ausgelassen.

Dazu kommt, dass es mit der automatischen Bildanalyse aus einer Kameraperspektive nicht möglich ist, die Tiefe des Raums zu erfassen (Phan et al., 2011, S. 865). Es kann also für die Risikoeinschätzung nicht berücksichtigt werden, ob sich der Kletterer gerade auf einem Vorbau befindet oder nicht. Dies würde sich nur durch die Verwendung eines dreidimensionalen Modells der Kletterwand umsetzen lassen. Ein solches müsste entweder manuell oder mithilfe eines Lasers erstellt werden.

# 3 Lösung

In diesem Kapitel wird der entwickelte Prototyp vorgestellt. Zuerst wird erklärt, wie dieser gestartet beziehungsweise über Start-Argumente konfiguriert werden kann. Danach wird beschrieben, wie sich der Programmablauf für den Benutzer gestaltet und wie die Resultate aussehen. Der Quellcode des Prototypen kann über folgenden Link heruntergeladen werden: <https://github.com/MRyves/bsc-climbing-analysis/tree/release-latest>

## 3.1 Annahme

Wie in Kapitel 2 erwähnt wurde, reicht die Bildanalyse nicht aus, um die Gefahr des vergessenen Sicherungspunktes zu untersuchen. Aus diesem Grund wird folgende Annahme getroffen:

Die Sicherungskarabinier an der Kletterwand wurden mit einem Sensor versehen, welcher erkennen kann, ob ein Sicherungsseil durchgezogen worden ist. Diese Information wird über eine Web-Schnittstelle zur Verfügung gestellt und kann von authentisierten Clients abgerufen werden.

Mit dieser Annahme stellt die Messung der Distanz zum zuletzt passierten Sicherungspunkt einen signifikanten Mehrwert für die Risikoeinschätzung dar.

## 3.2 Prototyp

Der Prototyp wird über die Kommandozeile gestartet.

```
python main.py [argumente]
```

Dieses Start-Skript nimmt Argumente entgegen, welche in folgender Tabelle genauer beschrieben werden:

Argument	Erforderlich	Beschreibung
Input video	Ja	Dies ist der Pfad zum Video, welches analysiert werden soll. Dieser Dokumentenpfad kann entweder absolut oder relativ zum <i>main.py</i> -Skript sein. Es handelt sich dabei um ein positionales Argument.

-h, --help	Nein	Dieses Argument zeigt eine Hilfemeldung in der Konsole. Die Analyse wird nicht gestartet, wenn es mitgegeben wird.
-o, --outputFolder	Nein	Dies gibt den Pfad zum Speicherort des Analyseresultat-Videos mit. Standardwert: ./output
-n, --outputVideoName	Nein	Der Name des Output-Videos. Standardwert: „analysis-output“
--fps	Nein	Dieses Element steuert, wie viele Frames pro Sekunde vom Input-Video analysiert werden sollen. Standardwert: 1
--model	Nein	Dieses Argument konfiguriert das Modell zur Objekt-Identifikation. Eine Liste mit allen möglichen Werten kann im Quellcode gefunden werden. Standardwert: <i>Faster R-CNN ResNet152 V1 1024x1024</i>
-s, --securerHeight	Nein	Dies legt die physische Grösse der sichernden Person in Zentimeter fest. Standardwert: 170
-w, --distanceWall	Nein	Dieses Argument legt die initiale Distanz zwischen Sicherer und Kletterwand in Zentimeter fest. Standardwert: 50
-c, --distanceCamera	Nein	Dieses Element legt die Distanz zwischen Kamera und Wand fest. Standardwert: 500

TABELLE 3.1: Konfigurationsparameter

Das Starten des Prototyps könnte zum Beispiel folgendermassen durchgeführt werden:

```
python main.py './resources/videos/second_batch/VID_20220309_212145.mp4' \
-o './results/videos/second_batch' -n 'afternoon-session'
```

### 3.2.1 Ablauf

Sobald der Prototyp gestartet wurde, wird eine Meldung auf der Konsole ausgegeben, welche beschreibt, wie das Input-Video gelesen wird:

```
Initialized video capturer for video
"./resources/videos/second_batch/VID_20220309_212145.mp4"
with fps: 29
capturer will increment frame by: 29
```

Die Aussage in diesem Beispiel ist, dass das Input-Video eigentlich 29 Frames pro Sekunde hätte, jedoch nur jedes 29. Frame untersucht wird.

### Modell initialisieren

Wird das konfigurierte Modell zum ersten Mal auf einem Computer benutzt, muss es zuerst heruntergeladen werden. Dies geschieht gänzlich automatisch. Sobald das Modell heruntergeladen wurde, wird es zwischengespeichert, wodurch sich die Laufzeit bei wiederholter Ausführung verringert.

### Fixpunkte markieren

Da die Fixierpunkte nicht erkannt werden können, müssen sie manuell vom Benutzer markiert werden. Aus diesem Grund wird dem Benutzer das erste zu analysierende Frame angezeigt. Er kann dann durch Betätigen der rechten Maustaste die Fixierpunkte markieren. Sobald alle Punkte gesetzt wurden, kann durch Klicken auf die rechte Maustaste die Analyse fortgesetzt werden. Das Programm merkt sich die Koordinaten dieser Markierungen und benutzt sie, um die vertikale Distanz zwischen dem Kletterer und dem nächst unteren Fixierpunkt zu messen.

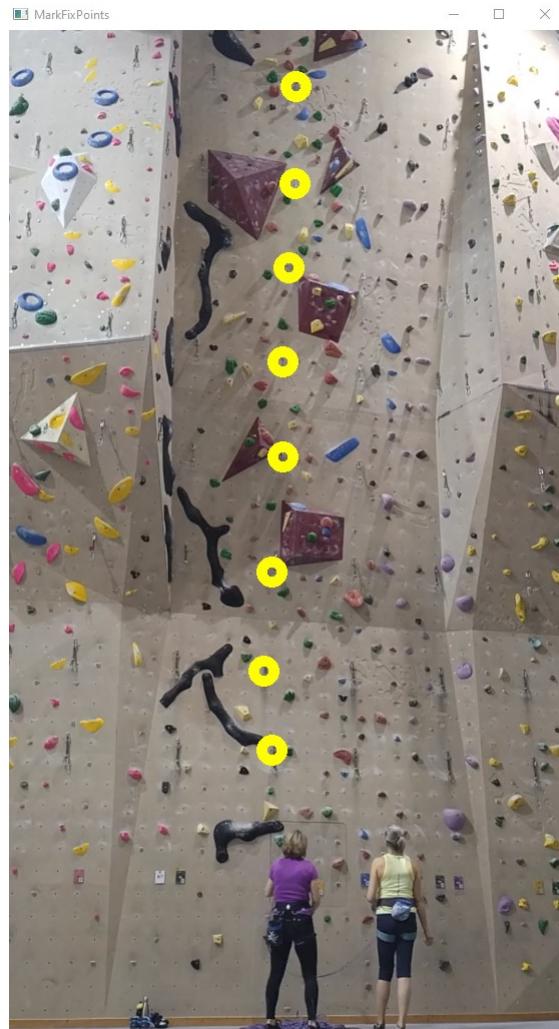


ABBILDUNG 3.1: Fixierpunkte markieren (eigene Darstellung)

Sobald die Fixierpunkte bestätigt wurden, erscheint folgende Meldung in der Konsole:

```
Successfully marked 8 fix points
```

Nun beginnt das Programm, die konfigurierten Frames des Videos zu analysieren.

