

Schriftenreihe Bauwirtschaft

I Forschung

**Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung  
des Schadenausmaßes an Gebäuden auf Basis  
von Fotografie und Laserscanning Technologie  
unter Verwendung von künstlicher Intelligenz**

Ibrahim Halabi



**Schriftenreihe Bauwirtschaft**

I Forschung 42

Herausgegeben vom Institut für Bauwirtschaft der Universität Kassel



kassel  
university



press

**Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung des Schadensmaßes  
an Gebäuden auf Basis von Fotografie und Laserscanning Technologie  
unter Verwendung von künstlicher Intelligenz**

Ibrahim Halabi

Die vorliegende Arbeit wurde vom Fachbereich Architektur, Stadtplanung und Landschaftsplanung der Universität Kassel als Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) angenommen.

Erster Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Antonius Busch, Universität Kassel

Zweiter Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Walter Sharmak, Technische Hochschule Lübeck

Weitere Mitglieder der Promotionskommission:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Nentwig, Bauhaus-Universität Weimar

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Volkhard Franz, Universität Kassel

Tag der mündlichen Prüfung:

28. Mai 2020



Diese Veröffentlichung – ausgenommen Zitate und anderweitig gekennzeichnete Teile – ist unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International (CC BY-SA 4.0: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de>) lizenziert.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Zugl.: Kassel, Univ., Diss. 2020  
ISBN 978-3-7376-0950-0  
DOI: <https://doi.org/doi:10.17170/kobra-202104133648>

© 2021, kassel university press, Kassel  
<https://kup.uni-kassel.de>

Druck und Verarbeitung: Print Management Logistic Solutions, Kassel

Printed in Germany

## **Vorwort des Herausgebers**

„Ob vom Schicksal bestimmt oder durch Menschenhand hervorgerufen, verursachen Katastrophen außer menschlichen Verlusten auch Zerstörungen an Gebäuden. Der Grad der daraus resultierenden Zerstörung und dessen Ausmaß am betroffenen Ort muss zuerst festgelegt und definiert werden. Dies gilt in erster Linie als Voraussetzung, die die Grundlage für die anschließende Wiederbauprozessplanung bildet.“

Dies ist der Ausgangspunkt der vorliegenden Dissertation von Herrn Dr. Halabi, der sich mit der Problematik befasst und ein auf „Maschinen Learning“ basiertes Bewertungssystem zur Ermittlung des Zerstörungsausmaßes in verschiedenen Katastrophengebieten entwickelt hat. Die damit ermittelten Daten dienen als Grundlage und Basis für Entscheidungen über Rettungseinsätze und –maßnahmen nach Eintritt einer Katastrophe, unabhängig davon, ob es sich um höhere Gewalt, d. h. Stürme, Tsunamis, Erdbeben u. ä. oder eine von Menschenhand verursachte Katastrophe, wie z. B. Kriege handelt.

Das Ziel von Herrn Halabi war, den Entscheidern fundierte Daten zur Verfügung zu stellen, so dass Dauer, Kosten, Aufwand und Risiken der geplanten Maßnahmen optimiert und die Planung und Ausführung verbessert werden können. Existierende Auswertungssysteme, die rein auf menschlichen Entscheidungen beruhen, sind aufwändig und nehmen sehr viel Zeit in Anspruch.

Herr Halabi hat mit seiner Dissertation gezeigt, dass er sich mit allen darin behandelten Themen ganzheitlich, sowohl theoretisch wissenschaftlich als auch praxisnah vertraut gemacht hat und seine Erfahrungen und Kenntnisse im Rahmen dieser Arbeit mit Erfolg umgesetzt hat. Es ist ihm gelungen, mit seinen Software-Tools ein Verfahren für die Ermittlung des Schadensausmaßes und des Grades der Zerstörung zu entwickeln, der durch Katastrophen an Gebäuden verursacht wurde. Das Ergebnis dieser Forschungsarbeit liefert eine solide Basis für die Entscheidung über Maßnahmen nach einer Katastrophe und kann im Rahmen weiterer Forschungsarbeiten noch beliebig erweitert und verfeinert werden.

Ganz besonders möchte ich mich bei Herrn Dr. Halabi für sein Engagement, das er dem Institut für Bauwirtschaft entgegengebracht hat, bedanken und ich wünsche ihm für das zukünftige Berufsleben weiterhin viel Erfolg und persönlich alles Gute und viel Glück.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Antonius Busch  
Fachgebietsleiter Bauwirtschaft und Projektentwicklung

Kassel, im Oktober 2020



## **Vorwort des Verfassers**

Die vorliegende Arbeit entstand neben meiner beruflichen Tätigkeit außerhalb der Universität Kassel und stellte mich deswegen aus zeitlichen Gründen vor große Herausforderungen. Den Ausschlag für das Thema dieser Arbeit gaben die Nachrichten der letzten Jahre, die immer wieder über traurige Katastrophen weltweit berichteten. Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit wurde ein praxisorientierter Prototyp eines Bewertungssystems zur Erkennung von Schadenanteilen an Gebäuden in Katastrophengebieten entwickelt, mit dessen Hilfe diese in drei Kategorien eingeteilt werden, um Entscheidungen über Hilfsmaßnahmen und den Einsatz von Hilfskräften in solchen Gebieten schneller und effektiver treffen zu können.

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die mich bei der Bearbeitung meiner Doktorarbeit unterstützt haben, an erster Stelle natürlich bei meinem Doktorvater Herrn Univ. Prof. i. R. Dr.-Ing. Antonius Busch für seine ausgezeichnete wissenschaftliche und menschliche Betreuung. Seine enorme Unterstützung und sein Vertrauen in meine Fähigkeiten während den verschiedenen Phasen meines gesamten Promotionsverfahrens haben entscheidend zum erfolgreichen Abschluss meiner Doktorarbeit beigetragen.

Ein herzlicher Dank gilt auch meinem zweiten Gutachter, Herrn Prof. Dr.-Ing. Walter Sharmak sowie den weiteren Mitgliedern der Prüfungskommission Herrn Univ.-Prof. i. R. Dr.-Ing. Volkhard Franz und Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Bernd Nentwig.

Außerdem danke ich Herrn Dr.-Ing. Bernd Rode, der mich mit vielen produktiven Gesprächen auf höchstem wissenschaftliches Niveau begleitet hat.

Besonders möchte ich auch Frau Birgit Schön danken, die meine Texte Korrektur gelesen und mir bei meinen Übersetzungs- und Formulierungsfragen geholfen hat.

Diese Arbeit widme ich meinen Eltern Herrn Dipl.-Ing. Mounif Halaby und Apothekerin Maha Mackie. Für ihre Geduld, ihre unermüdliche liebevolle Unterstützung, Ermutigung und Inspiration bin ich zutiefst dankbar.

Auch meinen drei Schwestern danke ich herzlich für die kontinuierliche moralische Unterstützung. Ebenso gilt mein Dank vier weiteren Familienmitgliedern und Freunden, M. Sc. Abdulkader Chamoun, B. Eng. Mohammad Shabbar, M. Sc. Karam Daaboul und B. Sc. George Habka, die mich auf technischer sowie auf moralischer Ebene unterstützt haben.

Ohne die Begleitung meiner Ehefrau M. Sc. Nour Khristin auf diesem Weg hätte ich diese Doktorarbeit nicht abschließen können. Deshalb auch ihr ein ganz herzliches Dankeschön.

M. Sc. Ibrahim Halabi

Kassel, im Oktober 2020

# Inhaltsverzeichnis

<b>Kapitel 1 - Einführung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Motivation .....	2
1.2 Problemdefinition: .....	3
1.3 Zielsetzung .....	7
1.4 Zielgruppen der Forschungsarbeit.....	9
1.5 Eingrenzung des Themas.....	10
1.6 Methodik .....	10
1.7 Aufbau der Arbeit.....	12
<b>Kapitel 2 - Stand der Forschung</b> .....	<b>14</b>
2.1 Aktuelle Forschungen und Pilotprojekte im Bereich Katastrophen.....	14
2.2 Aktuelle Forschungen der Laserscanning-Technologie .....	17
2.3 Aktuelle Forschungen der Künstlichen Intelligenz.....	18
<b>Kapitel 3 - Begriffsdefinition</b> .....	<b>21</b>
3.1 Krisen und Katastrophen .....	21
3.1.1 Definition einer Krise .....	21
3.1.2 Definition einer Katastrophe .....	22
3.2 Künstliche Intelligenz.....	24
3.2.1 Definition der Künstlichen Intelligenz .....	24
3.2.2 Entwicklungsphasen der Künstlichen Intelligenz.....	25
3.2.3 Maschinelles Lernen: Funktionsprinzip der Künstlichen Intelligenz .....	31
3.3 Laserscanningsdefinition .....	39
3.3.1 Grundlagen der Lasertechnik .....	39
3.3.2 Prinzip und Methodik vom Laserscanning:.....	41
3.3.3 Funktionalität und Messverfahren beim Laserscanning .....	41
3.3.4 Laserscanner und deren Komponenten .....	47
3.3.5 Laserscanning-Systeme .....	49

<b>Kapitel 4 - Angewendete Instrumente, Tools und Software .....</b>	<b>56</b>
4.1 Programmierertools .....	57
4.1.1 Python .....	57
4.1.2 GoogLeNet / Inception .....	58
4.1.3 Tensorflow/Tensorboard .....	60
4.1.4 Keras .....	60
4.1.5 Tkinter .....	60
4.1.6 NumPy-Python .....	61
4.1.7 AST Python .....	61
4.1.8 Flask Python.....	61
4.1.9 OpenCV-Python .....	62
4.2 Sonstige Tools .....	62
4.2.1 CloudCompare .....	62
4.2.2 VSCode .....	62
4.2.3 Meshroom .....	63
<b>Kapitel 5 - Kriterien der Katastrophenmaßnahmen - Systemkriterien.....</b>	<b>64</b>
5.1 Kriterien der sofortigen Maßnahmen .....	65
5.1.1 Ereigniskriterien.....	65
5.1.2 Allgemeine Faktoren .....	65
5.1.3 Anthropogene Kriterien .....	66
5.1.4 Risikobezogene Kriterien .....	68
5.1.5 Ortbezogene Kriterien .....	69
5.1.6 Klimabedingte Kriterien .....	70
5.1.7 Wirtschaftliche Kriterien.....	71
5.1.8 Technische Kriterien.....	72
5.2 Kriterien für die mittelfristigen Maßnahmen .....	75
5.2.1 Organisatorische Kriterien.....	75
5.2.2 Rechtliche Kriterien .....	76
5.2.3 Planerische Kriterien .....	76

5.2.4	Wirtschaftliche und politische Kriterien.....	77
5.3	Kriterien für die langfristigen Maßnahmen.....	77
5.3.1	ökonomische Kriterien.....	78
5.3.2	Baurechtliche Kriterien.....	78
5.3.3	Bauliche Kriterien.....	79
5.3.4	Örtliche Kriterien.....	79
5.3.5	internationale Kriterien.....	80
<b>Kapitel 6 -</b>	<b>Bewertung der Kriterien.....</b>	<b>82</b>
6.1	Die Umfrageergebnisse.....	83
6.2	Die Rangfolgematrix.....	84
<b>Kapitel 7 -</b>	<b>Aufnahmemöglichkeiten.....</b>	<b>88</b>
7.1	Rasterdaten.....	88
7.1.1	Drohnen.....	90
7.1.2	Hubschrauber.....	91
7.1.3	Roboter.....	92
7.1.4	Menschen.....	92
7.1.5	Satelliten.....	92
7.1.6	Zusätzliche Verfahren.....	93
7.2	Rasterdatenformate.....	93
7.3	Vektordaten (Punktwolken).....	95
7.3.1	Airborne Laserscanning (ALS).....	95
7.3.2	Terrestrisches Laserscanning (TLS).....	95
7.3.3	Mobiles Laserscanning (MLS).....	96
7.3.4	Zusätzliche Methoden zur Erstellung von Punktwolken.....	97
7.4	Punktwolkendatenformate.....	97
7.5	Zusammenfassung der Datenaufnahmen:.....	100
7.6	Laserscanner oder Kamera?.....	103
7.7	Aufbau der Datenbanken.....	103
7.8	Zusammenfassung der Datenbanken.....	107

<b>Kapitel 8 - Beschreibung der entwickelten Softwares .....</b>	<b>108</b>
8.1 Funktionsbeschreibung des verwendeten neuronalen Netzwerks und dessen Trainingsprozesses .....	111
8.2 Beschreibung der Softwares .....	119
8.2.1 Beschreibung der ersten zwei entwickelten Softwares: .....	120
8.2.2 Beschreibung der dritten entwickelten Software .....	122
8.2.3 Beschreibung der Endsoftware .....	124
8.2.4 Beschreibung der Onlinedienst-Software .....	126
8.3 Zusammenfassung des Kapitels .....	133
<b>Kapitel 9 - Validierung .....</b>	<b>136</b>
9.1 Überprüfung durch Menschen .....	136
9.2 Technisches Verfahren.....	138
9.2.1 Beschreibung der Softwarebenutzeroberfläche .....	140
<b>Kapitel 10 - Anwendungsbeispiele .....</b>	<b>143</b>
10.1 Fallbeispiel 1: Hotel „Regina Giovanna“ in „Pescara del Tronto“, Italien .....	144
10.2 Fallbeispiel 2: Seniorenwohnheim in Amatrice, Italien .....	146
10.3 Fallbeispiel 3: Vier Wohngebäude in Amatrice, Italien .....	147
10.4 Fallbeispiel 4: Scheune in Norcia, Italien.....	148
10.5 Fallbeispiel 5: Kulturzentrum <i>K19</i> an der Uni Kassel, Deutschland .....	149
10.6 Fallbeispiel 6: Der Lernort LEO an der Uni Kassel, Deutschland .....	150
10.7 Fallbeispiel 7: ein verfallenes Gebäude, Eltmannshausen, Deutschland .....	151
10.8 Fallbeispiel 8: Einfamilienhaus, Berka - Werra Suhl Tal, Deutschland.....	152
10.9 Fallbeispiel 9: Munitionsfabrik, Hirschhagen, Deutschland .....	153
10.10 Fallbeispiel 10: Gehry Bauten in Neuer Zollhof 1-3, Düsseldorf.....	154
10.11 Fallbeispiel 11, Eine Moschee, Stadtmitte Latakia, Syrien .....	155
10.12 Fallbeispiel 12: Ein Gebäude in dem historischen, Dubai, VAE. ....	155
10.13 Fallbeispiel 13, Ein Hochhaus in Beirut, Lebanon .....	156
10.14 Fallbeispiel 14: Historische Funde, Heraklion, Griechenland .....	156

<b>Kapitel 11 - Diskussion der Ergebnisse .....</b>	<b>157</b>
11.1 Validierung eines Ergebnisses .....	157
11.2 Diskussion der Auswertungsergebnisse.....	158
<b>Kapitel 12 - Fazit und Ausblick.....</b>	<b>160</b>
<b>Verzeichnisse .....</b>	<b>163</b>
<b>Erläuterungen zu in der Arbeit genannten Ortschaften .....</b>	<b>173</b>
<b>Glossar.....</b>	<b>175</b>
Gebäudezustand .....	175
Daten .....	175
Datenbank.....	175
Input / Eingabe .....	176
Output / Ausgabe .....	178
Katastrophe .....	177
Flussdiagramm.....	176
Programmiersprache .....	178
Programmiercode .....	179
Python .....	179
GPS.....	176
Photogrammetrie .....	178
Laserscanning .....	178
Punktwolken .....	179
Künstliche Intelligenz.....	177
Künstliche neuronale Netze .....	178
Anthropogene Kriterien .....	175
Terrestrisches Laserscanning .....	180
Drohne.....	175
Validierung .....	180
<b>Quellenangaben .....</b>	<b>181</b>
Monographien .....	181

Normen.....	183
E-Books.....	183
Dissertationen .....	185
Forschungsberichte.....	185
Internetquellen.....	186
<b>Anlagen.....</b>	<b>191</b>





## Kapitel 1 - Einführung

Das letzte Jahrzehnt brachte zunehmende und vielfältige Naturkatastrophen, Kriege und andere schwerwiegende Ereignisse mit sich, welche verhältnismäßig zu früheren Jahren deutlich anwachsende Zerstörungen, wirtschaftliche- und menschliche Verluste verursachten. Die ersten erforderlichen Maßnahmen nach solchen schweren Ereignissen sind die Evakuierung und Rettung von Menschen. Dies stellt an sich einen komplizierten Prozess dar und kann bei unpassenden oder verzögerten Reaktionen zu abträglichen Folgen sowie zu steigenden Verlusten der Menschen führen.

Die nach Katastrophenende verbleibenden Trümmer lassen auf die Menge von Verlusten in sozialen, architektonischen und wirtschaftlichen Ebenen schließen und definieren die notwendigen Beseitigungsmaßnahmen und die davon abhängigen Investitionssummen mit dem Ziel eines erfolgreichen Wiederaufbauprozesses. Dieser fordert in der Praxis eine präzise Analyse der betroffenen Länder, Städte, Gebiete und Gebäude. Bei dieser Analyse soll ein konkretes Zerstörungsausmaß anhand unterschiedlicher Informationsquellen, wie zum Beispiel Fotoaufnahmen, Zeugen vor Ort und dem Vergleich mit Vorzustandsplänen definiert werden. Die historischen Werte, die für die Menschen und die Stadt allgemeinen Werte und die Bedeutung des Gebäudes, die Nutzung und der Vorzustand gelten während der Analyse als Hauptaspekte und müssen präzise betrachtet werden. Andere Faktoren dienen gemeinsam mit aus der Analyse gelieferten Ergebnissen als schwerwiegende Gewichtung für die Wiederaufbaumaßnahmen. Diese Faktoren gliedern sich in mögliches verfügbares Budget, Art und Anzahl von Beteiligten sowie verfügbare lokale Baumaterialien. Im Allgemeinen stellt die Analysephase nach Katastrophen und Krisen die Basisgrundlage für die vorläufige Schätzung der notwendigen Wiederaufbaumaßnahmen, deren Budget, die Reihenfolge und Dauer der verschiedenen Wiederaufbauebenen dar. Diese zeitweilige Schätzung kann, abhängig von den zur Analyse verfügbaren Quellen und Daten sowie von den verwendeten Untersuchungsverfahren, von grob bis sehr genau variieren.

Rückversicherungsunternehmen und Hilfsorganisationen erstellen und aktualisieren regelmäßig Risiko- und Gefahrkarten anhand verschiedener natürlicher und durch Menschen verursachter Katastrophen. Diese sorgen für bessere Vorbereitungsmaßnahmen sowie für mögliche Vermeidung von erheblichen Zerstörungen. Solche Karten weichen in Praxis jedoch häufig von den tatsächlichen Risikogebieten ab und führen im Grunde zu möglichen steigenden wirtschaftlichen Verlusten durch unerwartete Katastrophen. Im Endeffekt kann der Eintritt einer Katastrophe nicht immer vorhergesehen oder etwa rückgängig gemacht werden. Es muss allerdings trotz aller entstandenen Verluste der Versuch einer positiven Wendung

unterkommen werden. Die guten Konzepte für den Wiederaufbau von Gebäuden und Städten ermöglichen eine Verbesserung des Sollzustands analog zum vorherigen Zustand.

### 1.1 Motivation

Ein Blick auf die Katastrophenstatistiken der letzten Jahre sowie auf eine Risikokarte des Jahres (2019) zeigt weltweit dramatisch anwachsende und erhebliche wirtschaftliche Verluste. Demgegenüber nimmt die Anzahl von Katastrophen und anderen schwerwiegenden Ereignissen nicht unbedingt kontinuierlich zu. Darüber hinaus und trotz aller verfügbaren modernen Ausmessungstechniken dauert die Analysephase in Gebieten, die durch Katastrophen betroffen werden, relativ lange und basiert in vielen Ländern zum großen Teil immer noch auf menschlichen Erfahrungen und Schätzungen. Diese fordern erhebliche handwerkliche Vorbereitung von Datenbanken sowie komplizierte Bearbeitung der dazu gehörigen und notwendigen gesammelten Daten. Das führt wiederum zu einer Verzögerung beim Treffen von wichtigen Entscheidungen und lässt die möglichen an dem Wiederaufbauprozess Beteiligten und Interessenten im Unklaren.

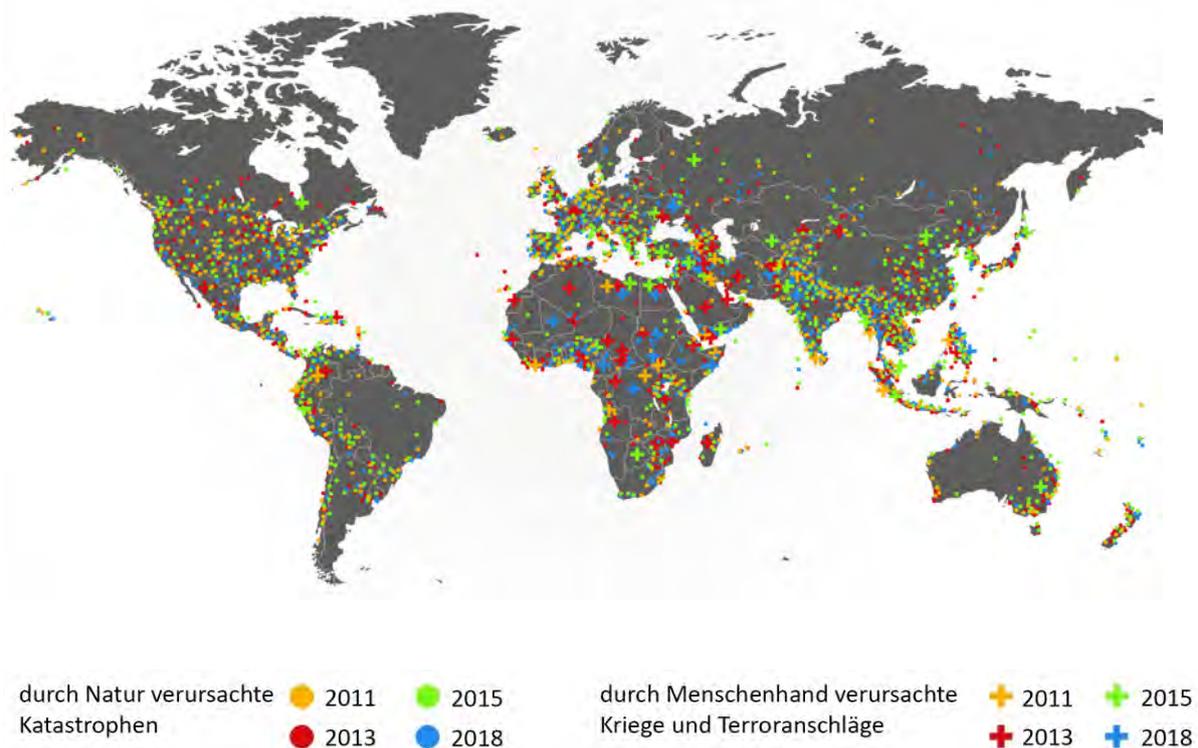


Abbildung 1: Weltkarte mit Katastrophen, die durch Natur und Menschenhand in den Jahren 2011, 2013, 2015 und 2018 verursacht wurden<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Eigene Darstellung, Daten beziehen sich auf mehrere Karten von Munich RE

Unabhängig von den Themen "Katastrophen und Zerstörung" findet die Neuroinformatik und daraus weitergehend entwickelte Künstliche Intelligenz in vielen Lebensbereichen Anwendung und führt daraus folgend zu einer raschen Änderung vieler praktischer sowie wissenschaftlich einsetzbarer Untersuchungsmethoden und -techniken. Darauf aufbauend setzt sich die vorliegende Arbeit mit einer möglichen Erprobung der praxisbasierten Einsetzbarkeit der künstlichen Intelligenz und modernen Ausmessungstechniken in den Untersuchungsfeldern von Katastrophengebieten auseinander.

## 1.2 Problemdefinition:

Ob vom Schicksal bestimmt oder durch Menschenhand hervorgerufen, verursachen Katastrophen außer menschlichen Verlusten auch Zerstörungen an Gebäuden. Der Grad der daraus resultierenden Zerstörung und deren Ausmaß am betroffenen Ort muss zuerst festgelegt und definiert werden. Dies gilt in erster Linie als Voraussetzung für die Zerstörungsanalyse, die die Grundlage für die anschließende Wiederbauprozessplanung bildet. Dafür muss zuerst der Istzustand erfasst und analysiert werden. Allerdings verlangen die Aufnahme des Istzustandes und die danach erfolgende Analyse in den meisten Fällen einen großen Aufwand, der nicht immer, vor allem nicht nach einem schweren Desaster, geleistet werden kann. Außerdem hängt diese Analyse stark von verschiedenen Faktoren ab, die die Durchführung, den Ablauf und die Qualität der Endergebnisse beeinflussen können. Diese Faktoren können nach unterschiedlichen Kriterien aufgeteilt werden. Eine mögliche Gliederung wird im Folgenden dargestellt:

Örtliche Faktoren: Darunter fällt nicht nur die Geographie, sondern auch die ortsspezifisch politischen und wirtschaftlichen Eigenschaften zählen dazu. Die Topographie eines Orts, seine Höhe und die Verbindung mit anderen Orten sind Beispiele, die im Fall einer Katastrophe in Bezug auf Erreichbarkeit von Bedeutung sind. Erdbeben, Überschwemmungen, Vulkane und andere Naturdesaster beschränken, manchmal erheblich, die Erreichbarkeit eines betroffenen Ortes, besonders, wenn die Infrastruktur beschädigt wurde. Dies vergrößert die bereits aufwändige Arbeit und erhöht die schon riesigen Kosten, die insbesondere die Wirtschaft tangieren. Die dadurch entstehende finanzielle Belastung kommt plötzlich, unerwartet und ist in der Regel sehr belastend, im Hinblick auf die Stärke und Stabilität der Ökonomie. Darüber hinaus werden die Finanzquellen im Fall einer Katastrophe in erster Linie für die Rettung der Betroffenen und deren Sicherheit eingesetzt. Die danach erforderliche Bewertung der Lage wird zum großen Teil vom politischen System gesteuert. Fehlender politischer Wille oder die Verbreitung von Korruption verzögern, oder - im schlimmsten Fall - verhindern die Durchführung der Zerstörungsanalyse und verringern ihre Effizienz. Was die Situation noch erschwert, ist der Mangel an relevanten Informationen bezüglich der Lage vor dem Ereignis.

In vielen Fällen verfügen die Behörden über keine oder lückenhafte Datenbanken zum Vorzustand. Je nach der Stufe und dem Ausmaß der Zerstörung kann das zu erheblichem Aufwand führen. Auch der Zugang zu diesen Datenbanken ist nicht immer gewährleistet oder einfach zu erhalten. Die obengenannten Probleme wie Bürokratie oder Korruption können das in bestimmten Ländern zusätzlich beeinträchtigen.

Technische Faktoren: Dass die Zerstörungsaufnahme und -analyse einen enormen Aufwand bedeutet, steht bereits fest. Für ein solches Projekt müssen viele Arbeits- und Fachkräfte eingesetzt werden, die zuerst gefunden werden müssen, was an sich eine große Herausforderung ist. Der Umfang dieser Aktion benötigt eine große Anzahl von Kräften, die, falls schlecht ausgebildet, noch geschult werden müssen, um einen Teil der notwendigen Arbeiten bestmöglich zu erledigen. Die schon hochqualifizierten Kräfte werden für den anderen Teil, wie z. B. die Planungs-, Organisations- und die Ausführungsphasen eingesetzt. Diese Voraussetzungen können bei einem Mangel entweder an Handwerkern oder an Fachkräften, im schlimmsten Fall einem Mangel an beiden, nicht immer erfüllt werden. Und natürlich ist die Anstellung so vieler Menschen mit hohen Kosten verbunden, was die Ökonomie stark belasten kann. Ein anderer Aspekt der Problematik sind die für die Aufnahme vom Ist-Zustand erforderlichen verwendeten Geräte und Maschinen. Die Zahl der verfügbaren Geräte und ihr Zustand haben einen großen Einfluss auf den Ablauf, die Geschwindigkeit sowie die Genauigkeit des Prozesses und selbstverständlich auf die damit verbundenen Kosten. Moderne Werkzeuge können eine größere Menge der Arbeit präziser und in kürzerer Zeit erledigen, aber sie sind nicht überall vorhanden. Die Arbeitskräfte, die diese Geräte mit maximaler Leistung betreiben können, sind des Weiteren manchmal nicht sofort verfügbar. Auch der Import solcher Geräte und der Einsatz am jeweiligen Ort hängen mit Gesetzen und Verordnungen zusammen. Einige Geräte benötigen eine Erlaubnis, bevor sie eingesetzt werden dürfen. Die Erteilung dieser Genehmigungen hängt aber von den lokalen Behörden ab, die den Antrag überprüfen und als Ergebnis davon die Verwendung des Geräts zulassen oder verweigern können. Das Genehmigungsverfahren kann in einigen Fällen lange dauern und ist wiederum mit Kosten verbunden.

Menschliche Faktoren: Eine kurze Beobachtung der anderen Faktoren ergibt, dass der Mensch das ganze Verfahren vom Anfang bis zum Ende steuert. Er trifft alle wichtigen Entscheidungen in Bezug auf Planung, Kosten, Umsetzung etc. Auch im technischen Bereich bleibt er der Entscheidungsträger. Bei Projekten dieser Größe ist die Zahl der Beteiligten meistens hoch, da die Aufgaben sehr umfangreich sind. Diese große Zahl verlangt eine ausgebaute Organisationsstruktur und Kooperation. Alle Teams aus verschiedenen Bereichen sollen relevante Informationen miteinander teilen bzw. austauschen und zusammenarbeiten, um das Ziel planmäßig in Bezug auf Zeit, Kosten und Genauigkeit zu erreichen. Dies kann aber

durch Konflikte und unterschiedliche Auffassungen/Überzeugungen gestört und verhindert werden. Die Betroffenen und ihre Gewichtung spielen auch eine Rolle in diesem Prozess. Katastrophen in Wohn- oder Gewerbegebieten erhalten in der Regel schnellere Reaktionen und mehr Förderungen. Die Medienberichterstattung ist in diesem Fall auch intensiver und konzentriert sich auf fast alle Aspekte des Ereignisses.

Ein Beispiel aus der jüngeren Vergangenheit ist - nach *Landeszentrale für politische Bildung Baden-Württemberg* - die dreifache Katastrophe<sup>2</sup> in Fukushima, Japan, am 11. März 2011. Ein Erdbeben 400 km nordöstlich der Hauptstadt Tokyo mit einer Stärke von 9,0 auf der Richterskala löste einen Tsunami mit 40 m hohen Wellen aus. Dadurch kollabierten mehrere Kühlsysteme im Atomkraftwerk Fukushima, was zur Freisetzung erheblicher Mengen von radioaktiven Stoffen führte. Diese Katastrophe kostete die japanische Wirtschaft nach Einschätzung der Regierung bis zu 310 Milliarden Dollar. Für die Rettungsarbeiten wurden 100.000 Soldaten eingesetzt. Insgesamt mussten 470.000 Menschen im Umkreis von 30 km evakuiert und 1.400 Notlager eingerichtet werden. Neun Monate nach Beginn der Natur- und Atomkatastrophe wurde das Kernkraftwerk Fukushima für "sicher" erklärt und erst im April 2012 wurden die ersten Einschränkungen aufgehoben<sup>3</sup>. Dieses Beispiel zeigt, wie aufwändig die Folgen eines Desasters dieser Stärke sein können und wie lange es dauern kann, die Folgen zu bekämpfen.

Ein anderes Beispiel für Zerstörung in großem Ausmaß findet sich im Irak, in dem jahrelange Konflikte und Terrorismus viel Verwüstung hinterließen. Laut der irakischen Regierung benötigt der Wiederaufbau ca. 88 Milliarden US-Dollar<sup>4</sup>, fast 23 Milliarden US-Dollar davon innerhalb des ersten Jahres<sup>5</sup>. In einem Bericht vom Februar 2018 teilte die Regierung mit, dass rund 138.051 Wohngebäude zerstört sind, wovon die Hälfte irreparabel ist<sup>6</sup>. Anhand dieses Berichts stellte die irakische Regierung ihren Fünf-Jahres-Wiederaufbauplan verschiedener Sektoren inkl. Wohnbau, Ausbildungseinrichtungen und Infrastruktur vor. Der Bericht wies aber darauf hin, dass die möglicherweise benötigten Fonds und die vorgesehene Verwirklichungszeit nicht ausreichend sind. Ca. 10.000 Menschen<sup>7</sup> wurden nur für den Aufbau der

---

<sup>2</sup> Dreifache Katastrophe durch Erdbeben, Tsunami und Atomkraft-Katastrophe

<sup>3</sup> vgl. Landeszentrale für politische Bildung Baden-Württemberg, Katastrophe von Fukushima, <https://www.lpb-bw.de/atomkatastrophe.html#c48038>, abgerufen: 06.02.2019

<sup>4</sup> Iraq reconstruction and investment, part 1, Reconstruction and Development Framework (Feb. 2018), Seite. 13

<sup>5</sup> Iraq reconstruction and investment, part 1, Reconstruction and Development Framework (Feb. 2018), Seite. 29

<sup>6</sup> Iraq reconstruction and investment, part 1, Reconstruction and Development Framework (Feb. 2018), Seite. 68

<sup>7</sup> Iraq reconstruction and investment, part 1, Reconstruction and Development Framework (Feb. 2018), Seite. 171

Stadt Mosul angestellt, was einen Überblick über den großen aber notwendigen Aufwand des Wiederaufbauprozesses verschafft.

Zusammenfassend ist der Prozess der Zerstörungsaufnahme, -analyse und der sich daraus ergebenden Verfahren sehr komplex und umfangreich und benötigt Fachkräfte aus verschiedensten Bereichen. Gebäude, die unter Denkmalschutz stehen oder einen besonders hohen historischen Wert besitzen, bringen mehr Komplexität zum Prozess und erzwingen eine bestimmte Art und Weise in fast allen Bearbeitungsphasen.

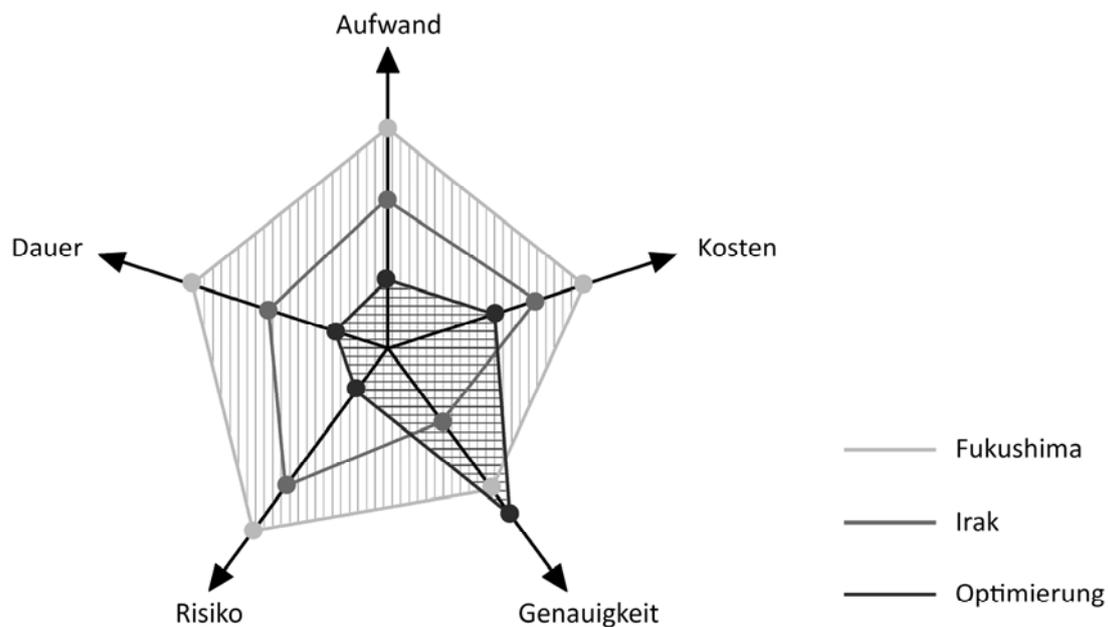


Abbildung 2: Darstellung der Faktoren: Dauer, Aufwand (Menschen), Kosten, Genauigkeit und Risiko in zwei Fallbeispielen sowie in einem optimalen Zustand<sup>8</sup>

Aus den obengenannten Faktoren können folgende Thesen abgeleitet werden:

1. Zugänglichkeitsbeschränkung und damit verbundene Erreichbarkeitsschwierigkeiten lassen den Prozess in Verzug geraten. Das ist vor allem im Fall einer Freisetzung von Schadstoffen von Bedeutung.
2. Fehlende Quellen und Mangel an vollständigen Datenbanken erschweren das Treffen der richtigen Entscheidungen und führen bei Planern zu Unsicherheit. Deshalb sollte eine vollständige Datenbank alle notwendigen Informationen des betroffenen Gebiets

<sup>8</sup> Eigene Darstellung, Daten beziehen sich auf reconstruction and investment, part 1 (2018) und auf Landeszentrale für politische Bildung Baden-Württemberg, Katastrophe von Fukushima

beinhalten, wie zum Beispiel die Anzahl der beschädigten Gebäude, deren Position, die Art der Beschädigung und die mögliche Erreichbarkeit dieser Gebäude.

3. Das Kerndreieck des Prozesses besteht aus Dauer, Kosten und Aufwand. Diese werden auch die wirtschaftlichen Faktoren genannt. Dazu gehören aber ebenso die damit einhergehenden Risiken und die benötigte Genauigkeit. Alle fünf Elemente repräsentieren die Wirtschaftlichkeit. Die Optimierung des Zusammenhangs dieser Elemente führt zur deutlichen Verbesserung in Planung, Ausführung und bei den Endergebnissen.
4. Die vorhandenen Auswertungssysteme basieren auf menschlichen Entscheidungen und sind daher aufwändig und langsam, was den Wiederaufbauprozess beeinträchtigt.

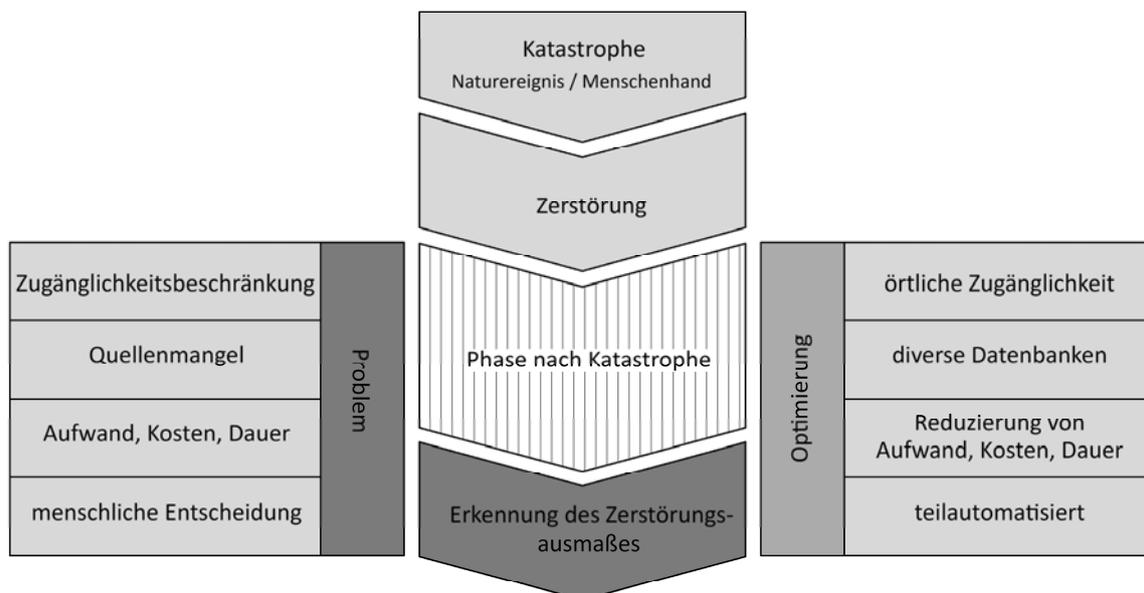


Abbildung 3: grafische Darstellung des Entwicklungsverlaufs einer Katastrophe, mögliche Probleme und Lösungsansätze bei der Bestimmung von dadurch entstandenen Schäden<sup>9</sup>

### 1.3 Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die, durch Behandlung und Untersuchung der vorbenannten Thesen, Entwicklung eines auf „Maschinen Learning“<sup>10</sup> basierten Bewertungssystems zur Ermittlung des Zerstörungsausmaßes in verschiedenen Katastrophengebieten, das die

<sup>9</sup> Eigene Darstellung

<sup>10</sup> Maschinelles Lernen ist ein KI-Verfahren und wird im Kapitel „Begriffsdefinitionen“ erläutert.

Grundlage und Basis für spätere Entscheidungen im Hinblick auf Wiederaufbau, unter Berücksichtigung weiterer wirksamer und notwendiger Faktoren, bildet.

Das Bewertungssystem benötigt mindestens eine der zugrunde liegenden Informationsquellen, wie zum Beispiel aktuelle Fotoaufnahmen, Luftbilder, Punktwolkendateien oder vorherige Bestandspläne und Katasterkarten. Der Grad der Genauigkeit steigt bei Verwendung mehrerer der vorgenannten Quellen. Das entwickelte Bewertungssystem sorgt im Endeffekt für eine Senkung des Aufwands bei der Ermittlung des Schadensmaßes an Gebäuden in Katastrophengebieten. Es soll Kosten, Zeit und Risiken während der Analysephase reduzieren, gleichzeitig soll die Bearbeitungsgeschwindigkeit sowie die Genauigkeit der Daten verbessert werden. Das System bietet diverse Optionen der Nutzungsmöglichkeiten verschiedener Zielgruppen und ermöglicht einen schnellen digitalen Austausch von Daten bei einer Bedarfskooperation innerhalb der unterschiedlichen aufgeführten Sektoren. Darauf aufbauend kann eine wirtschaftliche Analyse anhand der ermittelten Ergebnisse berechnet werden.

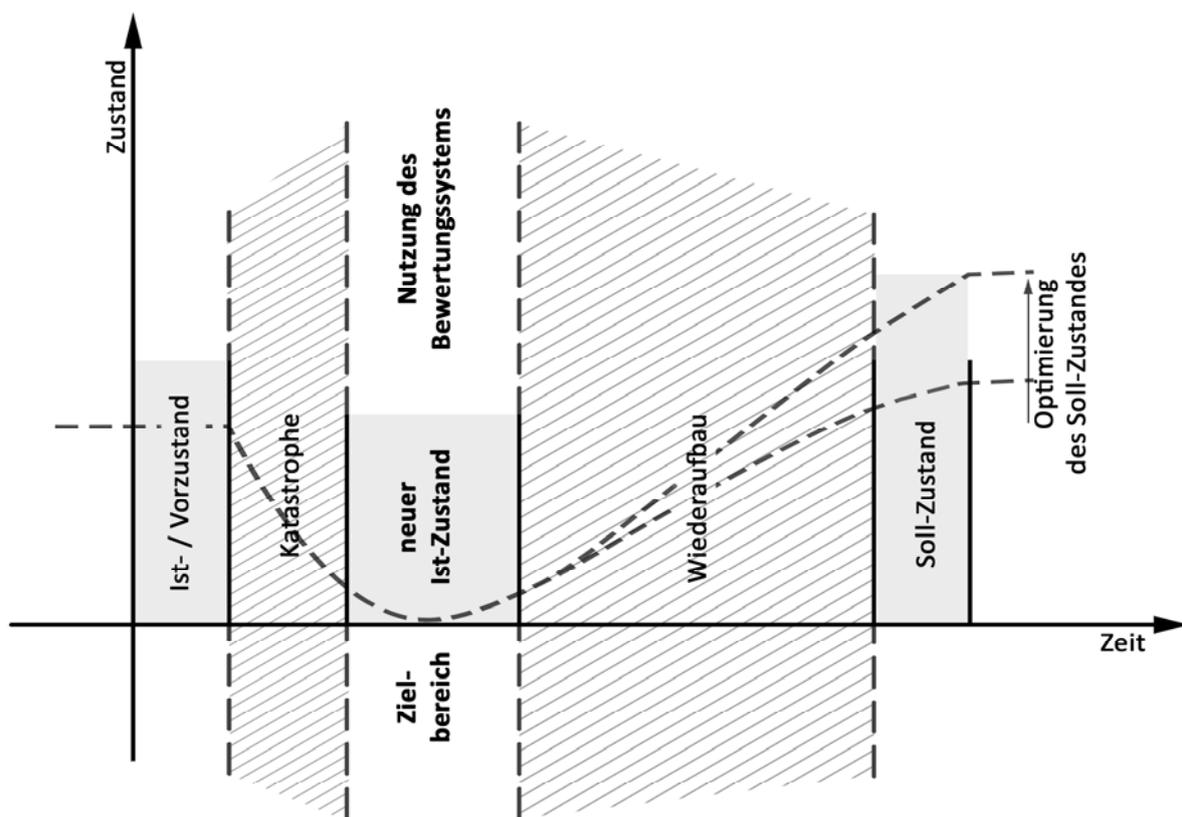


Abbildung 4: Entwicklungsverlauf einer Katastrophe zwischen Vor- und Soll-Zustand. Der Zielbereich dieser Forschung befindet sich in der Zeit nach der Katastrophe<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Eigene Darstellung

## 1.4 Zielgruppen der Forschungsarbeit

Die vorliegende Arbeit richtet sich mit variierender praxisorientierter Verwendung an mehrere Zielgruppen. Die angesprochenen Gruppen gliedern sich wie folgt:

- Öffentliche Hand, Regierungen und Behörden
- Neutrale, eigenständige und Hilfsorganisationen
- Private Hand, wie zum Beispiel eventuell betroffene juristische Personen, Fachleute und private Unternehmen
- Beteiligte diverser Fachrichtungen, Dienstleistungs- und Versicherungsunternehmer, die eigenständige sowie gemeinsame Arbeit mit anderen Beteiligten leisten
- Andere Interessenten und Beteiligte, wie zum Beispiel internationale Investoren, Bauunternehmen, Architekten und Bauingenieure.