### Frame Analyse

Für jedes Frame, welches analysiert wurde, erscheint eine Meldung in der Konsole:

```
Starting analysis of frame 1770
Risk analyzing a total of 2 detection boxes...
Calculated distance to latest fix point: 34.7703357117033 cm
Calculated horizontal distance: 98.45167092539404 cm
Estimated distance to wall: 51.534 cm
Analyzed frame number: 1770 in 24.0
```

Es werden also nicht nur die jeweiligen Berechnungsresultate ausgegeben, sondern auch die Zeitdauer (in Sekunden), welche die Analyse in Anspruch genommen hat, wird dargestellt. So erhält der Benutzer einen Überblick darüber, wie weit die Analyse fortgeschritten ist und wie lange es noch dauert, bis die Resultate zur Verfügung stehen.

### 3.2.2 Analyseresultat

Das Gesamtergebnis besteht aus zwei Videos:

1. Bei dem ersten handelt es sich um ein zusammengeschnittenes Video aus den einzelnen Frames, welche analysiert wurden. Bei den Frames wurden jeweils die vom Modell erkannten Personen mit einer grünen Box umrahmt. Ebenfalls wird in Prozent angegeben, mit welcher Sicherheit das Modell eine Person erkannt hat. Dieses Resultat gibt Auskunft über die Performance des Modells. Das erstellte Video wird im konfigurierten Output-Verzeichnis abgespeichert.
2. Beim zweiten handelt es sich um ein Video, welches die schematische Darstellung der Berechnungen zeigt. Die erkannten Personen werden als blaue Punkte angezeigt und die Fixierpunkte als rote Punkte. Die Berechnungsresultate werden unten im Video angezeigt.

Folgender Screenshot zeigt das gleiche Frame in beiden Videos:

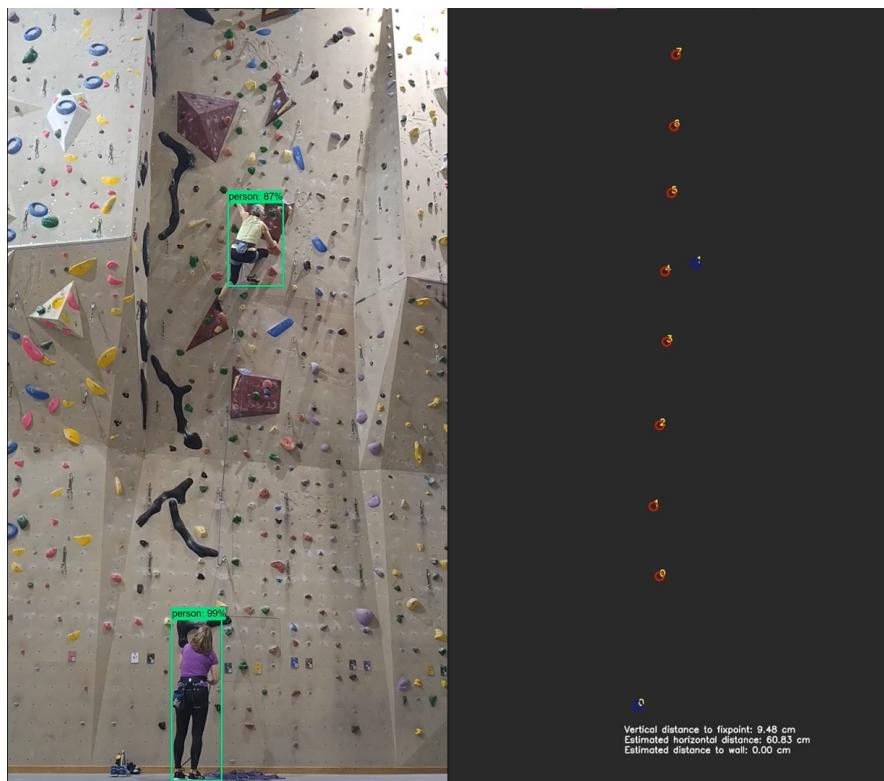


ABBILDUNG 3.2: Personenerkennung und Analyseschema (eigene Darstellung)

Es kann vorkommen, dass die Personen in einzelnen Frames nicht richtig erkannt wurden oder sich mehr als zwei Personen im Bild befinden. Ist dies der Fall, kann keine Risikoanalyse durchgeführt werden. Darum werden auch keine Berechnungen durchgeführt. In der schematischen Darstellung wird dies folgendermassen angezeigt:

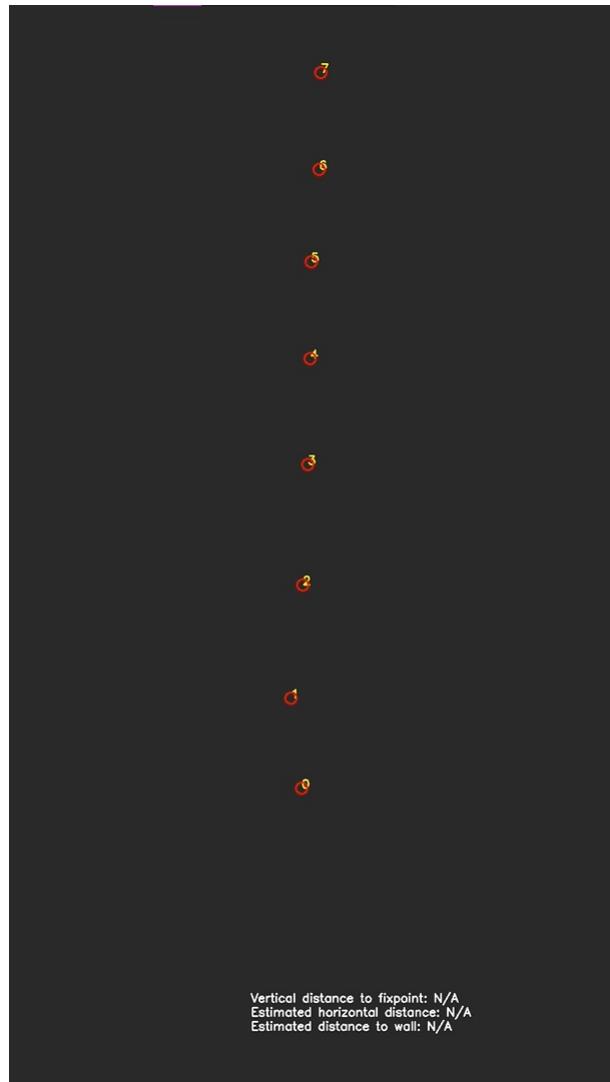


ABBILDUNG 3.3: Personenerkennung fehlgeschlagen (eigene Darstellung)

# 4 Aufbau

In diesem Kapitel wird detailliert beschrieben, wie die einzelnen Komponenten des Prototyps umgesetzt wurden. Die Reihenfolge der Komponenten-Dokumentation orientiert sich dabei am Programmfluss. Zuerst werden die verwendeten Technologien vorgestellt und es wird die Architektur des Programms beschrieben. Dies soll einen Überblick ermöglichen, um die einzelnen Komponenten besser verstehen und einordnen zu können.

## 4.1 Technologien

Der Prototyp wurde in der Programmiersprache Python in der Version 3.9.7 geschrieben. Nachfolgend werden die benutzten Programmbibliotheken vorgestellt und es wird ihr Anwendungszweck beschrieben:

Bibliothek	Version	Anwendung
Numpy	1.22.2	Komplexe Berechnungen und Indexierung von mehrdimensionalen Vektoren
TensorFlow	2.8.0	Objekt-Erkennung in Bildern. In diesem Fall, die Personen-Erkennung im Video
OpenCV-Python	4.5.5.62	Lesen und Erstellen von Bildern und Videos

TABELLE 4.1: Verwendete Programmbibliotheken

## 4.2 Domänen-Modell

Das Domänen-Modell des Prototyps wird mithilfe von zwei Klassendiagrammen aufgezeigt. Das erste zeigt die Klassen, welche direkt vom Start-Skript verwendet werden. Das zweite Diagramm zeigt die Klassen, welche für die Risikoanalyse relevant sind. Da die Parameterliste einzelner Methoden umfangreich ist und dies zu Schwierigkeiten in der Darstellung führen würde, wurden sie mit einem Stern (\*) ersetzt. Für die genaue Methoden-Deklaration wird auf den Quellcode verwiesen.

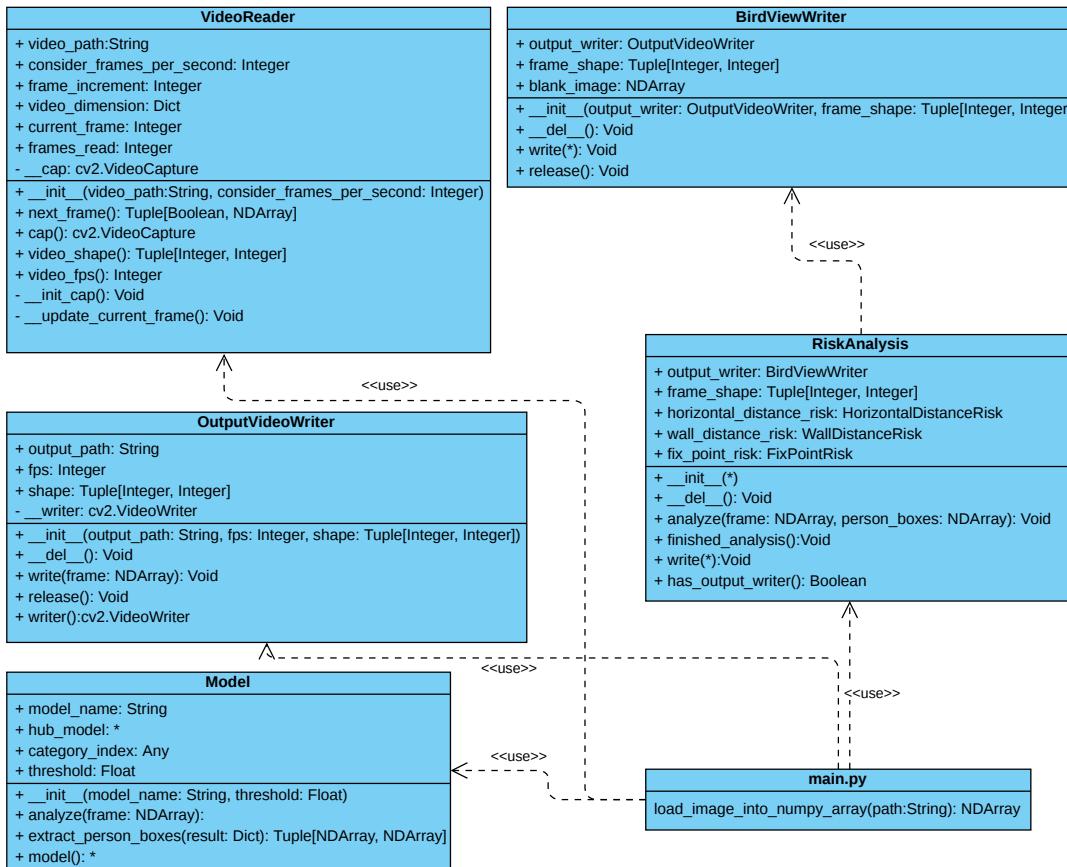


ABBILDUNG 4.1: Klassendiagramm – Start-Skript (eigene Darstellung)

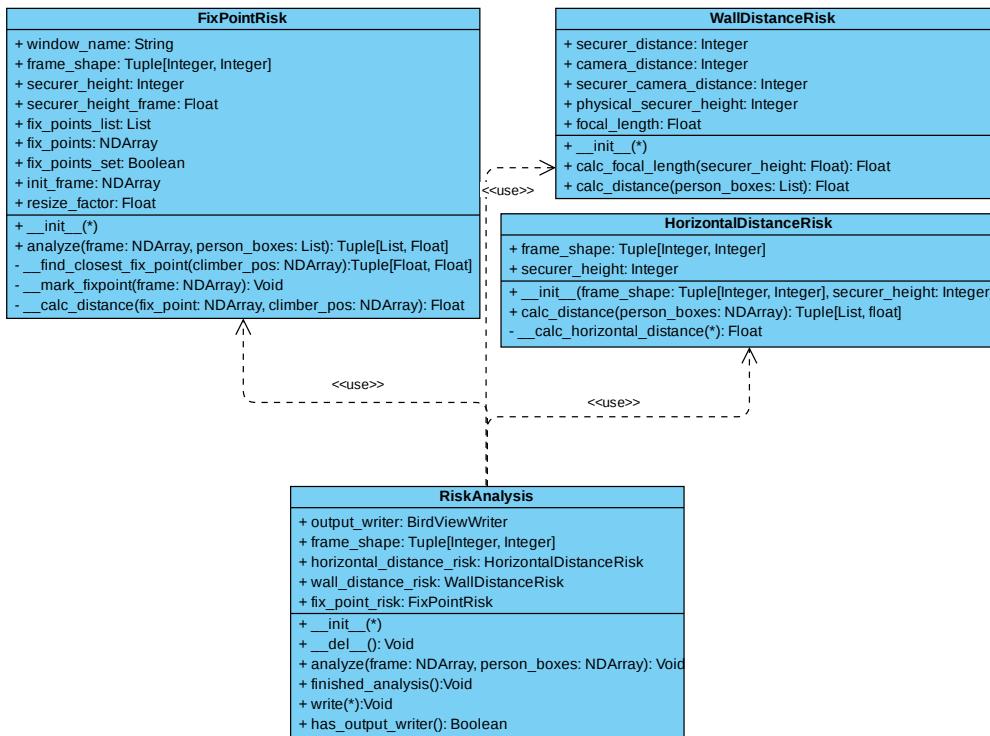


ABBILDUNG 4.2: Klassendiagramm – Risikoanalyse (eigene Darstellung)