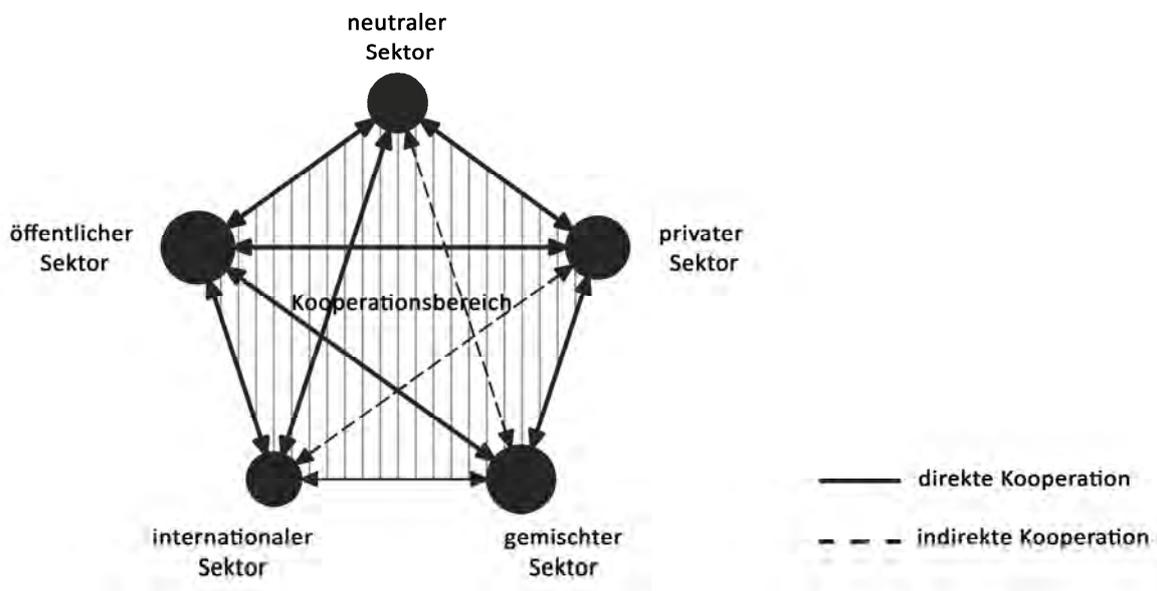


Abbildung 5: grafische Darstellung der Zielgruppen dieser Forschungsarbeit und deren gegenseitiges Kooperationsverhältnis<sup>12</sup>

Das Bewertungssystem als Resultat dieser Arbeit dient den oben genannten Zielgruppen als hilfreiches Werkzeug und sorgt für einen möglichst schnellen und einfachen Datenaustausch zur weiteren Bearbeitung zwischen den beteiligten Parteien. Das System kann nach Bedarf für Erfassungs-, Statistik- und/oder Stochastik-Zwecke verwendet werden und liefert das Resultat je nach Bedarf in verschiedenen Formen, wie zum Beispiel visuell oder tabellarisch. Der Sinn dieses Systems ist die Vereinfachung der notwendigen Kooperationen zwischen den

<sup>12</sup> Eigene Darstellung

unterschiedlichen beteiligten Sektoren, um die erforderlichen Maßnahmen in kürzester Zeit zu erfassen, festzulegen und umzusetzen.

### **1.5 Eingrenzung des Themas**

Die Möglichkeiten für eine Bestimmung des Zerstörungsausmaßes in Gebieten, welche durch Naturkatastrophen oder durch Menschen herbeigeführte Zerstörungen betroffen wurden, hängen von der Art bzw. Schwere der Ereignisse, wie zum Beispiel Erdbeben, Hurrikane oder Kriege, sowie von den Zerstörungsbereichen, wie zum Beispiel Gebäuden und Infrastrukturen, ab. Ein Gesamtbild des Zerstörungsausmaßes stellt im Endeffekt einen notwendigen Schritt für die späteren richtigen Maßnahmen dar, welche zum stabilen Wiederaufbau führen. Die Gesamtheit der Schäden kann in der vorliegenden Arbeit, wegen der nahezu unbegrenzten Vielfalt und Verbreitung nicht berücksichtigt werden. Diese Forschungsarbeit befasst sich ausschließlich mit der Ermittlung des Schadengrads an Gebäuden im Einzelnen oder in kleinen Gruppen und nicht mit der Schadenermittlung anderer Arten von betroffenen Bereichen, wie zum Beispiel Wälder oder Infrastrukturen. Sie stellt aber einen wichtigen Ansatz für weitere Entwicklung mit dem Ziel einer genaueren Betrachtung des Schadenausmaßes in dem gesamten betroffenen Gebiet dar und dient gleichzeitig zur Kooperation bei der Auswertung der Ergebnisse von anderen Diensten sowie Software, die andere Schäden an Gebäudekonstruktionen und Infrastrukturen ermitteln.

Die Realisierung dieser Möglichkeit wird zum Schluss dieser Arbeit in dem Kapitel Ausblick näher beschrieben.

### **1.6 Methodik**

Die unter Problemdefinition bezeichneten Thesen und die daraus resultierenden Ziele, unter Berücksichtigung der diversen Interessen der einzelnen Zielgruppen sowie deren gemeinsamen Kooperationsbereich, bilden den Kern dieser Forschungsarbeit und dienen der Fundierung, welche die Arbeitsstruktur verdeutlicht und definiert.

Die Methodik des Arbeitsverlaufs lässt sich in sechs Phasen einteilen. Zuerst kommt die Vorbereitungsphase, danach folgt die Eingabephase, welche die notwendigen Dateien für die Bearbeitungsphase liefert. Daraus ergibt sich die Bewertungsphase und schlussendlich resultieren daraus die Erprobungsphase und die Ergebnisse. Die Endphase befasst sich mit der Validierung des entwickelten Bewertungssystems und dessen möglichem Einsatz nach der Erfüllung der notwendigen praktischen Voraussetzungen.

### Vorbereitungsphase

Diese Phase setzt sich zuerst mit den Literaturrecherchen über den Umgang mit Katastrophen und Desastern verschiedener Typen auseinander. Darüber hinaus wird über die diversen verwendeten Verfahren zur Ermittlung eines Zerstörungsgrads als Grundlage für den Wiederaufbau, sowie die davon abhängigen Techniken geforscht. Andere Techniken, die zum Teil oder noch kaum bezüglich dieses Bereichs in Frage kommen, werden ebenso aufgeführt.

### Eingabephase

Abhängig von der Vorbereitungsphase und dem festgesetzten Ziel dieser Forschungsarbeit wurden diverse Daten-Typen ausgewählt, gesammelt und analysiert.

Diese gliedern sich in Bilder, Vektorpläne sowie gescannte Laserdaten, welche aus Vektor-Punktwolken bestehen.

### Bearbeitungsphase

In dieser Phase wird das Sortieren sowie das Analysieren der ausgewählten Daten festgelegt. Als Resultat dieser Phase werden Datenbanken unterschiedlicher Typen festgestellt, welche für einen schnellen Zugriff in der Bewertungsphase sorgen.

### Bewertungsphase

Diese Phase befasst sich mit der Entwicklung mehrerer Bewertungssysteme zur automatischen und maschinellen Analyse aller aus Datenbanken sortierten Daten. Jedes der entwickelten Systeme greift auf Daten einer einzelnen Datenbank zu und verwendet eine feste Methodik, welche entweder durch einen direkten Vergleich oder durch maschinelle Erkennung-Klassifizierung funktioniert.

### Erprobungsphase

Diese Phase setzt sich mit der Kombination der diversen einzeln entwickelten Bewertungssysteme auseinander. Daraus sollte sich ein teilautomatisiertes Stand-alone-Auswertungssystem ergeben. Dieses kann auf einzelne, mehrere oder alle vorher erstellten Datenbanken nach Bedarf zugreifen. Dieses Bewertungssystem liefert Ergebnisse auch für den Fall der Unvollständigkeit von Daten in den Datenbanken oder teilweise fehlenden Datenquellen, wie zum Beispiel fehlenden Bestandsplänen oder nicht vorhandenen Punktwolken des Vorzustands. Bei Unvollständigkeit der Datenbanken kann die Genauigkeit des gelieferten Resultats geringfügig beeinträchtigt werden. Die Abweichung bleibt aber unbedeutend, da proportional keine direkte Verbindung zwischen der Genauigkeit des Ergebnisses und der Menge von

Quellen entsteht. Sie dient der Vollständigkeit der Datenbanken und der Validierung des gelieferten Resultats. Alle notwendigen Informationen und Anleitungen dieses Bewertungssystems werden in dieser Phase weiterhin beschrieben.

### Validierungsphase

In dieser Phase wurden die in dieser Arbeit entwickelten Bewertungssysteme auf ihren möglichen praktischen Einsatz überprüft.

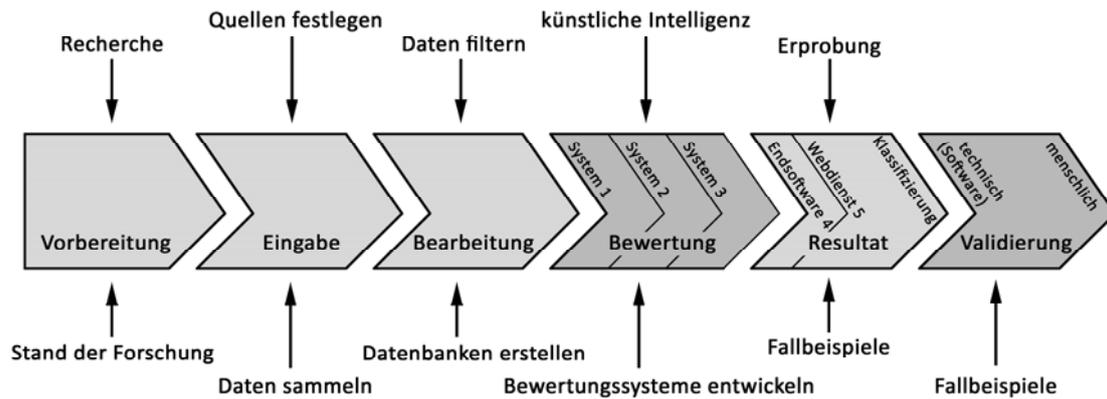


Abbildung 6: Sechsstufige Methodik dieser Arbeit<sup>13</sup>

## 1.7 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit teilt sich in elf Kapitel. Jedes Kapitel endet mit einer gesonderten Zusammenfassung.

Nachdem im ersten Kapitel die Problemdefinition bei der zeitnahen Ermittlung des Schadenausmaßes an Gebäuden nach Katastrophen sowie die Zielsetzung für die notwendige Entwicklung eines teilautomatisierten Klassifizierungssystems der Gebäude dargestellt wurde, befasst sich das zweite Kapitel mit dem Stand der Forschung sowie dem Stand der Technik zur Verwendung schon bestehender oder in Entwicklung befindlicher, vielfältiger Verfahren zum Umgang mit der Nach-Katastrophenphase und zur Ermittlung von Schäden an Bauwerken und Gebäuden.

Hierauf aufbauend stellt das dritte Kapitel die für diese Arbeit signifikanten Begriffe sowie ihre Bedeutungen in Bezug auf die Zerstörungen an Gebäuden vor. Weitere notwendige Grundlagen für das Ziel dieser Forschung werden ebenso in diesem Kapitel definiert. Damit stellen die verwendeten Instrumente und die davon abhängigen Datenarten, Software und Programmierungsmethoden den Kern dieser Grundlagen dar. Diese werden im vierten Kapitel

<sup>13</sup> Eigene Darstellung

beschrieben. Die Festlegung und Erklärung dieser Grundlagen sorgt für ein einheitliches Verständnis dieser Arbeit und bildet den Zusammenhang mit allen kommenden Kapiteln.

Das fünfte Kapitel listet die eingesetzten Maßnahmen in Katastrophengebieten auf. Die auf diese Maßnahmen wirkenden Kriterien werden in demselben Kapitel beschrieben. Deren Bewertung erfolgt im sechsten Kapitel, wobei nur die für die Entwicklung der Softwares notwendigen Kriterien bewertet werden.

Im siebten Kapitel werden zahlreiche Daten und die dafür notwendigen technischen Instrumente für die Entwicklung dreier Analysemodelle zusammengeführt. Diese Modelle dienen der Filterung von Datenquellen sowie deren logischer Sortierung in drei Haupt-Datenbanken und stellen die Grundlagen für die Entwicklung des Schadenerkennungssystems. Anhand dieser drei Modelle werden im achten Kapitel drei diverse teilautomatisierte und selbsterkennungsfähige Computersysteme entwickelt, welche die Gebäude gemäß deren äußerem Schadenausmaß klassifizieren können. Jedes dieser entwickelten Systeme verknüpft sich mit einer passenden Datenbank und kann mit einer durch Programmierung festgelegten Methodik mit einer Art der unterschiedlichen verfügbaren Daten arbeiten. Darauf aufbauend werden in demselben Kapitel zwei weitere Softwares in Form einer Stand-alone-Software und eines Webdienstes entwickelt. Die Webdienstapplikation ermöglicht zusätzlich zur Klassifizierung der Gebäude in drei Kategorien eine automatische Geopositionierung dieser auf einer interaktiven geografischen Karte. In demselben Kapitel werden die Anwendungsmethodik und Beschreibungen aller entwickelten Systeme erläutert. Im Anschluss an dieses Kapitel wird die Möglichkeit einer praxisorientierten Anwendbarkeit des Systemverfahrens anhand einiger fiktiver sowie realer Beispiele präziser dargestellt.

Im zehnten Kapitel wird ein Validierungsverfahren entwickelt und beschrieben, welches die Richtigkeit der entwickelten Systeme überprüfen soll. Im elften Kapitel werden zahlreiche praxisbezogene Fallbeispiele zur Erprobung sorgfältig ausgewählt und präsentiert.

Im elften Kapitel wird die Nutzbarkeit des erstellten Systems unter Betrachtung von anderen, sich auf die Nach-Katastrophenphase auswirkenden Faktoren, in verschiedenen praxisorientierten Einsatzbereichen näher untersucht. Die gegebenenfalls neuen Forschungsperspektiven und -gebiete werden ebenso im Ausblick zum Schluss dieses Kapitel erläutert.

Die obligatorischen Quellenangaben, Verzeichnisse und Anhänge schließen die vorliegende Arbeit ab.

## Kapitel 2 - Stand der Forschung

### 2.1 Aktuelle Forschungen und Pilotprojekte im Bereich Katastrophen

Die folgenden Forschungen und Pilotprojekte in diesem Feld sollen exemplarisch den allgemeinen Stand der Forschung zum Krisenmanagement zur Verwendung von Laserscanning bei der Zerstörungsaufnahme nach einem Disaster und zur künstlichen Intelligenz veranschaulichen. Das Hauptaugenmerk liegt zunächst auf der globalen Forschung mit Beispielen verschiedener Methoden und Prozesse zur Ermittlung des Zerstörungsgrads.

Das Schadensbewertungsverfahren ist ein wesentlicher Bestandteil der heutigen Katastrophenhilfe und -bewältigung. Die in dieser Phase gesammelten Informationen sind nicht nur für die Zuweisung von Geldern und Hilfe wichtig, sondern können auch für ein effektives Notfallmanagement, Hilfsmaßnahmen und den Wiederaufbau sowie für eine wirksame Wiederaufbaupolitik verwendet werden<sup>14</sup>. Nach einer Katastrophe stehen die Regierungen vor der Herausforderung, die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen zu bestimmen, um die Tragweite des Ereignisses abzuschätzen, Prioritätssektoren für den Wiederaufbau zu ermitteln, unterschiedliche geografische Auswirkungen zu verstehen und relative öffentliche Schäden gegenüber privaten Schäden zu erfassen<sup>15</sup>. Für diesen Zweck ist das *Post-Disaster Needs Assessment* (PDNA) (Deutsch: *Bedarfsschätzung* für die Zeit nach der Katastrophe) eine international anerkannte Methode zur Bestimmung der physischen Schäden, der wirtschaftlichen Verluste und der Kosten für die Deckung des Erholungsbedarfs nach einer Naturkatastrophe durch einen von der Regierung geführten Prozess<sup>16</sup>.

Nach *Gunasekera* wurde diese internationale Methode von der Weltbank, den Vereinten Nationen sowie von der Europäischen Kommission festgestellt und anerkannt und wird seit 2018 mit unterschiedlichen Tools und Instrumenten durchgeführt. Sie wurde 2018 zum Verbesserungszweck evaluiert. Bestehende Ansätze und Werkzeuge, die zur Schadensbewertung nach einem Katastrophenfall eingesetzt werden, variieren allerdings erheblich in

---

<sup>14</sup> Eigene Übersetzung aus dem Englischen nach Autor: Henry B. Hodde III, *The damage assessment process: evaluating coastal storm damage assessments in Texas after hurricane Ike*, The University of Houston Clear Lake (2012)

<sup>15</sup> vgl. Rashmin Gunasekera, *Methodology Note on the Global Rapid post-disaster Damage Estimation (GRADE) approach*, Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (2018), Seite 2

<sup>16</sup> Eigene Übersetzung aus dem Englischen: T. Jeggler, I. writer, M. Boggero: *Post-Disaster Needs Assessment (PDNA): Lessons from a Decade of Experience* (2018)

Bezug auf die Implementierungszeit, den Detaillierungsgrad, den sie liefern, und ihre Genauigkeit<sup>17</sup>.

Da Zeit bei der Bewertung und Reaktion eindeutig von entscheidender Bedeutung ist, wurde - nach *Gunasekera* - das *Grade (Global RAPid post-disaster Damage Estimation)*, auf Deutsch: Globaler Schneller Ansatz zur Schätzung von Schäden nach Katastrophen) von der Weltbank entwickelt. Ansätze und Instrumente von GRADE können innerhalb kurzer Zeit - ca. zwei Wochen - den Schaden an Sachwerten und die damit verbundenen Wiederbeschaffungskosten quantifizieren. Diese Ansätze und Werkzeuge zielen darauf ab, die Effizienz der Wiederherstellungsbemühungen nach einem Notfall zu erhöhen und die Wiederaufbauaktivitäten besser zu koordinieren. Um den Schaden auf einer höheren Detailebene zu quantifizieren, werden auch Katastrophenrisikomodellierungsmethoden in Kombination mit historischen Schadensdaten, Daten zu Volkszählungen und sozioökonomische Erhebungen sowie Satellitenbilder, Drohnenmaterial und andere Medien verwendet.<sup>18</sup>

Der Ansatz priorisiert die Bereiche Wohnen und Infrastruktur, gefolgt von anderen Sektoren wie der landwirtschaftlichen Produktion, je nach Wunsch und kann direkte Schäden an Eigentum beurteilen; direkte Schadensschätzungen nach Wirtschaftssektoren; potenzielle Auswirkungen auf das Bruttoinlandsprodukt (BIP) und die Ökonomie abschätzen und im Fall von Erdbeben Schätzungen der menschlichen Opfer berechnen<sup>19</sup>.

Die Ansätze und Werkzeuge, die für das obengenannte Ziel eingesetzt werden können, entwickeln sich kontinuierlich. Eine der wertvollsten Quellen, um notwendige Informationen zu erhalten, sind die Erdbeobachtungssysteme, zu denen Satelliten- und Luftfernerkundung gehören, da sie kurz nach der Katastrophe ohne alle mit den Bodenbeobachtungen verbundenen Risiken erfasst werden können. Die Kombination dieser Informationen mit statistischen und Bodenbeobachtungsdaten trägt zu einer noch besseren Bewertung der physischen und menschlichen Schäden bei Katastrophen bei<sup>20</sup>.

---

<sup>17</sup> vgl. Rashmin Gunasekera, Methodology Note on the Global RAPid post-disaster Damage Estimation (GRADE) approach, Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (2018), Seiten 1 - 5

<sup>18</sup> Eigene Übersetzung aus dem Englischen nach Autor James Daniell, An innovation to Disaster Response: The Global RAPid-post-disaster Damage Estimation (GRADE) Approach, Geophysical Research Abstracts (2018), Seite 1

<sup>19</sup> vgl. Rashmin Gunasekera, Methodology Note on the Global RAPid post-disaster Damage Estimation (GRADE) approach, Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (2018) Seite 1

<sup>20</sup> Eigene Übersetzung aus dem Englischen nach Autor Alexey Trekin, Satellite imagery analysis for operational damage assessment in Emergency situations, Skolkovo institute of Science and technology (2018)

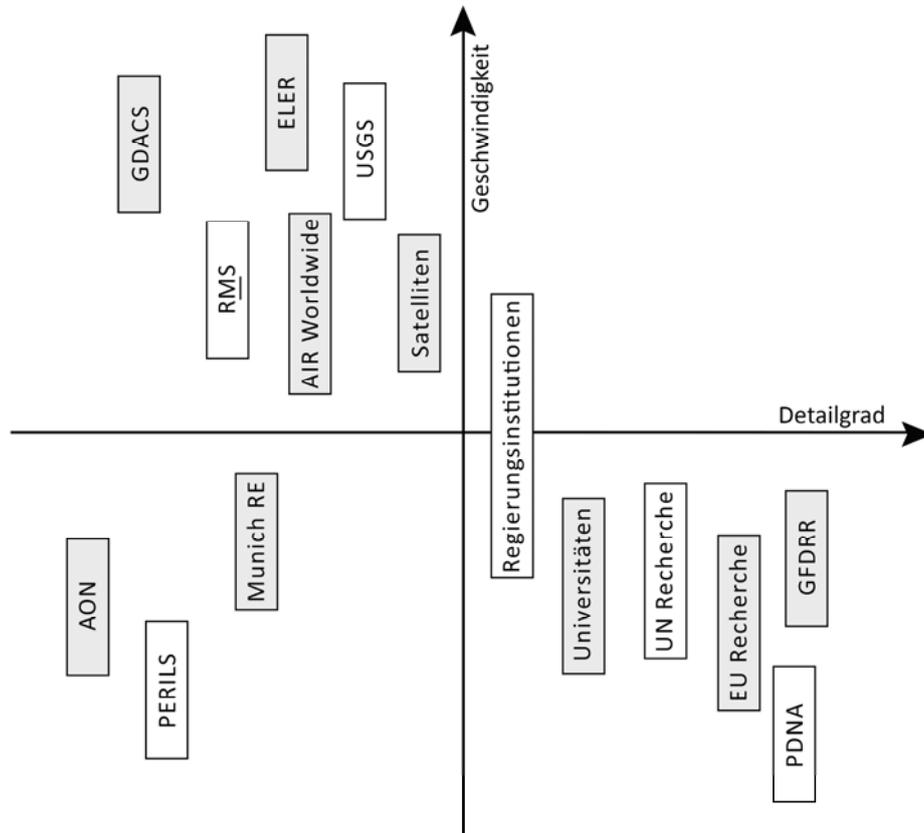


Abbildung 7: Verfügbare Informationen von internationalen Datenquellen, nach Naturkatastrophen, Detaillierungsgrad und Zustellgeschwindigkeit kategorisiert<sup>21</sup>

Die Verfügbarkeit von Fernerkundungsdaten hat jedoch seine physikalischen (Bewölkung, Tageszeit oder Auflösung) sowie kommerziellen (Nutzungsbestimmungen und Kosten) Einschränkungen<sup>22</sup>.

Photogrammetrie ist eine andere Methode, um den Zerstörungsgrad zu ermitteln. In den USA wurde im „*Journal of the American Planning Association 2018*“ eine skalierbare, einfache und kostengünstige Methode entwickelt und veröffentlicht, mit der das Ausmaß der Schäden an Häusern und Neubauten fotografiert und bewertet werden kann. Dies wurde realisiert, indem sie vorhandene Schadensbewertungsmethoden neu ausrichteten, um Daten bereitzustellen, die mit GIS und anderen lokalen Daten verknüpft werden konnten, die den Planungsanforderungen entsprechen<sup>23</sup>.

<sup>21</sup> Eigene Darstellung, vgl. Rashmin Gunasekera, Methodology Note on the Global RApid post-disaster Damage Estimation (GRADE) approach, Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (2018), Seite 4

<sup>22</sup> Eigene Übersetzung aus dem Englischen nach A. Trekin, Satellite imagery analysis for operational damage assessment in Emergency situations, Skolkovo institute of Science and technology (2018) Seite 2

<sup>23</sup> vgl. M. A. Meyer, Using Photography to Assess Housing Damage and Rebuilding Progress for Disaster Recovery Planning, Journal of the American Planning Association (2018)

## 2.2 Aktuelle Forschungen der Laserscanning-Technologie

In den westlichen Industrienationen konzentriert sich die Forschung hauptsächlich auf die Verbesserung der Laserscanning-Technologie und auf die Erweiterung der Verbindung zwischen Architektur und Laserscanning. Ein Beispiel hierfür ist ein Projekt, das von der Firma *Bentley Systems* durchgeführt wurde und sich mit dem Wiederaufbau und der Restaurierung einer russischen orthodoxen Kirche in Tschechien befasst. Die Aufgaben und Ziele hierbei sind:

- die Bewertung der Tragfähigkeit der Konstruktion der Kirche
- die Bestandsaufnahme und Vermessung des derzeitigen Zustandes der Kirche
- die Erstellung nötiger Pläne für die künftigen Restaurierungsarbeiten

Mit der Verwendung des Laserscanners *FARO Focus 3D* wurde der Laserscanningprozess an der russischen orthodoxen Kirche in der tschechischen Stadt „*Karlovy Vary*“ ausgeführt. Danach wurden mit der Nutzung der Punktwolken-Software, der so genannten „*Bentley Pointools*“, die 3D-Bilder erzeugt. Die Software liefert Bilder, Animationen und Pläne mit Koordinaten, sowie Schnitte und Ansichten des Bauwerks, die als künftige Grundlagen für die Restaurierungsarbeiten der Kirche dienen<sup>24</sup>.

Die Verwendung von Laserscanning wurde in letzten Jahren deutlich weiterentwickelt und wird derzeit bei den weltführenden Unternehmen in diversen Bereichen, wie zum Beispiel Vermessung, Bau, Schalungen und Industrie angewendet. Dank neu entwickelten Robotern und Software besteht die Möglichkeit, Aufnahmen aus der Luft sowie von festen Positionen auf dem Boden mit wenig Aufwand zu erledigen. Diese durch Drohnen oder Roboter aufgenommenen Daten können durch Software in Bilder, Punktwolken sowie 3D-Modelle umgewandelt werden und dienen der Bearbeitung von BIM Objekten. Das verwirklichte Projekt *Vermessungssystem Moselcopter* von der Firma „*Peri GmbH*“ (*Schalungen und Gerüste*) bietet den Kunden diese Möglichkeit bereits mit sehr hoher Genauigkeit in der Realität an<sup>25</sup>.

Ein weiteres Beispiel findet sich in der italienischen Stadt *L'Aquila*, wo die verbleibenden byzantinischen Stadtmauern dokumentiert werden sollten. Nach *Barsanti* wurde ein 3D-Modell dieser Mauern durch Verwendung von einem *Leica HDS 7000* Laserscanner angefertigt. Insgesamt wurden 22 Scans durchgeführt, was zu einem Datensatz von ca. 96 Millionen Punkten führte. Bei den ersten sieben Scans wurde die Außenperspektive der Anlage aufgenommen. Die verbleibenden fünfzehn Scans erfassten Daten innerhalb des Standorts, um weitere

---

<sup>24</sup> vgl. Bentley Pointools Supports Reconstruction of Russian Orthodox Church, Seiten 1 - 2

<sup>25</sup> vgl. Peri, Vermessungssystem Moselcopter. <https://www.peri.de/produkte/planungssoftware-apps-tools/moselcopter-raumvisualisierung-vermessungssysteme.html>, abgerufen: 12.05.2019

Details der Strukturen zu erhalten.<sup>26</sup> Die Laserscan-Daten wurden mit drei verschiedenen Programmen, d. h. Geomagic, Cyclone und Polyworks, verarbeitet. Anschließend wurden die registrierten Punktwolken in ein Netz umgewandelt und die Löcher automatisch gefüllt. Schließlich wurden die archäologischen Abschnitte extrahiert, um digitalisiert zu werden<sup>27</sup>.

Bislang werden Verfahren wie die Gebäudebewertung nach einem Erdbeben von Ingenieuren und Architekten durchgeführt, die zahlreiche Gebäude in einem großen Gebiet, mit hohem Zeit- und Kostenaufwand und mit einem schwer zu kalkulierendem Risiko von Nachwirkungen, inspizieren<sup>28</sup>.

Ziel einer Studie in Italien war es, die Wahrnehmungs- und Manipulationsmöglichkeiten des WALK-MAN-Roboters<sup>29</sup> für die Gebäudebewertung in von Erdbeben betroffenen Gebieten zu nutzen. Die Hauptidee besteht darin, den Roboter als Alter Ego des menschlichen Bedieners wirken zu lassen, der dank eines Virtual-Reality-Geräts und eines auf Trägheitssensoren basierenden Body-Tracking-Systems den Roboter teleoperiert<sup>30</sup>.

Das Team der Studie konnte erfolgreich vier Räume visuell inspizieren, wobei mehrere Manipulationsaktivitäten durchgeführt wurden, und zwar sowohl zum Abrufen von Objekten als auch zum Öffnen von Wegen (z. B. Türöffnungen). Schließlich war die Bewertung der vor Ort anwesenden technischen Experten sehr positiv und es wurde bestätigt, dass diese Technologie ein echtes Problem erfolgreich angehen kann. Darüber hinaus werden visuelle Informationen über eine zentrale Kontrollstation fernab der gefährlichen Umgebung gesammelt und von Experten ausgewertet<sup>31</sup>.

### **2.3 Aktuelle Forschungen der Künstlichen Intelligenz**

Die aktuellen Forschungen des Bereiches KI stellen die Fähigkeiten der Neuronalen Netze bezogen auf Schrift- und Sprachenerkennung, Klassifizierung diverser Objekte anhand von Fotoaufnahmen, medizinische Zwecke, wie zum Beispiel die Frühentdeckung von Erkrankungen, dem Bereich autonomes Fahren sowie andere vielfältige Bereiche dar.

---

<sup>26</sup> vgl. Barsanti, Photogrammetry and Laser Scanning for Archaeological Site 3D Modeling -Some Critical Issues, Italy. Seite 4

<sup>27</sup> vgl. Barsanti, Photogrammetry and Laser Scanning for Archaeological Site 3D Modeling -Some Critical Issues, Italy. Seite 5

<sup>28</sup> vgl. F. Negrello, WALK-MAN Humanoid Robot: Field Experiments in a Post-earthquake Scenario, Italy. Seiten 3 - 9

<sup>29</sup> Eigene Übersetzung aus dem Englischen: WALK-MAN: Whole-body Adaptive Locomotion and Manipulation, <https://www.walk-man.eu/project/summary>, abgerufen: 03.08.2019

<sup>30</sup> vgl. F. Negrello, WALK-MAN Humanoid Robot: Field Experiments in a Post-earthquake Scenario Seite 5

<sup>31</sup> vgl. F. Negrello, WALK-MAN Humanoid Robot: Field Experiments in a Post-earthquake Scenario Seite 6

Weltführende Unternehmen, wie zum Beispiel Google, IBM und Microsoft sowie zahlreiche Universitäten und Forschungszentren entwickeln die bestehenden Funktionen der KI ständig weiter und erweitern die KI um neue Funktionen.

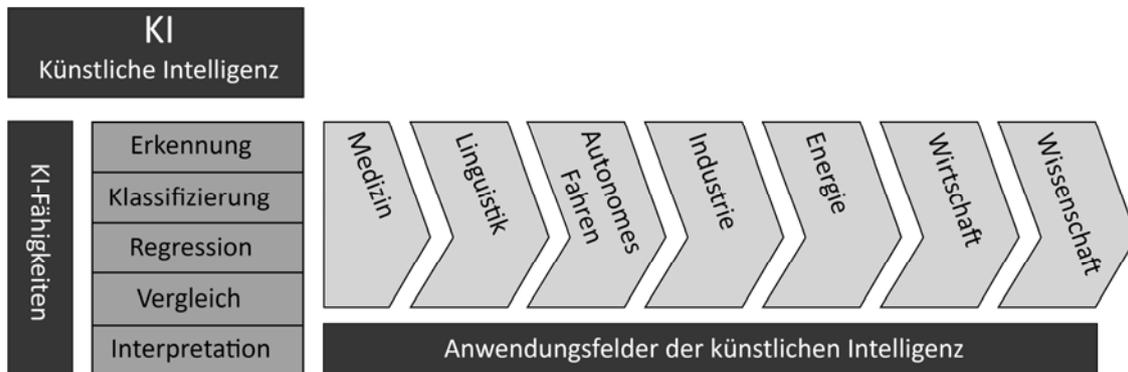


Abbildung 8: grafische Darstellung der Fähigkeiten und der Anwendungsfelder der künstlichen Intelligenz<sup>32</sup>

Die genaue Erkennung von Objekten in lasergescannten 3D-Punktwolken stellt eine sehr große Herausforderung im Bereich KI und daraus entwickelten Anwendungen dar, wie zum Beispiel im Bereich autonomes Fahren und virtueller Realität, wobei eine Erkennung, Klassifikation und Regression der Umgebung in Echtzeit verarbeitet werden muss. Deswegen basieren die Auswertungen von LiDAR-Punktwolken in KI-Netzen auf handgefertigten Funktionen und nicht auf maschinellen Lernfunktionen.

Apples selbstfahrendes Auto iCar bietet ein interessantes Pilotprojekt, welches direkte Erkennung von Objekten in LiDAR-Punktwolken durch ein Faltungsneurales Netzwerk (*Convolutional Neural Network, CNN*) Daten in Echtzeit auswertet. Das Forschungspapier von *Yin Zhou und Oncel Tuzel* bildet den Kern des Pilotprojekts. Dieses basiert auf einem entwickelten *CNN-Netz VoxelNet*, welches eine Punktwolke in gleichmäßig beabstandete 3D-Voxel unterteilt und eine Gruppe von Punkten in jedem Voxel<sup>33</sup> durch die neu eingeführte Voxel-Feature-Encoding-Schicht (VFE) in eine einheitliche Feature-Darstellung umwandelt. Auf diese Weise wird die Punktwolke als beschreibende volumetrische Darstellung betrachtet und mit einem neuronalen Netz verbunden<sup>34</sup>.

<sup>32</sup> Eigene Darstellung

<sup>33</sup> Voxel entspricht einem Gitterpunkt in einem 3D-Gitter. Dies gleicht einem Pixel in einer 2D-Rastergrafik.

<sup>34</sup> vgl. Yin Zhou, Oncel Tuzel, VoxelNet: End-to-End Learning for Point Cloud Based 3D Object Detection. The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2018, pp. 4490-4499

Das Karlsruher FZI "Forschungszentrum Informatik" entwickelt kontinuierlich auf Künstlicher Intelligenz basierende Kognitive Systeme im Bereich autonomes Fahren. Eines davon ist das "CoCar – Das instrumentierte Testfahrzeug", welches nicht nur eine Verbesserung der Sicherheit und des Komforts, sondern auch eine Steigerung der Energieeffizienz anbietet. Das Pilotprojekt basiert auf einem serienmäßigen Audi Q5, welcher mit integrierter Sensorik und für automatisiertes Fahren geeigneter Hardware ausgerüstet wurde. Die Distanz zu anderen Objekten wird von Laserscannern und *Time-of-flight-Kameras* gemessen. Ein zusätzlicher auf dem Dach befestigter Laserscanner mit 360 Grad Rundumsicht kann optional zur Verstärkung des Selbstfahrens verwendet werden. Die Position des Fahrzeugs wird durch eine inertielle Messeinheit und zwei im Fahrzeugdach integrierte GPS-Antennen mit Genauigkeiten im Zentimeterbereich in Echtzeit während des Fahrens ermittelt<sup>35</sup>.

*Die Baustelle wird Smart* ist ein in der Entwicklung befindliches Projekt des Baumaschinenherstellers *Komatsu*, welches zum Teil realisiert wurde. Bezogen auf künstliche Intelligenz und smarte Geräte entwickelt *Komatsu* ein System mit Plattform zur Echtzeitverwaltung und -überwachung von Bauarbeiten der gesamten Baustelle. Die Arbeit soll anhand des Systems mit einer geringeren Anzahl von Menschen und Baumaschinen durchgeführt werden. Drohnen bieten nach Bedarf Aktualisierung von Baustellenplänen an<sup>36</sup>.

---

<sup>35</sup> vgl. Jahresbericht 2016 | 2017 und Jahresbericht 2017 | 2018 - FZI Forschungszentrum Informatik, <https://www.fzi.de/forschung/projekt-details/cocar/>

<sup>36</sup> vgl. Komatsu, Discover intelligent machine control. <https://www.komatsu.eu/de>

## **Kapitel 3 - Begriffsdefinition**

Eine eindeutige Erläuterung einiger Begriffe gemäß ihren vielfältigen Bedeutungen im Sprachgebrauch sowie ihre konkrete Anwendung in der vorliegenden Arbeit sorgt für ein adäquates Verständnis dieser Forschung. Folgende Begriffe werden in diesem Kapitel definiert:

- Krise, Katastrophe und Zerstörung
- Künstliche Intelligenz, maschinelles-, Deep Lernen und Neuronale Netze
- Laserscanning, Vektor- und Rasterdateien

Diese Begriffe sind für diese Arbeit von zentraler Bedeutung und variieren zwischen fest theoretischen- und rein fundierten technischen Begriffen, welche in den kommenden Kapiteln häufiger wiederverwendet werden.

### **3.1 Krisen und Katastrophen**

Krise, Notfall, Extremereignis oder Katastrophe stellen sich als komplexe Phänomene dar und werden im täglichen, allgemeinen Sprachgebrauch sowie in Medien und teilweise im wissenschaftlichen Sprachgebrauch häufig diametral angewendet<sup>37</sup>. Diese Ereignisse verursachen während, beziehungsweise nach ihrem Eintreten erhebliche menschliche und materielle Schäden. Diese stellen existentielle Herausforderungen dar und können von der Kultur, der Entwicklung der betroffenen Gesellschaften sowie von den Normen der betroffenen Länder nicht getrennt werden<sup>38</sup>.

#### **3.1.1 Definition einer Krise**

Eine Krise definiert sich als kritische Phase eines durch menschliche Intervention auf sozialer, wirtschaftlicher oder politischer Ebene geplanten Prozesses. Sie entsteht ungeplant, meistens absehbar und Risiken außer Acht lassend durch lokale, regionale, überregionale, nationale oder internationale Entwicklungen, welche den geplanten Prozess beeinflussen und diesen in seiner Gänze gefährden können. Dies führt zu einer scharfen Wende, meist negativer Art, des Entwicklungsverlaufs. Die Auswirkung von Krisen kann häufig während des Krisenverlaufs oder während des Krisenhöhepunkts die Ausgangsgebiete überschreiten und bis auf internationale Ebene wirken.

---

<sup>37</sup> vgl. Grün, Schenker-Wicki: Katastrophenmanagement: Grundlagen, Fallbeispiele und Gestaltungsoptionen aus betriebswirtschaftlicher Sicht (2014), Seite 9

<sup>38</sup> vgl. Grün, Schenker-Wicki: Katastrophenmanagement: Grundlagen, Fallbeispiele und Gestaltungsoptionen aus betriebswirtschaftlicher Sicht (2014), Seite 11

Die Folgen einer Krise sind durch die, während des Krisenverlaufs getroffenen Entscheidungen, ambivalent<sup>39</sup> und zeigen Wirkung in diversen Gebieten und Ebenen. Diese müssen nicht unbedingt zwangsläufig negativ sein, sondern können durchaus, trotz entstandener Schäden beziehungsweise Beeinträchtigungen, zu einer positiven Veränderung führen<sup>40</sup>. Andererseits kann sich der Krisenverlauf jedoch durch mangelhafte beziehungsweise fehlende Intervention zu einer Katastrophe mit unabsehbaren und enormen Schäden entwickeln.

Solch eine Wandlung der Krise zur Katastrophe entsteht durch einen mehrphasigen Entwicklungsverlauf der Krise und entwickelt sich erst dann zu einer Katastrophe, wenn: die lokalen Maßnahmen zur Krisenbewältigung nicht ausreichen, der Bestand der betroffenen Organisation in ihrer vorherigen Form nicht mehr rettbar ist und die entstandenen Schäden kontinuierlich steigen<sup>41</sup>. Die Schäden können in persönlichen, wirtschaftlichen oder materiellen Bereichen zutreffen.

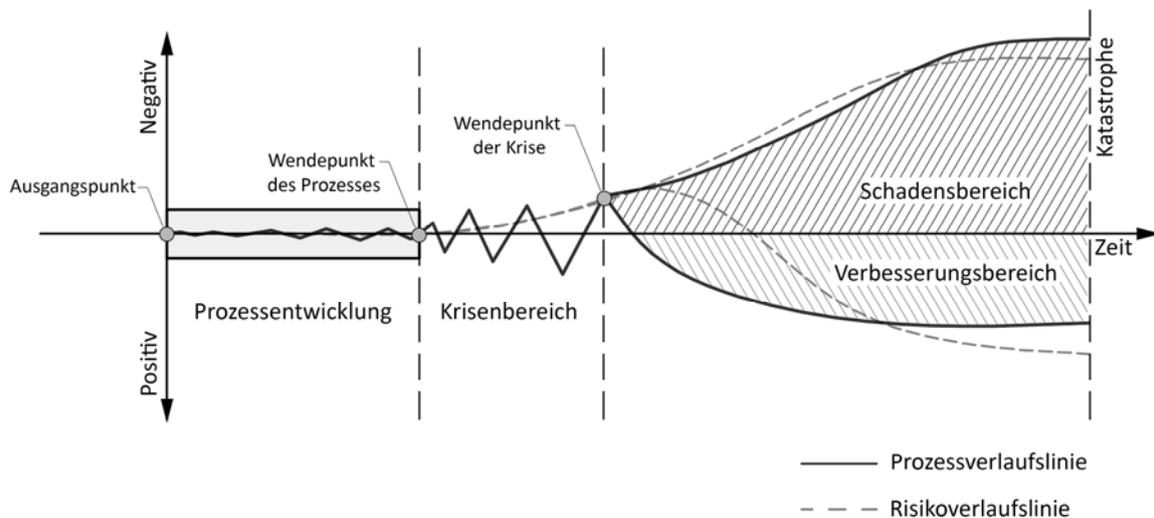


Abbildung 9: Entwicklungsverlauf einer Krise, mögliche Wandlung von Krise zu Katastrophe im Verhältnis zum Risikoverlauf<sup>42</sup>

### 3.1.2 Definition einer Katastrophe

Die Definition einer Katastrophe variiert bezogen auf Länder, Rückversicherer, Hilfsorganisationen sowie Natur- und Sozialwissenschaftler spürbar<sup>43</sup>. Demnach unterscheidet sich eine

<sup>39</sup> vgl. Thiessen, A: Organisationskommunikation in Krisen (2011), Seite 63

<sup>40</sup> vgl. Grün, Schenker-Wicki: Katastrophenmanagement: Grundlagen, Fallbeispiele und Gestaltungsoptionen aus betriebswirtschaftlicher Sicht (2014), Seite 7

<sup>41</sup> vgl. Grün, Schenker-Wicki: Katastrophenmanagement: Grundlagen, Fallbeispiele und Gestaltungsoptionen aus betriebswirtschaftlicher Sicht (2014), Seite 9

<sup>42</sup> Eigene Darstellung

<sup>43</sup> vgl. Jachs, S: Einführung in das Katastrophenmanagement (2011)

Katastrophe von einer Krise - nach *Grün/Schenker-Wicki* - hinsichtlich der daraus entstandenen Folgen, welche sich bei Katastrophen sehr negativ und nicht ambivalent darstellen. Andererseits können die Folgen der Krisen möglicherweise resilient und (in seltenen Fällen) positiv sein. Auch bei einer möglichen absehbaren und deutlichen Verbesserung durch einen stabil durchgeführten Wiederaufbau der durch Katastrophen betroffenen Gebiete, stellen die Konsequenzen der Katastrophen, gemäß der erheblichen entstandenen Kosten, Aufwand und Dauer, weiterhin negative Nachfolgefaktoren dar, die als schwerwiegende Herausforderung für eine angestrebte Stabilisierung des betroffenen Gebiets gelten<sup>44</sup>.

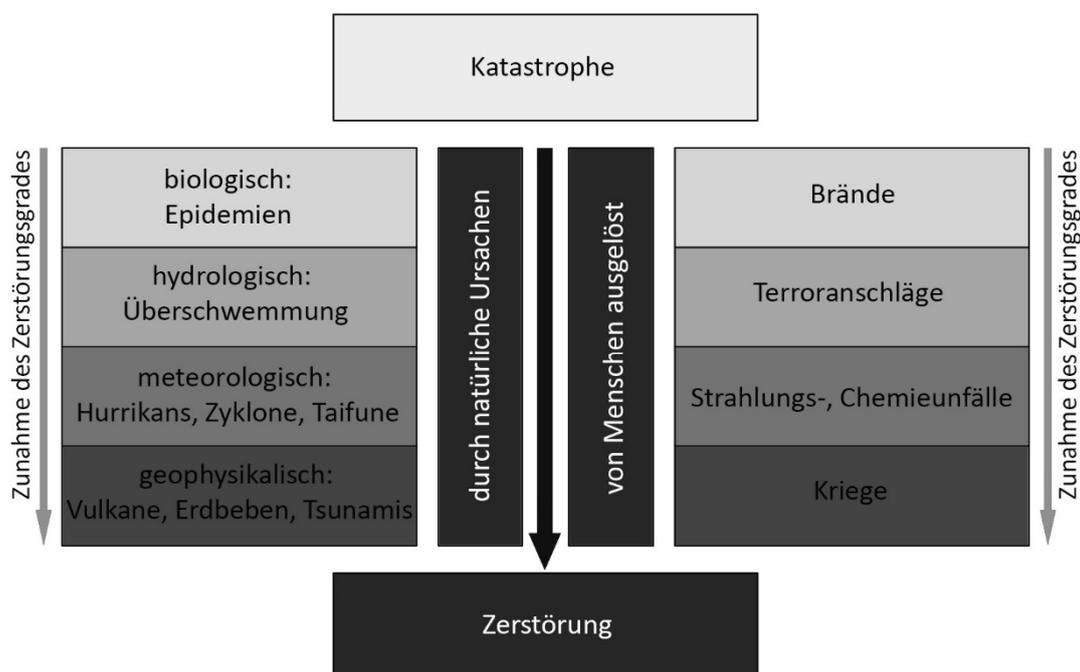


Abbildung 10: Katastrophentypen, welche durch natürliche oder anthropogene Ursachen auftreten und Zerstörungen an Gebäuden verursachen<sup>45</sup>

Im Allgemeinen definiert sich eine Katastrophe als ein in der Regel unabsehbares, mit erheblicher Zerstörung, Todesopfern und Verletzten, verbundenes Ereignis, welches von der Natur oder von Menschenhand verursacht wird und während des Ereignisses einen scharfen Bruch in negativer Richtung darstellt. Der überraschende Eintritt der Katastrophen und die dadurch

<sup>44</sup> vgl. Grün, Schenker-Wicki: *Katastrophenmanagement: Grundlagen, Fallbeispiele und Gestaltungsoptionen aus betriebswirtschaftlicher Sicht* (2014), Seite 10

<sup>45</sup> Eigene Darstellung, Einige Begriffe der Grafik beziehen sich auf „Munich Re: Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft“

entstehende enorme Zerstörung im Bereich Infrastruktur erhöht die Notwendigkeit und Dringlichkeit von überregionaler, nationaler und manchmal internationaler Unterstützung diverser Art. Dies ist zwar förderlich für die obligatorischen Maßnahmen des Katastrophenmanagements, führt aber nicht zur Verringerung der insgesamt entstandenen wirtschaftlichen Verluste, sondern dient der Rettung von Menschenleben.