### 4.3 Bildmaterial einlesen

Das zu analysierende Video wird mithilfe der OpenCV-Python Programmbibliothek in einen dreidimensionalen Vektor eingelesen. Die drei Dimensionen bilden folgendes ab:

1. Anzahl der Pixel des Bildes in der Höhe
2. Anzahl der Pixel des Bildes in der Breite
3. Farbmischung des Pixels im RGB-Format

Der Vektor eines Bildes hat somit die Form:  $bild_{höhe} * bild_{breite} * 3$ . In den ersten Testläufen wurde deutlich, dass nicht jedes einzelne Frame des Videos analysiert werden muss. Grund dafür ist, dass der Kletterer sich nicht so schnell fortbewegt und die Unterschiede zwischen den einzelnen Frames zu gering sind, um diese noch einmal zu analysieren. Darum wird, falls nicht anders konfiguriert, jeweils nur ein Frame pro Sekunde eingelesen und analysiert.

### 4.4 Bildanalyse-Modell initialisieren

Das Modell zur Objekterkennung wird mithilfe der TensorFlow-Programmbibliothek initialisiert. Dafür wird standardmäßig ein bereits trainiertes, Open-Source Modell mit dem Namen *Faster R-CNN ResNet152 V1 1024x1024* verwendet. Tabelle 3.1 zeigt, wie dieses Modell konfiguriert werden kann. Dem Modell werden die extrahierten Frames zur Personenerkennung übergeben. Das Resultat dieser Voranalyse besteht aus zwei Teilen:

1. Der erste Teil ist eine Kopie des analysierten Frames, angereichert mit gezeichneten Begrenzungsrahmen um die erkannten Objekte. Dieses Resultat zeigt also welche Personen im Bild erkannt wurden.
2. Der zweite Teil ist ein zweidimensionaler Vektor der Koordinaten der erkannten Personen im Bild. Dieses Resultat wird in den nachfolgenden Komponenten verwendet, um die Risiken der Situation im Bild zu analysieren.

Zusätzlich wurde ein Schwellenwert für das Konfidenzintervall der erkannten Objekte implementiert. Dieser wurde auf 50% festgelegt. Für die weitere Analyse werden also nur die Objekte verwendet, welche mit einer 50%igen Sicherheit klassifiziert wurden.

### 4.5 Risikoanalyse

Diese Komponente implementiert die eigentliche Risikoanalyse der Situation an der Kletterwand. Sie besteht aus mehreren Sub-Komponenten, welche jeweils ein dediziertes Risiko untersuchen.

### Risiko: Horizontaler Abstand

Wie bereits im Kapitel *Hintergrund* erwähnt, ist es nicht möglich die Distanz zwischen zwei Objekten im Bild ohne eine Referenzgröße zu berechnen. Aus diesem Grund wird für die Berechnung des horizontalen Abstands der beiden Sporttreibenden die Größe des Sichernden als Referenz verwendet. Diese Größe kann über die Start-Parameter festgelegt werden, standardmäßig ist sie auf 170cm eingestellt. Nachfolgend werden die Schritte aufgezählt, welche im Prototypen implementiert wurden, um diese Distanz zu berechnen:

1. Schritt:

Zuerst wird der Mittelpunkt der Bounding-Boxen der erkannten Personenobjekte ermittelt.

2. Schritt:

Anschliessend wird die Größe der sichernden Person im Frame berechnet. Dafür wird die Höhe der Bounding-Box des Sicherers in Pixeln verwendet.

3. Schritt:

Der absolute Wert der Differenz zwischen den x-Koordinaten der Mittelpunkte ergibt die Distanz zwischen den beiden Personen in Pixeln.

4. Schritt:

Diese Differenz wird zuletzt durch die Größe des Sicherers im Frame geteilt und mit der physischen Größe der sichernden Person multipliziert.

Aus diesen Schritten resultiert die horizontale Distanz zwischen den Personen in Zentimetern.

### Risiko: Abstand von Sicherer zur Wand

Um den Abstand des Sichernden zur Kletterwand zu berechnen, werden folgende Größen verwendet:

- Abstand Kamera zur Wand, Standardwert: 500 cm
- Abstand Sichernden zur Wand, Standardwert: 50 cm
- Größe des Sichernden, Standardwert: 170 cm

Es wird jeweils die Distanz zwischen der sichernden Person und der Kamera berechnet, um im Weiteren den Abstand des Sichernden zur Wand ermitteln zu können. Die Entfernung ( $p$ ) des Objektes, in diesem Fall der sichernden Person ( $P$ ), lässt sich mittels Strahlensatz und Brennweite ( $b$ ) der Kameralinse ( $L$ ) berechnen. Folgendes Schema dient der Erklärung:

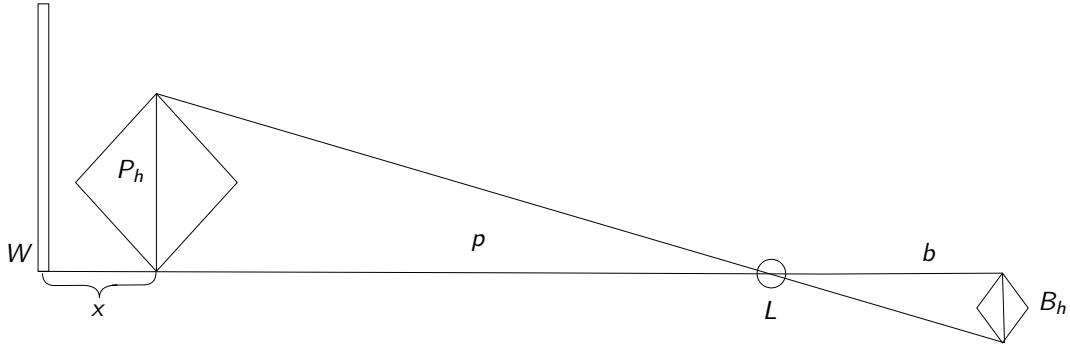


ABBILDUNG 4.3: Berechnungsschema: Abstand Sicherer zur Wand  
(eigene Darstellung)

Da der Abstand zur Kamera ( $p$ ) im ersten Frame bekannt ist, lässt sich die Brennweite der Linse mit folgender Formel berechnen:

$$b = \frac{B_h * p}{P_h} \quad (4.1)$$

Hierbei gilt:  $B_h$  = Grösse des Objektes in Pixel.

Bewegt sich die Person nun näher an die Kamera heran, so erscheint sie grösser im Bild, die Brennweite bleibt jedoch konstant. Darum kann die neue Distanz  $p'$  berechnet werden und schlussendlich der Abstand zwischen Person und Wand:

$$p' = \frac{P_h * b}{B'_h} \quad (4.2)$$

$$x = \overline{WL} - p' \quad (4.3)$$

### Risiko: Distanz zum letzten Fixierpunkt

Die vom Benutzer markierten Fixierungspunkte werden verwendet, um die vertikale Distanz zwischen dem Kletterer und dem zuletzt passierten Sicherungspunkt zu berechnen. Um diese Distanz in einer normalen Metrik angeben zu können, wird wieder die physische Grösse des Sichernden verwendet. Nachfolgend werden die Schritte beschrieben, welche für diese Berechnung durchgeführt werden:

#### 1. Schritt:

Der erste Schritt beinhaltet das Anzeigen des ersten Frames, damit der Benutzer die Sicherungspunkte markieren kann. Dieser Ablauf wurde im Kapitel *Lösung* beschrieben und dieser Schritt wird nur einmal, bei der Analyse des ersten Frames, durchgeführt. Danach wird er ausgelassen, da die Koordinaten der Fixierungspunkte gespeichert werden.

## 2. Schritt:

Der zweite Schritt ist die Messung der Grösse der sichernden Person im Bild ( $B_h$ ). Wie der erste Schritt wird der zweite nur einmal ausgeführt und das Resultat für die weiteren Schritte wird zwischengespeichert.

## 3. Schritt:

Beim dritten Schritt handelt es sich um die Eruierung des Mittelpunktes der kletternden Person. Diese Koordinaten werden für die Distanzmessung zum zuletzt passierten Fixierungspunkt verwendet.

## 4. Schritt:

Der vierte Schritt besteht aus dem Finden des zuletzt passierten Sicherungspunktes ( $F$ ). Dafür werden jeweils nur die y Koordinatenwerte der Fixierungspunkte und des Kletterers ( $K$ ) verwendet.

## 5. Schritt:

Der fünfte Schritt ist die Berechnung der Distanz mit der Formel:

$$d = \frac{|F_y - K_y|}{B_h} * P_h \quad (4.4)$$

# 5 Validierung

In diesem Kapitel wird die erarbeitete Lösung validiert. Im ersten Teil wird eine Kletterexpertin über ihre Meinung zum Resultat befragt. Im zweiten Teil soll aufgezeigt werden, wie gut die Datenerfassung funktioniert und ob diese wahrheitsgetreue Aussagen trifft. Für diese technische Validation werden die Berechnungsresultate genauer untersucht und mit der Realität verglichen.

## 5.1 Experten

Als Expertin wurde Frau Anna Hergenröder um ihre Meinung zum Prototypen befragt. Sie ist eine diplomierte Kletterlehrerin und -instruktorin, sowie eine J&S Kursleiterin und Routenbauerin (Arena+, o.D). Zuerst wurden ihr die Berechnungsresultate erklärt, um deren Relevanz und Häufigkeit zu eruieren. Danach wurde Frau Hergenröder gefragt, was weitere relevante Ereignisse wären, welche vom Prototypen noch nicht analysiert werden.

### Validierung der Berechnungsergebnisse

Ansichten der Expertin zu den drei Berechnungsresultaten:

- Distanz des Sichernden zur Kletterwand:  
Da es sich dabei um ein häufig vorkommendes Fehlverhalten handelt, wird diese Berechnung als sehr relevant eingeschätzt.
- Horizontale Distanz der Personen:  
Dieses Resultat wird in ausgeprägter Weise von der gewählten Route der Sporttreibenden beeinflusst. Es kann vorkommen, dass bewusst eine Kletterroute mit schrägem Verlauf gewählt wird. In diesem Fall wäre diese Berechnung nicht relevant für eine Risikoeinschätzung. In Kletterhallen verlaufen die Routen allerdings meist gerade und darum könnte diese Berechnung einen Hinweis darauf geben, dass der Kletterer von der gewählten Route abgekommen ist. Dies wird als unvorhergesehenes Verhalten angesehen und kommt daher selten vor.

- Distanz zum letzten Sicherungspunkt:

Das Vergessen eines Sicherungskarabiniers kommt häufig vor und darum ist diese Berechnung besonders relevant für die Risikoeinschätzung. Oft passiert dies auch in einer Höhe, in welcher die sichernde Person nicht erkennen kann, ob der Kletterer den Sicherungspunkt benutzt hat.

## Weitere Ereignisse

Nachfolgend werden weitere Fehlverhalten aufgelistet, welche nicht vom Prototypen analysiert werden und trotzdem relevant für eine Risikoabwägung wären:

- Sicherungsfehler:

Die verschiedenen Sicherungsgeräte müssen jeweils spezifisch verwendet werden. Aus diesem Grund kommen Fehler in der Handhabung der Sicherungsgeräte oft vor und stellen eine weitere Gefahr dar.

- Falsche Position des Sicherungsseils:

Es kann vorkommen, dass sich das Sicherungsseil hinter die Beine des Kletternden bewegt. Die Beine befinden sich dann zwischen Kletterwand und Sicherungsseil. Dies kommt zwar selten vor, doch besteht auch in diesem Fall eine erhöhte Verletzungsgefahr für den Kletternden.

- Verwendung der Sicherungspunkte als Klettergriff:

Insbesondere bei Kindern kommt es häufig vor, dass sie die Schlingen der Sicherungshaken als Klettergriff verwenden. Dies stellt eine geringe Unfallgefahr dar und ist bei Erwachsenen nicht oft zu erwarten.

- Schlappseil:

Es kommt häufig vor, dass die sichernde Person das Sicherungsseil zu weit ausfährt. Hängt das Seil durch und berührt vielleicht sogar den Boden, wird von einem Schlappseil gesprochen. Dies stellt eine signifikante Unfallgefahr dar, da die Fallhöhe beträchtlich vergrößert wird.

### Risikomatrix

Die zuvor beschriebenen Ereignisse wurden in einer Matrix eingeordnet. Diese veranschaulicht die zu erwartende Häufigkeit und die Gefahr der einzelnen Fehlverhalten.