### 3.2 Künstliche Intelligenz

#### 3.2.1 Definition der Künstlichen Intelligenz

Der Begriff „Intelligenz“ definiert sich gemäß *Langenscheidt* als „die Fähigkeit eines Menschen, zu denken und vernünftig zu handeln<sup>46</sup>“. Diese Erklärung variiert aber aus sozialer, medizinischer, und philosophischer Sicht und führt infolgedessen zu einer uneinheitlichen Definition des Begriffs.

„Künstlich“ ist ein Adjektiv und bedeutet nach *Langenscheidt*: „von Menschen als Ersatz hergestellt<sup>47</sup>“. Eine Kombination der beiden Begriffe ergibt eine sehr allgemeine Erklärung von „Künstlicher Intelligenz“ wie folgt: Eine von Menschen für das Denken und logische Handeln erschaffene Ersatzfähigkeit, welche bei nicht lebenden Gegenständen, wie zum Beispiel Maschinen, einsetzbar ist.

In der Realität bleibt diese Erklärung sehr allgemein und lässt sich wegen der vielfältigen Entwicklungsphasen der KI sowie ihrer verbreiteten praxisbezogenen Einsetzbarkeit und deren möglicher zukünftigen, praxisorientierten Verwendungen nur schwer einheitlich definieren.

Darauf aufbauend kann die „KI“ wie folgt definiert werden: ein Teilgebiet der Informatik, welches sich im Kern auf Reihen mathematischer Algorithmen und deren vielfältige mögliche Verknüpfungen bezieht. Diese lassen sich durch verschiedene, noch in Entwicklung befindliche Informatikmethoden und -Verfahren funktionalisieren.

KI dient in der Praxis als mögliche Konkurrenz des menschlichen Verständnisses bei sachlicher Erkennung sowie bei der Problemlösung. Wissenschaftler des Fachgebiets KI erreichten bis dato dank der kontinuierlichen Entwicklung von Rechnern und Speicherkapazitäten sowie dank der ständigen Vergrößerung der notwendigen Datenbanken einen stabilen, zufriedenstellenden, präzisen maschinellen Denkprozess, welcher zum Teil das menschliche Denken imitiert. Dies lässt sich - nach *Buxmann* - als „Schwache KI“ bezeichnen, bleibt aber weiterhin für konkrete Aufgaben, wie Mustererkennung oder einige Problemstellungen, wie z. B.

---

<sup>46</sup> Langenscheidt, Langenscheidt KG, Berlin und München (2003), Seite 540

<sup>47</sup> Langenscheidt, Langenscheidt KG, Berlin und München (2003) Seite 623

Klassifikation, geeignet und ist aus wirtschaftlicher Sicht sehr nützlich und anwendbar. Abgesehen von der Schwachen KI zeigt die Forschung allerdings keine Erfolge im Bereich Starke KI, welche die Vorgänge im menschlichen Gehirn in vollständiger Form imitieren soll<sup>48</sup>.

### 3.2.2 Entwicklungsphasen der Künstlichen Intelligenz

Die früheren nicht wissenschaftlichen Ideen der Künstlichen Intelligenz gehören schon zur Vergangenheit. Sie waren in der frühen Literatur meistens in Form von intelligenten Maschinen und Robotern zu finden, welche die Eigenschaften eines Menschen beherrschten und zum Teil bessere Fähigkeiten besaßen.

Die ersten wissenschaftlichen Ideen sowie die praktischen Arbeitsschritte der KI stammen aus dem Jahr 1943 in Form einer Struktur von künstlichen neuronalen Netzen. Diese wurden durch die veröffentlichten Werke der amerikanischen Wissenschaftler McCulloch und Pitts<sup>49</sup> in Bezug auf Neurologie, Mathematik und Programmierbasis präsentiert und stellten eine mögliche Annahme der einzelnen Neuronen als aktiviert oder nicht aktiviert (1 oder 0 in Computersprache) dar. In den Jahren 1947 bis 1950 lieferten die Vorträge des englischen Mathematikers Alan Turing in London<sup>50</sup> weitere theoretische Grundlagen zum Thema KI.

Der Begriff „Künstliche Intelligenz“ wurde das erste Mal im Jahr 1956 bei einer auf Einladung von McCarthy initiierten Konferenz an dem amerikanischen College „Dartmouth“ in der amerikanischen Stadt New Hampshire verwendet. Diese Konferenz dauerte sechs Wochen und gilt als Geburtsort und -datum des Begriffs KI. Fünf führende amerikanische Wissenschaftler<sup>51</sup> diverser Fachgebiete der Wissenschaft, bewiesen theoretisch präzise, dass und wie sich Intelligenz auch in Maschinen befinden kann<sup>52</sup>.

Das wirtschaftliche Interesse, die Merkwürdigkeit des Themas in der Zeit und die Fortschritte im Bereich Programmierung sowie die Entwicklung der Lisp-Programmierungssprache<sup>53</sup> bildeten einige Basisfaktoren der Verbreitung von KI und veranlassten/motivierten Forscher und Wissenschaftler weltweit, Ideen zum Verwirklichen von KI in der Praxis zu entwickeln. Nach *Manhat* führten diese in den folgenden Jahren zu greifbarem Erfolg, vor allem im Bereich Künstliche Neuronale Netze. Das zwischen Menschen und Computer entwickelte

---

<sup>48</sup> vgl. P. Buxmann, H. Schmidt (Hrsg.), Künstliche Intelligenz mit Algorithmen zum wirtschaftlichen Erfolg, Springer Gabler (2019), Seite 6

<sup>49</sup> vgl. P. Gentsch, Künstliche Intelligenz für Sales, Marketing und Service, Springer Gabler (2018), Seite 26

<sup>50</sup> vgl. Prof. Dr. Werner Dilger, Einführung in die Künstliche Intelligenz. TU Chemnitz, 2006, Seite 5

<sup>51</sup> Die Fünf führende Wissenschaftler sind: John McCarthy, Marvin Minsky, Trenchard More, Oliver Selfridge und Ray Solomonoff.

<sup>52</sup> vgl. P. Buxmann, H. Schmidt (Hrsg.), Springer Gabler (2019), Seite 3

<sup>53</sup> LISP ist die zweitälteste verwendete Programmierungssprache nach Fortran. Diese wurde von McCarthy im Jahr 1958.

Kommunikationsprogramm „ELIZA“ gilt als ein Beispiel für die Macht der KI-Algorithmen. Darauf aufbauend stiegen zu der Zeit nach der Konferenz die Erwartungen an die KI und erreichten ein Niveau von Überschätzung sowie Übertreibung ohne Berücksichtigung der technischen Grenzen der 60er und 70er Jahre. Die zahlreichen nicht verwirklichten Erwartungen von KI führten bis fast zum Ende der 70er Jahre zu einem Rückgang der Erforschung von KI<sup>54</sup>.

Zu Anfang der 80er Jahre setzte das Projekt „Fifth Generation Project“ in Japan ein Signal für die Wiederbelebung der KI. Es stellte durch den Verzicht auf die LISP-Programmiersprache, die in den 30 Jahren zuvor ein Kern der KI-Entwicklung war und sich zu der Zeit immer noch in den USA verbreitete, eine Wende in der Entwicklung der KI dar. In dem japanischen Projekt wurde die in Frankreich entwickelte Programmierungssprache Prolog verwendet<sup>55</sup>.

Zu Beginn der 90er Jahre zählten die Fortschritte im Bereich Robotik sowie die Entwicklung von intelligenten Agententechnologien trotz der fehlenden Verbesserung im Bereich Künstlicher Neuronaler Netze zur Entwicklung von KI. Die positive Wende der KI ergab sich erst im Jahr 1997 durch die Entwicklung des IBM-Computers „Deep Blue“, der den damaligen mehrfachen russischen Schachweltmeister „Gari Kasparov“ knapp besiegte. Der Rechner „Deep Blue“ war in der Tat kein rein intelligentes System, sondern ein Rechner mit hohen Rechenfähigkeiten unter Einsatz der „Brute Force Methode“<sup>56</sup>, trotzdem diente sein Sieg den Medien als Grundlage für die Verbreitung der Werbung über die möglichen besseren Fähigkeiten der KI im Vergleich zum Menschen<sup>57</sup>. Dies weckte das Interesse diverser Industrie- und Technologie Unternehmer, weiter im Bereich KI zu investieren und führte schon in den ersten Jahren des 21. Jahrhunderts zum Aufstieg der KI durch Festsetzung von deren wirtschaftlichen Rahmenbedingungen.

Eine weitere entscheidende Station der KI-Geschichte fand im Jahr 2009 statt, als der IBM-Computer „Watson“ eine Reihe von präzisen Fragen aus diversen Gebieten in einer Quizshow „Jeopardy“ mit sehr hoher Geschwindigkeit erfolgreich beantwortete<sup>58</sup>. Ein Jahr später begann das Zeitalter des maschinellen Lernens und der Sprachassistenten. Im Oktober 2015 besiegte das von Google entwickelte System „Alpha Go“ den 3-fachen Europameister, Herrn Fan Hui,

---

<sup>54</sup> vgl. K. Manhart, Eine kleine Geschichte der Künstlichen Intelligenz (2018), <https://www.computerwoche.de/a/eine-kleine-geschichte-der-kuenstlichen-intelligenz,3330537,3>, abgerufen: 21.06.2019

<sup>55</sup> vgl. P. Buxmann, H. Schmidt (Hrsg.), Künstliche Intelligenz mit Algorithmen zum wirtschaftlichen Erfolg, Springer Gabler (2019), Seite 5

<sup>56</sup> Brute Force Methode dient als aufwändige Rechenoperation, basiert auf Erprobung, mit dem Ziel, die möglichen Lösungen festzustellen

<sup>57</sup> vgl. P. Buxmann, H. Schmidt (Hrsg.), Künstliche Intelligenz mit Algorithmen zum wirtschaftlichen Erfolg, Springer Gabler (2019), Seite 6

<sup>58</sup> vgl. IBM Developing Computing System to Challenge Humans on America's Quiz Show, Jeopardy!(2009),<https://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/27324.wss>, abgerufen:21.06. 2019

in dem sehr komplexen strategischen Brettspiel "Go". Dabei handelt es sich um ein 19x19 Spielbrett. Bei dem Spiel liegt die Wahrscheinlichkeit, eine mögliche gültige Positionszahl zu setzen, bei  $2 \times 10^{170}$ , die Zahl besteht aus 171 Ziffern. Im März 2016 siegte „Alpha Go“ gegen den 18-fachen Go-Weltmeister, einen Südkoreaner mit einem 4 zu 1 Endergebnis<sup>59</sup>.

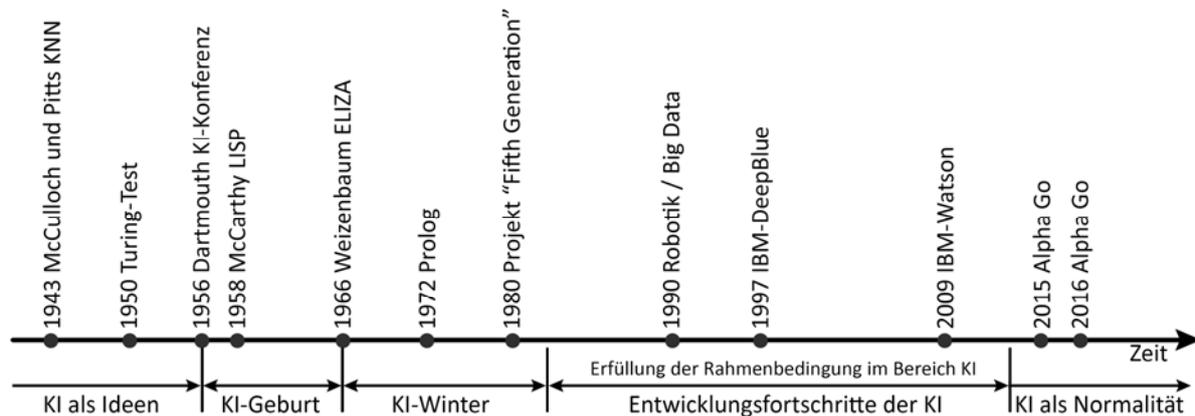


Abbildung 11: grafische Darstellung der wichtigsten Stationen in der KI-Entwicklungsgeschichte<sup>60</sup>

In den letzten Jahren integrierte sich die Künstliche Intelligenz intensiv in diverse Lebens-, Industrie und Forschungsbereiche. Nach Gentsch bilden intelligenten Agenten derzeit nicht nur eine Normalität des Alltagsgebrauches, sondern auch einen Bedarf für erfolgreiche Marketingprozesse diverser Unternehmer<sup>61</sup>.

Die weltweite Durchsetzung und die enorme Verbreitung der KI kann durch folgende Grundaspekte begründet werden<sup>62</sup>:

- Das Internet ermöglicht den Nutzern, Forschern, Organisatoren und Interessenten, Informationen und Erfahrungen gleichzeitig oder in sehr kurzer Zeit auszutauschen und von dem Wissen anderer zu profitieren. Dies führte im Bereich KI zu einer internationalen absichtlichen sowie unabsichtlichen Kooperation zwischen den daran Beteiligten. Das Internet dient auch der weltweit größten Informationssammlungsbörse und

<sup>59</sup> vgl. The story of AlphaGo so far, <https://deepmind.com/research/alphago/> abgerufen: 21. Jun.2019

<sup>60</sup> Eigene Darstellung, vgl. P. Gentsch, Springer Gabler (2018), Seite 25

<sup>61</sup> vgl. P. Gentsch, Künstliche Intelligenz für Sales, Marketing und Service, Springer Gabler (2018), Seite 29

<sup>62</sup> Die Grundaspekte beziehen sich teilweise auf: "P. Gentsch, Künstliche Intelligenz für Sales, Marketing und Service, Springer Gabler (2018), Seiten 23-24" und "P. Buxmann, H. Schmidt (Hrsg.), Künstliche Intelligenz mit Algorithmen zum wirtschaftlichen Erfolg, Springer Gabler (2019), Seiten 7-8"

kann als die wichtigste Ressource des Trainierens der KI-Algorithmen bezeichnet werden.

- Das Internet der Dinge (Internet of Things IoT) verfügt über eine unbegrenzte Anzahl von Onlinegeräten, wie zum Beispiel Computer, Smartphones, Spielkonsolen und intelligenten Hauselektrogeräten. Diese Geräte (Dinge) liefern enorme Mengen von Daten, diese Daten werden als „Big Data“ bezeichnet, deren enorme Größe wird derzeit mit Algorithmen sortiert, analysiert und meistens für wirtschaftliche Zwecke, wie Werbung und Marketing, wiederverwendet. Die immerhin enormen fließenden Daten wecken das Interesse, intelligentere Algorithmen zu entwickeln, die in kürzester Zeit diese Art von Big Data bearbeiten können. Laut dem Report des US-Unternehmens „Cisco“ aus 2018 wurde für das Jahr ein Datenvolumen des IoT von etwa 400 Zettabytes erwartet, wobei ein Zettabyte  $10^{21}$  Bytes<sup>63</sup> entspricht.
- Die enormen Fortschritte bei Computern und technischen Geräten sind charakterisiert durch die Entwicklung von Mehrkernprozessoren (Multicore CPU) sowie den Einsatz von Grafikprozessoren (GPU) für rechnerische Aufgaben. Dazu gehört auch die Verbesserung der Speicherkapazität und –lösungen. IBM präsentierte im Jahr 2014 einen Prozessorchip (SyNAPSE<sup>64</sup>) mit 4096 Kernen, der für die Verwendung neuronaler Netze sowohl in strukturierten als auch in nicht strukturierten Daten sehr geeignet ist<sup>65</sup>.
- Die Open-Source Plattformen und Ressourcen spielen eine zentrale Rolle im Hinblick auf die Verbreitung von KI durch die kostenlose Darstellung von hochwertigen wissenschaftlichen Forschungen, Arbeitsinstrumenten, Erprobungsergebnissen, online Diskussionsforen, Bibliotheken und anderen Werkzeugen diverser KI-Bereiche. Die enorme Bedeutung solcher nicht verbindlichen oder kostenpflichtigen Plattformen zeigt sich in der kontinuierlich steigenden Anzahl neuer Firmen und Nutzer, deren kreative Ideen wiederum den KI-Entwicklungsprozess vorantreiben.  
Ein Hindernis im Bereich „Umgehen mit KI“ liegt in dem erheblichen Trainings- und Aufbauaufwand der KI-Algorithmen, welcher enorme Zeit benötigt. Kostenlose Online-Datenbanken, wie von „ImageNET“, welche über 14 Millionen Bilder diverser Kategorien enthält, bieten den Nutzern kostenfrei eine Big-Data Ressource für das Training von KI-Algorithmen mit minimalem Aufwand und geringem Zeitbedarf<sup>66</sup>. Andere

---

<sup>63</sup> vgl. A Kapoor, Hands-On Artificial Intelligence for IoT: Expert machine learning and deep learning techniques for developing smarter IoT systems, Packt Publishing Birmingham-Mumbai (2019), Seite 49

<sup>64</sup> SyNAPSE: Systems of Neuromorphic Adaptive Plastic Scalable Electronics

<sup>65</sup> vgl. P. Gentsch, Künstliche Intelligenz für Sales, Marketing und Service, Springer Gabler (2018), Seite 23

<sup>66</sup> Weitere Information unter: <http://www.image-net.org/>, abgerufen: 25.Jun.2019

Plattformen, wie zum Beispiel „GitHub“<sup>67</sup>, ermöglichen einen Austausch, das Ausprobieren und Bewerten der von Nutzern entwickelten und gespeicherten Programmierungssysteme auf ihrem Server.

Mächtige KI-Unternehmen, wie zum Beispiel Google, bieten auch sehr hilfreiche online Ressourcen an. Dies geschieht meistens in Form von Programmierungswerkzeugen für den Bereich KI, die vom Nutzer heruntergeladen und offline verwendet werden können. Die Firmware „TensorFlow“ von Google ist ein sehr wichtiges Beispiel für die einfache Entwicklung von KI-Software.

- Die logische Vereinfachung einiger schon bestehender Programmiersprachen und die Entwicklung neuer Codierungssprachen für KI gelten als wichtige Faktoren für die Entwicklung von KI.

Die Programmierungssprache „Python“ gilt derzeit als eine der beliebtesten Programmierungssprachen für den Bereich KI und bietet zahlreiche fertiggestellte greifbare Codierungsbibliotheken zur Verwendung. Dies ermöglicht eine klare und einfache Entwicklung der KI-Software mit weniger Codezeilen und geringerem Aufwand.

- Die Absicht, die Von-Neumann-Architektur abzulösen, geht einher mit der Hoffnung, die jetzigen technischen Begrenzungen bei Computern zu überwinden. Nach *Dauscher* stammt die Von-Neumann-Architektur aus dem Jahr 1945 und ist immer noch in jetzigen modernsten Rechner verwendbar. Sie wurde nach dem Erfinder dieser Technik „John von Neumann“ benannt. Bei dieser Computerarchitektur werden die Befehle nach der Eingabe in der Reihenfolge der Eingabe nacheinander in der Prozessoreinheit (CPU) abgearbeitet und von dem Arbeitsspeicher (Memory) abgerufen<sup>68</sup>.

Es wird ständig an möglichen neuen Computerarchitekturen gearbeitet, die die Von-Neumann-Architektur ersetzen können. Ziel ist eine Leistungssteigerung sowie höhere Geschwindigkeiten der zukünftigen Computer.

Die amerikanische Firma „Hewlett-Packard-Enterprise“, bekannt als HPE, konnte im Jahr 2016 einen Prototyp mit dem Namen „The Machine“ realisieren. Nach *DZNE-Presse* ist „The Machine“ eine Verbesserung des aus dem Jahr 2014 stammenden ursprünglichen Prototyps von HP-Labs und verwendet eine komplett neue Computerarchitektur, welche „Memory-Driven-Computing“ heißt. Diese Architektur ermöglicht eine Skalierung des Arbeitsspeichers auf etwa 4.100 Yottabytes<sup>69</sup>, was ungefähr dem 250.000fachen der jetzigen auf der Erde vorliegenden Datenmenge entspricht. Das

<sup>67</sup> Weitere Informationen unter: <https://github.com/>, abgerufen: 25.Jun.2019

<sup>68</sup> vgl. P. Dauscher, Aufbau und Funktionsweise eines von-Neumann-Rechners V.3, 2012, Seite: 4

<sup>69</sup> wobei ein Yottabyte gleicht  $10^{24}$  Bytes

Deutsches Zentrum für neurodegenerative Erkrankungen setzte als weltweit allererstes Unternehmen den neuen Rechner in Kooperation mit HPE ein, dieser sollte im Bereich biomedizinische Forschung verwendet werden<sup>70</sup>.

Die Universität Heidelberg stellte im Jahr 2016 das Computersystem „BrainScales“ vor, welches eine neue Computerarchitektur beinhaltet und das menschliche Gehirn durch die funktionale Trennung zwischen den Speicher- und den Recheneinheiten imitiert<sup>71</sup>.

- Die Entwicklung der Quantencomputer als Ersatz der jetzigen Computer, ermöglicht die Nutzung der Quantenphysikregeln. Das Prinzip solcher Computer basiert nicht auf den in allen jetzigen Computer verwendeten Transistoren, die nach der Maschinsprache 1/0 funktionieren, stattdessen werden „Quantenbits, auch Qubits benannt“ verwendet, deren Aktivierung im Gegensatz zu Transistorsystemen beliebige digitale Werte zwischen 1 und 0 entspricht.

IBM präsentierte im Jahr 2019 auf der Elektronikmesse CES in Las Vegas den weltweit ersten Quantencomputer „IBM Q Systems One“<sup>72</sup>. Damit erblickte der Quantencomputer das Licht für kommerzielle Zwecke durch den IBM-Cloud-Service und blieb nicht mehr nur ein Laborprototyp. Mit diesem Computer eröffnete IBM eine neue Phase der Computertechnikgeschichte.

- Die Erfüllung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen des Einsatzes von KI-Algorithmen weckt das Interesse vielfältiger Firmen aus unterschiedlichsten Branchen. Anders gesagt, die Künstliche Intelligenz ist derzeit nicht nur ein Bestandteil des Alltags, sondern weckt auch den Bedarf, so dass viele Firmen heutzutage in KI investieren müssen, um ihre Existenz im Markt zu sichern und mit dem Fortschritt mitzuhalten. Auch wenn diese Aussage nicht für jede Art von Unternehmen passt, steigt die Anzahl der an diesem Trend beteiligten Firmen kontinuierlich. Das Resultat dieser relativ neu entwickelten Situation zeigt eine Entwicklung der KI proportional zur Motivation der diversen Unternehmen.

---

<sup>70</sup> vgl. DZNE-Presse, Neue Computerarchitektur: Zeitraffer für die Demenz-Forschung (2018), <https://www.dzne.de/aktuelles/presse-und-oeffentlichkeitsarbeit/pressemitteilungen/presse/detail/neue-computer-architektur-zeitraffer-fuer-die-demenz-forschung/> angerufen 23.06.2019

<sup>71</sup> vgl. P. Gentsch, Künstliche Intelligenz für Sales, Marketing und Service, Springer Gabler (2018), Seite 23

<sup>72</sup> vgl. Introducing the new IBM Q Experience, <https://www.research.ibm.com/ibm-q/>, abgerufen: 24.06.2019

In der Abbildung 12 wurden die oben genannten Erfolgsfaktoren der künstlichen Intelligenz zusammengestellt und in einer grafischen Darstellung präsentiert.

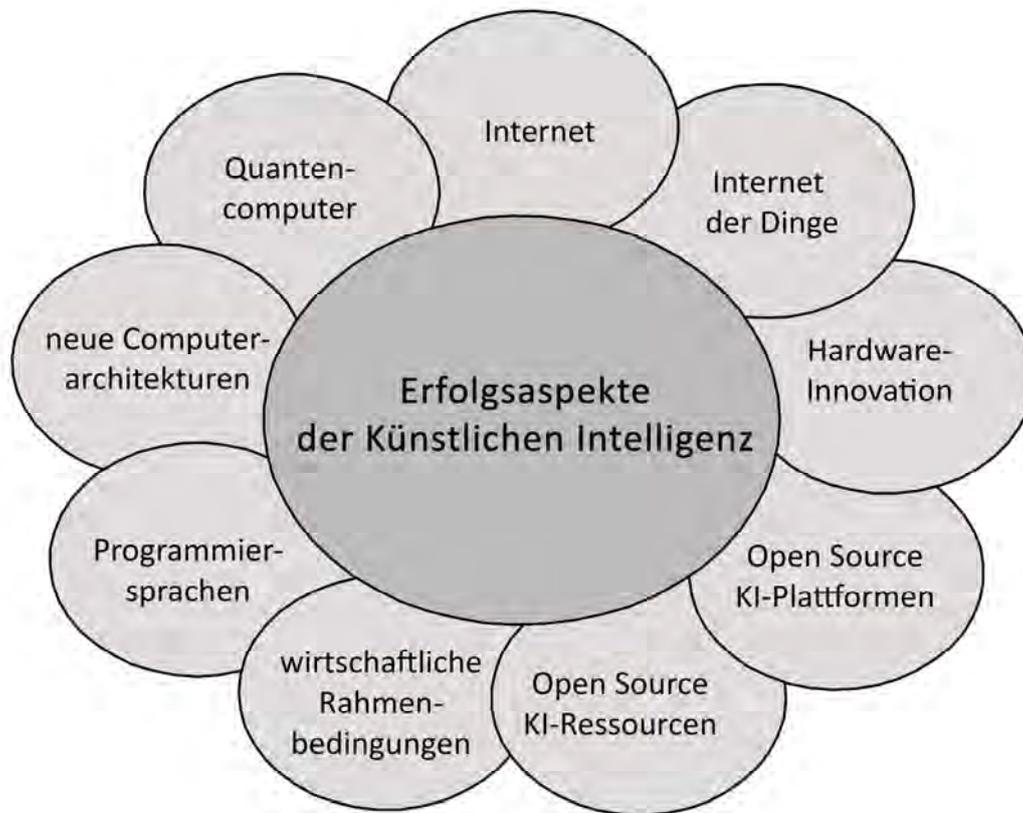


Abbildung 12: grafische Darstellung der Erfolgsfaktoren der künstlichen Intelligenz<sup>73</sup>

### 3.2.3 Maschinelles Lernen: Funktionsprinzip der Künstlichen Intelligenz

#### 3.2.3.1 Das Künstliche Neuron

Die Grundidee der künstlichen neuronalen Netze stellt prinzipiell einen Versuch dar, das menschliche Gehirn mit dem darin befindlichen neuronalen Nervensystem nachzubilden und unterscheidet sich von den traditionellen Kalkulationsprozessen eines Rechners.

Bei normalen Prozessen im Rechner werden im Hintergrund einige Kalkulationen durchgeführt, die zu sichtbaren oder lesbaren Ergebnissen führen. Diese Kalkulationen werden durch passende Computerprogramme oder -funktionen festgelegt und können in der Regel nur definierte Aufgaben sehr schnell mehrfach erledigen. Personen können solche Kalkulationen auch erledigen, sie benötigen allerdings längere Zeit dafür. Im Gegensatz zu solchen Kalkulationsprozessen können traditionelle Computerprogramme nicht denken.

<sup>73</sup> Eigene Darstellung

Ein Prozess, der auf Denkweisen basiert, kann deswegen von solchen Computerprogrammen nicht durchgeführt werden. Die künstlichen neuronalen Netzwerke sollen die Prozesse, die zum großen Teil auf menschlicher Denkweise basieren, erledigen. Solche Prozesse können beispielweise Klassifikation oder Prädiktion sein. Die künstlichen neuronalen Netzwerke basieren genau wie traditionelle Computermethoden auf mathematischen Kalkulationsprozessen. Der entscheidende Unterschied besteht im Aufbau dieser Netze und darin, dass die verwendeten Algorithmen die Fähigkeit besitzen, Denkweiseprozesse durchzuführen und die Daten in intelligenter Form zu bearbeiten. Dadurch konnten in letzten Jahren neue praxisbezogene Aufgaben aus diversen Bereichen mithilfe von Computern erledigt werden, die vorher mit traditionellen Computerprozessen nicht möglich waren<sup>74</sup>.

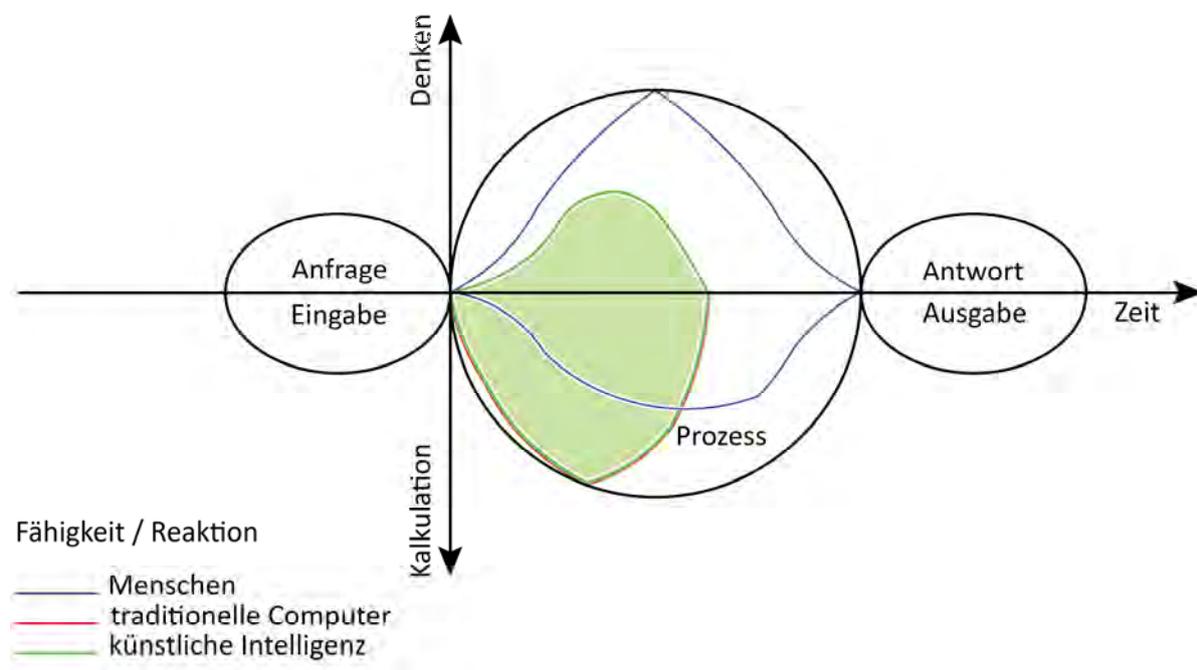


Abbildung 13: Grafische Darstellung des Verhältnisses bei der Lösung einer Aufgabe zwischen Menschen, traditionelle Computer und KI-Systeme<sup>75</sup>

Nach Hall erfolgt die Informationsübertragung im menschlichen Nervensystem in Form von elektrischen und chemischen Signalen, diese Signale passieren die durchlässige Nervenzelle (Neuron) und verursachen unterschiedliche Nervensignale, die auch Aktionspotentiale genannt werden, und die an der Zellmembran erzeugt und durch diese weitergeleitet werden. Die erzeugten Signale führen gemäß ihren Stärken zu einer Aktivierung oder zu keiner

<sup>74</sup> vgl. T. Rashid, Make your own neural Network, A gentle journey through the mathematics of neural networks, and making your own using the Python computer Language, Verlag: CreateSpace Independent Publishing Platform, (2016), Seiten 13-17

<sup>75</sup> Eigene Darstellung

Aktivierung der Zellen. Dies kann als „Alles-oder-Nichts-Anregung“ definiert werden. Die in Neuronen entstehenden Frequenzen werden durch Synapsen dem betroffenen Neuron zu den Fasern (Dendriten) des nächsten Neurons in Form von Botenstoffes übermittelt<sup>76</sup>.

Das Prinzip der Signalübertragung in menschlichen Synapsen dient der mathematischen Modellierung der künstlichen Neuronen. Somit kann der ganze Informationsübertragungsprozess zwischen zwei oder mehr menschlichen Nervenzellen durch digitale Techniken nachgebildet werden.

Im Jahr 1943 veröffentlichten „McCulloch“ und „Pitts“ eine Beschreibung eines künstlichen Neurons. Im Jahr 1957 wurde das erste realisierte künstliche Neuron namens „Perzeptron“ von „Rosenblatt“ zur einfachen Mustererkennung von Ziffern entwickelt<sup>77</sup>.

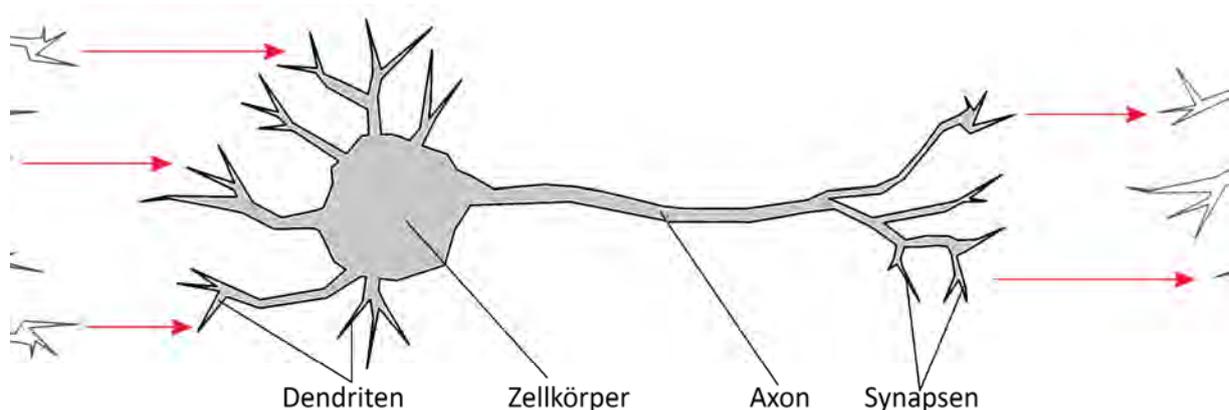


Abbildung 14: skizzenhafte Darstellung eines menschlichen Neurons<sup>78</sup>

Jeder Synapse (Dendrit) des Neurons wird ein Gewicht zugewiesen. Das Gewicht bestimmt die Wirkung der Synapse auf das Neuron. Es wird mit dem nächsten ankommenden Signal multipliziert. Die Gesamtsumme der Gewichtsmultiplikation aller nächsten Synapsen stellt die Signalstärke, die an dem Neuron weitergeleitet wird. Die menschlichen Neuronen folgen der Schwellwertregel<sup>79</sup>. Wenn die Summe der Produkte der Gewichtsmultiplikationen größer als dieser Schwellenwert ist, erfolgt eine Anregung in dem Neuron, die dementsprechend über

<sup>76</sup> vgl. John E. Hall, Guyton and Hall, Textbook of medical Physiology, Twelfth edition (2011) Seite 543

<sup>77</sup> vgl. I. Vasilev, Python Deep Learning, Second Edition: Exploring deep learning techniques and neural network architectures with PyTorch, Keras, and TensorFlow, Packt Publishing Ltd. Birmingham, UK (2019), Seite 26

<sup>78</sup> Eigene Darstellung, vgl. M. Katzlberger, Biologische und künstliche Neuronen im Vergleich, <https://katzlberger.ai/2019/12/13/biologische-und-kuenstliche-neuronen-im-vergleich/>, abgerufen: 21.12.2019

<sup>79</sup> Im Englischen: Threshold Value.

das Axon zum nächsten Neuron weitergeleitet wird<sup>80</sup>. Dieses Prinzip wird in den KNN nachgebildet, wobei jedes Neuron mehrere Eingaben bekommt.

Das Neuron enthält einen Algorithmus in Form einer Aktivierungs- oder Transferfunktion, die bestimmt, ob das künstliche Neuron aktiviert wird oder nicht. Eine Schwellwerttransferfunktion kann sich in der einfachen Form (1/0) darstellen. Wenn die Gewichtsummierung größer als ein bestimmter Wert ist, wird das künstliche Neuron aktiviert und gibt den Wert 1 weiter. Wenn die Summe der Gewichte geringer als der Schwellwert ist, wird das Neuron nicht aktiviert und der weitergeleitete Wert ist 0<sup>81</sup>.

Zusammengefasst bilden mehrfache Eingaben, Verbindungen zur Weiterleitung der Eingabegewichte, die Aktivierungsfunktion und die Ausgabe ein vereinfachtes künstliches Neuron. Die Gewichte der Eingaben werden im Kern des Neurons summiert und gemäß dieser Summe werden durch eine Aktivierungsfunktion Ausgaben ermittelt oder an dem nächsten Neuron in das neuronale Netz weitergeleitet.

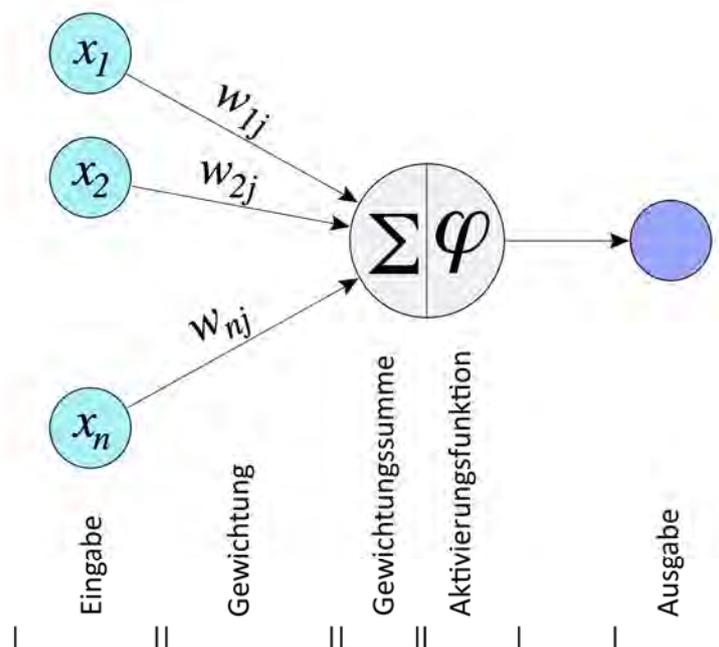


Abbildung 15: skizzenhafte Darstellung eines künstlichen Neurons (Perzeptron)<sup>82</sup>

<sup>80</sup> vgl. John E. Hall, Gyton and Hall, Textbook of medical Physiology, Twelfth edition (2011), Seiten: 543 - 550

<sup>81</sup> vgl. S. Shanmuganathan, Artificial Neural Network Modelling, Studies in Computational Intelligence, Volume 628, Springer International Publishing Switzerland (2016), Seite 9

<sup>82</sup> Eigene Darstellung, vgl. I. Vasilev, Python Deep Learning, Packt Publishing Ltd. Birmingham UK (2019), Seite 37

Die Aktivierungsfunktion eines Neurons kann sowohl eine lineare, Stufen- oder Rampenfunktion als auch eine Sigmoid- oder Gaußfunktion bilden<sup>83</sup>. Einige Aktivierungsfunktionen sind in der Abbildung 16 dargestellt. Die in dem Neuron enthaltene Aktivierungsfunktion ist für den Ausgabezweck des Neurons entscheidend, wobei dieser eine Klassifizierung in zwei Gruppen nach Art oder Farbe sein kann.

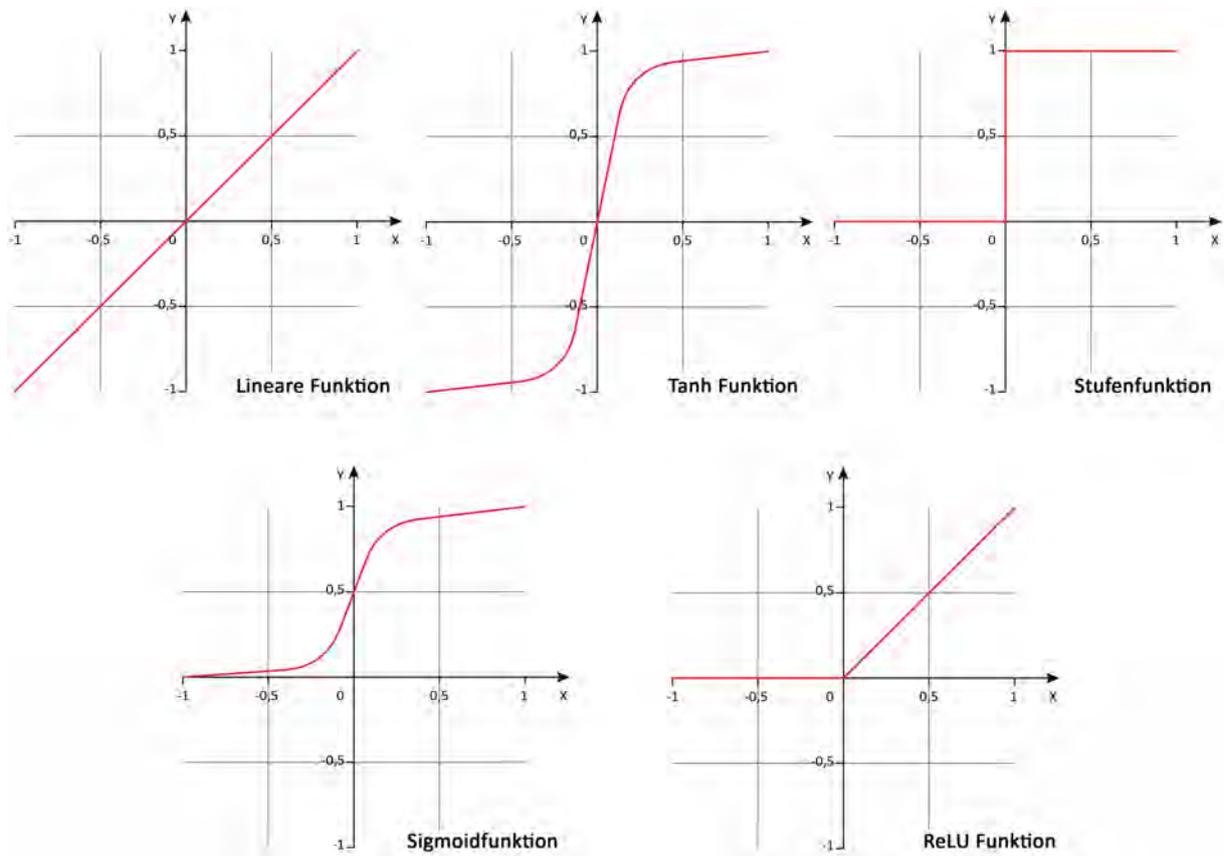


Abbildung 16: Einige Aktivierungsfunktionen<sup>84</sup>

### 3.2.3.2 Das künstliche neuronale Netzwerk (KNN)

Die Künstlichen Neuronalen Netze existieren im Allgemeinen durch eine Komposition von miteinander gekoppelten künstlichen Neuronen. Die Kopplungsart sowie der Typ der Neuronen bestimmen die Art der künstlichen neuronalen Netze. Derzeit existieren vielfältige Typen solcher Netze und unterscheiden sich methodisch durch den Verlauf der fließenden Informationen von der Eingabe- bis zur Ausgabephase über die gekoppelten Neuronen in diversen Schichten. Die künstlichen neuronalen Netzwerke weisen eine Ähnlichkeit an deren Baustruktur auf. Diese lässt sich in den Mittelschichten des Netzwerks anzeigen. In den Mittelschichten

<sup>83</sup> vgl. [https://www2.htw-dresden.de/~boehme/Neuroinformatik/GNI\\_Prakt\\_TUI/ni\\_grundlagen\\_prak/transferfunction/transferfunction.htm](https://www2.htw-dresden.de/~boehme/Neuroinformatik/GNI_Prakt_TUI/ni_grundlagen_prak/transferfunction/transferfunction.htm), abgerufen: 03.02.2019

<sup>84</sup> Eigene Darstellung, Daten der Grafik beziehen sich teilweise auf: I. Vasilev, Python Deep Learning, Packt Publishing Ltd. Birmingham UK (2019), Seiten 43-46

werden verdeckte Prozesse durchgeführt. Weil diese Prozesse nicht leicht nachvollziehbar sind, werden diese Schichten „verborgene Schichten“ genannt und bilden einen Teil des Netzwerkes namens „Blackbox“<sup>85</sup>.

Die verborgenen Schichten übernehmen in der Regel die Extrahierungsaufgaben der Eingabemerkmale und speichern diese Merkmale durch mehrfachen Einsatz des Netzwerkes sowie durch das Training. Die Art und Weise dieser Speicherung von Merkmalen bei den komplizierten Netzwerken, die über viele verborgene Schichten verfügen, ist nicht bekannt und führte deswegen zur Benennung dieser Schichten mit „Blackbox“.

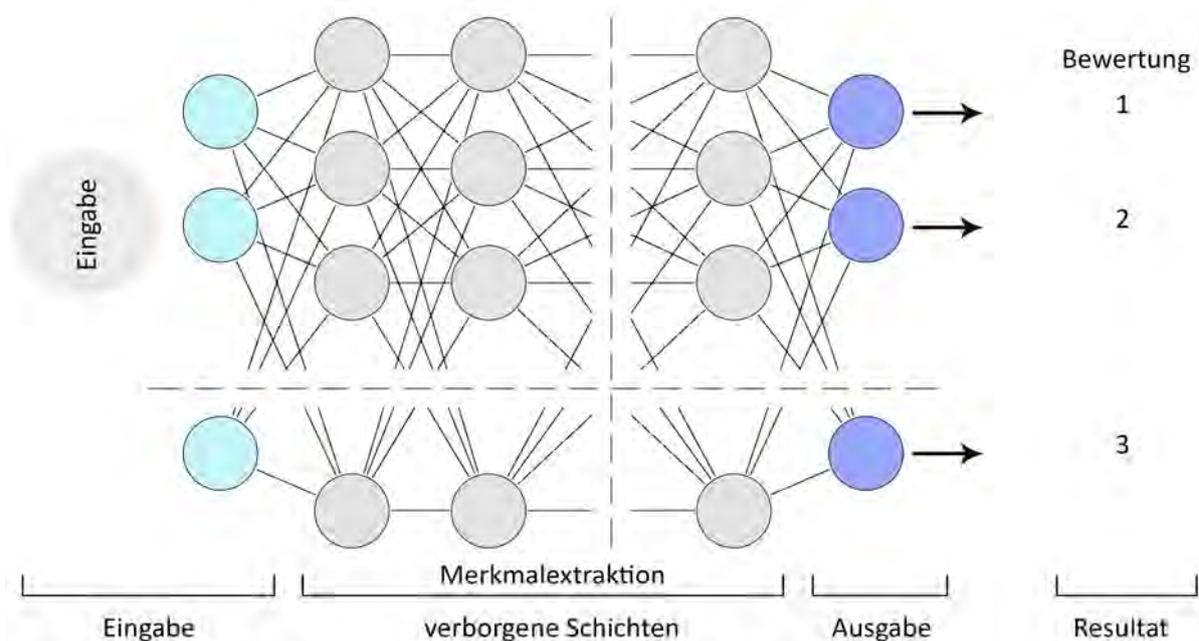


Abbildung 17: Grafische Darstellung eines künstlichen Netzwerkes mit mehreren miteinander gekoppelten künstlichen Neuronen<sup>86</sup>

Wie oben erwähnt, sind derzeit diverse Typen der künstlichen neuronalen Netzwerke vorhanden. Der Unterschied zwischen diesen liegt in folgenden Punkten:

- der Verbindungsart (Topologie) der Neuronen,
- der Aufbauarchitektur des Netzes,
- der Richtung des weitergeleiteten Signals im Netz,
- der Aufbaukomplexität des Netzes,
- dem verwendeten Modul im Netz und
- dem Verwendungszweck des Netzes.