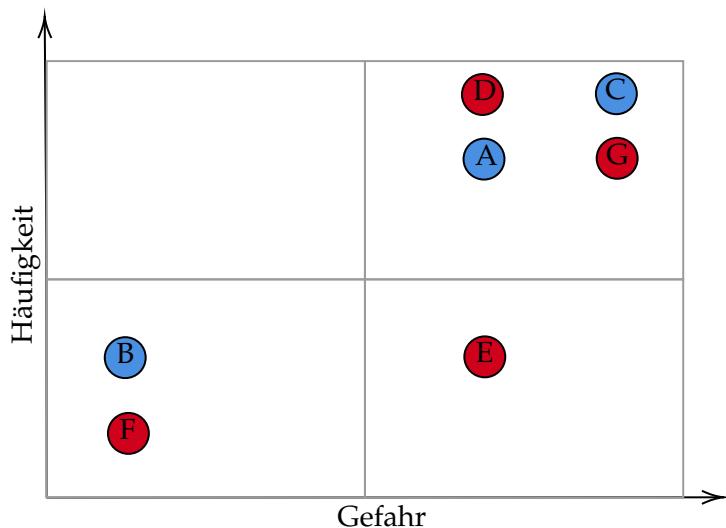


ABBILDUNG 5.1: Risikomatrix (eigene Darstellung)

Die Farbe der Punkte zeigt, ob dieses Ereignis vom Prototypen analysiert wird (Blau = Ja / Rot = Nein).

#### Legende:

- A: Distanz des Sichernden zur Wand
- B: Horizontale Distanz der Personen
- C: Distanz zum letzten Sicherungspunkt
- D: Sicherungsfehler
- E: Falsche Position des Sicherungsseils
- F: Verwendung der Sicherungspunkte als Klettergriff
- G: Schlappseil

## 5.2 Technisch

Für die technische Validierung werden die Berechnungsresultate der Analyse im Detail untersucht und mit der Realität verglichen. Das bedeutet, der Prototyp wird mit zu diesem Zweck speziell erstellten Videos getestet. Jedes Video widmet sich einer spezifischen Distanzmessung und wird so gestaltet, dass die effektive Distanz im Video ersichtlich ist. So kann die effektive Distanz mit der berechneten verglichen und eine Aussage über die Genauigkeit der Datenerfassung getroffen werden. Da sich die Distanzmessung zum letzten passierten Fixierpunkt aufwendig gestaltet, wurde entschieden, im Rahmen dieser Arbeit darauf zu verzichten. Die Vorgehensweise wäre allerdings ähnlich wie bei der Validierung der Distanz des Sicherers zur Wand und bei derjenigen des horizontale Abstands der beiden Sporttreibenden. Die Fehlerrate wird mit folgender Formel berechnet:

$$\delta = \left| \frac{\nu_A - \nu_E}{\nu_E} \right| * 100\% \quad (5.1)$$

### Distanz zur Wand

Für die Validation der Distanzberechnung zur Wand wurde ein Video erstellt, in welchem eine Testperson sich in verschiedenen Distanzen zu einer Wand befindet. Bei jedem Messpunkt hält die Person einen Hinweis zur effektiven Distanz in die Kamera. So können die berechnete und die bffektive Distanz verglichen werden. Die Testperson ist 185 cm gross und im ersten Frame befindet sie sich 20 cm von der Wand entfernt. Diese Informationen werden dem Prototypen als Start-Parameter übermittelt. Abbildung 5.2 zeigt ein Frame dieses Validations-Videos:



ABBILDUNG 5.2: Video: Distanz zur Wand – Validation (eigene Darstellung)

## Resultate

Distanz	Resultat	Fehlerrate
20 cm	20 cm	0%
50 cm	53.36 cm	6.72%
100 cm	112.87 cm	12.87%
150 cm	162.43 cm	8.29%
200 cm	213.22 cm	6.61%
250 cm	265.62 cm	6.25%
<b>Durchschnitt:</b>		6.79%

TABELLE 5.1: Validierungsergebnisse: Distanz zur Wand

Die Zahlen wurden jeweils auf zwei Stellen nach dem Komma gerundet.

## Horizontaler Abstand

Ähnlich wie bei der Validierung der Distanz zur Wand wurde ein Testvideo erstellt. Das Video zeigt zwei Personen, von welchen eine auf einer Leiter steht und sich somit etwas höher befindet als die erste Person. Zusätzlich bewegt sich die zweite Person in vordefinierten Abständen von der ersten Person weg. So können der effektive Abstand und das Berechnungsresultat verglichen werden. Folgendes Bild zeigt ein Frame des Testvideos:



ABBILDUNG 5.3: Video: Horizontaler Abstand – Validation (eigene Darstellung)

## Resultate

Distanz	Resultat	Fehlerrate
100 cm	99.31 cm	0.69%
150 cm	149.53 cm	0.31%
200 cm	198.35 cm	0.83%
250 cm	246.27 cm	1.51%
300 cm	290.59 cm	3.24%
<b>Durchschnitt</b>		1.32%

TABELLE 5.2: Validierungsergebnisse: Horizontaler Abstand

## Modell Evaluierung

Der Prototyp verfügt über 39 Modelle zur Objekterkennung, welche sich für die Analyse unterschiedlich gut eignen. Aus diesem Grund ist es von zentraler Bedeutung, dass die Leistungsfähigkeit der Modelle verglichen wird. Dafür werden allerdings nur einige der 39 Modelle getestet, da manche auf der gleichen Technologie basieren und somit ähnliche Resultate erzeugen. Zum einen sollte das Modell die Personen im Bild möglichst zuverlässig erkennen. Zum anderen darf das Modell für diese Objekterkennung nicht zu viel Zeit benötigen, da sonst die Risikoanalyse nicht zeitnah durchgeführt werden kann. Darum wird für diese Validation nicht nur überprüft, ob die Personen im Bild erkannt wurden, sondern auch, wie lange die Analyse pro Frame im Durchschnitt gedauert hat. Für die Testläufe wird jeweils das gleiche Video verwendet, welches zwei Personen an der Kletterwand zeigt. In jedem Frame dieses Videos sind immer nur zwei Personen zu sehen. So lässt sich unmittelbar erkennen, wie viele Personen-Objekte insgesamt erkannt wurden. Insgesamt werden 159 Frames des Videos analysiert. Das bedeutet, die Gesamtzahl zu erkennenden Personen beträgt:  $159 * 2 = 318$ . Dieser Wert wird für die Berechnung der Erkennungsrate verwendet.