<sup>85</sup> Blackbox in Bezug auf KNN: P. Buxmann, Springer Gabler (2019), Seiten 15-17

<sup>86</sup> Eigene Darstellung

Ein häufig verwendetes KNN ist das „Feed Forward Netz“ (Vorwärtskopplungs- oder Vorschubnetz). In dieser Art von Netzen müssen alle Neuronen miteinander vollständig verbunden sein. Eine Rücksendung der im Netz entstehenden und weitergeleiteten Signale kann nicht erfolgen. Auf Basis dieser Aufbauarchitektur können andere Netzwerke aufgebaut werden. Davon sind das „Radialbasisnetzwerk“ und das „Deep Feed Forward“ Netzwerk (tiefes Vorschubnetz) zwei Beispiele<sup>87</sup>.

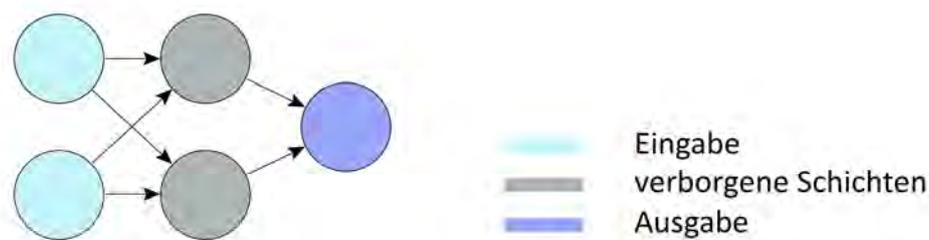


Abbildung 18: Grafische Darstellung eines einfachen „Feed Forward Netzes“, wobei die Signale „nur in Richtung Ausgabe weitergeleitet werden“<sup>88</sup>

Eine weitere Aufbauarchitektur des KNNs ist das rekurrente (wiederkehrende) neuronale Netz. Dieses beinhaltet Neuronen, die die durch deren Aktivierungsfunktionen entstehenden Signale invertiert weiterleiten können. Diese Aktion kann direkt am selben Neuron oder seitlich an einem in derselben Schicht nebenstehenden Neuron oder an einem Neuron der vorherigen Schicht erfolgen<sup>89</sup>.

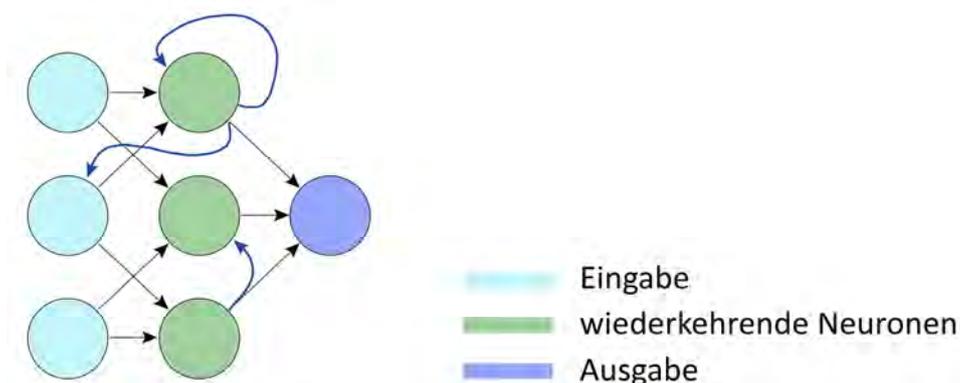


Abbildung 19: Grafische Darstellung eines einfachen wiederkehrenden neuronalen Netzes<sup>90</sup>

<sup>87</sup> vgl. F. van Veen, The Neural Network Zoo, <https://www.asimovinstitute.org/neural-network-zoo/>, abgerufen: 18.05.2018

<sup>88</sup> Eigene Darstellung, vgl. F. van Veen, The Neural Network Zoo, <https://www.asimovinstitute.org/neural-network-zoo/>, abgerufen: 18.05.2018

<sup>89</sup> vgl. JAAI, Künstliche neuronale Netze – Aufbau & Funktionsweise, KI Basis, <https://jaai.de/kuenstliche-neuronale-netze-aufbau-funktion-291/>, abgerufen: 18.05.2018

<sup>90</sup> Eigene Darstellung, vgl. F. van Veen, The Neural Network Zoo, <https://www.asimovinstitute.org/neural-network-zoo/>, abgerufen: 23.05.2018

Die CNN „Convolutional neural networks“ (Faltungsschicht) enthalten dreidimensionale Anordnungen von Neuronen, wobei jedes in der Faltungsschicht platzierte Neuron nur die Informationen eines kleinen Teils der gesamten Eingabe verarbeitet<sup>91</sup>. Die Aktivierungsfunktion der Neuronen in Faltungsschichten ist meistens der Art ReLU (Rectified Linear Unit, Gleichgerichtete Lineareinheit). Die CNN Netze sind derzeit die meist verwendeten KNN im Bereich Bildererkennung<sup>92</sup> und zum Teil im Bereich autonomes Fahren.

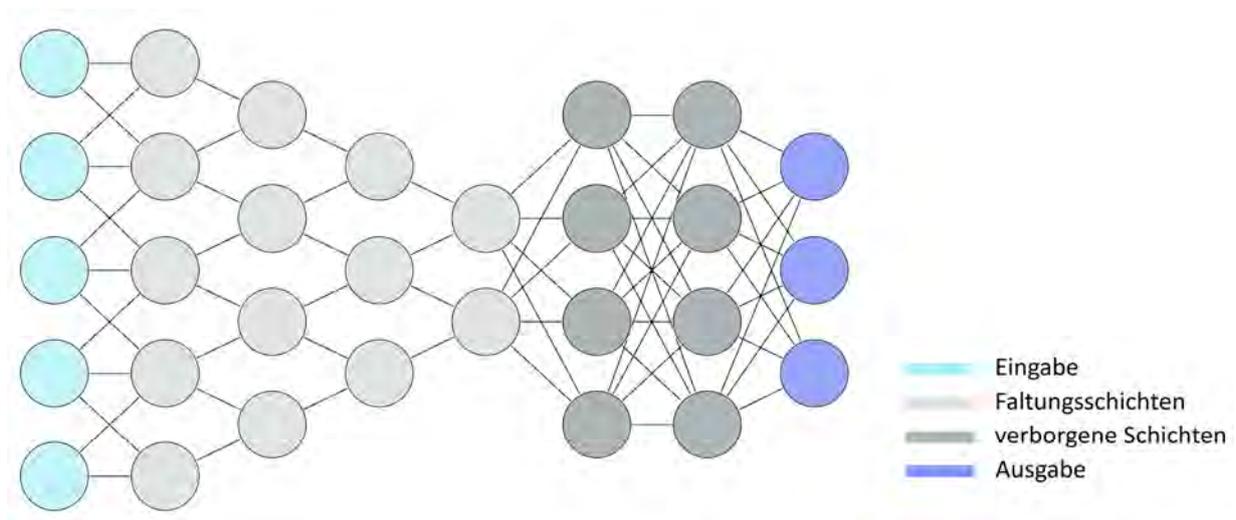


Abbildung 20: Grafische Darstellung eines Faltungsneuronalen Netzes<sup>93</sup>

### 3.2.3.3 Maschinelles Lernen und tiefgehende Lernerfahrung

Es kommt häufig in der Praxis zu einer Verwechslung zwischen den zwei englischen Begriffen „Machine Learning“ und „Deep Learning“. Nach *Gentsch* ist das maschinelle Lernen „Machine Learning“ ein Teilbereich der KI und damit ist gemeint, wie eine Maschine (Computer) anhand von Daten lernt, die von Menschen aufgrund deren Erfahrung gesammelt wurden. Die Algorithmen der Maschine lernen anhand großer Datensammlungen namens "Big Data", was als „Training der Algorithmen“ bezeichnet wird<sup>94</sup>. Dieses ermöglicht wiederum den trainierten Maschinen, bestimmte Aufgaben auf Basis des Gelernten einwandfrei zu erledigen.

Maschinelles Lernen ist ein Überbegriff und darunter werden die künstlichen neuronalen Netzwerke, das „Deep Learning“ und andere für das Ziel verwendete Instrumente gegliedert, die

<sup>91</sup> vgl. JAAI, Künstliche neuronale Netze – Aufbau & Funktionsweise, KI Basis, <https://jaai.de/kuenstliche-neuronale-netze-aufbau-funktion-291/>, abgerufen: 18.05.2018

<sup>92</sup> vgl. F. van Veen, The Neural Network Zoo, <https://www.asimovinstitute.org/neural-network-zoo/>, abgerufen: 18.05.2018

<sup>93</sup> Eigene Darstellung. Daten beziehen sich auf „F. van Veen, The Neural Network Zoo, <https://www.asimovinstitute.org/neural-network-zoo/>“, abgerufen: 18.05.2018

<sup>94</sup> vgl. P. Gentsch, Künstliche Intelligenz für Sales, Marketing und Service, Springer Gabler (2018), Seite 37

alle auf dem Prinzip „Generierung von Wissen aus Erfahrung“<sup>95</sup> basieren. Die bekannten verwendeten Methoden des maschinellen Lernens sind<sup>96</sup>:

- Überwachtes Lernen: Hier sind die richtigen Ausgaben bereits bekannt und anhand dieser wird ein Training der Netzalgorithmen durchgeführt. Eine Fotoklassifizierung von Tiergruppen in Hunde- und Katzensgruppen bildet ein passendes Beispiel dafür.
- Nicht überwachtes Lernen: Hierbei sollen die Algorithmen gemäß gegebener Trainingsdatenbanken die richtigen Ergebnisse liefern, wobei die richtigen Ausgaben im Vorfeld nicht vorgegeben werden. Die Algorithmen sollen selbst lernen, wie sie diese feststellen und liefern können.
- Verstärkendes Lernen: Dabei wird eine Bilanzierung zwischen der Entdeckung und den Kenntnissen durchgeführt, dieses Prinzip bildet eine Kombination von Dynamischen Systemen und überwachtem Lernen, wobei eine Kontrolle der mathematischen Prozesse im System nicht möglich ist. Zum Beginn des Lernens werden keine optimalen Lösungswege vorgegeben.

Beim „Deep Learning“ (tiefergehende Lehrerfahrung) handelt es sich wiederum um eine spezielle Lernmethode der künstlichen neuronalen Netzwerke. Deswegen gliedert es sich unter „maschinelles Lernen“. Das KNN in „Deep Learning“ enthält im Vergleich zu den üblichen kleineren neuronalen Netzen viel mehr Schichten und wird tiefes neuronales Netzwerk „Deep Neural Network“ (DNN) genannt. Beim „Deep Learning“ soll die Kalibrierung des Netzes im Fall mangelhafter Ergebnisse ohne menschlichen Einfluss erfolgen. Anderes ausgedrückt, wenn ein normales kleinschichtiges KNN falsche Ergebnisse liefert, addiert ein Informatiker einen Korrekturwert, um die Funktionsweise des Netzes anzupassen. Im Gegensatz dazu soll sich das DNN beim „Deep Learning“ anhand der fehlerhaften Ergebnisse selbst kalibrieren und daraus folgend richtige Ergebnisse liefern. Die Gefalteten Neuronalen Netzwerke zeigen ein klares Beispiel für die unter „Deep Learning“ gegliederten Netzwerke.

### 3.3 Laserscanningsdefinition

#### 3.3.1 Grundlagen der Lasertechnik

Ein Verstärkungsprozess des Lichtes durch stimulierte Emission bildet die Laserentstehung. Das Wort "Laser" stammt als Abkürzung aus dem englischen Satz: "light amplification by stimulated emission of radiation". Das Prinzip dieses Prozesses bezieht sich auf Einstein, der im Zeitraum von 1905 bis 1917 Experimente anhand stimulierter Emission zur Erklärung des

---

<sup>95</sup> P. Gentsch, Künstliche Intelligenz für Sales, Marketing und Service, Springer Gabler (2018), Seite 37

<sup>96</sup> Informationen der drei geklärten Methoden beziehen sich auf: P. Gentsch, Künstliche Intelligenz für Sales, Marketing und Service, Springer Gabler (2018), Seite 38

Planckschen Strahlungsgesetzes erforschte<sup>97</sup>. Der erste Erfolg dieser Denkweise fand ab dem Jahr 1954 im Mikrowellenbereich unter den Begriff "MASER: Microwave amplification by stimulated emission of radiation" statt. Darauf aufbauend experimentierten die amerikanischen Physiker Schawlow und Townes mit dem MASER-Prinzip im optischen Bereich. Dies bildete die Basis für das Kreieren des Lasers im Jahr 1960 von dem amerikanischen Wissenschaftler Maiman durch induzierte Emission in einem Rubin-Kristall<sup>98</sup>. Zusammengefasst verursacht die Umwandlung von Energien die Erzeugung von Laser in Form elektromagnetischer Strahlung (auch elektromagnetische Welle)<sup>99</sup> durch die Gleichung:

$C(med)$  ist Geschwindigkeit in einem zulässigen Medium,  $\lambda$  die Wellenlänge und  $\nu$  die Frequenz.

$$C(med) = \lambda \times \nu$$

Elektromagnetische Strahlungen, die die Wellenlänge zwischen 390 nm bis 790 nm besitzen, bilden das sichtbare Licht. Der Wellenlängenbereich des Lasers beinhaltet Ultraviolett-, sichtbare und Infrarotstrahlungswellenlängenbereiche, die Wellenlänge liegt zwischen 100 nm und 1 mm<sup>100</sup>. Die Laserstrahlung unterscheidet sich von normalen Lichtquellenstrahlungen anhand ihrer speziellen Eigenschaften, die sich durch hohe Frequenzstabilität, hohe Intensität und starke Bündelung auszeichnet. Laser kann durch diverse Methoden, wie zum Beispiel mit Hilfe von Gas, Flüssigkeit und Halbleitern erzeugt werden<sup>101</sup>.

Nach *Schuth* schließt der Einsatz von Lasergeräten damit mögliche Gefahren auf Menschen nicht aus, da ein Laserstrahl gesundheitliche Schädigungen an den Augen und der Haut verursachen kann. Anhand DIN EN 60825-1 wird Laserstrahlung gemäß MZB (maximal zulässige Bestrahlung) und davon abgeleiteten GZS (Grenzwert für zulässige Strahlung) in diverse Klassen (1C, 2, 2M, 3R, 3B und Klasse 4) gegliedert, wobei die Klassen 1C, 2 und 2M keine große Gefahr analog zu den Klassen 3R, 3B und 4 beschreiben<sup>102</sup>. Bei neuen Lasergeräten ermöglicht die Technik, das Risiko durch die Nutzung von mit Laserstrahlung verbundenen Geräten zu minimieren, dieses kann aber nicht komplett ausgeschlossen werden.

---

<sup>97</sup> vgl. J. Eichler, H J Eichler, Laser Baumformen, Strahlführung, Anwendungen, 5. Auflage, Springer (2003), Seite 51

<sup>98</sup> W. Radloff, Laser in Wissenschaft und Technik, Spektrum (2010), Seite 2

<sup>99</sup> D. Bäuerle, Laser: Grundlagen und Anwendungen in Photonik, Technik, Medizin und Kunst, Wiley (2009), Seite 1

<sup>100</sup> P. Dobrinski, G. Krakau, A Vogel, Physik für Ingenieure, 12. aktualisierte Auflage Vieweg+Teubner (2010), Seiten 353, 452

<sup>101</sup> J. Eichler, H J Eichler, Laser Baumformen, Strahlführung, Anwendungen, 5. Auflage, Springer (2003), Seite 51

<sup>102</sup> vgl. M. Schuth, W. Buerakov: Handbuch Optische Messtechnik Praktische Anwendungen für Entwicklung, Versuch, Fertigung und Qualitätssicherheit, Hanser (2017), Seiten 606 - 610

### 3.3.2 Prinzip und Methodik vom Laserscanning:

Laserscanning bildet ein wichtiges Teilgebiet des Aktivverfahrens der optischen Messtechniken und kann für den Zweck der Vermessung in sehr kleinen bis mittleren und großen Entfernungen eingesetzt werden<sup>103</sup>. Diese Technik basiert im Kern auf diversen sichtbaren oder unsichtbaren Laserstrahlungen und deren Reflexion.

Es gibt zwei unterschiedliche Bedeutungen beim Laserscanning, die erste bezieht sich auf Laserabtastungsgeräte, welche funktional eine Rolle im Bereich Medizin, 3D-Drucken, Gravierung, Materialverarbeitung und Barcode-Scannern darstellt. Die zweite Bedeutung, spezifisch auf diese Arbeit bezogen, liegt im Bereich Laserabtastungsgeräte und LIDAR-Systeme, die ebenso eine Laserstrahlung verwenden. Diese dienen den Zwecken Vermessung, Erfassung und Modellierung der Umgebung des Scangeräts mit hoher Geschwindigkeit.

Die diversen zu Vermessungszwecken dienenden Laserscanningsprozesse tasten die Oberflächen des aufzumessenden Objekts in zwei- oder dreidimensionaler Form berührungslos durch die Verwendung von Laserstrahlen ab. Das Prinzip dafür basiert nach *Vosselman* auf einem durch einen Laserscanner auf ein Objekt geschossenen Laserstrahl. Ein Sensor im Scanner empfängt das reflektierte Signal und somit werden die Laufdistanz, Laufzeit, Rücklaufzeit zum Objekt und manchmal diverse Eigenschaften des Objektes registriert. Dieses Prinzip erklärt praktisch sowie wissenschaftlich den Funktionalismus von Laserscannern und LIDAR-/LADAR-Systemen. Als Resultat liefert dieser Prozess ein Modell in Form „quantitativer digitaler 3D-Darstellung“, welche Punktwolken genannt werden<sup>104</sup>. Diese spielen derzeit in Vermessungs-, Änderungsplanungszwecken von Bauobjekten eine nicht fungible Rolle.

### 3.3.3 Funktionalität und Messverfahren beim Laserscanning

Es stehen wissenschafts- sowie praxisbezogen zwei bekannte Messverfahren auf Basis von Laserstrahlung und anderen optischen Messtechniken sowie dem Messen von 3D-Flächen und -Objekten zur Verfügung: Lichtlaufzeit- und Triangulationsverfahren<sup>105</sup>. Dies ermöglicht die direkte oder indirekte Bestimmung der Entfernung zu den gemessenen Objekten. „Bei der Triangulationsmessung wird die Entfernung unter Berücksichtigung der inneren Orientierung

---

<sup>103</sup> vgl. M. Schuth, W. Buerakov: Handbuch Optische Messtechnik Praktische Anwendungen für Entwicklung, Versuch, Fertigung und Qualitätssicherheit, Hanser (2017), Seiten 6-8

<sup>104</sup> vgl. G. Vosselman, H. G. Maas: Airborne and Terrestrial Laser Scanning, Whittles Publishing (2010), Seiten 1-2

<sup>105</sup> vgl. G. Vosselman, H. G. Maas: Airborne and Terrestrial Laser Scanning, Whittles Publishing (2010), Seite 2

und der relativen Orientierung zwischen Sende- und Empfangseinheit über den gemessenen Disparitätswert bestimmt<sup>106</sup>.

Unter Lichtlaufzeitverfahren gliedern sich wieder zwei diverse Messverfahren: Impulsmessverfahren und Phasenvergleichsmessverfahren. Beim ersten wird aus dem gemessenen Laufzeitwert und bei dem zweiten aus dem Phasendifferenzwert die Entfernung ermittelt<sup>107</sup>. Im Allgemeinen werden Lichtlaufzeitverfahren für die mittleren und großen Entfernungen zwischen 3D-Laserscanner und den gemessenen Objekten verwendet. Triangulationsverfahren eignen sich für die kleinen Entfernungen, meistens weniger als 5 Meter<sup>108</sup>.

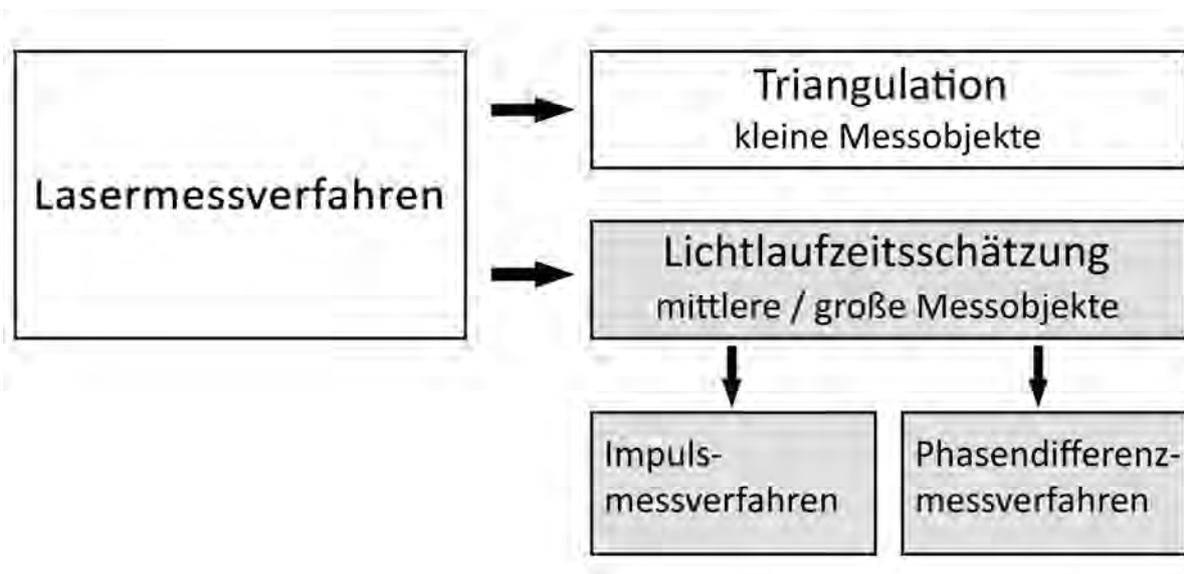


Abbildung 21: optische Messverfahren durch berührungsloses Laserscanning<sup>109</sup>

### 3.3.3.1 Triangulationsmessverfahren

Dieses Messverfahren bildet den Kern bei optischen Naherkundungsmesstechniken, wie zum Beispiel dem Lichtschnittverfahren und dem Triangulationssensor. Es funktioniert nach dem

<sup>106</sup> C. Heipke, Photogrammetrie und Fernerkundung - Handbuch der Geodäsie, Springer Spektrum (2017), Seite 80

<sup>107</sup> vgl. C. Heipke, Photogrammetrie und Fernerkundung - Handbuch der Geodäsie, Springer Spektrum (2017), Seiten 80-81

<sup>108</sup> vgl. G. Vosselman, H. G. Maas: Airborne and Terrestrial Laser Scanning, Whittles Publishing (2010), Seite 8

<sup>109</sup> Eigene Darstellung

mathematischen Triangulationsprinzip, welches von dem holländischen Astronom Willebrord Snellius auf Basis der Regel des wissenschaftlichen Optikers Ibn Sahl<sup>110</sup> erkundet wurde<sup>111</sup>.

Das Triangulationsmessverfahren besteht aus drei Komponenten: einem Licht- oder Laserprojektor, einem Lichtdetektor oder einer Kamera (CCD Kamera) und dem zu vermessenden Objekt. Der Abstand zwischen dem Projektor und Detektor ist bekannt. Durch den projizierten Laserstrahl an einem Punkt auf das Zielobjekt und seine Reflektion zum Detektor entsteht ein Dreieck, von dem insgesamt drei Werte bekannt sind<sup>112</sup>:

Der oben genannte Abstand, der Winkel des geschossenen Laserstrahls an dem Objekt und die Winkel der reflektierten Strahlen an dem Detektor.

Daraus ist nach der Triangulationsregel der zu ermittelnde Abstand zum Objekt berechenbar. ( $h$  in der untergelegten Abbildung 22).

$$l_1 = \frac{h}{\tan \alpha} \quad l_2 = \frac{h}{\tan \beta}$$

$$l = l_1 + l_2 = \frac{h}{\tan \alpha} + \frac{h}{\tan \beta}$$

$$h = l \frac{\tan \alpha \cdot \tan \beta}{\tan \alpha + \tan \beta}$$

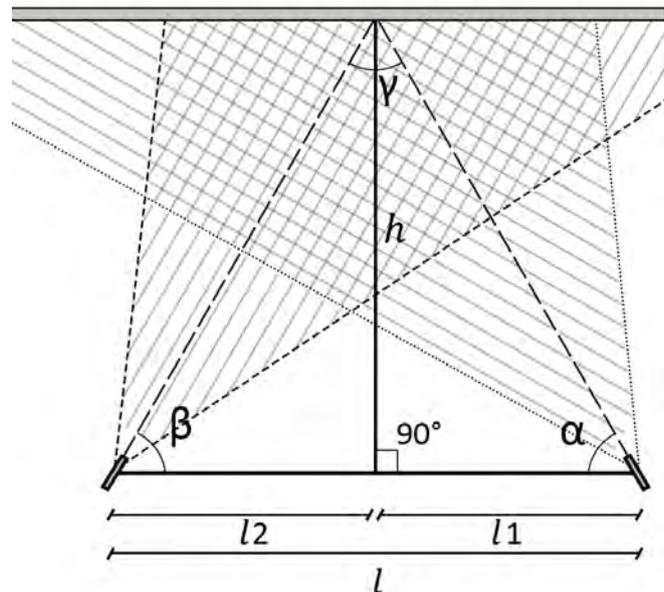


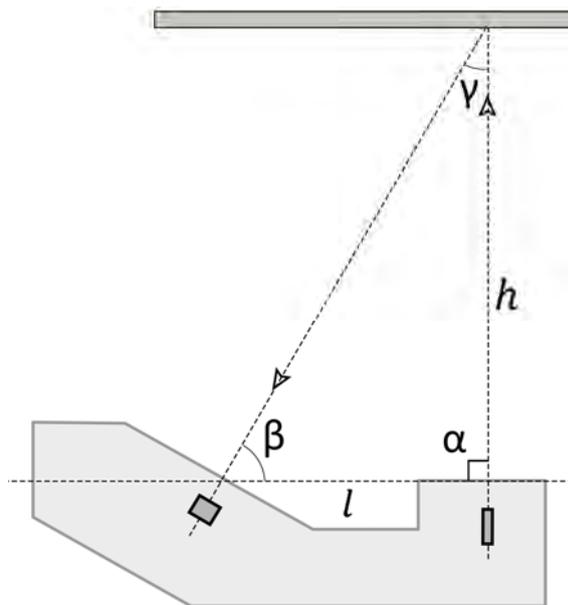
Abbildung 22: Prinzip des Triangulationsmessverfahrens<sup>113</sup>

<sup>110</sup> Weitere Informationen: R. Rashed: A pioneer in anacastics: Ibn Sahl on burning mirrors and lenses, University of Chicago, Isis: Vol 81 (1990), Seiten 464-491

<sup>111</sup> vgl. M. Schuth, W. Buerakov: Handbuch Optische Messtechnik Praktische Anwendungen für Entwicklung, Versuch, Fertigung und Qualitätssicherheit, Hanser (2017), Seite 10

<sup>112</sup> vgl. Albert Wiedemann: Handbuch Bauwerksvermessung Geodäsie, Basel AG (2004). Seite 250

<sup>113</sup> Eigene Darstellung, vgl. M. Schuth, Hanser (2017), Seite 11



Alle Messverfahren, die nach Triangulationsprinzip funktionieren, sind gekennzeichnet durch eine hohe Genauigkeit, einen automatisierbaren Vermessungsprozess und eine kurze Messungsdauer.

Die Fähigkeit der zu vermessenden 3D-Oberfläche, einen Lichtstrahl zu reflektieren, kann bei diesem Prinzip zu Unvollständigkeit bei der Vermessung führen.

Abbildung 23: Prinzip des Triangulationsensors<sup>114</sup>.

Der Triangulationswinkel ( $\gamma$ ) zwischen dem einfallenden und reflektierten Lichtstrahl liegt in der praktischen Verwendung meistens zwischen  $20^\circ$  und  $45^\circ$ <sup>115</sup>.

Beim optischen Triangulationssensor (Abbildung 23) ist üblicherweise ein Laserstrahl senkrecht zu projizieren ( $\alpha = 90^\circ$ ). Der Winkel des Lichtstrahldetektors ist aber variabel einstellbar. Der gesuchte Abstand ( $h$ ) wird, wie in der Abbildung 22, gerechnet<sup>116</sup>.

### 3.3.3.2 Lichtlaufzeitmessverfahren (Time-Of-Flight TOF)

#### 3.3.3.2.1 Impulsmessverfahren

Nach Heipke basiert dieses Messverfahren auf der Messung der Zeit zwischen der Entsendung und dem Empfang des Lichtimpulses, welcher auf eine Trägerwelle projiziert wird. Anhand der gemessenen Laufzeit kann die Entfernung ( $d$ : Distanz) zwischen dem Scanner und dem Objekt ermittelt werden.

<sup>114</sup> Eigene Darstellung

<sup>115</sup> M. Schuth, W. Buerakov: Handbuch Optische Messtechnik Praktische Anwendungen für Entwicklung, Versuch, Fertigung und Qualitätssicherheit, Hanser (2017), Seite 11

<sup>116</sup> M. Schuth, W. Buerakov: Handbuch Optische Messtechnik Praktische Anwendungen für Entwicklung, Versuch, Fertigung und Qualitätssicherheit, Hanser (2017), Seite 11

Die Entfernung ( $d$ ) lässt sich durch folgende Gleichung berechnen<sup>117</sup>, wobei  $z$  die ermittelte Zeit ist und  $c(\text{med})$  die Lichtgeschwindigkeit in dem verwendeten Medium (abhängig von Luftdruck und -temperatur<sup>118</sup>) ist:

$$d = \frac{z \cdot c(\text{med})}{2}$$

Die maximale Entfernung  $d(\text{max})$  hängt von der Pulswiederholrate  $fr$  ab und kann durch die nebenliegende Gleichung berechnet werden. Die Pulswiederholrate bei Laserscannern beträgt mehrere hundert Kilohertz. Davon können bis zu 5 Kilometer entfernte Objekte erfasst werden<sup>119</sup>.

$$d(\text{max}) = \frac{c(\text{med})}{2fr}$$

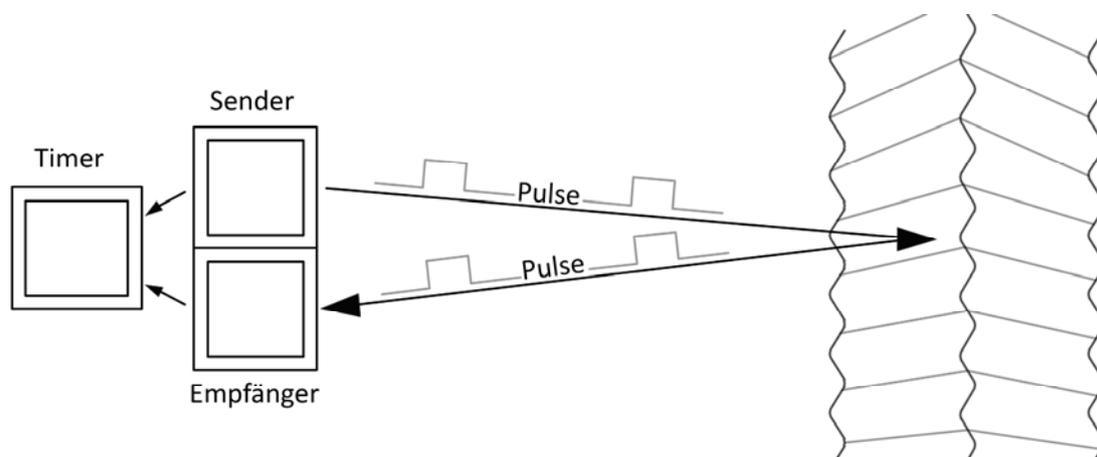


Abbildung 24: Prinzip des Laufzeitmessverfahrens<sup>120</sup>.

### 3.3.3.2 Phasenvergleichsmessverfahren (auch Phasendifferenzmessverfahren)

Dieses Verfahren basiert auf kontinuierlichen Wellen, die durch eine Amplitudenmodulation produziert und gesendet werden. Durch die Reflexion dieser Wellen entsteht eine Verschiebung zwischen den gesendeten und empfangenen Wellen. Anhand der Phasendifferenz (oder der Phasenverschiebung) kann die Laufzeit und daraus die Entfernung definiert werden. Die Sinusschwingungsdarstellung zweier identischer Phasen zeigt, wie in Abb. 25, eine Übereinstimmung der Periodendauer der Phasen. Deren erfasste Zeitabläufe sind verschoben<sup>121</sup>.

<sup>117</sup> vgl. C. Heipke, Photogrammetrie und Fernerkundung - Handbuch der Geodäsie, Springer Spektrum (2017), Seiten 81-82

<sup>118</sup> vgl. G. Vosselman, H. G. Maas: Airborne and Terrestrial Laser Scanning, Whittles Publishing (2010), Seite 3

<sup>119</sup> vgl. C. Heipke, Photogrammetrie und Fernerkundung - Handbuch der Geodäsie, Springer Spektrum (2017), Seite 82

<sup>120</sup> Eigene Darstellung, vgl. M. Schuth, Hanser (2017), Seite 194

<sup>121</sup> vgl. C. Heipke, Photogrammetrie und Fernerkundung - Handbuch der Geodäsie, Springer Spektrum (2017), Seite 81

$d$  ist die zu ermittelnde Entfernung,  $\lambda m$  Wellenlänge und  $\phi$  Phasendifferenz<sup>122</sup>.

$$d = \frac{\lambda m \cdot \phi}{4\pi}$$

Der maximale Entfernungswert  $d(max)$  muss größer als die Entfernung  $d$  sein und kann durch die nebenstehende Gleichung berechnet werden<sup>123</sup>.

$$d(max) = \frac{\lambda m}{2}$$

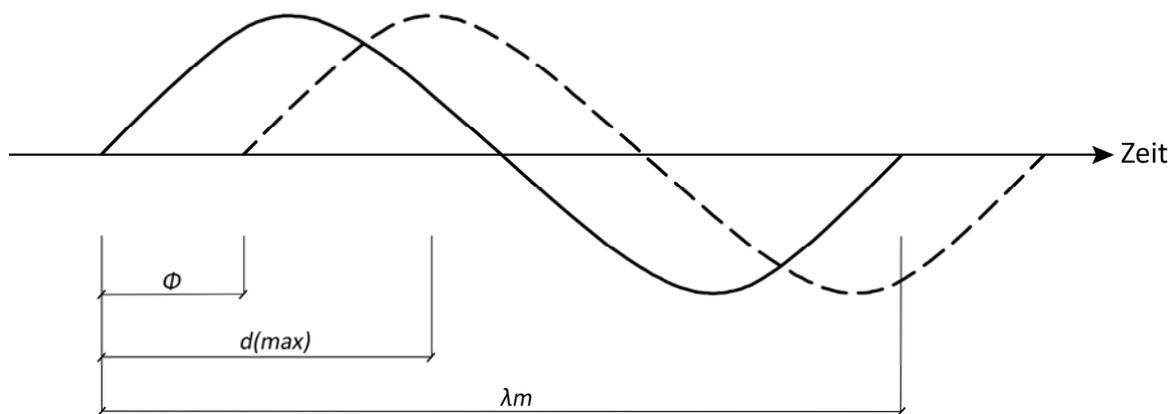


Abbildung 25: Prinzip von einer Phasendifferenz<sup>124</sup>

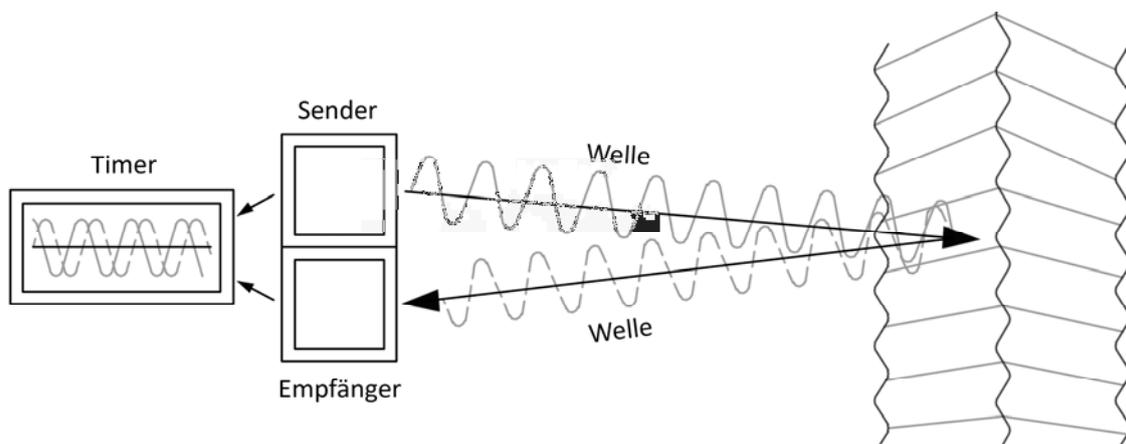


Abbildung 26: Prinzip des Phasendifferenzmessverfahrens<sup>125</sup>

<sup>122</sup> vgl. C. Heipke, Photogrammetrie und Fernerkundung - Handbuch der Geodäsie, Springer Spektrum (2017), Seite 81

<sup>123</sup> vgl. G. Vosselman, H-G. Maas: Airborne and Terrestrial Laser Scanning, Whittles Publishing (2010), Seite 7

<sup>124</sup> Eigene Darstellung, vgl. C. Heipke, Photogrammetrie, Springer Spektrum (2017), Seite 80

<sup>125</sup> Eigene Darstellung, vgl. M. Schuth, Hanser (2017), Seite 195

Das Phasenmodulationsverfahren ermöglicht die günstige Herstellung von Laserscannern mit höherer Auflösung. Vorteile von Scannern mit Impulsmesstechnik liegen in einigen gewonnenen Zusatzinformationen, wie zum Beispiel der Intensität des reflektierten Laserstrahls, welche das Erzeugen fotorealistischer Abbildungen der Umgebung vereinfacht<sup>126</sup>. Die Intensität des reflektierten Signals kann bei manchen Laserscannern ebenso registriert werden. Dies dient der Kombination von Punktwolken mit Daten anderer Messsysteme<sup>127</sup>.

### 3.3.4 Laserscanner und deren Komponenten

In Architektur-, Vermessungs-, Geographie- und Maschinenbau fachbereichen werden 3D-Laserscanner häufiger verwendet und dienen als Messinstrumente, die viele klassische Messtechniken ablösen. Praxisbezogene Beispiele dafür sind: Bau, Verkehr, Industrie, Archäologie, Denkmalpflege, Geologie, Medizin und Virtuelle Realität, wo diese Scanner nicht nur einsetzbar sondern auch nicht fungibel sind. Die Auswertung der durch Laserscanner erfassten Punktwolken liefert drei- und zweidimensionale Maße des abgetasteten Objekts. Anhand der Punktwolken kann die Modellierung und Visualisierung der Objekte leicht erzeugt werden. Schnitte in diversen vertikalen oder horizontalen Ebenen können genauso erstellt werden.

Laserscanner bestehen aus mehreren Teilen und können nach Mechanismus und Anwendungsbereich sowie nach Hersteller voneinander unterschieden werden sowie anders aufgebaut sein. Prinzipiell bilden elektrooptische Sensoren, die Betriebssoftware und die dazugehörigen Steuereinheiten und Leiter den Kern eines Laserscanners. Eine Kameraeinheit kann zusätzlich im Laserscanner integriert werden und dient der RGB-Farberfassung von Objekten, da ohne solche Kameras die Abtastung von Objekten monochrome Punktwolken liefert. Eine GPS-Einheit kann sowohl im Gehäuse des Scanners verbaut oder getrennt positioniert und durch die Software mit dem Scanner gekoppelt werden. GPS-Einheiten dienen der Verortung bei der Erfassung von Objekten. Mehrere erfasste Punktwolken eines Objekts oder eines Gebietes werden anhand eines globalen Koordinatensystems in bestimmten Scangebieten, wie zum Beispiel beim Mobile-Laserscanning, georeferenziert.

Kommerzielle Laserscanner bestehen aus folgenden Komponenten:<sup>128</sup>

- **Laserquelle** (Gas, Farbstoff oder Festkörper).

<sup>126</sup> DVW – Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement e.V., Terrestrisches Laserscanning 2017, Beiträge zum 165. DVW-Seminar, Band 88, Wißner-Verlag (2017), Seite 11

<sup>127</sup> vgl. Albert Wiedemann: Handbuch Bauwerksvermessung Geodäsie, Photogrammetrie, Laserscanning, Springer Basel AG (2004). Seite 250

<sup>128</sup> Komponente des Laserscanners beziehen sich auf: G. Vosselman, H. G. Maas: Airborne and Terrestrial Laser Scanning, Whittles Publishing (2010), Seiten 11- 15

- **Transmitter**, welcher den Laserstrahl meistens gemäß Gauß-Regel fokussiert propagiert, dafür werden Spiegel in diversen Mechanismen verwendet.
- **Detektor**, welcher durch Fotosensor den reflektierten Laserstrahl empfängt.
- **Medium-Sensoren**, welche für die Korrektur und Kalibrierung von fehlerhaften Zeitlaufwerten dienen, die wegen bestimmter Eigenschaften des Mediums, wie z. B. Temperatur, Feuchtigkeit und Druck des Mediums, entstehen können.
- **Zusätzliche Sensoren**, dazu gehören Kamera, Altimeter, GPS-Einheit und Kompass.

Die Laserscanner gliedern sich in diverse Typen gemäß ihren Betriebsmechanismen, welche den Laserstrahl in unterschiedlichen Arten projizieren. Terrestrische Laserscanner besitzen typischerweise zwei orthogonal montierte Spiegel und können das Zielobjekt durch mechanische Drehung der Spiegel mit Laserstrahl erfassen. Laserscanner, die auf Triangulationsmessverfahren basieren, verwenden zum Messen eine Linie anstelle eines Spots.

Im Grunde genommen variiert das Scannen darin, wie die Laserstrahlen auf das Zielobjekt projiziert werden. Drehbare Spiegel diverser Arten sorgen für unterschiedliche Projektion des Laserstrahls. Am häufigsten verwendete Spiegelsysteme sind oszillierende, drehbare polygonale, Nutating (Palmer) und Faserspiegel<sup>129</sup>. In der untenliegenden Abbildung ist die Projektion von Laserstrahlen durch diverse Spiegelsysteme zu sehen.

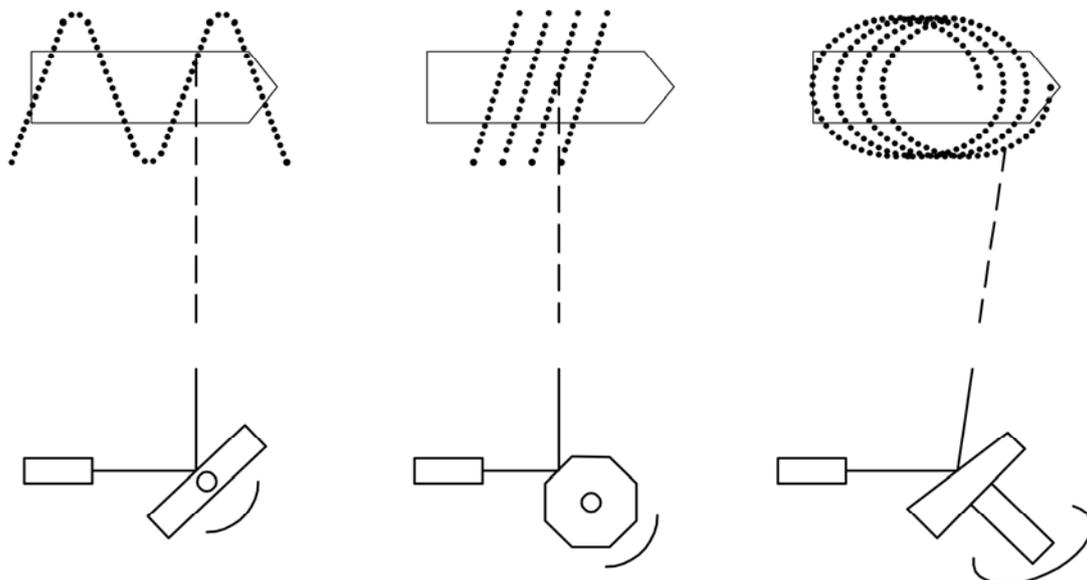


Abbildung 27: Grafische Darstellung einiger Spiegelsysteme in Laserscannern<sup>130</sup>

<sup>129</sup> vgl. G. Vosselman, H. G. Maas: Airborne and Terrestrial Laser Scanning, Whittles Publishing (2010), Seite 16

<sup>130</sup> Eigene Darstellung, vgl. G. Vosselman, Whittles Publishing (2010), Seiten 17

### 3.3.5 Laserscanning-Systeme

Einsatzzweck von Laserscannern, Größe des Zielobjekts und erwünschte Genauigkeit der Vermessung bestimmen das einzusetzende Laserscanning-System. Die praxisbezogenen bekannten Laserscanner-Systeme sind: Satelliten-, Flugzeugtragende- (airborne-), terrestrische-, mobile-, und handtragende Laserscanner.

#### 3.3.5.1 Terrestrisches Laserscanning

Nach *Schuth* ist das terrestrische Laserscanning (TLS) eine automatische Messtechnologie, die sich aufgrund der rasanten Weiterentwicklung der Hard- und Software als berührungsloses Messverfahren zur 3D-Objektformerfassung etablieren konnte. Mit der Ablenkung eines Laserpulses in Richtung der Oberfläche des Messobjekts mithilfe eines im Laserscanner integrierten Spiegels startet die Zeitmessung. Dieser Prozess wird mit dem Empfang eines Teils des reflektierten Laserpulses bei einem Detektor abgeschlossen<sup>131</sup>.

Aus der gemessenen Zeit ergibt sich der Abstand zum Zielobjekt. Grundsätzlich wird ein terrestrischer Laserscanner in Erdbereichen eingesetzt und ist für Zielobjekte in geringen bis mittleren Abständen sehr geeignet. Der terrestrische Laserscanner gilt im Nahbereich und in geschlossenen Bereichen, unabhängig von Lichtfaktoren, für Messzwecke als unersetzbar. Praxisbezogen werden LTS häufig in Fabriken eingesetzt. Die erfassten Punktwolken dienen der Grundplanung für in Fabrikhallen zu positionierende große industrielle Teile und Rohre. In denkmalgeschützten Gebäuden sind solche Scanner fast durch keine anderen Messtechniken, wie zum Beispiel Photogrammetrie, zu ersetzen.

Das terrestrische Laserscanning verfügt über verschiedene Besonderheiten. Diese gliedern sich in die automatischen berührungslosen Messverfahren, die Erfassung von kleinflächigen (im Zentimeterbereich) bis großflächigen Zielobjekten, die hohe Genauigkeit bei der Vermessung und den, auch bei komplexen Messobjekten, relativ schnellen Messprozess gegenüber anderen Messtechniken. Nachteile beim Einsatz der terrestrischen Laserscanner sind aber nicht ausgeschlossen und liegen in den Unterschieden bei der Genauigkeit, die sich von vielen Faktoren beeinflussen lässt. Zu diesen Faktoren gehören der Abstand zum Messobjekt, der Auftreffwinkel, die allgemeinen Eigenschaften der Oberfläche, insbesondere die Farbe und die Reflexivität.

---

<sup>131</sup> vgl. M. Schuth, W. Buerakov: Handbuch Optische Messtechnik Praktische Anwendungen für Entwicklung, Versuch, Fertigung und Qualitätssicherheit, Hanser (2017), Seite 193

Aus Erfahrung ist von einer Genauigkeit im Millimeterbereich auszugehen, welche keine entscheidende Rolle für diese Forschungsarbeit spielt.

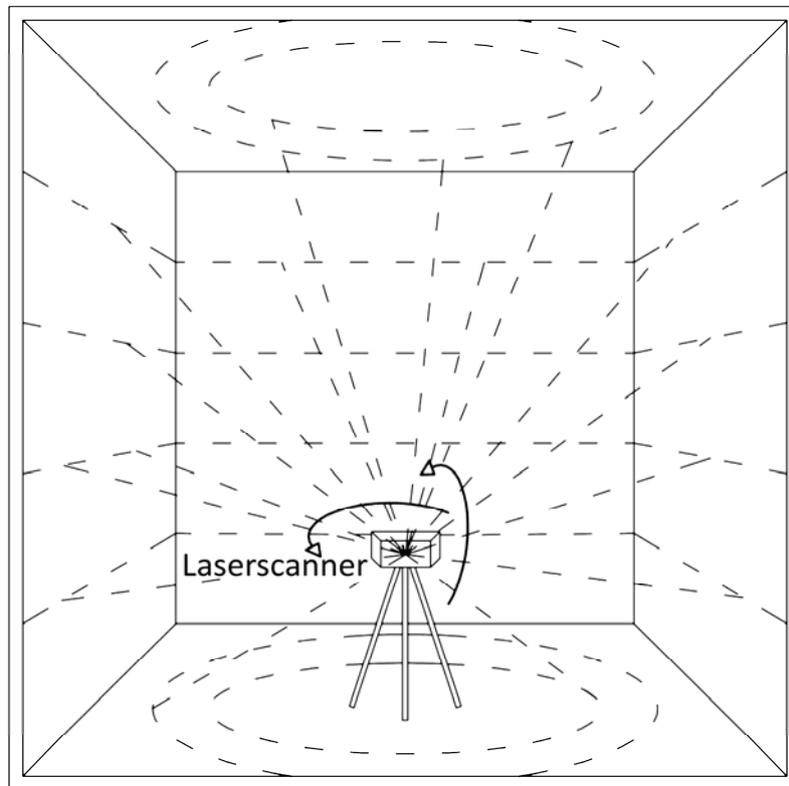


Abbildung 28: grafische Darstellung des terrestrischen Laserscanningverfahrens<sup>132</sup>

Im Allgemeinen können folgende Faktoren die Messung mit TLS stark beeinflussen<sup>133</sup>:

- Spiegelnde und laserstrahlabsorbierende Oberflächen sind für die Messung mit TLS nicht geeignet.
- Bewegungen und Vibrationen beeinflussen die Genauigkeit stark und sind deshalb zu vermeiden.
- Die Eigenschaften der Atmosphäre, wie zum Beispiel die Temperatur, Feuchtigkeit, Staub und Luftdruck, wirken sich auf das Messverfahren mit TLS aus, da die Lichtgeschwindigkeit von den Eigenschaften des Mediums abhängig ist.
- Verfälschungen beim Vermessen von Kanten können auch auftreten. In diesem Fall wird ein Teil des Laserpunktes auf der einer Seite der Kante reflektiert, während der

---

<sup>132</sup> Eigene Darstellung

<sup>133</sup> Die Faktoren beziehen sich auf: M. Schuth, W. Buerakov: Handbuch Optische Messtechnik Praktische Anwendungen für Entwicklung, Versuch, Fertigung und Qualitätssicherheit, Hanser (2017), Seiten 194 - 196

Rest auf die Oberfläche hinter der Ecke auftrifft und von dort reflektiert wird. Aus diesem Grund ist das Ergebnis ein Mittelwert aus den beiden Reflexionen, was der Realität nicht mehr entspricht.

- Die gesamte Erfassung von Messobjekten lässt sich durch mehrfache Scanningabschnitte realisieren. Dafür ist der Laserscanner an diversen Stellen zu positionieren. Dies führt zu einer nicht vollautomatisierten Georeferenzierung der Scanningabschnitte in den passenden Computerprogrammen.

### 3.3.5.2 Airborne-Laserscanning

Anfang der 1970er Jahre konnten Entfernungen zwischen Flugzeugen und Bodenzielen mit einer Genauigkeit von weniger als 1 m mithilfe von luftgestützten Lidarsystemen gemessen werden. Trotz dieser Erfindung haben sich Laser-Höhenmesssysteme nicht weit verbreitet, vor allem für die präzise topographische Kartierung<sup>134</sup>.

Dies hat zwei Gründe:

- Erstens musste die vertikale Position des Flugzeugs mit einer Genauigkeit bekannt sein, die mit der Messfähigkeit des Lidarsystems vergleichbar war.
- Zweitens musste auch die horizontale Position des beleuchteten Punktes auf dem Boden (Laserabdruck) bekannt sein.

Zu diesem Zeitpunkt konnten beide Aspekte für große Gebiete nicht mit ausreichender Qualität bestimmt werden. Ende der 1980er Jahre wurde eine Methode entwickelt, mit der sich Position und Orientierung dank der Verfügbarkeit von GPS über große Gebiete präzise erfassen lassen. Mit der Einführung des Differential GPS (DGPS) wurde die Scannerposition mit einer Standardgenauigkeit von  $\pm 10$  cm in Höhe und  $\pm 50$  cm in Position in horizontalen und vertikalen Koordinaten im Subdezimeterbereich bekannt<sup>135</sup>. In den 1990er Jahren wurden Laser-Profilier, die für Entfernungsmessungen verwendet wurden, durch Scan-Geräte ersetzt, die zu dieser Zeit 5.000 bis 10.000 Laserpulse pro Sekunde erzeugten. Mittlerweile wurde diese Zahl um 300 kHz erhöht und es ist eine gängige Technik zur Erzeugung qualitativ hochwertiger 3D-Präsentationen der Landschaft<sup>136</sup>.

---

<sup>134</sup> vgl. G. Vosselman, H. G. Maas: Airborne and Terrestrial Laser Scanning, Whittles Publishing (2010), Seiten 19-20

<sup>135</sup> vgl. G. Vosselman, H. G. Maas: Airborne and Terrestrial Laser Scanning, Whittles Publishing (2010), Seite 20

<sup>136</sup> vgl. G. Vosselman, H. G. Maas: Airborne and Terrestrial Laser Scanning, Whittles Publishing (2010), Seiten 19-21

### Prinzip des luftgestützten Laserscannens:

Nach *Vosselman* erfolgt das Laserscanning in der Luft entweder von einem Starrflügelflugzeug oder einem Hubschrauber aus. Die Technik basiert auf zwei Hauptkomponenten: einem Laserscannersystem, das die Entfernung zu einem vom Laser beleuchteten Punkt auf dem Boden misst, und einer Kombination aus GPS / IMU (Inertial measurement unit, auf Deutsch: Trägheitsmesseinheit), um die Position und Ausrichtung des Systems genau zu messen. Aktive Systeme, die auf Laserscanning basieren, sind relativ unabhängig vom Sonnenlicht. Sie können tagsüber oder nachts betrieben werden. Diese Eigenschaft ist ein erheblicher Vorteil des luftgestützten Laserscannings im Vergleich zu anderen Methoden zur Vermessung von Landschaften.<sup>137</sup>

Die Grundkomponenten eines Laserscanners in der Luft sind<sup>138</sup>:

- Scanner-Baugruppe (Scanner assembly): bestehend aus Laser, Scanmechanik und Optik. Während das Flugzeug fliegt, sendet das über einem Loch im Flugzeugrumpf angebrachte Lasersystem kontinuierlich Laserimpulse in Richtung des Geländes. Die aktuelle Technologie erlaubt Messdichten zwischen 0,2 und ca. 50 Punkten / m<sup>2</sup>. Diese ist von Fluggeschwindigkeit und Vermessungshöhe abhängig. Der Rollausgleich bei modernen Scannern gleicht das Rollen des Flugzeugs aus und hilft, Lücken in der Abdeckung zu vermeiden, die zwischen benachbarten Schwaden aufgrund von Rollen auftreten können. Durch die Rollkompensation kann die Überlappung zwischen den Fluglinien kleiner geplant werden, wodurch sich ein wirtschaftlicher Vorteil ergibt.
- Luftgestützte GPS-Antenne: Die GPS-Signale werden mit einer Abtastrate von 2 Hz von einer Zweifrequenzantenne aufgezeichnet. Die Antenne ist an einer exponierten Position oben auf dem Flugzeug angebracht und bietet eine ungestörte Verbindung mit GPS-Satelliten.
- Inertial Measurement Unit (IMU): Die Aufgabe der IMU besteht in der Aufzeichnung – im Regelfall mit einer Abtastrate von 200 Hz - von Beschleunigungsdaten und Rotationsraten. Anhand der Beschleunigungsdaten wird die Interpolation der Plattformposition auf der GPS-Trajektorie unterstützt, während die Plattformentorierung mithilfe von Rotationsraten bestimmt wird. Durch die Kombination von GPS- und IMU-Daten kann der Flugweg (die Flugbahn) mit einer Genauigkeit von mehr als 10 cm rekonstruiert

---

<sup>137</sup> Eigene Übersetzung aus dem Englischen: G. Vosselman, H. G. Maas: Airborne and Terrestrial Laser Scanning, Whittles Publishing (2010), Seiten 21-22

<sup>138</sup> Die geklärten Komponenten beziehen sich auf eigene Übersetzung aus dem Englischen: G. Vosselman, H. G. Maas: Airborne and Terrestrial Laser Scanning, Whittles Publishing (2010), Seiten 22-23

werden. Die IMU wird entweder direkt am Laserscanner oder in der Nähe auf einer stabilen Vermessungsplattform befestigt.

- Steuer- und Datenerfassungseinheit: Die von Scanner, IMU und GPS erfassten Entfernung- und Positionsdaten werden von diesem Gerät gespeichert, das für die Zeitsynchronisation und Steuerung des gesamten Systems verantwortlich ist. Die Größe dieser Entfernungsmessdaten kann bei modernen Laserscannern, die bis zu 300.000 Laserpulse pro Sekunde erzeugen, etwa 20 GB pro Stunde betragen, während GPS- und IMU-Daten etwa 0,1 GB pro Stunde ergeben.
- Andere Komponenten: Bediener-Laptop und Flugmanagementsystem.

Ein Luft-Laserscanner wird durch eine GPS-Bodenstation, die als Referenzstation für die Offline-Differential-GPS-Berechnung (DGPS) dient, und ein mittelgroßes Digitalkamerasystem ergänzt. Diese Kamera bietet erhebliche Unterstützung bei der Dateninterpretation durch gleichzeitig mit Entfernungsdaten aufgenommene Bilder. Besonders hilfreich ist es in dem schwierigen Fall der Objekterkennung nur anhand von Entfernungsdaten. Die Kamera befindet sich optimalerweise auf der Grundplatte der Scanner-Baugruppe, denn die vorhandene IMU-Registrierung kann für die Georeferenzierung geteilt werden<sup>139</sup>.

Die Kalibrierung der GPS-, IMU- und Scanner-Baugruppe; die Flugwegwiederherstellung, die Komplexität des Ziels, die Mehrwegereflexionen (wenn der Laserstrahl vor Erreichen des Detektors von einem anderen Objekt auf dem Boden reflektiert wird) und die Koordinatentransformation und Geoidkorrektur führen zu möglichen Fehlern bei der Erfassung von Flächen anhand des Airborne Laserscanners<sup>140</sup>.

Beim Airborne Laserscanning bestehen wie bei anderen Messverfahren Nachteile. Diese können in Form von Einschränkungen der freien Sicht zum Boden durch Wolken, Nebel und dichte Vegetation bestehen, da eine Laserstrahlung diese Hindernisse nicht durchdringen kann. Trotz seiner Einschränkungen bietet das Laserscannen in der Luft einige Vorteile im Vergleich zu anderen Verfahren zur Erzeugung von Höhenmessdaten. Diese gliedern sich nach *Vosselman* in:<sup>141</sup>

- Hohe Messdichte und hohe Datengenauigkeit: Die höchsten Messdichten (ca. 30 Messungen / m<sup>2</sup>) werden von einem Hubschrauber aus erreicht. Die Standardgenauigkeit

<sup>139</sup> vgl. G. Vosselman, H. G. Maas: Airborne and Terrestrial Laser Scanning, Whittles Publishing (2010), Seite 23

<sup>140</sup> Eigene Übersetzung aus dem Englischen: G. Vosselman, H-G. Maas: Airborne and Terrestrial Laser Scanning, Whittles Publishing (2010), Seiten 29-30

<sup>141</sup> vgl. G. Vosselman, H. G. Maas: Airborne and Terrestrial Laser Scanning, Whittles Publishing (2010), Seite 35

der Höhendaten im lokalen Koordinatensystem beträgt 0,05 - 0,2 m für die Höhe und 0,2 - 1,0 m für die Position.

- Schnelle Datenerfassung
- Mindestmenge an Bodenwahrheitsdaten: Die terrestrische Arbeit wird minimiert, da selbst für große Flugblöcke nur wenige Bodenreferenzen erforderlich sind.

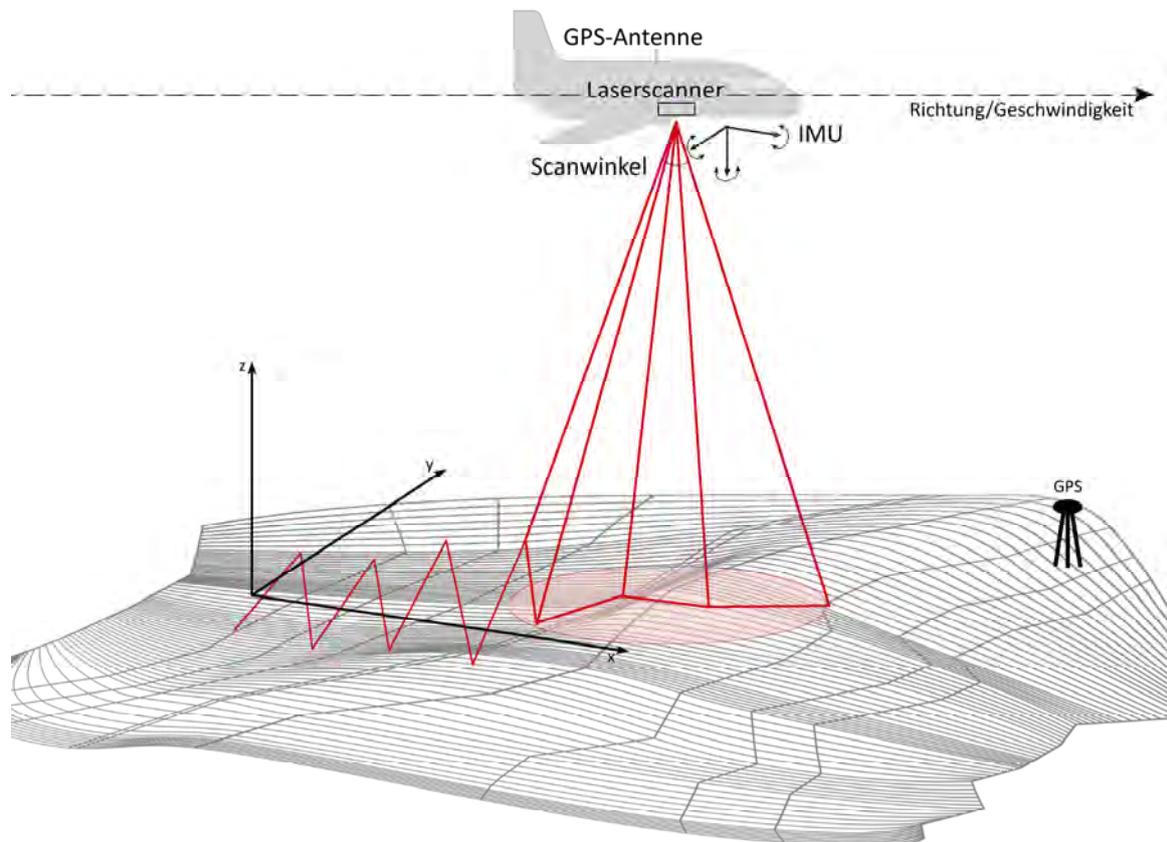


Abbildung 29: Prinzip und Komponente eines airborne Laserscanningverfahrens<sup>142</sup>

### 3.3.5.3 Mobile Laser Scanning (MLS)

Mobile Laser Scanning (MLS) ist eine relativ neue Technologie, die dem Airborne Laserscanning ähnlich ist. Objekte werden mittels Laserentfernungsmessungen von Fahrzeugen (zum Beispiel SUVs, Vans, gesteuerten Robotern aber auch Schiffen oder Zügen) kontinuierlich während der Fahrt erfasst und unter Verwendung von GPS-/IMU-Daten zu einer 3D-Punktwolke verarbeitet. Bei dem Mobile Laserscanning sind die Besonderheiten des Airborne

<sup>142</sup> Eigene Darstellung

Laserscannings (automatische Georeferenzierung) und des terrestrischen Laserscannings (Genauigkeit) miteinander verbunden<sup>143</sup>.

„Ziel des Mobile Laserscannings ist die Erfassung von 3D Daten von Objektoberflächen unter Beachtung der nachfolgenden Anforderungen:

- zeiteffiziente Datenerfassung in ausgedehnten Zielgebieten
- automatische Registrierung der Daten in einem vorgegebenen Koordinatensystem
- hohe Auflösung und hohe Genauigkeit der registrierten Daten“<sup>144</sup>

---

<sup>143</sup> vgl. Mobile Laserscanning, Topscan GmbH (2011), <http://topscan.de/deutsch/mobile-laser-scanning/>, abgerufen: 26.01.2019

<sup>144</sup> P. Rieger, N. Studnicka, A. Ullrich, Mobile Laser Scanning, Anwendungen. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2004, Wichmann (2004). Seite 1

## Kapitel 4 - Angewendete Instrumente, Tools und Software

Systeme dienen verschiedenen Zwecken, die sich in ihrer Aufbaugröße und -komplexität unterscheiden. Während einfache Aufgaben relativ einfache Systeme benötigen, können komplexe Anforderungen eine große Herausforderung für die Entwicklung der passenden Systeme bringen. Generell wird für die Einführung eines Systems eine Reihe von diversen Prozessen angewendet und eine Kombination von vielfältigen Tools gebraucht. Je höher die Anforderungen, desto komplexer ist der Aufbau des Systems, was in vielen Fällen zwingend notwendig ist. Die Komplexität des Aufbaus eines Systems muss nicht unbedingt in seiner Anwendungsoberfläche widerspiegelt werden. In der Regel liegt der Hauptvorteil in den einfachen Bedienungsmöglichkeiten sowie der nutzerfreundlichen Oberfläche eines Systems.

Ziel dieser Arbeit ist, wie im Kapitel 1 erwähnt, die Entwicklung einer Software bzw. eines Systems, das die Schäden in ausgewählten Gebietsgebäuden nach einer Katastrophe automatisiert/teilautomatisiert erkennt und diese klassifiziert auf einer Karte zu zeigt. Die Entwicklung einer solchen Software brachte eine Reihe von Herausforderungen und Anforderung mit sich, wobei zunächst Teilsysteme entwickelt werden mussten, die für das Endsystem kombiniert wurden. Für die geplante Software bzw. das Endsystem werden diverse Tools und Instrumente aus unterschiedlichen Wissensbereichen, wie zum Beispiel Informatik, Architektur, Photographie und Vermessung, eingesetzt, sowie auf komplexe Implantierungen und Verknüpfungen dieser Tools in diversen Plattformen zurückgegriffen.

Diese Tools können wie folgt unterteilt werden:

1. Programmertools. Diese beinhalten:
  - Python, die verwendete Programmiersprache
  - GoogLeNet / Inception, die verwendeten neuronalen Netzwerke / deren Modelle
  - Tensorflow/Tensorboard
  - Keras
  - Tkinter
  - NumPy-Python
  - AST-Python
  - OpenCV
  - Flask
2. Sonstige Tools.
  - Meschroom
  - VSCode
  - CloudCompare

Es ist zu betonen, dass diese Tools als Open Source verfügbar sind. Darunter verstehen sich unkodierte oder unverschlüsselte Softwares, auf die jeder Zugriff hat. Diese Softwares werden direkt von deren Entwicklern kostenlos mit offener Programmierungskodierung angeboten. Ein anderer Vorteil der Open-Source-Softwares besteht darin, dass die Unterstützung bei und die Lösung von Problemen durch die Kooperation aller Nutzer weltweit sowie die Entwickler selbst erfolgt. Dazu ermöglichen diese Softwares und Plattformen, dass die Nutzer selbst an den Entwicklungsprozessen teilnehmen. Dies führt außerdem zu rasanter und kontinuierlicher Weiterentwicklung dieser Softwares. Einige Nachteile bei der Verwendung von Open-Source-Softwares liegen in der Instabilität einiger neuen Versionen, auch Beta-Versionen genannt, die in bestimmten Fällen Fehler beinhalten, die kurz nach der Erprobung auftreten und infolge behoben werden müssen.

Im Folgenden werden die obengenannten Tools kurz beschrieben:

## **4.1 Programmierertools**

### **4.1.1 Python**

Python ist eine objektorientierte Programmiersprache, die Anfang der 1990er Jahre in Amsterdam, Niederlande, von Guido van Rossum entwickelt wurde<sup>145</sup>. Auf Grund der attraktiven Vorteile und vor allem dem problemlosen Einsatz im Vergleich zu anderen Programmiersprachen wird Python häufig sowohl von hobbymäßigen als auch von professionellen Programmierern eingesetzt. Python ist eine echte plattformunabhängige Programmiersprache, die reibungslos auf fast allen Betriebssystemen wie Windows, Mac OS und Linux funktioniert. Außerdem können Programme in Python schneller, meistens mit weniger Codezeilen als in anderen Programmiersprachen wie C++, C# oder Java geschrieben werden. Python beinhaltet zahlreiche eigene für sich entwickelte Bibliotheken sowie vielfältige assimilierte Bibliotheken aus anderen Programmiersprachen<sup>146</sup>. Python nahm in letzten Jahren zunehmend eine zentrale Rolle bei den im KI-Bereich verwendeten Programmiersprachen ein, wobei tausende KI-Anwendungen für diverse Zwecke in Python geschrieben sind. Ein weiterer Vorteil von Python liegt darin, dass Python den Entwicklern eine einfache Kombination zwischen Softwares und Hardware ermöglicht, was wiederum eine wichtige Rolle für die technischen Entwicklungen spielt.

Aus diesen Gründen ist Python eine geeignete Sprache zur Entwicklung von den Softwares dieser Arbeit. Die aktuelle Python-Version 3.8 wurde bereits am 15.10.2019 freigegeben.

---

<sup>145</sup> vgl. <http://www.Python.org>, abgerufen: 18.03.2019

<sup>146</sup> vgl. <http://www.Python.org>, abgerufen: 18.03.2019

Allerdings ist die für das Programm benutzte Version die Nummer 3.6.8, die im Dezember 2018 veröffentlicht wurde.<sup>147</sup> Jedoch lässt sich der Umstieg auf die aktuelle Version nachweislich leicht und problemlos bewerkstelligen.

### 4.1.2 GoogLeNet / Inception

GoogLeNet ist ein 22 Schichten tiefes Netzwerk, das zur Klassifizierung und Erkennung in der Imagenet Large-Scale Visual Recognition Challenge 2014 (ILSVRC 14) dient.<sup>148</sup> Dieses Netzwerk wurde 2014 erstmals präsentiert und erzielte in kurzer Zeit einen großen Erfolg. Im Vergleich zu anderen Netzwerken erreichte GoogLeNet die beste (geringste) Top-5-Fehlerquote, mit nur 6,67%<sup>149</sup> im Jahr 2014 und gewann damit gegen AlexNet, VGGNet und ZFNet<sup>150</sup> den ersten Platz in ILSVRC 14.<sup>151</sup>

Die Architektur von GoogLeNet basiert auf der Technik Netzwerk in Netzwerk (NiN) und auf einem Kernmodul namens Inception<sup>152</sup>. Das Inception V1 Modul wurde im Jahr 2014 entwickelt und eingesetzt und in den darauffolgenden Jahren in Versionen V2, V3 und V4 weiterentwickelt. Zu den oben erwähnten Techniken wurde auch eine dritte Technik im GoogLeNet-KI-Netzwerk, die durchschnittliches Pooling heißt, verwendet. Durch den Einsatz von Pooling-Schichten wurde die enorme Anzahl von Verknüpfungen reduziert<sup>153</sup>. In anderen KI-Netzwerken wurden vollständig verbundene Schichten (Englisch: fully connected layers FC) verwendet, welche eine Verbindung von allen Eingängen mit jedem Ausgang erzwingen. Das durchschnittliche Pooling ermöglicht im Gegensatz dazu eine Übertragung von nur einzelnen Eigenschaften und nicht von allen vorherigen Schichten.

Inception als Hauptmodul des GoogLeNet-KI-Netzwerks wurde so gebaut, dass die normalerweise erhebliche Anzahl der Berechnungsoperationen in den anderen KI-Netzwerken reduziert wurde. Dafür wurde ein 1x1 Faltungsfiler eingesetzt. Dieser erfüllte nicht nur den Zweck, die Berechnungsdimensionen zu reduzieren, sondern ermöglichte auch eine tiefere und breitere Dimension des Berechnungsprozesses. Diese Technik ist im Informatikbereich als Bottleneck bekannt<sup>154</sup>.

---

<sup>147</sup> vgl. <http://www.Python.org>, abgerufen: 18.03.2019

<sup>148</sup> Aus dem Englischen CVPR2015, Szegedy, Liu, Going Deeper with Convolutions, 2015, Seite 1

<sup>149</sup> Fehlerquote 6,67% ähnelt der Fehlerquote von Menschen

<sup>150</sup> AlexNet, VGGNet und ZFNet bilden sonstige weltweit verwendete neuronale Netzwerke

<sup>151</sup> Aus dem Englischen CVPR2015, Szegedy, Liu, Going Deeper with Convolutions, 2015, Seite 7

<sup>152</sup> vgl. Sik-Ho Tsang, GoogLeNet, <https://medium.com/coinmonks/paper-review-of-googlenet-inception-v1-winner-of-ilsvlc-2014-image-classification-c2b3565a64e7>, abgerufen: 18.03.2019

<sup>153</sup> vgl. I. Vasilev, Python Deep Learning, Packt Publishing Ltd. Birmingham (2019), Seite 140

<sup>154</sup> vgl. Sik-Ho Tsang, GoogLeNet, <https://medium.com/coinmonks/paper-review-of-googlenet-inception-v1-winner-of-ilsvlc-2014-image-classification-c2b3565a64e7>, abgerufen: 18.03.2019

Einfach ausgedrückt ermöglicht das Modul Inception, den Bottleneck zu verengen. Ein weiterer Vorteil beim Verwenden vom 1x1 Faltungsfiler liegt praxisbasierend in der Vermeidung von Überanpassung (Overfitting) durch intensives Training der KI-Netzwerke.

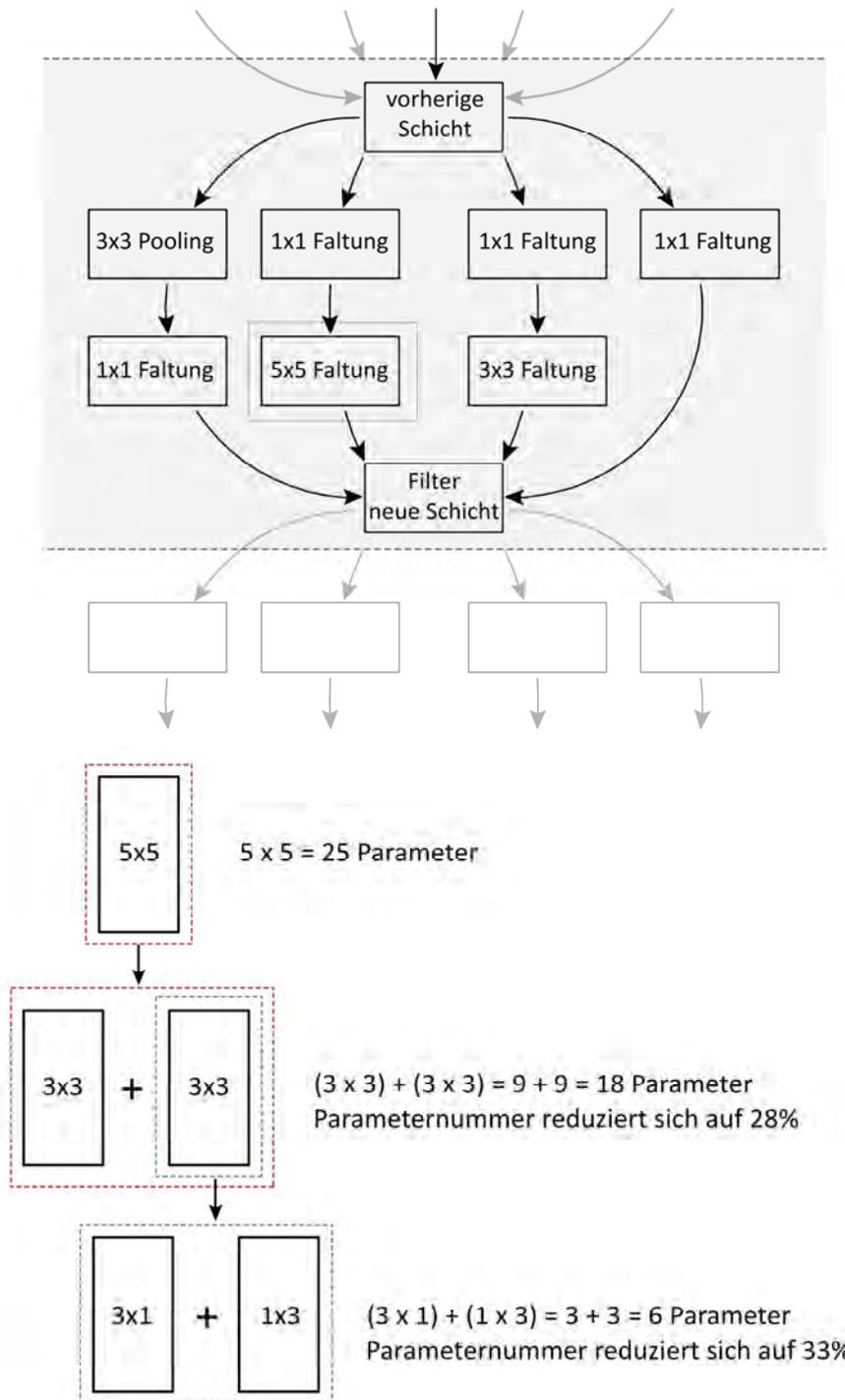


Abbildung 30: Aufbauprinzip des Inception-Moduls / Das Reduzierungsprinzip der Parameteranzahl des Inception-Moduls<sup>155</sup>

<sup>155</sup> Eigene Darstellung, vgl. CVPR2015 Inception Paper, Szegedy, Liu, Going Deeper with Convolutions, 2015, Seite 5

Das Inception-Modul beinhaltet zwei Schichten von Faltungsfiltern, bei der ersten Schicht werden drei 1x1 Faltungsfiler verwendet und dazu ein Max-Pooling-Filter, bei der zweiten Schicht übernehmen weitere 1x1, 3x3 und 5x5 Faltungsfiler die Daten von der vorherigen Schicht. Somit werden die Merkmale der vorherigen Schicht extrahiert und infolge an das nächste Inception-Modul weitergeleitet. Das Max-Pooling dient auch der Vermeidung von Überanpassung (Overfitting).

### 4.1.3 Tensorflow/Tensorboard

TensorFlow ist eine Open-Source-Plattform für maschinelles Lernen (ML). Es verfügt über ein umfassendes, flexibles Ökosystem aus Tools, Bibliotheken und Community-Ressourcen, mit dem Forscher den neuesten Stand des maschinellen Lernens vorantreiben können. Entwickler können maschinell lernfähige Anwendungen auf einfache Weise erstellen und bereitstellen.<sup>156</sup> Damit können einfacher Modellbau, robuste ML-Produktion überall und intensives Experimentieren für die Forschung schnell und einfach erfolgen. Aus diesem Grund wird diese Plattform von großen Unternehmen wie Coca-Cola, Google, Intel oder Twitter verwendet.

TensorBoard ist eine Plattform von TensorFlow, welches eine eindeutige Visualisierung vom Aufbau und der Architektur des KI-Netzwerks anbietet. Solche Visualisierungen ermöglichen eine Darstellung von den Modellgraphen und deren Ebenen und Verknüpfungen sowie das Anzeigen von Gewichten, Metriken und Genauigkeiten<sup>157</sup>.

### 4.1.4 Keras

Keras ist ein in Python geschriebenes API (Application Programming Interface, auf Deutsch: Programmierschnittstelle) für neuronale Netzwerke, die auf TensorFlow ausgeführt werden kann. „Es wurde von François Chollet initiiert und erstmals am 28. März 2015 veröffentlicht.“<sup>158</sup> Die Verwendung von Keras ermöglicht einfaches und schnelles Prototyping (durch Benutzerfreundlichkeit, Modularität und Erweiterbarkeit) und unterstützt sowohl Faltungsnetzwerke als auch wiederkehrende Netzwerke sowie Kombinationen aus beiden.<sup>159</sup>

### 4.1.5 Tkinter

Um den in Python geschriebenen Code als graphische Benutzerschnittstelle darzustellen, wird das Tkinter-Modul („Tk-Schnittstelle“) verwendet. Das Tkinter-Modul ist die Standard-Python-Schnittstelle zum Tk-GUI-Toolkit von Scriptics und befindet sich auf den meisten Unix-

---

<sup>156</sup> vgl. <https://www.tensorflow.org/>, abgerufen: 17.02.2019

<sup>157</sup> vgl. <https://www.tensorflow.org/tensorboard>, abgerufen: 17.02.2019

<sup>158</sup> B. Haselbauer, <https://www.trendreport.de/open-source-und-ki/>, abgerufen: 17.02.2019

<sup>159</sup> vgl. Lernen Keras, Stack Overflow, Seite 2, <https://riptutorial.com/Download/keras-de.pdf>, abgerufen: 17.02.2019

Plattformen sowie auf Windows- und Macintosh-Systemen<sup>160</sup>. Tkinter besteht aus mehreren Modulen. Die Tk-Schnittstelle wird aber von einem binären Erweiterungsmodul namens `_tkinter` bereitgestellt, das die Low-Level-Schnittstelle zu Tk enthält. Es handelt sich in der Regel um eine gemeinsam genutzte Bibliothek, die allerdings manchmal mit dem Python-Interpreter statisch verknüpft werden kann. Die öffentliche Schnittstelle wird über eine Reihe von Python-Modulen bereitgestellt. Das wichtigste Schnittstellenmodul ist das Tkinter-Modul.<sup>161</sup>

#### 4.1.6 NumPy-Python

NumPy ist das grundlegende Paket für das wissenschaftliche Rechnen in Python. Es handelt sich um eine Python-Schnittstelle, die ein mehrdimensionales Array-Objekt, verschiedene abgeleitete Objekte (wie maskierte Arrays und Matrizen) und eine Reihe von Routinen für schnelle Operationen an Arrays, einschließlich mathematischer, logischer, Formmanipulation, Sortieren, Auswählen und I/O, bereitstellt, diskrete Fourier-Transformationen, lineare Grundalgebra, statistische Grundoperationen, Zufallssimulation und vieles mehr.<sup>162</sup> Die Verwendung von NumPy wird neben den vielen Vorteilen für die Führung von Tensorflow benötigt.

#### 4.1.7 AST Python

AST ist eine Abkürzung für Abstract Syntax Trees. Das Ast-Modul unterstützt Python-Anwendungen bei der Verarbeitung von Bäumen der abstrakten Python-Syntax-Grammatik. Die abstrakte Syntax selbst ändert sich möglicherweise mit jedem Python-Release. Mit diesem Modul kann programmgesteuert herausgefunden werden, wie die aktuelle Struktur aussieht.<sup>163</sup>

#### 4.1.8 Flask Python

Flask (eine Abkürzung für Full Stack) ist ein Python-Webframework mit einem kleinen Kern zu Erweiterbarkeit und guter Dokumentation. Flask wird als pythonischer angesehen als andere Webframeworks wie z. B. Django, da in normalen Situationen die entsprechende Flask-Webanwendung expliziter ist. Flask ist auch für Anfänger ein einfacher Einstieg, denn es gibt nur wenige Codes, um eine einfache App zum Laufen zu bringen.<sup>164</sup> Flask bietet Vorschläge an, erzwingt jedoch keine Abhängigkeiten oder Projektlayouts. Der Entwickler muss die Tools und Bibliotheken auswählen, die er verwenden möchte. Die Community bietet viele Erweiterungen an, die das Hinzufügen neuer Funktionen vereinfachen.<sup>165</sup>

---

<sup>160</sup> vgl. <https://docs.python.org/3/library/tkinter.html>, abgerufen: 18.03.2019

<sup>161</sup> vgl. <http://effbot.org/tkinterbook/tkinter-index.htm#introduction>, abgerufen: 18.03.2019

<sup>162</sup> vgl. <https://numpy.org/devdocs/user/whatisnumpy.html>, abgerufen: 23.04.2019

<sup>163</sup> vgl. <https://docs.python.org/3/library/ast.html>, abgerufen: 22.04.2019

<sup>164</sup> vgl. <https://www.fullstackpython.com/flask.html>, abgerufen: 12.04.2019

<sup>165</sup> vgl. <https://www.palletsprojects.com/p/flask/>, abgerufen: 12.04.2019

### 4.1.9 OpenCV-Python

OpenCV (Open Source Computer Vision Library) ist eine Open Source Bibliothek, die mehr als 2500 Computer Vision- und ML-Algorithmen enthält. Es wurde 1999 von Gary Bradsky bei Intel gestartet und die erste Version erschien im Jahr 2000.<sup>166</sup> OpenCV ist modular aufgebaut, was bedeutet, dass das Paket mehrere gemeinsam genutzte oder statische Bibliotheken enthält. Es unterstützt eine Vielzahl von Programmiersprachen wie C ++, Python, Java usw. und ist auf verschiedenen Plattformen wie Windows, Linux, OS X, Android und iOS verfügbar. Schnittstellen für Hochgeschwindigkeits-GPU-Operationen auf Basis von CUDA und OpenCL werden ebenfalls aktiv entwickelt.<sup>167</sup>

## 4.2 Sonstige Tools

In dieser Arbeit werden zusätzlichen Softwares für die Erstellung und Bearbeitung von Punktwolken sowie für die Bildbearbeitungszwecke eingesetzt. Weiter verwendete Software sind die Code-Editoren, die die Entwicklung und Bearbeitung des Software-Codes erleichtern. Sonstige verwendete Softwares sind:

### 4.2.1 CloudCompare

ist eine Software zum Bearbeiten und Verarbeiten von 3D-Punktwolken. Es basiert auf einer bestimmten Octree-Struktur, die bei der Ausführung vom direkten Vergleich von dichten 3D-Punktwolken hervorragende Leistungen erbringt/liefert. CloudCompare kann mit großen Punktwolken mit über 10 Millionen Punkten auf einem Standardlaptop oder -PC umgehen. Mithilfe vieler Algorithmen ist die Punktwolkenverarbeitung (Registrierung, Resampling, Verwaltung von Farben, Statistikberechnung, interaktive oder automatische Segmentierung) problemlos möglich.<sup>168</sup>

### 4.2.2 VSCode

VSCode bedeutet Visual Studio Code. Dies ist ein leicht zu verwendendes Tool von Microsoft, das den Programmierern ermöglicht, ihre Codes in diversen Programmiersprachen zu schreiben und bearbeiten. Dieses Tool ist, wegen zahlreicher zur Verfügung gestellten Erweiterungen, mit vielen Programmiersprachen kompatibel, u. a. C, C++, Python, Java.<sup>169</sup> Es ermöglicht anhand diverser Farben die schnelle Erkennung von den unterschiedlichen Schnittstellen und Funktionen des geschriebenen Codes und weist auf mögliche Fehler hin.

---

<sup>166</sup> vgl. [https://docs.opencv.org/4.1.2/d0/de3/tutorial\\_py\\_intro.html](https://docs.opencv.org/4.1.2/d0/de3/tutorial_py_intro.html), abgerufen: 09.08.2019

<sup>167</sup> vgl. [https://docs.opencv.org/4.1.2/d0/de3/tutorial\\_py\\_intro.html](https://docs.opencv.org/4.1.2/d0/de3/tutorial_py_intro.html), abgerufen: 09.08.2019

<sup>168</sup> vgl. <https://www.cloudcompare.org/doc>, abgerufen: 12.12.2019

<sup>169</sup> vgl. <https://code.visualstudio.com/docs>, abgerufen: 16.12.2019

### 4.2.3 Meshroom

Nach *Hoffmann* handelt es sich bei Meshroom um eine GUI für ein Open-Source-Framework, Alicevision, die durch die Zusammenarbeit mehrerer Universitäten mit dem VFX-Studio Mikros Image aus Frankreich und die Förderung der Europäischen Union entstand. Meshroom bietet Lösungen für Fotogrammetrie bzw. 3D-Scanning. In anderen Worten, das Programm wird zur Erstellung von dreidimensionalen Objekten aus einer Serie von Fotos, Photogrammetrie benannt, verwendet.<sup>170</sup>

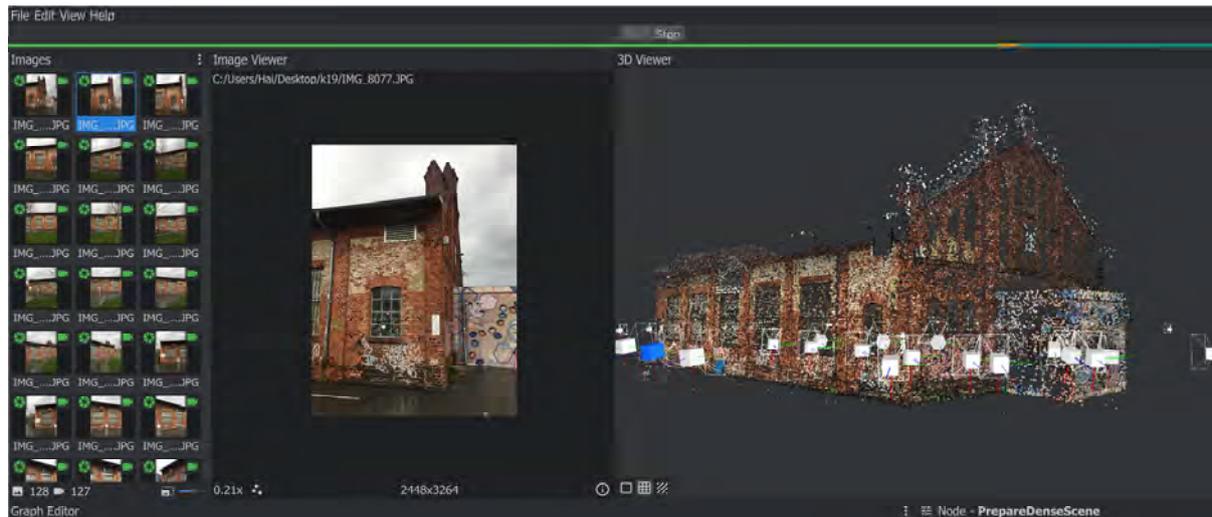


Abbildung 31: Bildschirmaufnahme für das Meshroom-Programm. Darauf ist die Erstellung einer Punktwolke (Photogrammetrie) des Gebäude K19 in Kassel<sup>171</sup>

<sup>170</sup> vgl. Gottfried Hofmann, Ebook: Meshroom – Open-Source-Photogrammetrie auf einen Klick, digital-production.com, Ausgabe: "www.digitalproduction.com", 06.2018, Seiten 68-72

<sup>171</sup> Eigene Darstellung

## **Kapitel 5 - Kriterien der Katastrophenmaßnahmen - Systemkriterien**

Für die Entwicklung eines Systems, welches das Schadensausmaß an Gebäuden, die durch menschlichen Einfluss oder natürliche Katastrophen beschädigt wurden, ermitteln kann, müssen vor dem Beginn des Aufbaus eines solchen Systems an sich, alle beeinflussenden Kriterien überprüft werden.

Diese Kriterien dienen im Allgemeinen den für das betroffene Gebiet einzusetzenden Maßnahmen, die für die Beseitigung der Katastrophenauswirkungen notwendig sind. Aus einer detaillierten Betrachtung einer Katastrophe und des davon betroffenen Gebietes resultiert ein logisches Verhältnis zwischen den angewendeten Maßnahmen und den ausschlaggebenden Kriterien. Die Maßnahmen erfolgen zeitgemäß in einer zusammenhängenden Reihenfolge und werden deswegen in dieser Arbeit in drei Gruppen aufgeteilt:

- sofortige Maßnahmen,
- mittelfristige Maßnahmen und
- spätere oder langfristige Maßnahmen.

Die zu entwickelnde Software nimmt in der ersten Gruppe der Maßnahmen einen hohen Anteil ein und dient dann als erweiterbare Grundlage für die zwei anderen Maßnahmengruppen. Deswegen werden die Kriterien dieser Maßnahmengruppe auf die Softwareentwicklung teilweise starken Einfluss nehmen. Trotzdem werden in diesem Kapitel alle drei Maßnahmengruppen und ihre Kriterien dargestellt und beschrieben, damit der Gesamtzusammenhang der möglichen Maßnahmen nicht verloren geht. Somit kann die Rolle der zu entwickelnden Software deutlicher vermittelt werden.

Die sofortigen Maßnahmen nach einer Katastrophe definieren sich durch Entscheidungen, Aktionen, Schritte und Mittel, die zum Teil während der Katastrophe und zum anderen Teil sofort bis zeitnah nach dem Katastrophenende durchgesetzt werden müssen. In der Regel sind das Rettungsaktionen, die Evakuierung der Betroffenen, die Grundversorgung, die grobe Schätzung des Schadensausmaßes und vor allem die Ist-Zustandsaufnahmen des Gebietes, das heißt alles, was einen Einfluss auf sofortige Maßnahmen hat und infolgedessen als Grundlage aller weiteren Maßnahmen dient.