Modell	Erkannt	Erkannt %	Dauer $\varnothing$
Faster R-CNN Inception ResNet V2 1024x1024	318	100.0%	74.15 s
Faster R-CNN ResNet101 V1 1024x1024	312	98.1%	17.07 s
Mask R-CNN Inception ResNet V2 1024x1024	297	93.4%	116.96 s
Faster R-CNN ResNet152 V1 1024x1024	291	91.5%	22.68 s
SSD ResNet152 V1 FPN 1024x1024	220	69.2%	28.66 s
CenterNet HourGlass104 1024x1024	219	68.9%	77.32 s
SSD MobileNet V2 FPNLite 640x640	196	61.6%	1.95 s
EfficientDet D7 1536x1536	175	55.0%	63.94 s
CenterNet Resnet50 V2 512x512	38	11.9%	2.08 s

TABELLE 5.3: Modell Evaluationstabelle

Die Modell-Evaluierung zeigt, dass sich das zweite Modell (Faster R-CNN ResNet101 V1 1024x1024) am besten eignet. Es erkennt zwar nicht ganz 100% der Personen, doch ist es deutlich schneller als das erste Modell. Darum empfiehlt sich, für die Bildanalyse jeweils das zweite Modell zu verwenden.

# 6 Schlussfolgerung

Ziel dieser Arbeit war es, herauszufinden, ob eine Situation an der Kletterwand mit einem Programm analysiert werden kann. Dafür wurde ein Prototyp umgesetzt, welcher die Machbarkeit dieser Idee überprüft. Es wurde eine Software entwickelt, welche über eine Bildanalyse ein Kletter-Video analysiert und Informationen zur aktuellen Situation bereitstellt. Der entwickelte Prototyp zeigt, dass sich relevante Daten aus den Bildern herauslesen lassen:

- Der horizontaler Abstand zwischen zwei Personen
- Der vertikale Distanz zu einem Sicherungshaken
- Der Abstand zwischen Sicherer und Kletterwand

Mit diesen Daten lassen sich Fehlverhalten der beteiligten Personen erkennen und es lässt sich eine Risikoabwägung durchführen. Es wurde somit gezeigt, dass es möglich ist, für eine Risikoeinschätzung relevante Daten aus den Bildern einer Klettersituation zu extrahieren. Ferner ist es also möglich, durch den Einsatz von Computertechnologien die Sporttreibenden aktiv bei der Unfallverhütung zu unterstützen und den Klettersport sicherer zu gestalten. Die Expertenvalidierung zeigt allerdings auch, dass es noch Fehlverhalten und Gefahren gibt, welche nicht vom Prototypen analysiert beziehungsweise identifiziert werden. Schlussfolgernd ist zu erkennen, dass eine alleinige Bildanalyse nicht ausreicht, um alle Gefahrensituationen erkennen zu können. Um weitere Risiken zu identifizieren, bedarf es des Einsatzes weiterer Technologien. Weitere Informationen hierzu finden sich im Kapitel *Weiterführende Arbeiten*. Im nächsten Kapitel werden die Berechnungsresultate interpretiert und kritisch hinterfragt. Im Unterkapitel *Weiterführende Arbeiten* werden Ideen dazu beschrieben, wie die Vision dieser Arbeit weiterverfolgt werden kann. Zuletzt wird der schriftliche Teil dieser Arbeit mit einer persönlichen Reflexion des Autors beendet.

## 6.1 Interpretation der Berechnungsresultate

Die Resultate zur Distanzberechnung im Kapitel *Validation* zeigen eine geringe Abweichung zur Realität auf. Dieser Unterschied lässt sich auf die Objekt-Erkennung zurückführen. Die Grösse der sichernden Person im Bild wird mittels der Koordinaten des Begrenzungsrahmens ermittelt. Das Bildanalyse-Modell versucht zwar, diesen Rahmen so eng wie möglich um das erkannte Objekt zu ziehen, doch sind geringfügige Ungenauigkeiten unumgänglich. Durch die Multiplikationen in den

Berechnungen führen Messfehler geringer Ausprägung zu grösseren Abweichungen. Massgebend für die Distanzmessung ist also eine akkurate Objekt-Erkennung. In den Testvideos wurde jeweils für optimale Bedienungen gesorgt, um somit eine möglichst genaue Bildanalyse zu ermöglichen. Aus diesem Grund ist zu erwarten, dass die Abweichungen der Distanzberechnung in Situationen an der Kletterwand grösser ausfallen als in den Testvideos.

## 6.2 Weiterführende Arbeiten

Diese Arbeit verfolgt die Vision, das Sportklettern durch eine aktive Unterstützung bei der Risikominimierung sicherer zu gestalten. Der Prototyp zeigt, dass sich bedeutsame Informationen zur aktuellen Situation an der Kletterwand durch eine Bildanalyse herauslesen lassen. Ein nächster Schritt könnte sein, diese Situation als *sicher* oder *unsicher* zu klassifizieren. Dies könnte zuerst über statisch programmierte Regeln umgesetzt werden. Beispielsweise kann ein Schwellenwert für die maximale Distanz zwischen Sicherer und Kletterwand implementiert werden. Wird dieser Überschritten, würde die Situation als *unsicher* klassifiziert. Des Weiteren kann ein Klassifikationsverfahren, basierend auf einem Machine-Learning-Algorithmus, verwendet werden, welches alle Analyseresultate gleichzeitig berücksichtigt und auf Basis eines vorgängigen Trainings entscheidet, ob die jeweilige Situation als sicher gilt oder nicht. Wie im Kapitel *Hintergrund* erwähnt, reicht dafür eine alleinige Bildanalyse nicht aus. Das System müsste insofern erweitert werden, dass weitere bedeutsame Daten zur aktuellen Situation erhoben werden können. Ein Beispiel dafür sind die Sicherungspunkte. Der Prototyp zeigt, dass es möglich ist, die vertikale Distanz zum zuletzt passierten Sicherungshaken zu berechnen. Dies bedeutet allerdings noch nicht, dass dieser Haken auch vom Kletterer benutzt wurde. Ein zweites System könnte eine Schnittstelle zur Verfügung stellen, über welche sich der zuletzt benutze Sicherungspunkt abfragen lässt. Mit dieser Information kann dann die Distanz zwischen Kletterer und zuletzt verwendeten Fixierpunkt berechnet werden. Zuletzt wird ein Signal-Mechanismus benötigt. Dieser sollte ausgelöst werden, sobald die Situation als unsicher klassifiziert wird. Eine Umsetzungsmöglichkeit ist die Signalisation durch einen Ton mit entsprechender Lautstärke, welcher die Sporttreibenden auf ein mögliches Risiko hinweist. Ferner könnte das System so erweitert werden, dass es Handlungsempfehlungen produziert. Entfernt sich zum Beispiel der Sicherer zu weit von der Wand, würde das System eine Meldung ausgeben, die beinhaltet, dass er sich wieder näher zur Wand begeben soll. So würden sich spezifische Risikofaktoren mitigen lassen und zu einem sicheren Klettererlebnis beitragen.