Für die sofortigen Maßnahmen spielen folgende Hauptkriterien eine entscheidende Rolle und ermöglichen durch eine korrekte Berücksichtigung ihrer verzweigten Faktoren erfolgsversprechende Hilfsschritte und folglich einen Zeitgewinn für die daran anschließenden Maßnahmen.

Diese Gruppe von Kriterien wird in dieser Arbeit „Hauptkriterien“ genannt und ist für die sofortigen Maßnahmen nach der Katastrophe von großer Relevanz.

Die Kriterien können folgendermaßen gegliedert werden:

Ereigniskriterien, allgemeine Kriterien, ortsbezogene Kriterien, klimabedingte Kriterien, menschliche Kriterien, risikobezogene Kriterien, technische Kriterien und wirtschaftliche Kriterien.

Die Kriterien beinhalten diverse Faktoren mit unterschiedlicher Gewichtung. Einige Kriterien der Relevanz-Kriterien überschneiden sich in mehreren Kategorien und spielen deswegen in mehreren Punkten der oben genannten Aufzählung eine Rolle.

Zunächst werden die möglichen dazugehörigen Faktoren erläutert und näher analysiert.

## **5.1 Kriterien der sofortigen Maßnahmen**

### **5.1.1 Ereigniskriterien**

Damit ist die Art der Katastrophe sowie deren Ausmaß gemeint. Die Art einer Katastrophe gibt in der Regel entscheidende und wichtige Informationen über die möglichen entstandenen Schäden. Diese Informationen, welche in kurzer Zeit aufzubereiten sind, bilden unter Berücksichtigung anderer bereits erwähnter Faktoren die Grundlage für die Vorbereitung der Rettungseinsätze in diversen möglichen zu erwartenden Situationen. Dies erfolgt durch die Zusammenstellung von Sacherkenntnissen und kumulativen Erfahrungen aus in der Vergangenheit aufgetretenen Katastrophen gleicher Art und ähnlicher Größe.

Komplexe Katastrophen, die als zweifache oder dreifache Katastrophen auftreten, sind besonders schwierig in der Handhabung und Planung von Beseitigungsmaßnahmen. Im Fall eines Tsunamis, der durch ein Erdbeben ausgelöst wird, muss mit einer Serie aufeinanderfolgender Wasserwellen und Überschwemmungen gerechnet werden. Ereignet sich ein solcher Vorfall in einem Gebiet mit einer Atomkraftanlage, wird die Katastrophe komplexer und kann wie im Fall von Fukushima erhebliche Zerstörungen anrichten.

### **5.1.2 Allgemeine Faktoren**

Während und nach einer Katastrophe herrscht in der Regel Chaos. Je größer die Katastrophe ist, desto stärker ist das Chaos und desto größer sind die Verluste. Um sich einen Überblick

zu verschaffen, wird eine Reihe von Maßnahmen ergriffen, die in den ersten Stunden und Tagen nach der Katastrophe vieles beeinflussen können und wiederum auch von vielen Faktoren beeinflusst werden.

Diese Faktoren können in folgende Gruppen eingeteilt werden:

- Organisatorische Kriterien: Der strukturelle Aufbau des Landes oder der betroffenen Gegend kann das Ergreifen von sofortigen Maßnahmen beschleunigen oder verlangsamen. Fehlende Kooperation zwischen beteiligten Behörden und Organisationen sowie das Fehlen eines klaren Entscheidungsträgers können die ersten Maßnahmen massiv behindern oder beschränken. Außerdem ist die Verfügbarkeit eines Krisenmanagements, vor allem an Orten, die ein größeres Risiko von Katastrophen haben, oder die Verfügbarkeit von regelmäßig trainierten Rettungskräften, die schnell eingesetzt werden können, immer von Vorteil und kann in kritischen Situationen eine entscheidende Rolle spielen. Im besten Fall verfügt eine Gemeinde über einen bereitgestellten Rettungsplan, der den betroffenen Bewohnern erste Hilfe bietet und die Menschen kurz nach der Katastrophe mit den wichtigsten Nahrungs- und Hilfsmitteln versorgt.
- 
- Planerische Kriterien: Vorhandene Pläne für den betroffenen Ort, die schnell zur Verfügung gestellt werden können, bieten wichtige Informationen, die zur Planung der sofortigen Maßnahmen, vor allem für die Menschenrettung, benötigt werden. Durch diese Pläne können mögliche Rettungswege geplant und Orte, in denen sich eine große Anzahl von Menschen befinden, die sich in Gefahr befinden bzw. schnellstmöglich gerettet werden sollten, sowie die Gefahr von Chemie- oder Strahlkontamination festgestellt werden. Diese Daten sind auch wichtig für die spätere Phase, wenn die Aufnahme des Ist-Zustandes mit den Plänen des Vorzustandes verglichen werden.

### 5.1.3 Anthropogene Kriterien

Die anthropogenen Kriterien für die Sofortmaßnahmen nach Extremereignissen betreffen die folgenden drei Personengruppen:

- die Betroffenen,
- die Hilfs-/Einsatzkräfte und
- die Koordinatoren.

Die Betroffenen sind die Personen, die die Katastrophe miterleben. Diese gliedern sich in Todesopfer, vermisste Personen und Überlebende. Die Überlebende teilen sich wiederum in

Verletzte und Unverletzte auf und leiden bei fehlendem Vortraining und wegen der unerwarteten und erschreckenden Situation unter Panik, intensiver Angst und psychischen Störungen. Diese Situation führt zu unerwarteten Reaktionen aufgrund der lebensgefährlichen Bedrohungen, welche die gesamten Rettungsaktionen erschweren. Zusätzlich können weitere Einflussfaktoren die bereits extreme Situation dieser Gruppe verschlechtern, dazu gehören die Siedlungsdichte der Städte und Stadtteile, die verwendeten Baumaterialien, die vorherrschende Bauweise, die Verfügbarkeit der Schutzmaßnahmen und die in Betrieb genommenen Frühwarnsysteme. Die Überlebenden sind zu einem späteren Zeitpunkt als Augenzeugen hilfreich und können bei Suchaktionen wertvolle Informationen liefern.

Die Hilfs-, Einsatzkräfte und die an den Rettungsaktionen Beteiligten bilden die zweite Gruppe der menschlichen Kriterien. Sie müssen professionell und in kürzester Zeit die Situation überblicken und neben den Rettungs- und Ersthilfeaktionen einen reibungslosen Informationsaustausch mit den Koordinatoren pflegen und diese über die aktuelle Entwicklung auf dem Laufenden halten. Dies sorgt für einen abgestimmten Rettungsprozess inklusive einer schnellen Einschätzung der Zerstörungen, der Einrichtung von Sammelplätzen für Überlebende, Sicherstellung der Erreichbarkeit der betroffenen Orte und erfolgreichen Evakuierungsprozessen.

Die Koordinatoren verfügen über ein fundiertes Training für Extremereignisse und Katastrophen. Diese stellen alle Kooperationsprozesse zwischen den Einsatzkräften, die die notwendigen technischen Geräte bedienen, den Experten bzw. Fachleuten, den Versicherungsunternehmen und den auf regionaler, überregionaler und nationaler Ebene vorhandenen Entscheidungsträgern sicher. Sie übernehmen die Verantwortung, ausreichende Informationen rechtzeitig an die Rettungskräfte weiterzuleiten und mit diesen in einer permanenten Verbindung zu bleiben. Die Koordinatoren verfügen auch über Vorortgeräte und -fachleute, die die Aufnahmen anhand der für den Zustand passendsten Technik schnell erledigen. Je nach Gebietslage, klimatischen, wirtschaftlichen und Risikofaktoren kann die Aufzeichnungsdauer der Schadenserfassung des betroffenen Gebiets variieren.

Während und nach den Aufnahmen sowie bei den Schätzungen der Schäden und Zerstörungen helfen die Koordinatoren anhand der kontinuierlich aktualisierten fließenden Informationen den Entscheidungsträgern und allen anderen Beteiligten bei der Orientierung und dabei, die richtigen Maßnahmen zu treffen. Das Augenmerk auf die Haupt- und Teilprozesse bleibt während der gesamten Sofortmaßnahmenphase in der Hand der Koordinatoren.

### 5.1.4 Risikobezogene Kriterien

Unter diesen Kriterien werden die allgemeinen Gefahren, Risiken und Hindernisse in dem betroffenen Gebiet betrachtet. Mögliche Risiken entstehen z. B. durch Gefahrenstoffe, radioaktive Strahlung, chemische Kontamination oder auch durch Sprengstoffe wie Blindgänger oder Minen. Diese verursachen mitunter schwerste Verletzungen und permanente Behinderungen bzw. fordern auch sofortige oder spätere Todesopfer. Andere Gefahren können durch Nachwirkungen von Katastrophen, wie z. B. Nachbeben, Erdbeben, Lawinen oder Brückeneinstürze, plötzlich eintreten und verursachen zusätzliche Schäden.

Durch Zerstörungen von Gebäuden nach Katastrophen können diverse Schadstoffe wie zum Beispiel Asbest in die Luft freigesetzt werden. Asbest wurde in der Vergangenheit häufig in Wänden, Decken und Böden verbaut. Es besteht eine sehr große Gefahr für die menschliche Gesundheit beim Einatmen dieses Stoffes. Dies kann zu Asbestose und Lungenkrebs führen.

Radioaktive Strahlung: Falls eine Katastrophe in einem Gebiet eintritt, in dem sich Atomkraftwerke befinden, können radioaktive Stoffe freigesetzt werden. Diese bedrohen nicht nur das betroffene Gebiet und dessen Nachbarregionen, sondern auch manchmal ganze Nachbarländer und schädigen dort die Gesundheit der betroffenen Menschen sowie die gesamte Umwelt in einem enormen Umkreis. Die fatale Auswirkung solcher Strahlungen liegt in ihrer Dauer. Bis die Auswirkung der Strahlungen nicht mehr schädlich sind, können mehrere Jahrhunderte vergehen.

Chemische Kontamination kann durch Zerstörung von Chemiefabriken, Medikamentenlaboren, Chemiestofflagern oder durch die Freisetzung toxischer Stoffe aus Agrarbetrieben verursacht werden. Dies kann wiederum extreme Schäden und Beeinträchtigungen beim Menschen verursachen. Chemikalien können sich verheerend auf die inneren Organe des Körpers, auf die Augen, die Nase, die Haut, das Nervensystem, das Blut sowie auf die Psyche auswirken. Sie dringen im Falle unsachgemäßer Entsorgung über Körperöffnungen oder über die Haut bzw. durch Nahrungsaufnahme ein. Die Auswirkung von toxischen Stoffen kann entweder sofort erkannt werden, wird teilweise aber auch erst durch das Auftreten von Folgeschäden bemerkt. Chemische Kontamination kann genauso das Klima im nahen Umkreis des betroffenen Gebietes verschmutzen und Flora und Fauna schädigen.

Weitere Risiken in Katastrophengebieten können in der Instabilität von Bebauungen und deren Infrastruktur liegen. Teilweise zerfallen Gebäude oder Teile davon plötzlich zu einem späteren Zeitpunkt nach der Katastrophe durch von Maschinen oder Menschen herbeigeführte Erschütterungen.

### 5.1.5 Ortbezogene Kriterien

Diese Ortskriterien sind entscheidend für die gesamten Sofortmaßnahmen und Rettungsaktionen und haben neben den technischen Kriterien im Vergleich zu den anderen Kriterien die unmittelbar größte Gewichtung. Sie gliedern sich in:

- Gebietseigenschaften: Die natürliche Lage des Katastrophengebiets und die Nutzungsart des Gebietes bilden die zwei wichtigsten Eigenschaften eines Ortes. Die natürliche Lage eines Gebietes, ob es zum Beispiel auf einer Insel oder im Gebirge liegt, beeinflusst unmittelbar am Beginn einer Katastrophe die Art der Rettungsaktionen bzw. deren Methoden. So können auf einer im Meer isoliert liegenden Insel Rettungsmaßnahmen beispielweise nur von Schiffen aus oder mit Hubschraubern durchgeführt werden. Bei Gebirgen kann die Ankunft von Rettungstrupps in dem Gebiet über Serpentinafen oder durch Tunnel zusätzliche Risikofaktoren mit sich bringen. Neben der natürlichen Lage des Gebiets und zusätzlich zur Katastrophenart hilft ebenso die Definition der Gebietsnutzung, zum Beispiel militärische, industrielle oder wohnliche Nutzung, dabei, die passenden Rettungsaktionen vorzustellen.
- Erreichbarkeitsaspekt: Die Möglichkeit, ein Gebiet zu erreichen, kann im täglichen Leben entscheidend sein. Ist die vorhandene Infrastruktur noch sicher und nutzbar, ist das von unschätzbarem Wert für die Planung und Durchführung der zu ergreifenden Maßnahmen. Dieser Aspekt gewinnt zunehmend an Bedeutung je schlimmer die Katastrophe ist, wobei in den allermeisten Fällen die Infrastruktur leider teilweise oder gänzlich zerstört ist. Das kann durch diverse Kriterien beeinflusst sein, wirkt sich aber erheblich auf fast alle anderen Kriterien aus. Unter diesem Aspekt können folgende Punkte mitwirken und im Fall großer Schäden die Erreichbarkeit erschweren bzw. ganz blockieren, wie zum Beispiel die Art und der Zustand vorhandener Verkehrsinfrastruktur, ob zum Beispiel Tunnel, Brücken, Bahnschienen oder Straßen in das Gebiet führen. Ein weiterer Punkt diesbezüglich ist der Schadensgrad des Untergrunds der Verkehrswege, diese können im Falle einer Bodenverflüssigung oder Rissen genauso die Erreichbarkeit des Gebiets verlangsamen und Einsatzfahrzeuge beschädigen. Bei noch befahrbaren Straßen birgt das Risiko von Erdbeben oder Ähnlichem weitere Gefahren für die Infrastruktur, wie z. B. Brücken oder Tunnel. So muss nicht unbedingt die Befahrbarkeit der Oberflächen die Nutzung beeinträchtigen, es können vielmehr auch schwere Schäden an Tragwerkskonstruktionen die Nutzung unmöglich machen.

- Geokoordinaten/Geoinformationen: Die Geoinformationen eines Gebiets können auf Karten in gedruckter Form erkennbar sein oder meistens digital in Karten, Bildern und anderen Dateiformaten abgespeichert werden. Verschiedene internationale und nationale Koordinatensysteme<sup>172</sup>, wie zum Beispiel UTM, Gauß-Krüger und GPS<sup>173</sup> Längen- und Breitengrade, werden derzeit automatisch und ohne mathematischen Aufwand umgerechnet. Die geografischen Informationen ermöglichen dank ihrer praktischen Einsatzmöglichkeiten die Ortung bzw. Positionsbestimmung bestimmter Gebäude oder anderer Elemente und helfen bei Navigations- und Trackingprozessen. Diese bilden einen Hauptteil des Alltagslebens in den privaten und geschäftlichen Bereichen. Die Verwendung von Geoinformationen ist prinzipiell einfach und seit längerem in vielen Elektrogeräten durch integrierte GPS-Empfänger möglich, wobei die GPS-Empfänger die GPS-Koordinaten von mindestens drei Satelliten erhalten müssen, um eine Positionierung zu ermöglichen.

### 5.1.6 Klimabedingte Kriterien

Es handelt sich bei klimabedingten Kriterien um zwei Hauptfaktoren:

- Das Wetter bestimmt die Art und Weise, wie und wie schnell die Rettungskräfte ihre Einsätze durchführen können. Bei extrem stürmischem Wetter werden in der Regel Luftsätze durch Hubschrauber meistens unmöglich oder sind mit großer Gefahr für die Einsatzkräfte verbunden. Das gilt genauso bei unklarer Sicht im Fall extremer Rauchentwicklung bzw. Aschewolken bei aktiven Vulkanen. Diese Faktoren beeinflussen die Genauigkeit und Qualität von Luftaufnahmearbeiten des betroffenen Gebietes besonders stark. Bei dichtem tiefliegendem Nebel ist das Fahren mit den Einsatzfahrzeugen nicht leicht und birgt für die Beteiligten eine mögliche Gefahr. Außerdem erschwert Nebel genauso die terrestrischen Fotoaufnahmen. Extreme Hitze oder Kälte erschwert wiederum die Arbeit der Rettungskräfte und kann im Falle eines Großfeuers oder bei Schneelawinen sehr gefährlich sein.
- Die Tageszeit der Katastrophe spielt eine zentrale Rolle bei der Durchführung von Hilfeinsätzen sowie bei der Schätzung von Schäden an Bauobjekten und deren Schadensgrad in Katastrophengebieten. Auch wenn tagsüber solche Maßnahmen leichter als nachts begonnen werden können, bleiben trotzdem auch tagsüber einige

---

<sup>172</sup> Nationale Koordinatensysteme oder nationale Gitter, wie zum Beispiel Gauß-Krüger-Koordinaten in Deutschland, Schweizer Netz in Schweiz oder Bundesmeldenetz in Österreich

<sup>173</sup> GPS: Global Positioning System / globales Navigationssatellitensystem

Herausforderungen und Hindernisse zu bedenken, zum Beispiel kann die Blendung durch gleißendes Sonnenlicht oder Lichtreflexionen auf Wasser- oder Metalloberflächen sowie auf Glas-Elementen die Aufnahmen erschweren oder sogar zum Teil fast unmöglich machen. Die Schatten von Bauobjekten und deren Vorsprüngen, Rücksprüngen und Elementen beeinträchtigen die Detailgenauigkeit von Aufnahmen beim Einsatz optischer Sensoren und Fotoapparaten und liefern demzufolge mangelhafte Fotoaufnahmen. Zu Nachtzeiten wird die Sichtweite, -klarheit und die Erkennung von Bauobjekten besonders schwierig. Die Verwendung von Nachtsichtkameras sowie von thermischen- und Infrarot-Optik-Geräten kann bei den Ist-Zustandsaufnahmen teilweise helfen, bleibt beim Detail-Grad aber mangelhaft. Der Einsatz von Laserscannern kann für diesen Zweck genauere Ergebnisse liefern, da diese lichtunabhängig die Ausmessung/Abtastung erfassen können.

### **5.1.7 Wirtschaftliche Kriterien**

Die wirtschaftlichen Faktoren spielen eine entscheidende Rolle bei den mittelfristigen und langfristigen Maßnahmen, sind aber auch außergewöhnlich wichtig bei den sofortigen Maßnahmen. Die wirtschaftlichen Kriterien werden selbst von diversen Faktoren beeinflusst, die sich wiederum auf andere Kriterien auswirken, was die bereits hohen Kosten weiter erhöht. Sie hängen vor allem von der Größe und Art der Katastrophe, den zur Verfügung stehenden Ressourcen und den Besonderheiten des Ortes ab. Große Katastrophen rufen größere Schäden hervor und benötigen größere Einsätze zur Menschenrettung und Evakuierung, Einschätzung der menschlichen und materiellen Verluste sowie der Aufnahme des neuen Zustandes des betroffenen Gebiets. Die betroffene Gemeinde oder Region könnte nicht mehr in der Lage sein, diese entstehenden Kosten abzudecken, wenn sie nicht über die notwendigen Ressourcen verfügt. Natürlich sind die zentralen Regierungen auch beteiligt, dennoch können die Länder selbst finanzielle Schwierigkeiten haben, so dass sich die Frage stellen könnte, woher die notwendigen Gelder kommen sollen. Internationale Hilfe kommt immer in Frage, sie kommt jedoch oft mit Verzögerungen. Die ortsbedingten Eigenschaften wirken sich auch wirtschaftlich aus. Schwer zu erreichende Orte, wie z. B. Städte ohne Flughafen oder entlegene Gebiete komplizieren die Situation weiter und verursachen deshalb mehr Kosten. Dies hat Einfluss auf das Aufnahmeverfahren des Ist-Zustands. Solche Gründe könnten die Wahl eines teureren Aufnahmeverfahrens notwendig machen. Einige Verfahren verlangen bestimmte Geräte, die nicht lokal verfügbar sind und ausgebildetes Personal für deren Bedienung. Wie schnell diese Geräte zur Verfügung gestellt werden können, ist auch eine wichtige Thematik, die gut

überlegt werden muss und als Ergebnis zur Verzögerung bei den sofortigen Maßnahmen führen kann.

### 5.1.8 Technische Kriterien

Es geht bei dieser Gruppe von technischen Kriterien um die Auswahl der Kriterien, die durch die Aufnahmemethoden, die Technik sowie die Messgeräte beeinflusst werden können, um den Ist-Zustand im Katastrophengebiet zu ermitteln. Dafür sind neben den anderen Kriterien zwei Faktoren zu betrachten:

- Zeitaufwand für die Aufnahmen und
- Sicherheit der Beteiligten an den Messungs- und Aufnahmeprozessen.

Diese zwei Faktoren hängen wiederum von allen anderen Hauptkriterien, wie örtlichen-, klimatischen-, wirtschaftlichen und vor allem Risikokriterien ab. Schnelle aber gleichzeitig genaue Ist-Zustandsaufnahmen sorgen für annähernd genaue Schätzungen und im besten Fall sogar für die genaue Feststellung von Zerstörungen an schwer beschädigten Bebauungen und Infrastrukturen, was als Grundlage für rechtzeitige Rettungsaktionen dienen und infolgedessen das Leben vieler Betroffenen retten kann.

Neben den Aufnahmetechniken müssen weitere technische Kriterien berücksichtigt werden, unter anderem Kommunikations- und Datenauschplattformen, digitale Datenbearbeitungsmethoden, notwendige Geräte für Rettungsmaßnahmen sowie mögliche logistische Versorgungen. In diesem Kapitel werden nur technische Aspekte für Ist-Zustandsaufnahmen betrachtet, da diese für die Entwicklung der Software eine Rolle spielen.

Unter den technischen Kriterien, die für die Softwareentwicklung relevant sind, werden die Aufzeichnungsmethoden, die Qualität und Quantität der Aufnahmen, Bearbeitungszeit/-aufwand der aufgenommenen Daten und die mögliche übliche Datenauswertungsproblematik näher beschrieben.

- **Aufzeichnungsverfahren:** Die technischen Methoden, die für Ist-Zustandsaufzeichnung während der Katastrophe und sofort danach verwendet werden, spielen eine große Rolle für eine rasche und erfolgreiche Rettungsaktion für die Betroffenen. Die Feststellung der geeigneten Messungsmethode und der dafür notwendigen Geräte und Tools stellt schwerwiegende Herausforderungen dar, da diese Entscheidung meistens unter Zeitdruck und unter Berücksichtigung aller anderen Hauptkriterien getroffen werden muss. Die Qualität der aufgenommenen und

gelieferten Datei beeinflusst die Auswertung und hat weitreichende Konsequenzen. Sie hängt von der ausgewählten Messungsmethode ab. Das Leben der Betroffenen steht auf dem Spiel, deswegen muss die Fehlertoleranz auf das Minimum reduziert werden. Die möglichen Aufnahme- und Messverfahren gliedern sich in Satelliten-, airborne- und terrestrische Messverfahren. Diese werden detailliert im Kapitel 7 „Aufnahmemöglichkeiten“ beschrieben.

1. Roboter: Eine höher entwickelte Methode, die nicht für jeden verfügbar und zugleich viel teurer als andere Methoden ist. Man kann auch Roboter mit Drohnen benutzen, um bessere Ergebnisse zu erzielen.

2. Satellitenaufnahme- oder Fernerkundungsverfahren sind Methoden zur Aufzeichnung der Erdoberfläche durch Satelliten oder Flugzeuge, die mit Fernerkundungssensoren, wie Wärmekameras, Kameras oder Laserscannern ausgerüstet sind.

3. Airborne Aufnahmeverfahren werden aus der Luft erledigt. Die Aufnahmen können durch Drohnen, Hubschrauber, Ballons oder Flugzeuge aufgezeichnet werden. Die Airborne Aufnahmen sind berührungslose Methoden und sorgen für einen indirekten Kontakt zwischen den Beteiligten und dem betroffenen Gebiet während des Scan- oder Aufnahmevorgangs.

4. Terrestrische Aufnahmeverfahren sind vom Boden aus erstellten Aufnahmen, die durch den Einsatz von Kameras oder Laserscannern erfolgen. Diese können von Menschen vor Ort (direkter Kontakt) oder durch autonome Roboter (indirekter Kontakt) erledigt werden. Terrestrische, handtragende oder mobile Laserscanner sowie Kameras können dafür eingesetzt werden.

- **Quantität und Qualität der aufgenommenen Daten:** Die Qualität der Ausmessungen und Aufnahmen kann verfahrensbedingt variieren, bildet aber einen zentralen Aspekt für alle späteren sofortigen, mittelfristigen und langfristigen Maßnahmen. Diese beeinflussen dementsprechend das Auswertungsergebnis. An den Ergebnissen werden sich die Rettungseinsätze zum großen Teil orientieren. Je besser die Qualität der gelieferten Aufnahmedaten ist, desto exakter ist das Ergebnis und dessen Auswertung.

Die Quantität der Daten variiert wiederum gemäß dem eingesetzten Verfahren. Die Fotos beispielsweise müssen nicht groß sein, liefern aber Teilinformationen, da auf Fotos meistens keine Gesamtansicht eines aufgenommenen Gebäudes zu sehen ist. Im Gegensatz zu Fotos liefern Punktwolken mehr Informationen für die

Auswertung, benötigen aber mehr Speicher auf den Festplatten und es wird wegen der Dateigröße besonders schwierig und zeitaufwändig, solche Dateien auf Onlinespeicher (Cloud-Speicherservice) hochzuladen und zu tauschen.

- **Datenbearbeitung:** Die Aufnahmen in ihren diversen Formattypen können aus einer Quelle oder mehreren Quellen stammen. Diese können auch aus einer Kombination verschiedener Arten erstellt werden. Satellitenfotos, Kameraaufnahmen und Laserscanning-Punktwolken bilden die üblichen Typen dieser Aufnahmen. Nach und während der Aufnahmen sollten Datenbanken erstellt werden, um den Zugriff auf aufgenommene Daten zu erleichtern. Dies sorgt ebenso für eine logische Sortierung der Dateien und ermöglicht die Kombination dieser in einfacher Form. Aktuell werden solche Datensortierungsprozesse in vielen Ländern weltweit manuell von Menschen erledigt, was großen Aufwand, lange Dauer und in manchen Fällen sogar Kosten bedeutet, sofern die Tätigkeit nicht ehrenamtlich ausgeübt wird. Die manuelle Datenverarbeitung verlangsamt die Rettungsarbeiten und kann zu einem unkoordinierten Rettungsprozess führen. Ein weiteres Problem bei der Datenbearbeitungsphase liegt in der Größe der Daten sowie in den diversen Formaten, die durch unterschiedliche Geräte automatisch abgespeichert werden. Eine Bearbeitung verschiedener Daten mit vielfältigen Formaten benötigt öfter herstellerspezifische Software und Programme, die wiederum auf deren Anwendung spezialisiertes Personal erfordert und meistens nicht überall verfügbar sind.
- **Auswertungsprobleme:** Nach der Vorbereitung und Bearbeitung der aufgenommenen Daten sollen diese ausgewertet und in einer einfach lesbaren Form dargestellt werden. Das kann in Form von Text, Tabellen oder Karten erfolgen und sollte den Beteiligten des Sofortmaßnahmenprozesses ausgehändigt werden. Das Auftreten von Problemen in der Auswertungsphase ist nicht ausgeschlossen, kann zu einer verlangsamtten Rettungsaktion führen und sogar die gesamte Sofortmaßnahme negativ beeinflussen. Bekannte Probleme der Datenauswertung liegen in erster Linie an menschlichen Entscheidungen, an von Menschen mangelhaft und zeitaufwändig erstellten manuellen Auswertungen, was die Genauigkeit verschlechtern kann.

## 5.2 Kriterien für die mittelfristigen Maßnahmen

Diese Kriterien wirken sich teilweise auf die sofortigen Maßnahmen, aber insbesondere auf die mittelfristigen- und infolgedessen auf die langfristigen Maßnahmen aus. Hier handelt es sich um Faktoren, die im Vergleich zu den Hauptkriterien einen kleineren Einfluss auf den gesamten Prozess haben. Sie spielen aber eine große Rolle für alle Maßnahmen, die nach den Sofortmaßnahmen und dem Wiederaufbauprozess erfolgen. Sie werden in dieser Arbeit als mittelfristige Maßnahmen bezeichnet und können die folgenden Punkte beinhalten:

- Schaffung vorübergehender Verkehrsinfrastruktur
- Unterbringung der Betroffenen in passenden Ersatzunterkünften
- Aufräumen und Entsorgung von Trümmern, Schutthaufen und Bruchsteinen
- Feststellung der denkmalgeschützten Gebäude bzw. der Bauobjekte mit historischem Wert
- Entscheidung über Erhalt/Sanierung oder Abriss/Neubau der beschädigten oder zerstörten Gebäude
- Vorplanungsphase des Wiederaufbaus

Die Kriterien für die oben genannten mittelfristigen Maßnahmen können in verschiedene Kategorien unterteilt werden:

### 5.2.1 Organisatorische Kriterien

Diese Gruppe erfasst Faktoren, die mit den organisatorischen Strukturen der betroffenen Region zu tun haben. Diese beeinflussen den Entscheidungsprozess und damit die Festlegung und Umsetzung von notwendigen Maßnahmen. Während Entscheidungen in manchen Ländern von einer einzigen Person getroffen werden, ist dieser Prozess in anderen Ländern komplizierter und benötigt die Zustimmung unterschiedlicher Organe, was eine entsprechende Kooperation zwischen den Beteiligten verlangt. Im Fall eines Kooperationsmangels wird der Entscheidungsprozess erschwert und zeitlich verlängert, was negative und spürbare Konsequenzen für die Betroffenen verursacht. Die Zusammenarbeit zwischen den zuständigen Behörden und den teilnehmenden Organisationen benötigt außer Kooperation auch ein gewisses Vertrauen. Die beteiligten Parteien sollten für eine erfolgreiche Zusammenarbeit die Informationen untereinander tauschen und einander auf dem Laufenden halten, was guter Kommunikation bedarf. Das Fehlen dieser Elemente kann die Arbeit erschweren und verlangsamen. Probleme wie Bürokratie und Korruption führen zu weiteren Erschwernissen im Entscheidungsprozess, in der Planung und vor allem in der Implementierung. Die Einsatzbereitschaft spielt auch eine entscheidende Rolle, die vereinbarten Maßnahmen im Rahmen der Planung und der vorgesehenen Zeit umzusetzen. Fehlende notwendige Geräte oder

Fachkräfte sowie inkompetente Planung oder Projektleitung verschlechtern die Qualität der Arbeit und somit der Endergebnisse. Solche Faktoren besitzen einen großen Einfluss auf geplante Maßnahmen, wie z. B. bei der Erstellung von Notunterkünften für die betroffenen Bürger und ihre Grundversorgung.

### **5.2.2 Rechtliche Kriterien**

Eine der ersten Fragen, die mit gewisser Genauigkeit beantwortet werden muss, ist die Festlegung der gesetzlichen Grundlage, die für die ersten Maßnahmen und die spätere ausführliche Planung benötigt wird. Nach einer Katastrophe brauchen die zuständigen Behörden sowie die teilnehmenden Organisationen Informationen über den aktuellen Zustand des betroffenen Gebietes. Das Einholen dieser Informationen erfolgt durch verschiedene Mittel wie z. B. Drohnen oder Luftaufnahmen. Allerdings ist eine menschliche Kontrolle vor Ort häufig notwendig, um diese Informationen zu verfeinern und für eine genaue und erfolgreiche Planung zu sorgen. Daher muss geklärt werden, unter welchen rechtlichen Bedingungen und Gesetzen der Zugang zu beschädigten Gebäuden gewährleistet ist. Dies gewinnt an Bedeutung, wenn ein betroffenes Gebäude über militärische Eigenschaften verfügt oder wenn es sich um besondere Einrichtungen handelt. Die Beantwortung dieser Frage hilft auch dabei, inwiefern die Besitzer bzw. Eigentümer über einen Zugang zu ihrem Besitz bzw. Eigentum verfügen. Auch im Rahmen der geltenden Gesetze muss geklärt werden, welche Rolle Versicherungen bei der Abdeckung der Schäden spielen. Faktisch hat nicht jeder Eigentümer eine Versicherung für seine Gebäude abgeschlossen. Wenn das jedoch der Fall ist, muss geklärt werden, in welcher Höhe und unter welchen Voraussetzungen die Versicherung die Schäden abdeckt bzw. ob sie sich später an der Finanzierung des Wiederaufbaus beteiligt. Eine frühzeitige Klärung solcher Fragen verbessert die Qualität der Planung und verhindert das Auftauchen von Problem in späteren Phasen.

### **5.2.3 Planerische Kriterien**

Der Komplexitätsgrad der Planung variiert in Bezug auf die Größe der Katastrophe und der dadurch entstandenen Schäden. Einige Faktoren können sich deshalb auf die Qualität der Planung auswirken und sollten bereits am Anfang betrachtet werden. In erster Linie beeinflusst die Qualität der durch den Aufnahmeprozess der Schäden gesammelten Informationen zum großen Teil die Planungsqualität. Aus diesem Grund sollte der aktuelle Zustand des Gebietes sorgfältig aufgenommen werden, was zum einen durch die Auswahl der passenden Methode(n) und zum anderen durch die richtige Interpretation der erhaltenen Ergebnisse sichergestellt wird. Die Interpretation oder Bewertung der Ergebnisse des Aufnahmeprozesses erfolgt durch Experten und Fachleute, die auch bei der Planung aktiv sind. Die Verfügbarkeit dieser Fachkenntnisse ist in frühen Phasen zu überprüfen und für den Fall, dass nicht auf

dieses Fachwissen zugegriffen werden kann, müssen Alternativen untersucht werden. Es könnte in diesem Fall zu Mehrkosten kommen. Fachmännische Begleitung ist unverzichtbar für einen erfolgreichen Ablauf der Planung und der Ausführung. Während der Planung sollte nicht nur der Wiederaufbau entwickelt werden, sondern auch nach Alternativen zur Verbesserung der Stadtplanung im betroffenen Gebiet gesucht werden. Solche Gelegenheiten sollten genutzt werden, um z. B. Elendsviertel neu zu organisieren und die Wohnqualität zu verbessern. Diese Verbesserung sollte auch die Art und Weise des Aufbaus betreffen und zu mehr Stabilität der Bauwerke führen. Dies kann durch neue konstruktive Berechnungen und/oder Verwendung von besseren Baumaterialien erfolgen. In diesem Zusammenhang stellen Gebäude, die einen speziellen historischen Wert haben oder unter Denkmalschutz fallen, eine Herausforderung dar. Diese Bauwerke verlangen eine besondere Betrachtung und kreative Denkweise, um sie wieder in ihren Originalzustand zu versetzen. Die oben genannten Faktoren haben unterschiedliche Auswirkungen, vor allem auf die Vorplanung und sollten deswegen immer berücksichtigt werden.

#### **5.2.4 Wirtschaftliche und politische Kriterien**

Die Faktoren, die sich auf die politische und wirtschaftliche Lage des Landes beziehen, können und werden den stärksten Effekt auf die geplanten Maßnahmen und deren direkte und indirekte Auswirkungen haben. Die politische Stabilität des von einer Katastrophe betroffenen Landes beschleunigt sowohl die Planung als auch die Abwicklung der Maßnahmen. Gleichzeitig generiert sie auch Investitionen, was für den Wiederaufbau von großer Bedeutung ist. Eine stabile politische Lage begünstigt auch eine stabile Ökonomie und ermöglicht eine schnelle Reaktion im Fall einer Katastrophe und die Ergreifung von sofortigen Maßnahmen. Auch in späteren Phasen werden diese Faktoren sich auf die Möglichkeiten der Planung, deren Ausmaß und Komplexität auswirken. Fehlende Finanzierungsquellen haben großen Einfluss auf den Wiederaufbauprozess. Auf die Finanzierungsplanung ist daher ein besonderes Augenmerk zu legen.

### **5.3 Kriterien für die langfristigen Maßnahmen**

In Gegensatz zu Haupt- und sekundären Kriterien, die einen besonderen Einfluss auf sofortige Maßnahmen besitzen, wirkt sich diese Gruppe von Kriterien hauptsächlich auf langfristige Maßnahmen nach einer Katastrophe aus und spielt in erster Linie eine große Rolle beim Wiederaufbauprozess und den dazugehörigen Initiativen. Diese Kriterien lassen sich im Grunde in fünf Kategorien von Faktoren aufteilen, wobei es sich hier lediglich um die späteren Maßnahmen handelt.

### **5.3.1 ökonomische Kriterien**

In dieser Gruppe handelt es sich vor allem um die finanziellen Mittel, die später für den Wiederaufbau benötigt werden. Das Ausmaß der Katastrophe und die dadurch entstandenen Schäden können die Wiederaufbaukosten wesentlich erhöhen, was auch bei reichen Ländern eine enorme Belastung für die Staatskasse bedeutet. Daher sollte die Finanzierung auf diverse Quellen verteilt werden. Die Kosten können aus nationalen oder internationalen Mitteln abgedeckt werden. Investitionen von privaten lokalen Firmen und Organisationen, Förderungen von internationalen Organisationen oder durch andere Staaten können einen großen Teil der entstehenden Kosten decken, was den Wiederaufbauprozess deutlich beschleunigen kann.

Ein anderer Aspekt, der auch von wesentlicher Bedeutung ist und betrachtet werden sollte, ist die Grundlage der Schadensschätzung. Darunter wird die genaue Methode zur Ermittlung der Schäden- und Aufbaukosten und die Währung verstanden, in der diese Kosten berechnet werden. Da der Währungswert eines Staates nach einer Katastrophe oder Krise schwankt und/oder sich drastisch verändert, könnte die Schadensberechnung schnell und manchmal mit großer Differenz vom tatsächlichen Schadenswert abweichen.

### **5.3.2 Baurechtliche Kriterien**

Das von einer Katastrophe betroffene Gebiet erlebt sowohl menschliche als auch materielle Verluste. Der Umgang mit menschlichen Verlusten ist bereits ein kompliziertes Thema, das für die Betroffenen eine große psychische Belastung darstellt, aber für diese Arbeit nicht der Fokus ist. Der Fokus liegt stattdessen auf den entstehenden Sachschäden, die von dem Ausmaß der Katastrophe abhängen und eine sehr hohe Summe ausmachen können. Ein großer Teil dieser Kosten wird durch den Wiederaufbauprozess verursacht, da es ein sehr anspruchsvoller Prozess ist. Dieser Prozess beinhaltet die Beurteilung und Bewertung der Schäden, die Planung des Wiederaufbaus und den Wiederaufbau selbst. Jeder Teil dieses Prozesses ist sehr aufwändig, zeitintensiv und von der Region und den dort geltenden Gesetzen abhängig. Die beschädigten und zerstörten Gebäude haben Besitzer, die mit der vorgesehenen Planung einverstanden sein müssen, um diese Pläne zu realisieren. Dies kann nicht immer gewährleistet werden. Manche Besitzer wollen ihre alten Häuser genauso, wie sie waren, wiederherstellen lassen, was einer Neuplanung des Wiederaufbaus oder der Stadtentwicklung nicht unbedingt zuträglich ist und zu einer Verlängerung der bereits langen Planungs-dauer führen kann.

Ein anderer wichtiger Faktor ist die Erteilung der benötigten Baugenehmigungen, die auch viel Zeit in Anspruch nimmt, vor allem dort, wo übermäßige Bürokratie herrscht. Allerdings kann

die Planung ohne diese Genehmigungen nicht implementiert werden. Es ist auch zu beachten, dass manche Gebäude unter Denkmalschutz stehen und deswegen besonders zu behandeln sind. Diese Gebäude benötigen besondere Lösungen und können die Planung in manchen Fällen erschweren.

### **5.3.3 Bauliche Kriterien**

Jedes Bauwerk besitzt einen Wert, der sowohl den historischen als auch den realen Wert enthält. Der Realwert beschreibt den tatsächlichen Wert. Dahingegen spielt der symbolische oder historische Wert des Gebäudes die entscheidende Rolle bei der Bewertung, da manche Gebäude bekannte Wahrzeichen von Städten oder Stadtteilen repräsentieren, wie zum Beispiel der Fernsehturm in Berlin oder die Petronas Zwillingtürme in Kuala Lumpur. Sie besitzen einen Symbolcharakter.

Andere Gebäude können in tiefer Vergangenheit verwurzelt sein und die kulturelle Geschichte einer Stadt erzählen, wie zum Beispiel die Ayasofya in Istanbul oder die Umayyaden-Moschee in Aleppo<sup>174</sup>. Solche Bauwerke genießen einen besonderen Status, der sich auf die Planungsphase nach einer Katastrophe und auf die gesamten geplanten Kosten für den Wiederaufbauprozess auswirkt.

Wichtig ist auch zu erwähnen, dass manche Bauwerke außen keine Schäden aufweisen, was zu einer mangelhaften Bewertung führen kann, wenn die Bewertung auf einer äußeren Aufnahme basiert. Aus diesem Grund ist eine Kontrolle des Inneren des Bauwerkes und eine statische Analyse notwendig, was wiederum die Entscheidung während der Planung und somit über die Kosten wesentlich beeinflusst.

### **5.3.4 Örtliche Kriterien**

Unter diesen Kriterien werden Faktoren verstanden, die ortsspezifisch sind und sich auf den Wiederbauprozess positiv oder negativ auswirken können. Einer dieser Faktoren ist das Personal, welches für die Planung und anschließende Ausführung notwendig ist. Der Planentwurf benötigt Fachingenieure, die genug Erfahrung haben sollten, um die Planung fehlerlos durchzuführen. Die Ausführung braucht auch Ingenieure, die die Ausführung steuern und kontrollieren, und qualifizierte Handwerker, die die Arbeit nach Planung und nationalen Normen erledigen sollen. Der Mangel an Fachkräften kann den gesamten Prozess bremsen und Mehrkosten verursachen. Dieses Problem vergrößert sich aufgrund eines Krieges oder durch Krisen in instabilen Regionen, wo neben Fachkräftemangel auch ein Mangel an Material bzw. Ressourcen herrschen könnte. Baumaterialien werden in diesem Fall nicht lokal produziert

---

<sup>174</sup> Umayyaden-Moschee stammt aus dem 12. Jahrhundert und wurde im Jahr 2013 teilweise zerstört

und müssen importiert werden. Dies führt zu Zeitverzug und wiederum zu mehr Kosten. Risiken müssen auch berücksichtigt werden und sind auch ortsspezifisch. In Kriegsgebieten besteht beispielsweise die Gefahr von Blindgängern, die eine besondere Behandlung benötigen. Nach einem Erdbeben könnte der Ort kontaminiert sein. Die Kontamination könnte chemisch oder radioaktiv sein und hat einen großen Effekt auf den Wiederaufbauprozess. Es könnte auch sein, dass die ursprünglich verwendeten Materialien kontaminiert sind oder krebserregende Stoffe enthalten und deshalb nicht mehr erlaubt sind. Ein Beispiel dafür ist Asbest, das wegen des Krebsrisikos seit 2005 in den gesamten Europäischen Ländern verboten ist. Neben den oben genannten Faktoren und Beispielen spielt auch die Auffassung der heimischen Bevölkerung eine große Rolle.

Die Akzeptanz der vorgesehenen Pläne durch diese ist in manchen Ländern obligatorisch und erspart unter anderem viel Streit und Verzögerungen in der Ausführungsphase. Es ist daher von großer Bedeutung, die Mentalität der betroffenen Menschen zu verstehen und bei der Planung zu berücksichtigen.

### **5.3.5 Internationale Kriterien**

Bei einer Katastrophe ist internationale Hilfe in jeder Form von großer Bedeutung. Diese Hilfe scheint am wertvollsten beim Wiederaufbauprozess, in dem der Bedarf vor allem an Finanzierung sehr hoch ist.

Attraktive Konditionen und investitionsfreundliche Gesetze führen zur Gewinnung von Investoren, was den Prozess beschleunigen kann. Auch der Austausch mit anderen Ländern, die ähnliche Erfahrung haben, unterstützt den Wiederaufbauprozess und erhöht die Qualität der Planung und Ausführung, da Fehler und unpraktische Methoden vermieden werden können.

Dieser gesamte Prozess stellt die Auswirkung der entwickelten Softwares auf die Maßnahmen aller Kriterien der drei Kategorien und umgekehrt den Einfluss dieser Kriterien auf den Entwicklungsprozess der Softwares an sich dar, wobei die Kriterien der sofortigen Maßnahmen die größte Rolle bei der Entwicklung der Softwares spielen, da diese Softwares die möglichen entstandenen Schwierigkeiten dieser Maßnahmenphase vereinfachen soll.

Im Endeffekt wirken sich die Ergebnisse der Softwares auf die gesamten Maßnahmen in betroffenen Gebieten, insbesondere auf die mittelfristigen und langfristigen Maßnahmen, aus.