### 6.3 Reflexion

Die Arbeit an dieser Machbarkeitsanalyse habe ich als sehr interessant und lehrreich empfunden. Besonders die explorative Entwicklung des Prototyps war etwas Neues und Spannendes für mich. Ich erkannte schnell, dass es in meinem persönlichen Interesse liegt, eine möglichst gut funktionierende Software zu schreiben, welche eine solide Grundlage für weiterführende Entwicklungen bietet. Zum ersten Mal habe ich eine Bildanalyse mit TensorFlow umgesetzt und so zahlreiche neue Konzepte und Vorgehensweisen kennengelernt. Darum ist es nicht verwunderlich, dass ich zu Beginn Umsetzungsideen hatte, welche sich erst im Laufe des Projektes als untauglich erwiesen. Mit den gewonnenen Erkenntnissen konnte ich diese jedoch rechtzeitig umschreiben, sodass sie schlussendlich wie gewollt funktionierten. Im Allgemeinen bin ich mit meiner eigenen Leistung und dem End-Resultat sehr zufrieden. An dieser Stelle möchte ich mich bei meinem Betreuer Alexandre De Spinnler für seine Unterstützung und Beratung bedanken. Seine Feedbacks und Denkanstösse halfen mir, den richtigen Umsetzungsweg für die Vision dieser Arbeit zu finden.

## 7 Literatur

- Anwar, A. (2020, 20. April). *Using Python to Monitor Social Distancing in a Public Area*. Towards Data Science. <https://towardsdatascience.com/monitoring-social-distancing-using-aic5b81da44c9f>
- Arena+. (o. D.). Team. Arena. Abgerufen am 20. Mai 2022, von <https://www.aranea.ch/aranea/team/>
- Bernal, G., Colombo, S., Al Ai Baky, M. & Casalegno, F. (2017). Safety++. *Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, 163–170. <https://doi.org/10.1145/3056540.3056557>
- Hoeser, T. & Kuenzer, C. (2020). Object Detection and Image Segmentation with Deep Learning on Earth Observation Data: A Review-Part I: Evolution and Recent Trends. *Remote Sensing*, 12(10), 1667. <https://doi.org/10.3390/rs12101667>
- Hummel, C. & Hellberg, F. (2014). Unfälle an künstlichen Kletteranlagen: Kampf dem Eisberg! *DAV Panorama*, (6), 62–64. [https://www.alpenverein.de/chaemeleon/public/a79e5f0a-f7da-5a74-f330-c9d58bbce306/Panorama-6-2014-Sicherheitsforschung-Sicherungsfehler-Hallenklettern\\_24562.pdf](https://www.alpenverein.de/chaemeleon/public/a79e5f0a-f7da-5a74-f330-c9d58bbce306/Panorama-6-2014-Sicherheitsforschung-Sicherungsfehler-Hallenklettern_24562.pdf)
- Hussin, R., Juhari, M. R., Kang, N. W., Ismail, R. C. & Kamarudin, A. (2012). Digital Image Processing Techniques for Object Detection From Complex Background Image. *Procedia Engineering*, 41, 340–344. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.182>
- Khanna, G. (2020, 29. August). *How Object Detection Technology Is Empowering Industrial Automation?* Appwrk. <https://appwrk.com/how-object-detection-technology-is-empowering-industrial-automation>
- Kron, V. & Schaff, P. (2002). Sicherheit beim Sportklettern. *Sports Orthopaedics and Traumatology Sport-Orthopädie-Sport-Traumatologie*, 18(2), 73–77. <https://doi.org/10.1078/0949-328X-00079>
- Messner, K., Sanin, A., Goller, L., Meraner, G. & Hofer, G. (2015). *Übungsleiterausbildung 2015: Sportklettern mit Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen*. Alpenverein. <https://alpenverein.it/files/kletterer-alpinisten/skript-uebl-2015.pdf>
- Österreichischer Alpenverein. (2019). *Sicher Sichern - SicherAmBerg Klettern* [Video]. [https://www.youtube.com/watch?v=MvKcNLure6s&ab\\_channel=%C3](https://www.youtube.com/watch?v=MvKcNLure6s&ab_channel=%C3)

%96sterreichischerAlpenverein

- Phan, R., Rzeszutek, R. & Androutsos, D. (2011). Semi-automatic 2D to 3D image conversion using scale-space Random Walks and a graph cuts based depth prior. *2011 18th IEEE International Conference on Image Processing*, 865–868. <https://doi.org/10.1109/ICIP.2011.6116695>
- Schubert, P. (2006). *Sicherheit und Risiko in Fels und Eis - Alles ist möglich, aber auch wirklich alles*. Bergverlag Rother GmbH.
- Schweizer Alpen-Club SAC (Hrsg.). (2022, 06. Mai). *Sicher klettern indoor* (3. Aufl.). [https://www.sac-cas.ch/fileadmin/Ausbildung\\_und\\_Wissen/Sicher\\_unt\\_erwegs/Sicher\\_unterwegs\\_Klettern/sicher\\_klettern\\_indoor\\_sac\\_m%C3%A44rz\\_20\\_druck\\_print.pdf](https://www.sac-cas.ch/fileadmin/Ausbildung_und_Wissen/Sicher_unt_erwegs/Sicher_unterwegs_Klettern/sicher_klettern_indoor_sac_m%C3%A44rz_20_druck_print.pdf)
- Subramanyam, V. (2021, 16. Januar). *Basics of Bounding Boxes*. Medium. <https://medium.com/analytics-vidhya/basics-of-bounding-boxes-94e583b5e16c>
- TensorFlow (Hrsg.). (2021, 18. Mai). *Object detection*. [https://www.tensorflow.org/lite/examples/object\\_detection/overview](https://www.tensorflow.org/lite/examples/object_detection/overview)
- Weismüller, S. (2017). *Kletterhallen Unfallstatistik*. Alpenverein. [https://www.alpenverein.de/bergsport/sicherheit/unfallstatistik/kletterhallen-unfallstatistik-2017\\_aid\\_32221.html](https://www.alpenverein.de/bergsport/sicherheit/unfallstatistik/kletterhallen-unfallstatistik-2017_aid_32221.html)

# Anhang

## Readme Datei

Die Readme Datei bietet einen Startpunkt für die Verwendung des Prototypen. Sie befindet sich im Stammverzeichnis des Quellcodes und sieht folgendermassen aus:

### Climbing risk analysis

---

This is the repository for the BSC-Thesis of Yves Hendseth.

### Installation steps

---

Follow these steps to install the Project locally:

**1. Clone the project to the desired path:**

- `git clone https://github.com/MRyves/bsc-climbing-analysis.git`
- `cd bsc-climbing-analysis`
- `git checkout release-latest`

**2. Create new python environment**

- `python -m venv ./py_env`
- `source ./py_env/Scripts/activate`

**3. Install dependencies**

`pip install -e .`

*Note: This may take a while*

### How to use the prototype

---

Follow the instructions seen when the prototype is called with the `-h` argument:

```
python main.py -h
```

For further information see the thesis document in this repo.