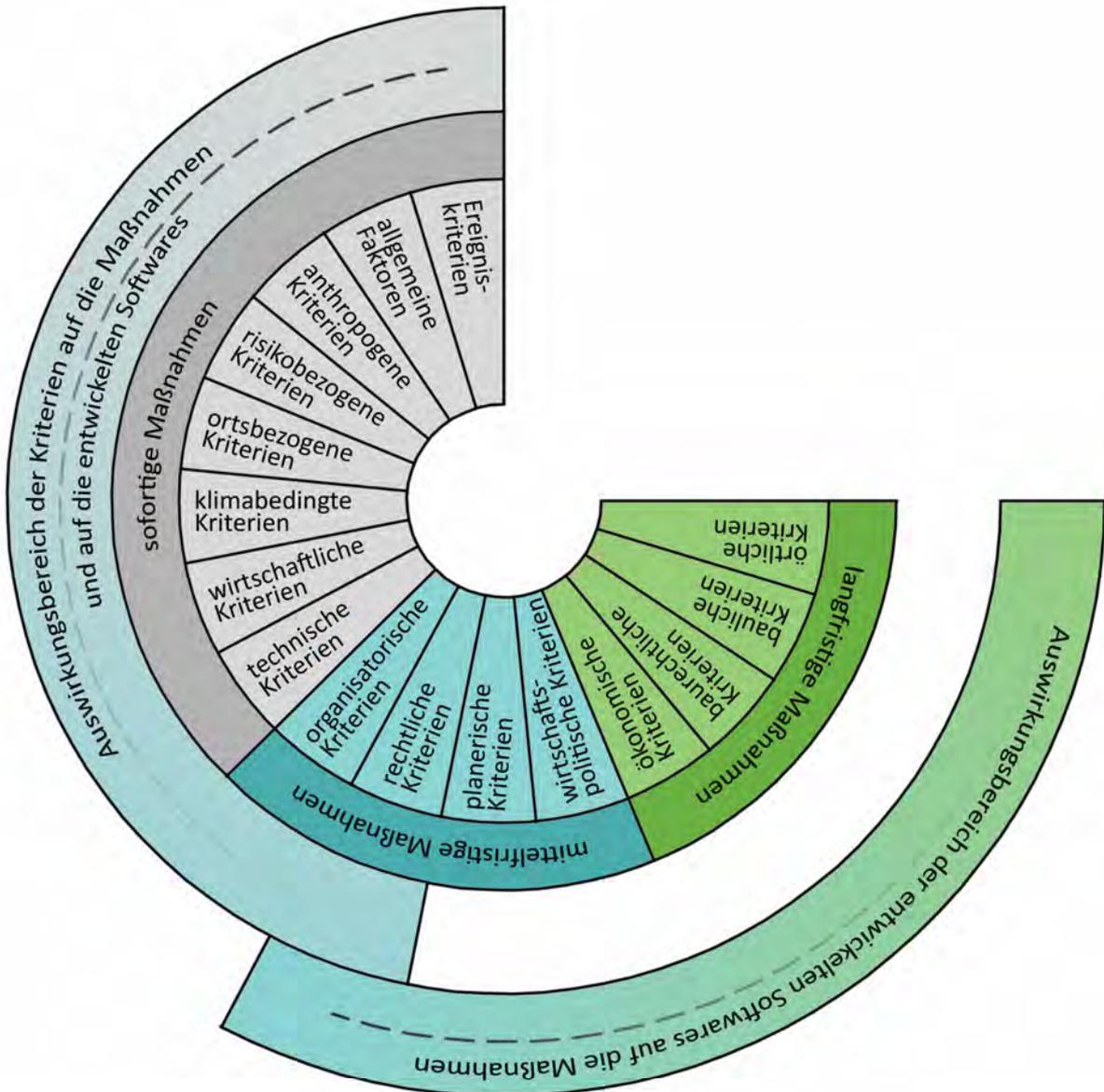


Abbildung 32: Grafische Darstellung aller Kriterien der drei Maßnahmengruppen nach Katastrophen<sup>175</sup>

<sup>175</sup> Eigene Darstellung

## Kapitel 6 - Bewertung der Kriterien

Die in dieser Arbeit untersuchten Kriterien stehen eng miteinander in Verbindung und haben einen Einfluss nicht nur auf die Entwicklung der Software, sondern auch in besonderer Weise aufeinander. Dieser Einfluss variiert in Bezug auf den erforschten Fall und dessen Besonderheiten und sollte deshalb genau geprüft werden. Die Bewertung der Kriterien wird mithilfe von mathematischen Verfahren, wie z. B. Vergleichsmatrix oder Nutzwertanalyse, bestimmt. Diese dienen der Feststellung der Gewichtungen jeder der untersuchten Faktoren und hilft somit bei der passenden Entscheidung für die sofortigen Maßnahmen. Für diesen Zweck wird in der vorliegenden Arbeit eine Vergleichsmatrix verwendet mit dem Ziel, die Gewichtung der beeinflussenden Faktoren festzulegen bzw. diese Faktoren nach deren Wichtigkeit und Einflussbereich zu ordnen. Im Folgenden wird die Vergleichsmatrix beschrieben und erläutert.

Die Rangfolgematrix (Vergleichsmatrix)<sup>176</sup>:

Die Rangfolgematrix ist nach *Franz* ein Verfahren, bei dem definierte Kriterien bezüglich ihrer Relevanz und Prioritätenfolge gewichtet werden. Diese funktioniert beim direkten Vergleich aller untersuchten Kriterien miteinander, damit eine gewichtungsbezogene Endrangfolge der Kriterien erfolgt. Dadurch werden paarweise Vergleiche ermittelt. Das Verfahren hat Vor- und Nachteile.

Vorteile der Rangfolgematrix:

- nachvollziehbare Vergleichbarkeit
- klare Gliederung der Wichtigkeit und Priorität
- eine mögliche gleich gute Bewertung einzelner Kriterien

Nachteil der Rangfolgematrix:

- Der direkte Vergleich der Kriterien miteinander ist subjektiv.

Nach *Franz* erhalten die Kriterien bei der paarweisen Vergleichsmatrix, wie nachfolgend dargestellt, verschiedene Punkte:

- Vorrangig: 2 Punkte
- Gleichrangig: 1 Punkt
- Nachrangig: 0 Punkte

---

<sup>176</sup> Rangfolgematrix, Vor-/Nachteil und Punkte: vgl. Prof. Dr.-Ing. Volkhard Franz, SPB I Teilmodul Bauverfahrenstechnik BO2, Verfahrenstechnik im Baubetrieb und Grundlagen der industriellen Fertigung, Universität Kassel (2018), Seite 14-15

Die Verteilung der Punkte erfolgt nach dem folgenden Prinzip: Wenn Kriterium A wichtiger als Kriterium B ist, dann erhält A zwei Punkte und B keinen Punkt. Wenn Kriterium A gleich wichtig wie Kriterium B ist, dann erhalten A und B einen Punkt. Wenn Kriterium A weniger wichtig als Kriterium B ist, dann erhält A keinen Punkt und B zwei Punkte.

Um die Subjektivität dieses Verfahrens zu reduzieren bzw. möglichst minimal zu halten, wurde die gestellte Matrix in Form von vereinfachten Umfragebögen von zahlreichen Experten und Ingenieuren sowie Fachleuten vom Katastrophenschutz ausgefüllt.

Das Umfrageformular stellt jeweils zwei Kriterien in einem direkten Vergleich gegenüber, wobei dieses Formular gemäß den Erfahrungen der Fachleute ausgefüllt wurde, so dass sich zwangsläufig eine Darstellung der Wichtung ergibt.

### 6.1 Die Umfrageergebnisse

Die Ergebnisse der Umfrage wurden gesammelt und analysiert, um eine Reihenfolge der untersuchten Kriterien festzulegen.

17 % der Befragten fanden die technischen Kriterien am wichtigsten. An zweiter Stelle sind die risikobezogenen Kriterien mit 16 % der Stimmen. Mit 14 % belegen die wirtschaftlichen Kriterien den dritten Platz. Beide Ereignis- und anthropogenen Kriterien bekamen jeweils 11 % der Stimmen. Allgemeine Faktoren und organisatorische Kriterien befinden sich auf den letzten zwei Plätzen der Liste mit 4 % bzw. 3 %.

Rang	Kriterium-Name	Prozentzahl der Befürworter
1	technische Kriterien	17%
2	risikobezogene Kriterien	16%
3	wirtschaftliche Kriterien	14%
4	Ereigniskriterien	11%
4	anthropogene Kriterien	11%
6	ortsbezogene Kriterien	10%
7	klimabedingte Kriterien	8%
8	rechtliche Kriterien	6%
9	allgemeine Faktoren	4%
10	organisatorische Kriterien	3%

Tabelle 1: Darstellung der durchschnittlichen Ergebnisse aus 50 Umfrageformularen.<sup>177</sup>

<sup>177</sup> Eigene Darstellung

## 6.2 Die Rangfolgematrix

Basierend auf dem Durchschnitt der erhaltenen Ergebnisse wird die Rangfolgematrix wie folgt ergänzt:

Rangfolgematrix mit paarweisem Vergleich	Ereigniskriterien	allgemeine Faktoren	Anthropogene Kriterien	risikobezogene Kriterien	ortsbezogene Kriterien	klimabedingte Kriterien	wirtschaftliche Kriterien	technische Kriterien	organisatorische Kriterien	rechtliche Kriterien	Summe	relatives Gewicht		
Ereigniskriterien		2	1	0	1	2	0	0	2	2	10,0	$10,0/90 = 0,1111 =$	11,11	%
allgemeine Faktoren	0		1	0	0	0	1	0	1	1	4,0	$4,0/90 = 0,0444 =$	4,44	%
Anthropogene Kriterien	1	1		1	1	2	1	1	1	1	10,0	$10,0/90 = 0,1111 =$	11,11	%
risikobezogene Kriterien	2	2	1		2	1	1	1	2	2	14,0	$14,0/90 = 0,1556 =$	15,56	%
ortsbezogene Kriterien	1	2	1	0		1	1	0	2	1	9,0	$9,0/90 = 0,1000 =$	10,00	%
klimabedingte Kriterien	0	2	0	1	1		0	0	2	1	7,0	$7,0/90 = 0,0778 =$	7,78	%
wirtschaftliche Kriterien	2	1	1	1	1	2		1	2	2	13,0	$13,0/90 = 0,1444 =$	14,44	%
technische Kriterien	2	2	1	1	2	2	1		2	2	15,0	$15,0/90 = 0,1667 =$	16,67	%
organisatorische Kriterien	0	1	1	0	0	0	0	0		1	3,0	$3,0/90 = 0,0333 =$	3,33	%
rechtliche Kriterien	0	1	1	0	1	1	0	0	1		5,0	$5,0/90 = 0,0556 =$	5,56	%
<b>Summe</b>											<b>90,0</b>	<b><math>90/90 = 1,0000 =</math></b>	<b>100,00</b>	<b>%</b>

Tabelle 2: Die Rangfolgematrix. Blaumarkierte Kriterien sind Kriterien der mittelfristigen Maßnahmen, können aber auf die entwickelte Software wirken.<sup>178</sup>

Anhand dieser Matrix ist zu erkennen, wie unterschiedlich sich die untersuchten Kriterien auswirken. Die technischen Kriterien haben die größte Gewichtung aller Kriterien mit 15 Punkten und sind damit am bedeutendsten. Auf dem zweiten Platz folgen die risikobezogenen Kriterien mit 14 Punkten und die wirtschaftlichen Kriterien mit 13 Punkten auf dem dritten Platz. Mit jeweils 10 Punkten folgen anthropogene und Ereigniskriterien. An letzter Stelle stehen die organisatorischen Kriterien mit nur 3 Punkten. Es ist wichtig, darauf hinzuweisen, dass diese Rangfolge für eine einfache Katastrophe gültig ist.

Im Fall einer komplexen (mehrfachen) Katastrophe, bei der mehrere katastrophale Schadensereignisse gleichzeitig eintreten, wie die Dreifach-Katastrophe Fukushima, Japan 2011, die eine Kombination von Erdbeben, Tsunami und Reaktorkatastrophe mitbrachte, werden die Gewichtungen eine Abweichung zeigen, da manche Kriterien, wie zum Beispiel

<sup>178</sup> Eigene Darstellung

risikobezogene oder Ereigniskriterien, an Bedeutung gewinnen und maßgebend sein können. Es wird daher die Anpassung der Gewichtung empfohlen.

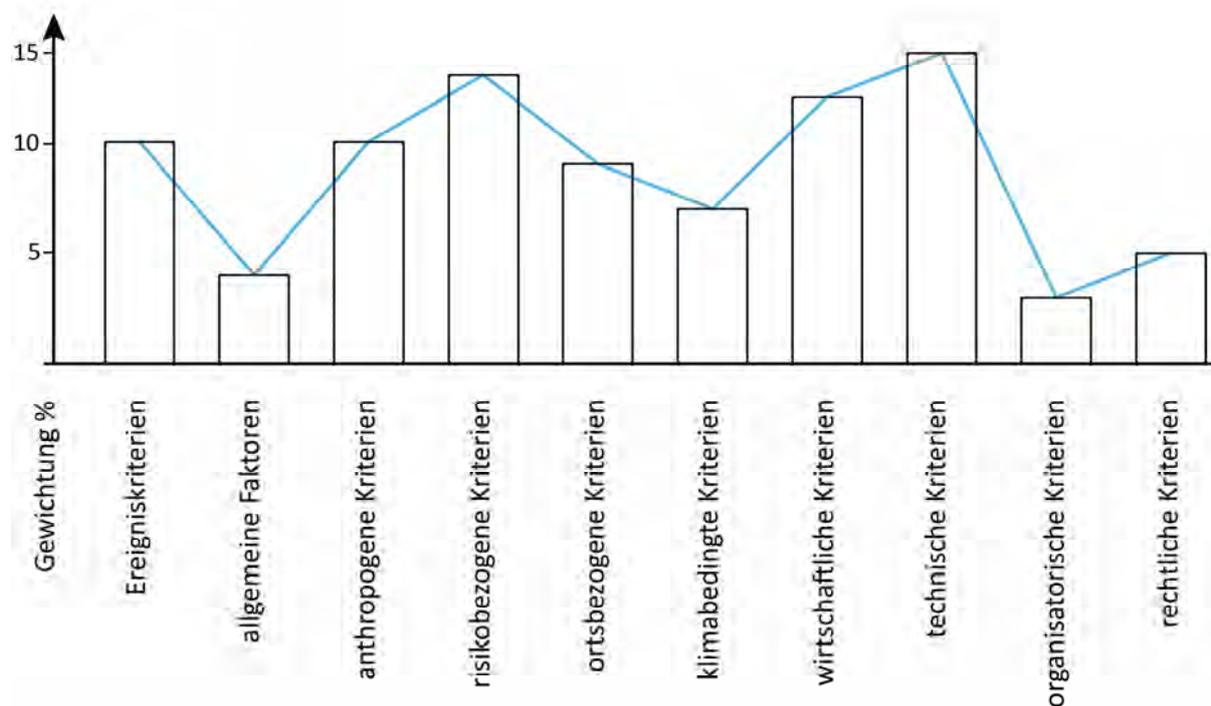


Abbildung 33: Grafische Darstellung der Rangfolge der Kriterien, basierend auf den Resultaten der Vergleichsmatrix.<sup>179</sup>

Die Entwicklung der Software basiert hauptsächlich auf fünf Elementen, nämlich menschlichem Bearbeitungsaufwand, Kosten, Risiko, Genauigkeit und Dauer, die als Fünfeck dargestellt werden können. Diese Elemente ergeben sich aus den oben genannten Kriterien und werden von ihnen massiv beeinflusst.

Die anthropogenen Kriterien erfassen den menschlichen Einfluss und wirken sich deshalb auf den Aufwand aus. Die Kosten hängen von den wirtschaftlichen Kriterien ab, während Risiken logischerweise von den risikobezogenen Kriterien beeinflusst werden. Technische Kriterien nehmen in erster Linie Einfluss auf die Genauigkeit.

Kriterien in Bezug auf Ort und Klima oder allgemeine Kriterien wirken vor allem neben organisatorischen und rechtlichen Kriterien auf die Dauer ein. Die oben dargestellte Vergleichsmatrix bietet eine geordnete Wichtung der Kriterien und dient daher zur Optimierung der

<sup>179</sup> Eigene Darstellung

Entwicklung der Software durch die Minimierung der Elemente Aufwand, Kosten, Risiko und Dauer sowie die Maximierung der Genauigkeit.

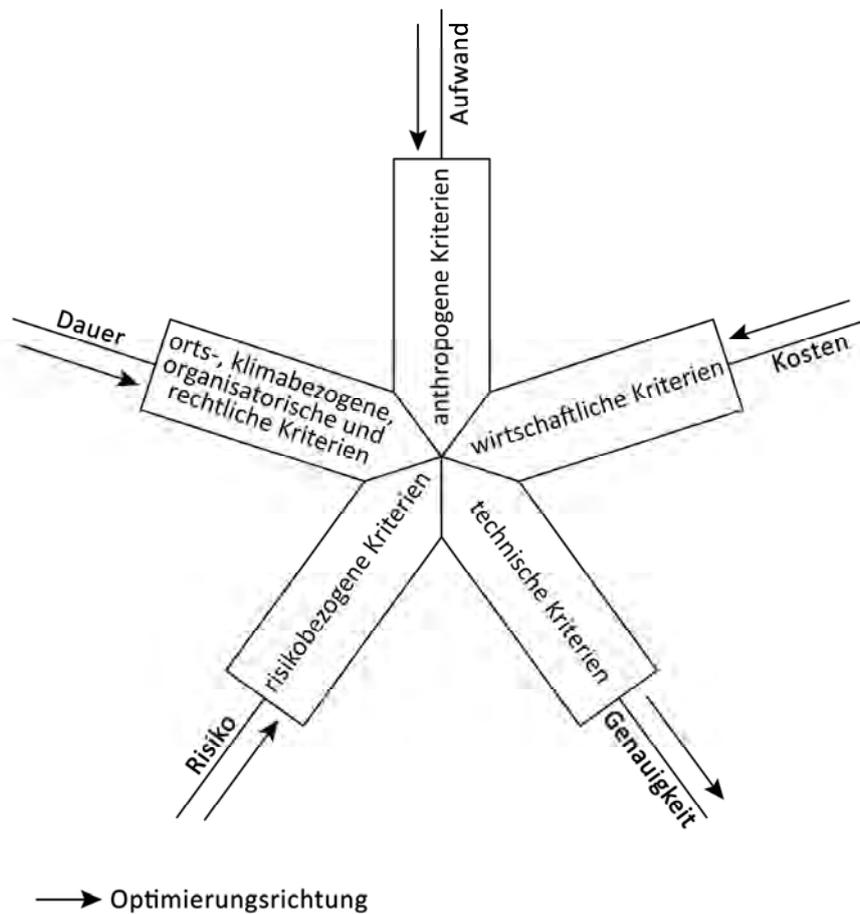


Abbildung 34: Grafische Darstellung der Fünfeckfaktoren, die sich aus den vorherigen untersuchten Kriterien ergeben<sup>180</sup>

Die in dieser Arbeit erforschten Kriterien nehmen einen großen Einfluss auf die sofortigen sowie teilweise auf die mittelfristigen Maßnahmen und somit auf den Entwicklungsprozess der Auswertungssoftware. Allerdings wirkt die Software selbst wiederum später teilweise auf die mittelfristigen und langfristigen Maßnahmen. Die durch die Software gelieferten Ergebnisse und die durch die teilerledigten Sofortmaßnahmen neu gesammelten Informationen erhöhen die Qualität der Ergebnisse und demzufolge bestehen Möglichkeiten, die gesamte Planung des Wiederaufbaus aus zeitlicher und wirtschaftlicher Sicht zu verbessern. Dies kann erst erfolgen, wenn die Auswertungsergebnisse genau, schnell, mit minimalem Aufwand, risikofrei und kostenreduziert geliefert werden, was wiederum den Optimierungsbereichen der Software entspricht. So wird den weiteren Beteiligten an den mittelfristigen und langfristigen Maßnahmen ermöglicht, ihre Ergänzungen in die Resultate einzubringen und ihre Aufgaben unter

<sup>180</sup> Eigene Darstellung

optimierten Umständen zu erledigen. Daraus ergibt sich der Bedarf, die Resultate in einer bearbeitbaren und austauschbaren einfachen Form vorzulegen, was mit einer interaktiven Karte erreicht wird.

Eine interaktive Karte ermöglicht in der Regel den anderen Beteiligten, ihre Bemerkungen und Analysen schnell darauf zu ergänzen und wiederum anderen Teams von Beteiligten in digitaler Form oder ausgedruckt zur Verfügung zu stellen. Darauf aufbauend wurde die Auswertungssoftware konzipiert, so dass die Endauswertungen der verfügbaren Daten als interaktive Karten erstellt werden.

## Kapitel 7 - Aufnahmemöglichkeiten

Die Basis der Analyse und der danach erfolgenden Bewertung der Gebäude nach einer Katastrophe ist die Vorlage der notwendigen Daten. Diese Daten können in unterschiedlichen Formen vorliegen und durch verschiedene Methoden aufgenommen werden, in diesem Kapitel handelt es sich um die möglichen Aufnahmen der Außenhülle von Gebäuden. Allgemein werden die gesammelten Daten in zwei Hauptgruppen je nach deren Typ eingeteilt. Die erste Gruppe nennt sich „Rasterdaten“, während die zweite „Vektordaten“ heißt.

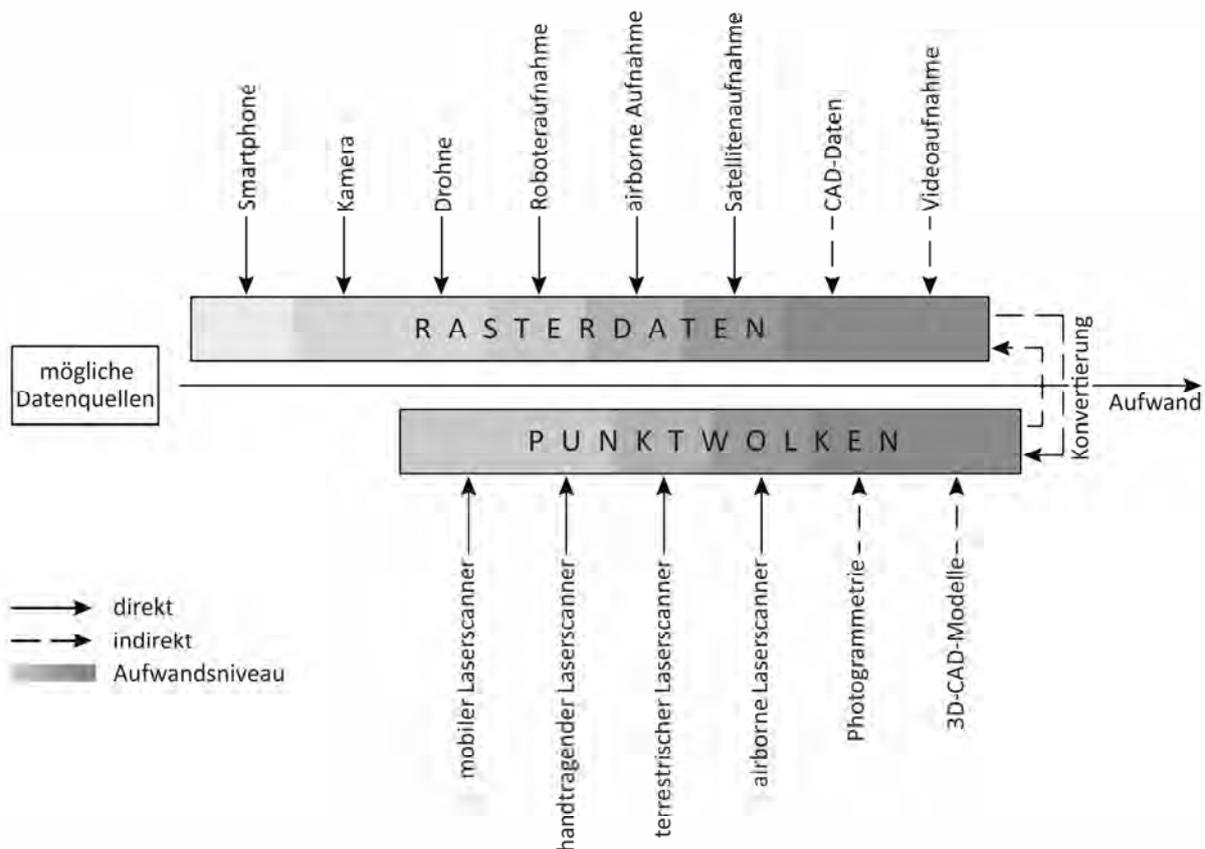


Abbildung 35: Grafische Darstellung für die mögliche Erstellung der Raster- und Punktwolkendaten<sup>181</sup>

### 7.1 Rasterdaten

Diese Gruppe befasst sich mit Pixeldaten, die im Kapitel 3 aus technischer Sicht ausführlich beschrieben werden. Diese Daten sind hauptsächlich Fotos und Bilder, die sowohl mit einer Kamera, als auch durch Satelliten (Top View / Draufsicht) aufgenommen werden. Die Daten dieser Gruppe sind in der Regel schnell verfügbar und können für eine vorübergehende Bewertung der Lage verwendet werden, was in vielen Fällen von großer Bedeutung ist, wo

<sup>181</sup> Eigene Darstellung

Entscheidungen zügig getroffen werden müssen. Ein zweiter Vorteil besteht in der bereits zur Verfügung stehenden Datenbank, auf die einfach, schnell und von überall aus zugegriffen werden kann. Trotz der gerade erwähnten Vorteile könnte die Qualität einiger Satellitenbilder einen der größten Nachteile darstellen. Satelliten bieten im Fall großer Flächen eine zügige Lösung an, wo schnellstmöglich Daten zur Verfügung gestellt werden müssen, um eine rasche Bewertung der Lage auszuführen und dementsprechend eine sofortige Maßnahme zu ergreifen. Diese Schnelligkeit können nur Satelliten in nahezu jedem Fall liefern, ohne Menschen in Gefahr zu bringen. Satellitenbilder haben allerdings im Vergleich zu Bildern, die mit modernen Kameras verbunden mit einem höheren Zeit- und Planungsaufwand aufgenommen worden sind, eine geringere Qualität.

Ein anderer Unterschied zwischen den normalen Fotos und den Satellitenfotos zeigt sich im Blickwinkel. Während Satelliten den untersuchten Bereich nur von „oben“ aufzeichnen, können Gebäude mit Kameras aus mehreren Blickwinkeln aufgenommen werden. Allerdings kann dies nicht mit einer einzigen Aufnahme erledigt werden. Dafür müssen mehrere Aufnahmen in unterschiedlichen Bewegungsabläufen durchgeführt werden. Um eine vollständige Aufnahme der gesamten Fläche zu ermöglichen, werden nicht nur Kameras, sondern auch Satelliten eingesetzt. Dies erhöht den notwendigen Aufwand, aber auch die Genauigkeit der gesammelten Daten und somit der Ergebnisse der Bewertung.

Unabhängig davon, ob die Fotos mit einer Kamera oder von Satelliten erstellt wurden, verfügen diese, gemäß dem Stand der aktuellen Technik, über GPS-Daten<sup>182</sup>. Genauer bedeutet dies, dass die aufgenommenen Fotos durch in Kameras eingebaute GPS-Sensoren bereits Positionsdaten enthalten, was viel Zeit und Aufwand einspart und den ganzen Aufnahmeprozess beschleunigt.

Durch die GPS-Daten können die Bilder schnell und leicht den Positionen auf einer Karte zugeordnet werden. Das spielt beim späteren Vergleich mit den schon vorhandenen Daten eine große Rolle.

Raster- oder auch Pixeldaten können durch unterschiedliche Methoden bzw. unterschiedliche Geräte gesammelt werden. Jede Methode bietet ihre Vorteile und selbstverständlich ihre Nachteile und ist damit unter bestimmten Bedingungen geeignet. Es ist daher von großer Bedeutung, die richtige Methode auszuwählen, was die Ergebnisse erheblich beeinflussen und die Bewertung danach deutlich erleichtern oder erschweren kann. Es ist auch wichtig zu erwähnen, dass jedes beim Aufnahmeverfahren eingesetzte Gerät integrierte oder gekoppelte

---

<sup>182</sup> GPS-Empfänger sind in vielen Kameras, Smartphones und Drohnen integriert. Getrennte GPS-Empfänger können bei vielen Aufnahmegegeräten gekoppelt werden.

GPS-Sensoren besitzen muss und daher die Daten bereits Positionsinformationen enthalten müssen. Im Folgenden werden die für Pixeldaten geeigneten Verfahrensweisen und deren Geräte mit den entsprechenden Einsatzbereichen dargestellt.

### 7.1.1 Drohnen

Drohnen gehören zu den modernsten und neuesten Geräten, die für die Vermessungen und Fotoaufnahmen eingesetzt werden. Sie sind meistens mit integrierten Kameras ausgerüstet, können aber auch mit externen, montierten Kameras ausgerüstet werden. In beiden Varianten sind die Kameras mit einem GPS-Empfänger ausgerüstet. Das bedeutet, dass die Fotos über die für die Georeferenzierung notwendigen Geoinformationen (GPS-Koordinaten) verfügen und deswegen in automatisierten oder manuellen Verfahren georeferenziert werden können.

Der größte Vorteil der Drohnen liegt in ihrer einfachen Einsatzmöglichkeit und der Schnelligkeit, mit der die erfassten Daten zur Verfügung stehen. Außerdem verlangt eine Drohne wenig Aufwand im Vergleich zu anderen Geräten. Sie kann ferngesteuert werden, was sich in vielen Fällen, wie z. B. bei Naturkatastrophen wie Erdbeben, Überschwemmungen oder bei Kontamination als optimal erweist. In so einem Fall kann ein menschlicher Eingriff erst später in Frage kommen, da die größte Gefahr für Personen besteht. Dennoch muss eine Analyse des aktuellen Zustands schnellstmöglich erfolgen und hier bieten sich Drohnen als eine der wenigen ungefährlichen möglichen Lösungen an.

Einige Nachteile der Drohnen liegen in den Reichweitebeschränkungen, der maximalen Flugdauer und den wetterbedingten Faktoren, die beim Einsatz berücksichtigt werden müssen. Drohnen verfügen in der Regel über eine Kamera, die Luftaufnahmen, Fotos und Videos mit guter bis sehr guter Qualität erstellen kann. Ihre Aufnahmen können vollständig sein, wenn die Vermessung gut geplant ist.

Dafür bieten einige Drohnenhersteller durch eigene Softwares gesteuerte Flugpläne an. Die Drohnenflüge erfolgen demnach auf einer Art Gitternetz. Dabei rastert die Drohne den vorher definierten Bereich, dies kann auch in zwei Durchgängen geschehen (doppeltes Gitter). Eine weitere Möglichkeit ist ein kreisförmiger Flug oder schlangenförmiger oder auch komplett freier Flug<sup>183</sup>. Wetterbedingungen können – wie bereits erwähnt - den Einsatz von Drohnen einschränken und die Qualität der Fotos negativ beeinflussen.

---

<sup>183</sup> vgl. <https://www.parrot.com/de/support/produkte/parrot-bebop-pro-3d-modeling/flugplan-erstellen>, abgerufen: 15.05.2019

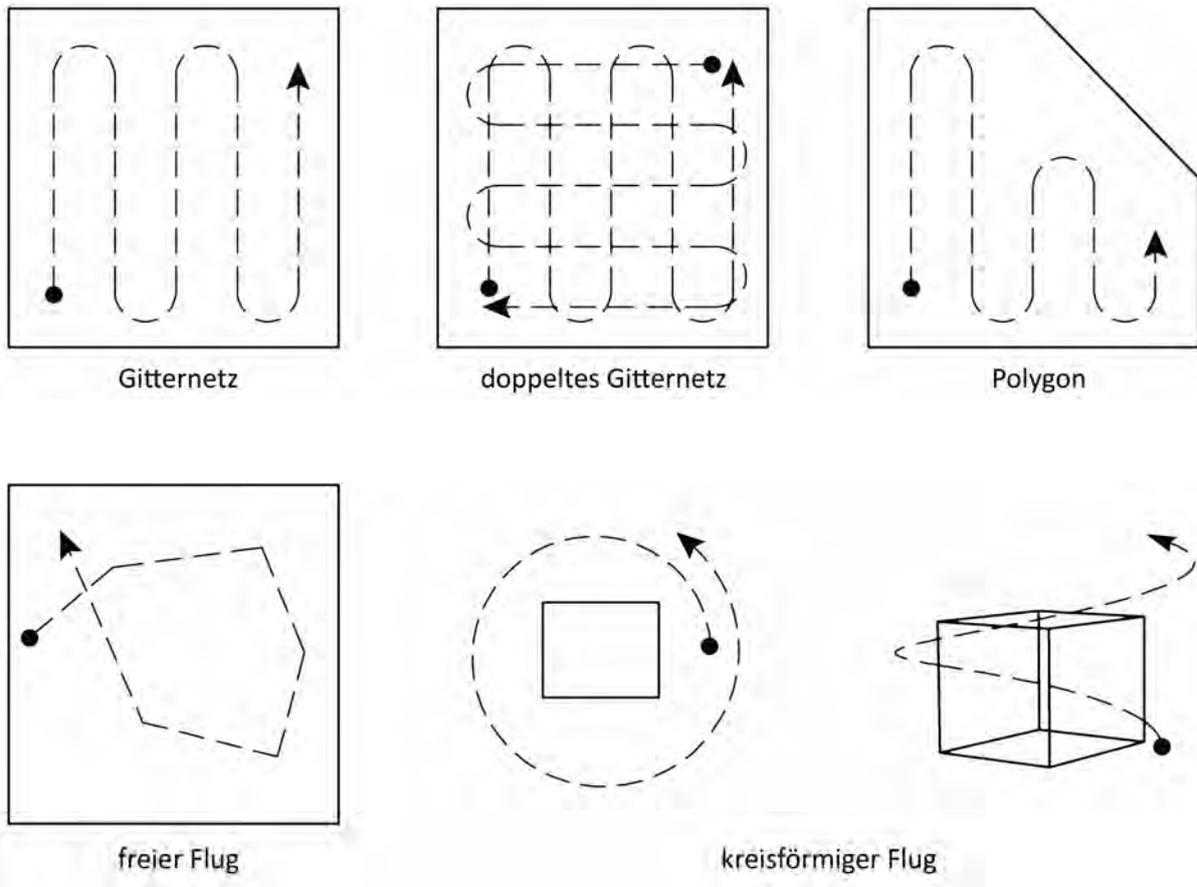


Abbildung 36: Skizzenhafte Darstellung der Drohnenflugpläne<sup>184</sup>

### 7.1.2 Hubschrauber

Auch mithilfe eines Hubschraubers kann eine Luftaufnahme von einem Gebiet erstellt werden. Im Vergleich zu Drohnen ist die Verwendung von Hubschraubern teurer und aufwändiger, da Kosten für das Personal und Treibstoff entstehen. Wetterbedingungen spielen hier auch eine wichtige Rolle. Sie beeinflussen nicht nur das Vermessungsverfahren, sondern können auch lebensgefährlich für das Personal im Helikopter sein.

Verschiedene Kameras können für die Luftaufnahmen benutzt werden. Der wichtigste Unterschied besteht darin, ob der GPS-Empfänger bereits in der Kamera integriert ist oder nicht. In den meisten Kompaktkameras sind diese Empfänger verbaut, während ein DSLR-Fotoapparat meistens keinen besitzt. Durch Synchronisierung mit einem externen GPS-Empfänger werden die Koordinaten auf den aufgenommenen Fotos gespeichert und somit das Problem gelöst.

<sup>184</sup> Eigene Darstellung, Daten beziehen sich auf: <https://www.parrot.com/de/support/produkte/parrot-bebop-pro-3d-modeling/flugplan-erstellen>, abgerufen: 15.05.2019

### 7.1.3 Roboter

Roboter sind auch eine praktische Lösung, wenn Personen kein Zutritt gestattet oder dieser zu gefährlich ist. Ein Roboter kann mit einer Kamera in die betroffenen Bereiche geschickt werden, um das Fotoaufnahmeverfahren durchzuführen.

Wie bei der Drohne ist der Roboter auch ferngesteuert. Einige Roboter können teilweise autonom fahren. In beiden Fällen sind Live-Übertragungen während des Einsatzes möglich. Eine andere Besonderheit von Robotern ist die Aufnahme nicht nur von Außenbereichen von Gebäuden, sondern auch von deren Inneren. Mit anderen Worten, der Roboter ist in der Lage, in Gebäude hineinzukommen und Fotos vom Innenraum aufzunehmen. Diese Möglichkeit verbessert die Genauigkeit der Analyse enorm, da viele Gebäude keine Schäden an der Fassade zeigen, währenddessen einige Bauteile von innen beschädigt oder sogar zerstört sein können. Die Kameras, die am Roboter verbaut sind, besitzen einen GPS-Empfänger und die Georeferenzierung ist damit gewährleistet. Bei großen Flächen wird mehr als nur ein Roboter benötigt, was den Aufwand und vor allem die Kosten erhöht.

### 7.1.4 Menschen

Dank der heutigen Technologie kann jeder mit seinem Smartphone auch eine Art Vermessung und teilweise Aufnahmedokumentation durchführen. Die Kameras der Handys erstellen heutzutage typbedingt hochqualitative Aufnahmen mit sehr geringen Kosten im Vergleich zu anderen hochwertigen Fotoapparaten und Aufnahmeverfahren, dennoch ist dies vor allem bei großen Flächen zeitintensiver. Dies kann auch nicht sofort oder direkt nach einer Katastrophe erfolgen. Die Sicherheitslage muss zuerst im Hinblick darauf überprüft werden, ob es für Menschen sicher ist, vor Ort tätig zu werden. Das könnte im Fall einer Kontamination noch komplizierter sein, da die Gefahr sehr hoch ist. Diese Alternative wird selten eingesetzt und nur in Betracht gezogen, wenn eine Bewertung vor Ort notwendig ist. Allerdings können die Betroffenen teilweise selbst solche Aufnahmen zum kleinen Teil unaufgefordert erledigen, diese Aufnahmen können für die Hilfskräfte während Such- und Rettungsaktionen hilfreich sein.

### 7.1.5 Satelliten

Satelliten sind mit Abstand die schnellste Option zur Vermessung. Sie erzeugen minutenmäßig georeferenzierte Rasterbilder, allerdings in 2D-Draufsichtform. Sie können innerhalb kurzer Zeit eine große Fläche vermessen sowie Fotos mit guter Qualität zur weiteren Verwendung liefern.

Satellitenbilder dienen in der Regel nur für eine beschränkte sofortige Überprüfung des Istzustands, da von den Draufsichten der aufgenommenen Fotos keine vollständigen Informationen der betroffenen Gebäude zur Verfügung gestellt werden können. Für eine genaue Bewertung ist deswegen eine Vermessung mithilfe einer der anderen Methoden notwendig.

### **7.1.6 Zusätzliche Verfahren**

Das Erzeugen von Rasterdaten kann auch durch andere Verfahren erledigt werden. Solche Verfahren können durch Konvertieren aus Momentaufnahmen von Videodateien Fotodateien erzeugen. Dies erfordert dafür passende Software und kann auf einem Computer oder teilweise auf Smartphones ausgeführt werden. Softwarebedingt kann so ein Verfahren automatisiert oder manuell durchgeführt werden. Ein Nachteil dieses Verfahrens liegt in dem Qualitätsverlust im Vergleich zu anderen Fotodateien, die direkt mit einer Kamera aufgenommen werden. Ein weiterer Nachteil kann der Zeitfaktor sein, da Videoaufnahmen in der Regel große Datenmengen bilden und die Übertragung zwischen Geräten viel Zeit kostet. Die Bearbeitung solcher Datentypen ist ebenso mit Zeitaufwand verbunden.

Ein weiteres zusätzliches Verfahren zum Gewinn von Rasterdaten kann anhand von Vektordaten ermöglicht werden. Das heißt, dass eine Umwandlung von Vektordaten zu Rasterdaten möglich ist. Auch für diesen Vorgang wird passende Software benötigt. Zum Beispiel können viele CAD-Programme<sup>185</sup> deren Vektordatenpläne in Rasterdaten exportieren. Dies bietet eine hochqualitative Methode für die Erstellung von Plänen, wie zum Beispiel Grundrissen oder Ansichten. Der Nachteil liegt sowohl im erforderlichen Zeitaufwand als auch in der Technikverfügbarkeit, da für diese Verfahren passende Geräte, Software und trainierte Fachleute benötigt werden. Durch das Exportieren von Vektordaten in Rasterdaten werden die notwendigen Pläne in lesbaren kleinformatigen Fotos mit verschiedenen Beteiligten des Katastrophengebiets geteilt und ausgetauscht und können deswegen leichter zu diversen Zwecken, wie zum Beispiel Ausdrucken, Kommentierungen und Aktualisierung der Informationen über die Lage verwendet werden.

## **7.2 Rasterdatenformate**

Die in dieser Arbeit verwendenden Bilderformate sollen nur die am meisten benutzten universellen Bilderformate sein, die direkt von Kameras und Fotoapparaten als Standardformate

---

<sup>185</sup> Autodesk AutoCAD, Bentley Microstation, Nemetschek Allplan und ArchiCAD bilden einige weltweit bekanntgegebene Beispiele für CAD-Programme.

oder mithilfe von Dienstsoftware auf diesen Geräten abgespeichert werden können. Eine Ausnahme bilden die Rohdatenformate "RAW"<sup>186</sup>, diese sind wegen deren erheblicher Größe und dem Bearbeitungsbedarf von der Nutzung ausgeschlossen. Die anderen vorhandenen zahlreichen Bilderformate, die speziell für bestimmte Bildbearbeitungsprogramme, wie zum Beispiel Adobe Photoshop oder GIMP<sup>187</sup> entwickelt wurden, spielen hier keine Rolle und können erst nach einer Konvertierung verwendet werden.

Die für die Datenbanken dieser Arbeit passenden Bildformate sind<sup>188</sup>:

- JPEG "Joint Photographic Experts Group": Ein detailreiches und weltweit am meisten verwendetes Bildformat, welches maximale Kompatibilität mit den unterschiedlichen Betriebssystemen von Computer und Smartphones anbietet und geringen Speicherplatz benötigt. Die häufig verwendeten Kameras, Smartphones und Drohnenkameras speichern die aufgenommenen Fotos automatisch im JPEG-Format. Dieses Format erlaubt keine Abspeicherung von Transparenz auf den Fotos.
- GIF "Graphics Interchange Format": Dieses Format basiert auf nur 256 Farben und benötigt deswegen den geringsten Speicherplatz, verfügt aber über geringe Qualität und wird von den meisten Kameras nicht als direkte Speicheroption, sondern durch Nutzung von zusätzlichen installierten Applikationen angeboten. Das GIF-Format bietet die Möglichkeit, limitierte Animation in den Bildern abspeichern.
- PNG "Portable Network Graphics": Das PNG Format ermöglicht es, kleine Dateien bei bleibend hoher Qualität zu nutzen und diese mit transparentem Hintergrund zu speichern. Es enthält deutlich größere Daten im Vergleich zum JPEG Format.
- TIFF "Tagged Image File Format": Dieses bewahrt die Qualität beim Speichern und benötigt deswegen viel Speicherplatz. Einige Digitalkameras bieten die Möglichkeit, die Fotos im TIFF-Format abzuspeichern. Dieses Format eignet sich für Druckproduktion, hat aber wegen der meist erheblichen Datengröße einen Nachteil, da diese nicht von Internetwebbrowsern unterstützt wird.

---

<sup>186</sup> Das RAW-Datenformat beinhaltet bei der Aufnahme alle Originalinformationen des Fotos, die ohne Bearbeitung auf das Speichermedium geschrieben werden. RAW-Formate können herstellerbezogen unter diversen Namen, wie zum Beispiel CRW bei Canon- oder NEF bei Nikon-Digitalkameras, abgespeichert werden.

<sup>187</sup> Das Standard Datenformat für Photoshop ist PSD "Photoshop Dokument", für Gimp ist es XCF "eXperimental Computing Facility". Jedes Bildbearbeitungsprogramm verfügt über die Möglichkeit, Fotos in anderen Formaten abzuspeichern.

<sup>188</sup> Erklärungen von Bildformate JPEG, GIF, PNG und TIFF: vgl. <https://helpx.adobe.com/de/photoshop/using/file-formats.html>, abgerufen: 18.07.2019

### 7.3 Vektordaten (Punktwolken)

Der Begriff Vektordaten wurde ebenso wie der Begriff „Rasterdaten“ bereits in dem Kapitel 3 geklärt. Bei dieser Gruppe handelt es sich nur um Daten, die raumbezogene Objekte anhand von Punkten beschreiben. Diese Daten werden mit anderen Programmen als für Pixeldaten bearbeitet. Die Methoden und die dafür vorgesehenen Geräte funktionieren auch anders. Allerdings können die dadurch gesammelten Daten zur Analyse des Gebiets problemlos verwendet werden. Die Daten werden mittels Laserscanning gesammelt, was mit einem Laserscanner erfolgt und als Hauptquelle für die Vektordaten dient. Laserscanner befinden sich gemäß Hersteller und Zweck in unterschiedlichen Aufbauformen, wobei diese Unterschiede den praxisbezogenen Einsatzverfahren des Scanners dienen. Airborne-, terrestrisches- und mobiles Laserscanning sind am häufigsten verwendeten Messverfahren. Die Erklärung von jedem Verfahren ist bereits in Kapitel 3 zu finden. Hier werden sie allgemein beschrieben und die Vor- und Nachteile präsentiert.

#### 7.3.1 Airborne Laserscanning (ALS)

Ähnlich wie bei Drohnen- und Hubschrauberfotoaufnahmen werden die Objekte in einem Gebiet aus der Luft von einem Flugzeug vermessen. Der im Flugzeugrumpf montierte Laserscanner sendet während des Fluges Laserimpulse oder -wellen aus. „Durch die einwandfreie Zusammenarbeit des Scanners, der GPS-Antennen, der Kontroll- und Datenspeicherungseinheit, des Laptops mit der Anwendungssoftware und des Flugmanagement-Systems kann die überflogene Fläche lückenlos aufgenommen werden“<sup>189</sup>. Hierbei ist es besonders wichtig zu erwähnen, dass die Route des Flugzeugs eine entscheidende Rolle spielt, um die Fläche lückenlos zu scannen. Für eine rechteckige Fläche zum Beispiel sollte der Flug in einer schlangenförmig gewundenen Form (s. u.) stattfinden. Diese stellt die vollständige Aufnahme jedes Objekts sicher. Die Abbildung 37 stellt dieses Flugbewegung dar.

#### 7.3.2 Terrestrisches Laserscanning (TLS)

Auf Grund des enormen Leistungsspektrums und der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten ist das terrestrische Laserscanning inzwischen ein voll etabliertes Messverfahren geworden<sup>190</sup>. Es eignet sich besonders gut in engen Bereichen, wo eine dreidimensionale Erfassung von Objekten benötigt wird. Ausgehend vom Laserscanner-Standpunkt werden mit einem Laserstrahl in allen umgebenden Raumrichtungen Winkel und Strecken gemessen. Auf diese

---

<sup>189</sup> <https://wiki.induux.de/Laserscanner>, abgerufen: 03.01.2018

<sup>190</sup> DVW – Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement e.V., Terrestrisches Laserscanning 2019, Beiträge zum 184. DVW-Seminar, Band 96, Wißner-Verlag (2019), Seite 5

Weise wird ein Objekt durch eine sehr große Anzahl von Messpunkten (Punktwolke) in seiner geometrischen Form diskretisiert<sup>191</sup>. Der größte Nachteil dieser Methode liegt in der manuellen Georeferenzierung der zahlreichen Scanning-Schnittstellen. Mittlerweile gibt es neue Modelle einiger TLS-Scanner auf dem Markt, die vollautomatisierte Georeferenzierung anbieten. Diese Modelle sind auch in der Lage, während des Vermessungsverfahrens Bilder von den Objekten zu erzeugen und mit Hilfe intelligenter Algorithmen gemäß den Bildern eine Georeferenzierung der Scanning-Schnittstellen durchzuführen.

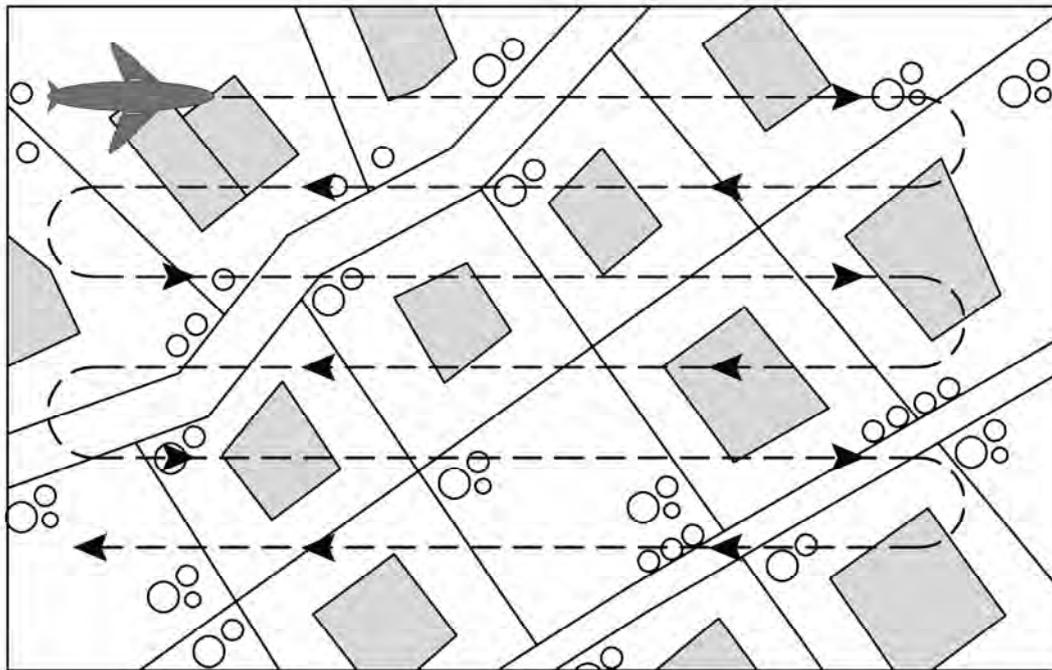


Abbildung 37: Grafische Darstellung der Flugbewegung beim Einsatz vom Airborne Laserscanning<sup>192</sup>

### 7.3.3 Mobiles Laserscanning (MLS)

Klassische Verfahren wie das airborne Laserscanning (ALS) und das terrestrische Laserscanning (TLS), werden zunehmend durch mobiles Laserscanning (MLS) ergänzt oder sogar unter besonderen Bedingungen abgelöst<sup>193</sup>. Die Erfassung von Objekten wird von bewegten Plattformen wie z. B. Autos oder kleinen unbemannten Flugzeugen durchgeführt. Die Besonderheit dieser Methode ist, dass die Vermessung, die Georeferenzierung sowie die Dokumentation und Speicherung der Daten vollautomatisiert geschieht<sup>194</sup>.

<sup>191</sup> vgl. <http://www.spatialhumanities.de/ibr/technologie/terrestrisches-laserscanning.html>, abgerufen: 03.01.2018

<sup>192</sup> Eigene Darstellung

<sup>193</sup> vgl. DVW – Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement e.V., Terrestrisches Laserscanning 2017, Beiträge zum 165. DVW-Seminar, Band 88, Wißner-Verlag (2017), Seite 9

<sup>194</sup> vgl. DVW – Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement e.V., Terrestrisches Laserscanning 2017, Beiträge zum 165. DVW-Seminar, Band 88, Wißner-Verlag (2017), Seite 9

### 7.3.4 Zusätzliche Methoden zur Erstellung von Punktwolken

Wie bei Rasterdaten können die Punktwolken mit indirekten Verfahren gewonnen werden. Durch Konvertierung von 3D-Modellen<sup>195</sup> mit geeigneten Softwares können beispielsweise Punktwolken anhand von 3D-Polygonen oder 3D-Polygonnetzen erstellt werden. Allerdings wird so eine Methode in seltenen Fällen, meistens für spezielle Zwecke, verwendet und ist mit großem zeitlichem und rechnerischem Aufwand verbunden. Ein weiteres verwendetes Verfahren zur Erstellung von Punktwolken ohne Einsatz von Laserscannern kann mittels Photogrammetrie durchgeführt werden.

Bei Photogrammetrie handelt es sich um Rekonstruktion oder Wiederherstellung der Räumlichkeit eines bereits bestehenden Objekts, zum Beispiel eines Gebäudes anhand zahlreicher und von mehreren Standpunkten aus geschossenen Fotos. Liegen die Objekte im Außenbereich, werden die Fotos mit natürlicher Beleuchtung aufgenommen. Für Objekte in Innenbereichen muss für eine erfolgreiche Photogrammetrie ein künstliches Beleuchtungsmittel eingesetzt werden. Diese Fotos werden mit einem für Photogrammetrie passenden Programm zusammengefügt und davon ein 3D-Modell in Form von Punktwolken erstellt. Die notwendigen mathematischen Umformungen für das Zusammenfügen der Fotos anhand der Kamera-standpunkte während der Aufnahme werden heutzutage von intelligenten Algorithmen übernommen, welche die Bilder mithilfe passender Software miteinander verbinden und infolgedessen das 3D-Modell rekonstruieren. Bei Photogrammetrie-Verfahren muss wiederum der Zeitaufwand, der Umgang mit vielen Daten und die Hardware-Ausstattung des eingesetzten Rechners sorgfältig berücksichtigt werden.

## 7.4 Punktwolkendatenformate

Wie beim Rasterdatenformat handelt es sich bei Punktwolken um vielfältige Datentypen, die meist hardwarehersteller- und/oder softwareherstellerbezogen sind. Es gibt Hersteller wie z. B. Leica und Faro, die sowohl Hardware als auch Software im Programm haben und andere, die ausschließlich Software anbieten, wie z. B. Autodesk oder Bentley.

In der Regel werden die Punktwolkendatentypen unter ASCII oder Binär codiert. Bei Standard-ASCII handelt es sich um text-basierten Datentyp<sup>196</sup>, wobei das Zeichen, das 7 Bit-Binärzahlen repräsentiert, den Mittelpunkt der Daten bildet, dazu gehören XYZ, OBJ und PTX. Binäre

---

<sup>195</sup> zum Beispiel mit „Rhinoceros 3D“

<sup>196</sup> vgl. Daniel Eggert, Dissertationen: Effiziente Verarbeitung und Visualisierung von Mobile Mapping Daten, Veröffentlichungen der DGK Ausschuss Geodäsie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, München 2017. Seite 11

Punktwolkendaten werden direkt im Binärformat geschrieben, PCD<sup>197</sup> und LAS bilden einige Beispiele davon. Andere regelmäßig verwendete Dateitypen speichern sowohl ASCII- als auch Binärformate, wie zum Beispiel PLY und E57<sup>198</sup>. In dieser Arbeit werden ASCII-Punktwolkendatenformate und teilweise andere Punktwolkendatenformate betrachtet, die sich mit einem gewöhnlichen Texteditor jedes Computer-Betriebssystems öffnen lassen und in Form von Reihen von X-, Y- und Z-Koordinaten plus zusätzlichen Informationen, wie RGB-Farbwerten, Intensitätswerten und GPS-Koordinaten gelistet sind. Die passenden Punktwolkendatenformate zur Untersuchung in dieser Arbeit gliedern sich in:

- PCD "Point Cloud Data": Dies ist das eigene Datenformat von PCL "Point Cloud Library". Dessen Daten teilen sich in zwei Teile, im ersten (Header) werden die Metadaten (zusätzliche Informationen) abgespeichert, während der zweite Teil die Koordinaten der Punkte in X, Y, Z Reihenfolge<sup>199</sup> beinhaltet.
- LAS ist ein offenes, binäres Format für die Erstellung der LIDAR-Rohpunktwolkendaten. Es wurde von der ASPRS "American Society for Photogrammetry and Remote Sensing" spezifiziert. Eine LAS-Datei verfügt über die Gesamtzahl der gescannten Punkte, Scanwinkel, die meist in UTM-System gelisteten XY-Koordinaten, Z für die Höhe, die Intensität des empfangenen Laserimpulses und die RGB-Werte<sup>200</sup>.

```

1 # .PCD v0.7 - Point Cloud Data file format
2 VERSION 0.7
3 FIELDS x y z
4 SIZE 4 4 4
5 TYPE F F F
6 COUNT 1 1 1
7 WIDTH 1771
8 HEIGHT 1
9 VIEWPOINT 0 0 0 1 0 0 0
10 POINTS 1771
11 DATA ascii
12 GPS {'Latitude':'51.2878' , 'Longitude':'9.4706'}
13 -16.4862 -5.63247 683.505
14 -16.771 -4.7257 683.407
15 -16.285 -4.72292 683.437
16 -16.8918 -4.50195 683.397

```

Abbildung 38: Der Code einer Punktwolkendatei, Format PCD<sup>201</sup>

<sup>197</sup> PCD-Daten können auch unter ASCII gespeichert werden.

<sup>198</sup> vgl. aus dem Englischen: Charles Thomson, Common 3D point cloud file formats & solving interoperability issues, <https://info.vercator.com>

<sup>199</sup> vgl. D. Schneider, S. Maes, B. Grafe: Tutorial / Einführung für das Modul Objekterkennung und Geodatenfusion: Point Cloud Library, TU Dresden 2013, Seiten 12, 15

<sup>200</sup> vgl. Aus dem Englischen: Ebook: "asprs, The Imaging & Geospatial Information Society" 2013: LAS Specification 1.4 - R14, The American Society for Photogrammetry & Remote Sensing, März 2019. Seite 32

<sup>201</sup> Eigene Darstellung

- PTS: Ähnlich zu LAS- und XYZ-Formaten enthält PTS mehrere Zeilen, in der die Gesamtzahl der Punkte, die Intensität, R G B und die X Y Z gespeichert sind.

```

1  8657079
2  -27.4854 8.86567 13.5531 0 225 150 147
3  -34.354 6.23048 14.2043 0 224 161 154
4  -29.2205 5.58567 14.0782 0 222 169 163
5  -27.312 8.15669 13.3478 0 192 113 100
6  -31.0051 7.032 15.3957 0 204 143 138
7  -32.3603 5.88458 14.0498 0 210 159 155
8  -28.5145 5.44545 14.1076 0 211 159 161
9  -27.9157 7.25541 13.7552 0 227 162 158
10 -27.7512 7.68805 13.6066 0 221 139 127
11 -33.079 6.22177 14.2641 0 203 137 125

```

Abbildung 39: Der Code einer Punktwolkendatei, Format PTS<sup>202</sup>

- 3D: enthält die Auflösung des Scans ( $w \times b$ ) danach beinhalten die nächsten Zeilen die X, Y, Z Koordinaten der gescannten Punkte im linkshändigen Koordinatensystem<sup>203</sup>.
- XYZ: „Wie der Name suggeriert, wird hier von drei räumlichen Koordinaten ausgegangen“<sup>204</sup>.

Die XYZ-Datei enthält eine Reihe von Textzeilen, in der die Positionen der gescannten Punkte in kartesischen Koordinaten X-, Y-, Z-Werten geschrieben sind. XYZ gehört zu ASCII. Zusätzliche Informationen (Metadaten) müssen für eine Vollständigkeit des Scannings bei diesem Datenformat ergänzt werden<sup>205</sup>.

Bei den oben genannten Datenformaten der Punktwolken besteht die Möglichkeit, diese mit einem gewöhnlichen Texteditor des Betriebssystems auszulesen und zu ändern. Dies ermöglicht die Addition von möglicherweise fehlenden Metadaten, wie zum Beispiel dem Scan-Winkel oder den GPS-Koordinaten.

<sup>202</sup> Eigene Darstellung

<sup>203</sup> Prof. Dr. Andreas Nüchter, 3DTK The 3D Toolkit, Informatics VII - Robotics and Telematics, Julius Maximilian Universität Würzburg, <http://slam6d.sourceforge.net>, abgerufen: 11.11.2019

<sup>204</sup> Daniel Eggert, Dissertationen: Effiziente Verarbeitung und Visualisierung von Mobile Mapping Daten, Veröffentlichungen der DGK Ausschuss Geodäsie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, München 2017. Seite 23

<sup>205</sup> vgl. Charles Thomson, Common 3D point cloud file formats & solving interoperability issues, <https://info.vercator.com>, abgerufen: 21.11.2018

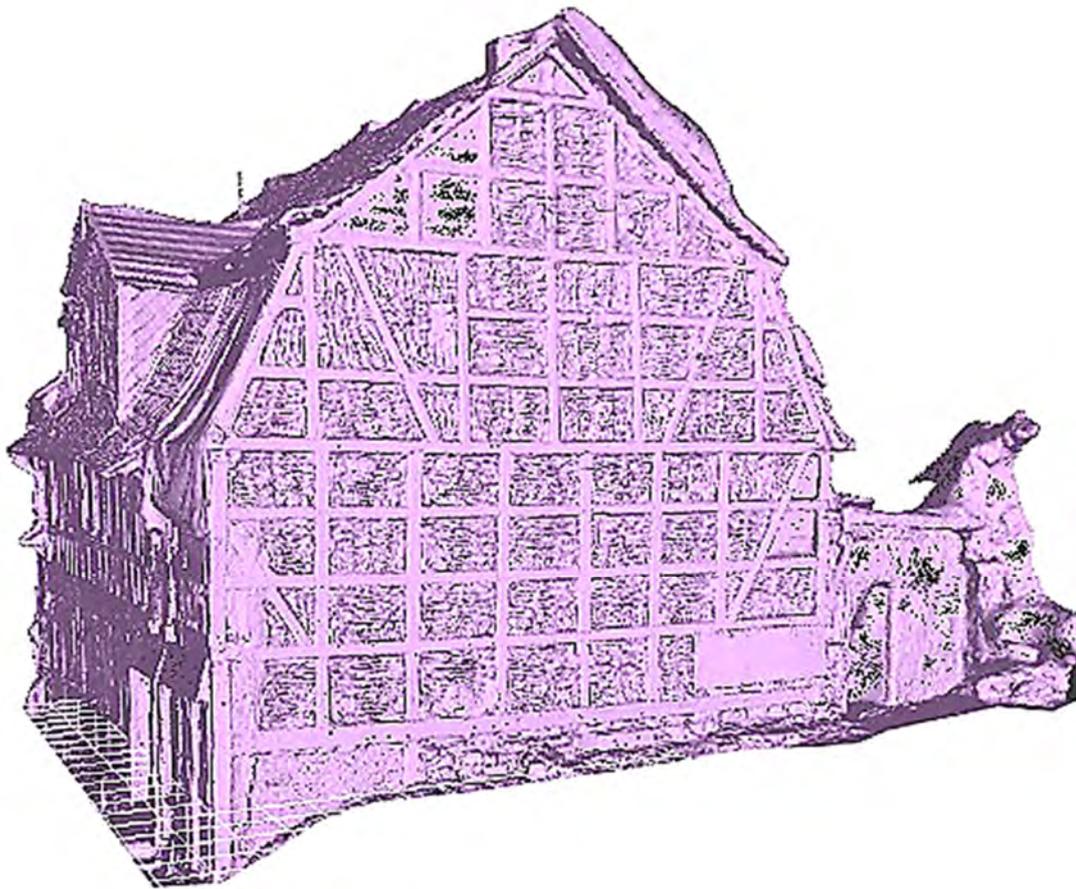


Abbildung 40: Visualisierungsdarstellung einer Punktwolke (Format PTS) eines Einfamilienhauses in Werra-Suhl-Ta<sup>206</sup>

### 7.5 Zusammenfassung der Datenaufnahmen:

Die oben genannten Aufnahmeverfahren können situationsbezogen eingesetzt werden. Jedoch beeinflussen unterschiedliche Faktoren, die ausführlich im Kapitel 5<sup>207</sup> in dieser Arbeit erläutert werden, die Eigenschaften jedes Verfahrens, wie zum Beispiel das Wetter, die natürliche Beleuchtung zu diversen Tageszeiten und die Zugänglichkeit des betroffenen Ortes. Diese können den Einsatz bei bestimmten Fällen entweder ermöglichen und damit die Qualität der Ergebnisse erhöhen oder unter anderen Bedingungen einschränken und infolgedessen unvollständige Ergebnisse liefern.

Bei den gelieferten Ergebnissen müssen folgende Aspekte, die eine entscheidende Rolle für die sofortigen Maßnahmen nach Katastrophen spielen, berücksichtigt werden. Diese Aspekte sind:

---

<sup>206</sup> Eigene Darstellung

<sup>207</sup> Kapitel 5: Kriterien der Katastrophenmaßnahmen - Systemkriterien

- Qualität der Aufnahmen: Die Qualität der Fotos spielt eine wichtige Rolle für den Auswertungsprozess. Je höher sie ist, desto detaillierter ist die Auswertung und dementsprechend passender die getroffene Entscheidung. Deshalb ist die Auflösung der benutzten Kamera von großer Bedeutung, was heutzutage bei den meisten Kameras kein Problem ist.  
Auf Grund der Höhe und der schnellen Bewegung können Drohnen in einigen Situationen nur wenig qualitativ hochwertige Bilder liefern. Bilder, die durch einen Roboter oder von Menschen aufgenommen werden, weisen meistens eine hohe Qualität auf. Anderen Faktoren, wie z. B. der Größe der aufgenommenen Fläche oder der vorgesehenen Aufnahmezeit kommt in diesem Fall mehr Gewichtung zu. Zur Qualität gehört nicht nur die Auflösung der Fotos, sondern auch die Art und Weise der Aufnahme an sich, die Details des aufgenommenen Objekts, Aufnahmewinkel und der natürliche Lichteinfall während der Aufnahme.
- Genauigkeit: Wie bei der Qualität der Aufnahmen beeinflusst die Genauigkeit der gesammelten Daten ebenso die später auszuführende Analyse. Jede Methode bietet eine gewisse Präzision. Beispielsweise verfügt das terrestrische Laserscanning über eine im Millimeterbereich liegende Genauigkeit. Diese ist erheblich präziser als Daten vom airborne Laserscanning.
- Verwendungszweck: Wofür die Zielaufnahmen verwendet werden, ist für das Bevorzugen eines Verfahrens im Vergleich zu den anderen einzusetzenden Verfahren entscheidend. Eine schnelle Auswertung von befahrbaren Straßen oder noch stehenden Brücken in einem großen Gebiet nach einer Katastrophe kann in der Regel mit Hilfe von Flugaufnahmen oder über Satelliten erfolgen, die gleichzeitig eine Auswertung vom Schadenausmaß der betroffenen Gebäude liefern. Allerdings können die Informationen beschränkt oder sogar fehlerhaft sein. Zur genauen Ermittlung von Schäden an den betroffenen Gebäuden muss in der Regel mehr als ein Verfahren eingesetzt werden, davon kann z. B. das terrestrische Laserscanning Verfahren präzise Informationen anbieten.
- Aufnahme-/Vermessungsdauer: Bei einem Aufnahme- oder Vermessungsverfahren sollte der dafür notwendige Zeitaufwand im Vorfeld betrachtet werden. Dieser hängt wiederum mit dem Verwendungszweck zusammen, da die notwendige Zeit der Aufnahme das Verwendungsziel beeinflusst. Bei einer Rettungsaktion nach einer Katastrophe müssen die Aufnahmen so schnell wie möglich zur Verfügung stehen, dies führt dazu, dass lang andauernde Aufnahmeverfahren automatisch ausscheiden.

- Bearbeitungsaufwand: Der entstehende Aufwand bei der Bearbeitung der Aufnahme-daten muss bei der Gewichtung berücksichtigt werden. In der Planungsphase für eine Rettungsaktion oder bei einer groben Ermittlung der Schäden für Versicherungsunternehmer muss der Bearbeitungsaufwand minimiert werden, da die Ergebnisse der Auswertung in kürzester Zeit geliefert werden müssen.
- Im Gegensatz dazu können für eine langfristige Wiederaufbauplanung notwendige Daten eine aufwändige Bearbeitung benötigen, da dafür genauere Informationen vorhanden sein müssen. In der Regel benötigen Fotodaten im Vergleich zu Punktwolken eine minimale Bearbeitungszeit und geringen Aufwand. Punktwolken bilden große Daten und benötigen spezielle Softwares, leistungsfähige Hardware und Fachleute, die solche Softwares bedienen können.
- Zugriffsbereitschaft der Daten: Nach Erstellung der notwendigen Aufnahmen müssen diese datentypbedingt ordentlich und passend abgespeichert werden. Dafür müssen wichtige Aspekte berücksichtigt werden, wie zum Beispiel Aufnahmeort, Aufnahmetyp und Datenformat. Diese Sortierung der Daten bildet eine Art Datenbank, die bei Bedarf zum späteren Zeitpunkt die Zugriffsbereitschaft der Daten ermöglicht.



Abbildung 41: Grafische Darstellung der auf eine Aufnahme wirkenden Aspekte<sup>208</sup>

---

<sup>208</sup> Eigene Darstellung

## 7.6 Laserscanner oder Kamera?

Die Betrachtung der o. g. Faktoren erleichtert die Entscheidung für ein situationsbedingt passend einzusetzendes Verfahren. Dazu gehören drei Hauptfaktoren.

Trotz der hohen Qualität der Fotos bieten diese nur eine zweidimensionale Erfassung von Objekten. Laserscanner liefern im Gegensatz dazu eine dreidimensionale Erfassung, allerdings als eine Reihe von Millionen von Punkten. Diese 3D-Erfassung bietet die Möglichkeit einer detaillierten Betrachtung und Überprüfung des gescannten Objekts.

- Die Bedienung von Fotoapparaten diverser Arten und deren Fotodaten ist im Vergleich zu Laserscanner Verfahren leichter und die Bearbeitung der Aufnahmen und Daten unkomplizierter.
- Die Beleuchtung während der Aufnahme ist ein wesentlicher Entscheidungsaspekt bei der Auswahl der durchzuführenden Aufnahmemethode. Die Fotoqualität kann durch eine schwache Beleuchtung sehr stark beeinträchtigt werden, wohingegen ein Laserscanner eine Laserstrahlung verwendet und somit unabhängig vom Licht eine vollständige Aufnahme und Vermessung liefern kann.

Eine Kombination von Laserscannern und Kameras bietet in der Regel das optimalste Aufnahme- und Vermessungsergebnis, da die gleichzeitige Verwendung von Fotos und Punktwolken die gesamten Bedürfnisse und den Verwendungszweck der Aufnahmen in bester Form abdeckt. Dies bleibt aber von vielen Faktoren, die vorher benannt wurden, beeinflusst. Aufgrund des Zeitaufwandes dieser Kombination ist sie im Fall von Katastrophen nicht immer geeignet, um die richtige Auswahl einer Sofortreaktion zu treffen. Dies führt wiederum zu der Notwendigkeit und dem Bedarf, eine Software zu entwickeln, welche den Umgang mit beiden Datentypen und deren diversen Formaten ermöglicht.

## 7.7 Aufbau der Datenbanken

Durch die beim Katastrophenfall eingesetzten unterschiedlichen Aufnahmeverfahren fließen in kurzer Zeit enorme Datenmengen diverser Quellen mit verschiedenen Datentypen und -formaten. Das liegt daran, dass die Beteiligten an den Sofortmaßnahmen und Rettungsaktionen aus zeitlichen und technischen Gründen zwangsläufig die Vorort vorhandenen technischen Geräte und Ressourcen einsetzen müssen. Die gesammelten Daten werden zur Analyse und Auswertung sowie gleichzeitig zur Aufnahme oder zu einem späteren Zeitpunkt für andere Zwecke verwendet. Das führt zu der Notwendigkeit, die Daten sorgfältig in der richtigen zugriffsbereiten Form zu sortieren. Eine Sortierung der Daten erfolgt in digitaler Form und bildet entsprechende Datenbanken gemäß dem Datentyp, Datenformat und -aufnahmeort.

Eine mehrstufige Sortierung der Daten kann in bestimmten Fällen in jeder Datenbank notwendig sein.

Für die in dieser Arbeit entwickelte Software werden die Gesamtdaten der Aufnahmeverfahren digital in drei Hauptdatenbanken sortiert und abgespeichert. Eine zusätzliche Datenbank ist für das Validierungsverfahren vorgesehen. Zwei Datenbanken befassen sich mit den gängigsten und universell verwendbaren Bilddatenformaten, wie zum Beispiel JPEG, PNG, GIF, wobei die erste Datenbank allgemeine von diversen Standpunkten der Kameras aus erstellte perspektivische Fotos enthält, während die zweite Datenbank ausschließlich Draufsicht-Fotos enthält, die mit einem fast vertikalen Winkel von Flugzeugen oder Satelliten aufgenommen werden. Die Daten beider Datenbanken benötigen keine Bearbeitung und können sofort nach der Aufnahme in die passende Datenbank sortiert werden. Die Erstellung von zwei Datenbanken, die Rasterdaten beinhalten, dient der Klassifizierung der Gebäude anhand der Verfügbarkeit von bestimmten Quellen dieser Rasterdaten. Dies vereinfacht wiederum den Entwicklungs- sowie den Trainingsprozess der in dieser Arbeit entwickelten Teilsoftwares. Für die entwickelten Endsoftwares können alle Daten in einer Datenbank abgespeichert werden.

Von den diversen Bilderformaten werden für diese Datenbanken JPEG-Daten bevorzugt, da diese wenig Speicherplatz auf der Festplatte benötigen. JPEG-Daten werden weltweit verwendet und sind so kompatibel, dass sie sich mit allen Betriebssystemen auf Computern und Smartphones ohne Installation von zusätzlichen Programmen darstellen lassen.

In jeder der beiden Datenbanken werden die Bilder so sortiert, dass sich darin gleichzeitig drei Unterordner für Trainingszwecke und ein Ordner für neue Aufnahmen befinden, wobei die für das Training gedachten Daten die drei Klassifizierungskategorien bestimmen sollen. Die erste Kategorie enthält Fotos, die keine bis leichte Beschädigungen an Gebäuden zeigen. Die zweite Kategorie verfügt über Fotos von Gebäuden mit einem Schadenanteil zwischen 30 % und 70 %. Die dritte Kategorie enthält Gebäude mit Schäden über 70 %. Die Fotos der drei Kategorien werden für das Training des neuronalen Netzwerks verwendet, wobei der vierte Ordner, der aktuelle Fotos des Katastrophengebietes enthält, durch das trainierte Netzwerk ausgewertet wird. Zum späteren Zeitpunkt können die Daten des vierten Ordners in den Trainingsordnern oder in demselben Ordner mehrstufig so sortiert werden, dass neue Fotos eines neuen Gebiets an deren Stelle hinzugefügt werden können.

Die dritte Datenbank sorgt für die Zugriffsbereitstellung der Punktwolkendaten, die durch Laserscanning gewonnen wurden. Diese Art von Daten bildet meistens große Dateien und benötigt in der Regel viel Speicherplatz. Deswegen wurden die verwendeten Daten nach der Auswertung mit der entwickelten Software sorgfältig aussortiert und nur teilweise weiterhin für die späteren wiederholten Trainingszwecke abgespeichert. Allerdings werden während der

Auswertungsphase alle aufgenommenen Daten dieser Art vorübergehend in der Datenbank addiert und verwendet. Zur Sortierung der Daten in dieser Datenbank werden nur textbasierende Punktwolkendatenformate abgespeichert und zur Analyse verwendet. Diese können beispielweise im Format XYZ, LAS, PCD, PTS, und 3D sein. Die Daten können teilweise modifiziert und bearbeitet werden, bevor sie zur Auswertung eingesetzt werden. Dies ermöglicht, die Punktwolken in kleineren Datenmengen zur Verfügung zu stellen und bei bestimmten Formaten notwendige fehlende Metainformationen, wie zum Beispiel die GPS-Koordinaten in XYZ- oder in PCD Format zu ergänzen.

Ähnlich wie bei den ersten zwei Datenbanken werden die Punktwolkendaten der dritten Datenbank in drei Unterordner für Trainingszwecke und einen Ordner für die aktuell fließenden Punktwolkendaten sortiert. Die Daten für das Training entsprechen ebenso wie bei den Foto-daten denselben drei Klassifizierungskategorien. Die Daten des vierten Ordners werden weiterhin zur Auswertung und Analyse verwendet. Eine Untersortierung von den Punktwolken gemäß dem Datenformat kann in jedem Ordner zur Vereinfachung des Umgangs mit den großen Daten erfolgen. Nach der Auswertung müssen die Daten des vierten Ordners so aussortiert werden, dass nur die notwendigen Teile davon in den Trainingsordnern landen und der Rest entfernt oder in einen Unterordner verschoben wird.

Die zusätzliche, für Validierungszwecke erstellte Datenbank verfügt ebenso, wie die ersten zwei Datenbanken über Bilderdaten, die anhand von 2D-CAD-Plänen erstellt wurden und zum Vergleich mit aktuellen aufgenommenen Plänen verwendet werden sollen. Dafür können Bildformate, wie zum Beispiel JPEG, PNG, GIF und zusätzlich TIFF oder BMP abgespeichert werden.

Die Erstellung solcher Daten kann, zusätzlich zu Aufnahmen mit Kameras, durch Scanning von in Druckformat vorhandenen Vorzustandskatasterplänen oder durch Konvertieren von 2D-CAD -Plänen, wie zum Beispiel Grundrissen, Ansichten und Schnitten, erfolgen.

Die Bilddaten dieser Datenbank müssen bearbeitet und in gleichen Größen zum Vergleich mit Ist-Zustandsbildern erstellt werden, was ein einwandfreies Vergleichsverfahren mit der Validierungssoftware ermöglicht<sup>209</sup>.

---

<sup>209</sup> Die Anpassung von den zwei zum Vergleich verwendeten Vorzustands- und Ist-Zustandsbilder wird genauer in dem Kapitel 9 (Validierung) beschrieben.

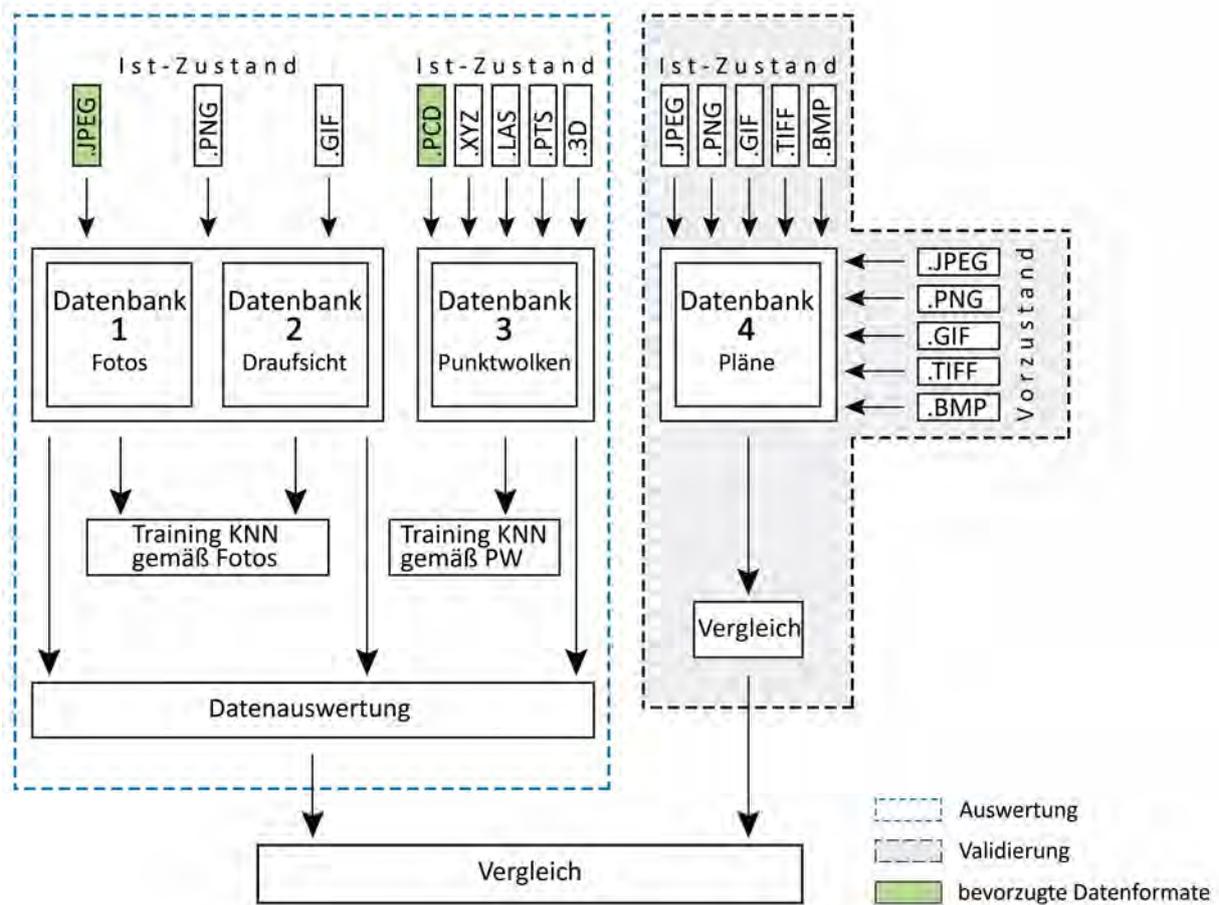


Abbildung 42: Skizzenhafte Darstellung für die Erstellung der für das Training, Validierung und Klassifizierung notwendigen Datenbanken<sup>210</sup>

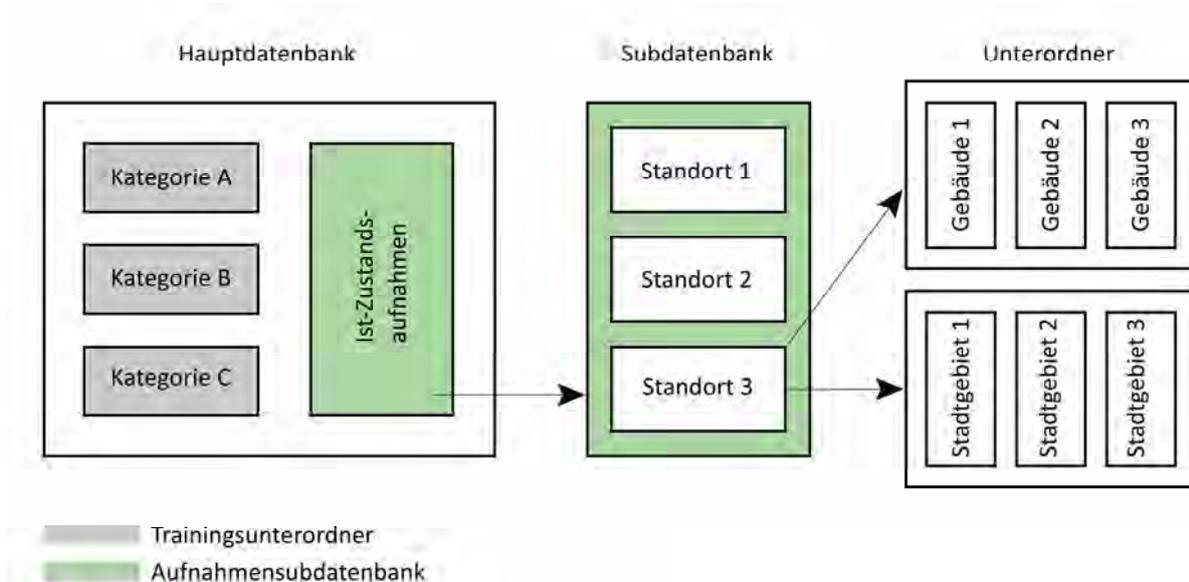


Abbildung 43: Skizzenhafte Darstellung der Haupt- und Subdatenbanken<sup>211</sup>

<sup>210</sup> Eigene Darstellung

<sup>211</sup> Eigene Darstellung

Die Sortierung und Abspeicherung der aufgenommenen Daten in den Datenbanken, wie in Abbildung 43 dargestellt, kann flexibel unter den drei Hauptkategorien A, B und C gemäß Standort, Stadtgebiet oder Gebäudeart erfolgen.

### **7.8 Zusammenfassung der Datenbanken**

Mit dem kontinuierlichen Einsatz der entwickelten Software fließen die jeweils neuen Daten in die verschiedenen Datenbanken (Ausnahme: die Datenbank für Validierung) ein und werden dort datentypbezogen abgespeichert. Dafür muss regelmäßig eine Unterordnung gemäß Aufnahmeort und/oder Katastrophenart durchgeführt werden. Die beim Einsatz der Software verwendeten Daten für eine Auswertung werden deswegen weiter sortiert und dienen in diesem Fall für wiederholte Trainingszwecke, welche wiederum die Genauigkeit der Auswertung erhöhen. Die neuen Aufnahmen werden übergeordnet und durch die Software ausgewertet. Diese schafft infolge eine klare Trennung zwischen den ausgewerteten und den noch auszuwertenden Bilderdaten und erlaubt bei Bedarf gleichzeitig den Zugriff auf alle gespeicherten Daten. Die Abspeicherung sowie die Aussortierung der Aufnahmedaten kann auf den Festplatten des verwendeten Servers bei der Anwendung der Webdienst Software automatisch nach dem Hochladen der ausgewählten Daten erfolgen oder bei der Stand-alone-Software auf dem verwendeten Nutzercomputer manuell angestoßen werden. Eine nachträgliche Erweiterung der erstellten Datenbanken ist zu jedem Zeitpunkt möglich.

Schließlich besteht die Möglichkeit, die unterschiedlichen Datenformate jederzeit zu konvertieren. Dies ermöglicht, jede Datenbank in Bezug auf ein einziges Datenformat aufzubauen, so kann beispielweise das JPEG-Format für die Fotos in den ersten und zweiten Datenbanken sowie das PCD-Format für die Punktwolken in der dritten Datenbank genutzt werden. Eine abweichende Sortierung im Vergleich zu der oben genannten Sortierung der Daten in den Datenbanken bleibt dem Nutzer bei der Stand-alone-Version der Software freigestellt.

## Kapitel 8 - Beschreibung der entwickelten Softwares

In dieser Arbeit wurden drei ähnliche Softwares entwickelt und dienen infolge der Entwicklung zwei weiteren Hauptsoftwares, bei einer handelt es sich um eine Stand-alone-Software und bei der anderen um eine Onlinedienst-Software.

Die Tools und Instrumente, die für den mehrphasigen Entwicklungsprozess eine Notwendigkeit darstellten, sind in dem Kapitel 4 (Angewendete Instrumente, Mittel und Software) beschrieben. Diese sind in der untenstehenden Abbildung zu sehen, wobei die Farbunterschiede der Abbildung die diversen Funktionalitäten der verwendeten Mittel und Tools zeigen.

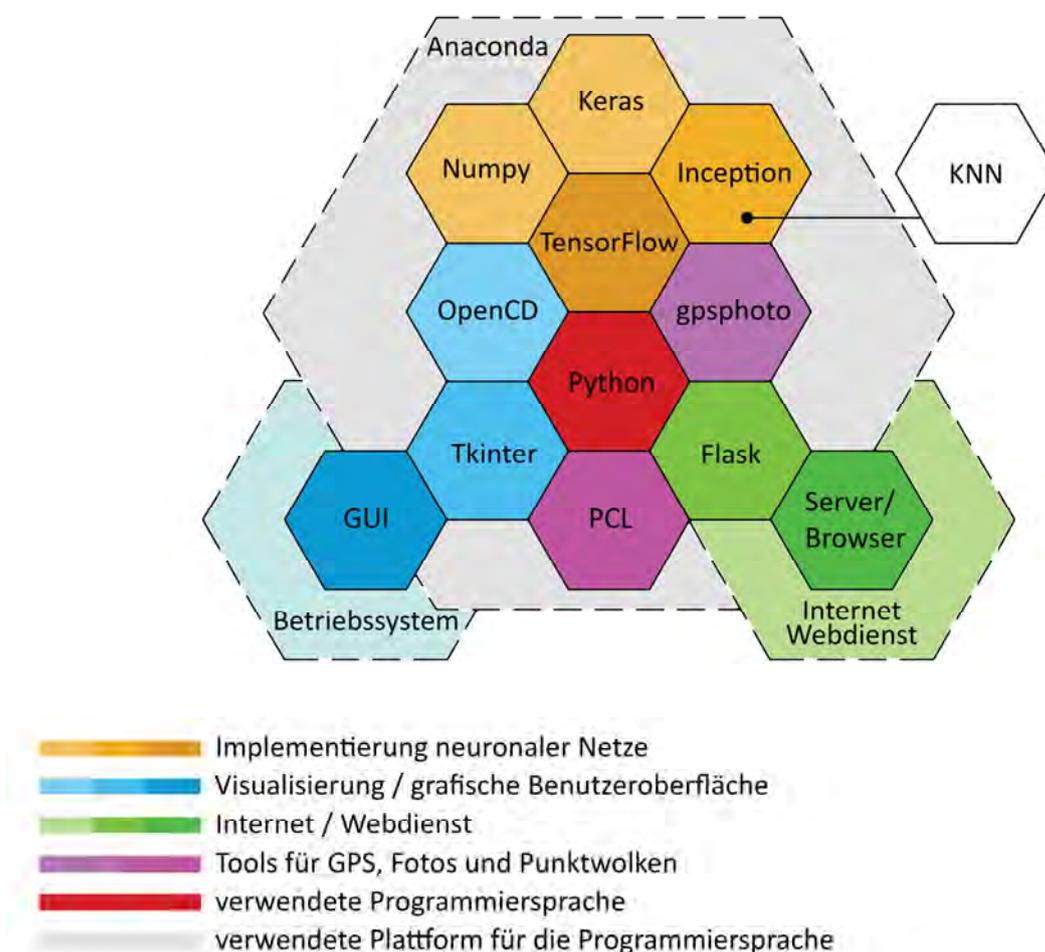


Abbildung 44: Die angewendeten Programmiermittel für die Entwicklung der Softwares dieser Arbeit.<sup>212</sup>

Für den Aufbau und die Implementierung eines Gebäudeklassifizierungssystems auf der Basis von Schadensausmaßen, welches die Fähigkeit beinhaltet, einen teilautomatisierten

<sup>212</sup> Eigene Darstellung

Klassifikationsprozess anhand von unterschiedlichen Datenquellen durchzuführen und vernünftige Ergebnisse als Endresultat zu liefern, müssen, neben der Auseinandersetzung mit den oben dargestellten notwendigen Programmierungsinstrumenten und zusätzlich zu den in dem fünften Kapitel erwähnten Softwarekriterien, die Grunddaten, deren Zugriffsmöglichkeit sowie deren Informationsverarbeitung festgestellt werden. Die Feststellung der zu verwendenden Daten werden in dem vorherigen Kapitel 7 intensiv untersucht und analysiert. Sie werden in diversen Datenbanken sortiert und ermöglichen der unterschiedlich entwickelten Software den schnellen Zugriff auf die Daten.

Die GPS-Koordinaten der Daten dienen der genauen Positionierung der Auswertungen auf einer brauchbaren geografischen Karte, die an sich als wichtige Grundlage zur weiteren Untersuchung des betroffenen Gebietes mit anderen Faktoren dient. Dies führt in dieser vorliegenden Arbeit zu einem komplizierten Entwicklungsprozess eines Systems, welches aus drei unterschiedlich entwickelten und intelligenten Kernsystemen besteht, die im Kern Ähnlichkeiten aufweisen aber diverse Typen von Grunddaten verarbeiten und klassifizieren können. Die Entwicklung von drei Kernsoftwares diente den notwendigen Phasen zur Entwicklung der Endsoftware, wobei jede dieser drei Kernsoftwares den Umgang mit einer Art der möglichen Aufnahmedaten ermöglichte. Dies führte zu einem stabilen Bau der Endsoftware, die eine Zusammenführung der Funktionen aller drei Kernsoftwares bildete.

Jede der drei Kernsoftwares kann die betroffenen Gebäude anhand deren Zerstörungsausmaß in drei allgemeine Kategorien klassifizieren. Diese Kategorien lauten:

- nicht beschädigt / sehr leicht beschädigt
- teilbeschädigt
- stark beschädigt / total zerstört

Die Klassifizierung der Daten ist nicht ortsbedingt, das bedeutet: In dieser Phase der Datenauswertung spielen die in Fotos oder Punktwolken mit aufgenommenen GPS-Koordinaten keine Rolle und die Ergebnisse müssen von Hand auf die geografischen Karten übertragen werden. Dies stellt wiederum ein Problem dar und sollte durch ein auf den drei Softwares basierendes Gesamtbewertungssystem weiterentwickelt werden, welches anhand der GPS-Koordinaten die Auswertungen auf geografischen Karten automatisch positionieren kann.

Darauf aufbauend sollte die auf den drei entwickelten Systemen basierende Software die Fähigkeit besitzen, das Schadensausmaß an Gebäuden mit reduziertem bis minimalen Aufwand, Dauer und Kosten in Form einer deutlich lesbaren Karte zu liefern, womit die erste wichtigste Grundlage für weitere Untersuchungen und nähere wirtschaftliche Betrachtungen des betroffenen Gebietes erfüllt werden können. Schlussendlich bildet diese Arbeit nicht nur

das Endsystem als lokale installierbare Stand-alone-Software, sondern auch als Onlinedienst, der von jedem Nutzer und auf jedem Betriebssystem einsetzbar ist. Darüber hinaus stehen dazu auch drei zusätzliche Systeme zur Verfügung, die in der Regel ausschließlich als lokale installierbare Stand-alone-Software entwickelt wurden. Diese sind ausschließlich vom Datentyp abhängig aber unabhängig vom Betriebssystem und verfügen über eine vereinfachte interaktive Benutzeroberfläche. Die Ergebnisse werden in Form von prozentualer Numerik unter den benannten drei Klassifizierungskategorien geliefert.

Der Nutzer kann eine dieser drei Softwares verwenden, wenn nur eine Datenbank vorhanden ist, zum Beispiel ausschließlich Fotos. An diesem Punkt muss zuerst festgelegt werden, welche Datenbank sich für welche angewendete Software eignet. Das bedeutet, wenn nur Drohnentfotos vorhanden sind, kann die Software, die Fotos klassifizieren kann, verwendet werden. Dies erleichtert den Installationsbedarf von vielen Python-Bibliotheken im Betriebssystem, beschränkt aber den Zugriff auf andere Datenbanken.

Jede der entwickelten Softwares bietet einzeln folgende Vorteile an:

- Durch die auf Open-Source basierende Entwicklung dieser Software und deren Bereitstellung auch in unkodierter- / unverschlüsselter Form, ermöglicht diese den Entwicklern eine volle Flexibilität für Weiterentwicklungs-, Abänderungs- und Verbesserungsmaßnahmen
- Die Softwares verfügen über einfaches GUI mit minimaler Anzahl von Schaltflächen auf der Benutzeroberfläche und sind sehr bedienungsfreundlich für die Nutzer. Eine Bedienung lässt sich durch Befehlseingabe in der Eingabeaufforderung mit integriertem Python realisieren, funktioniert aber ebenso in einem zum Python passenden Entwicklungsumgebungseingabeaufforderungsbereich, wie zum Beispiel Anaconda<sup>213</sup>.
- Jede dieser Softwares gewinnt durch den Einsatz sowie durch die separaten Trainingsphasen mehr Fähigkeiten bei der Auswertung von Dateien. Dies erfolgt durch die Möglichkeit der schon teiltrainierten und lernfähigen intelligenten Algorithmen, in den Kernnetzwerken dieser Software mehr Erkennungsfähigkeiten zu speichern und infolge der Genauigkeit deren Endresultate kontinuierlich zu erhöhen.
- Einfache Darstellung der ausgewerteten Ergebnisse in Zahlform, prozentual und in drei Kategorien. Die Umstellung der Art der auszuliefernden Resultate erfolgt ohne besonderen Aufwand.

---

<sup>213</sup> Virtuelle Eingabeaufforderung für die Programmiersprachen „Python“ und „R“

- Die drei Auswertungskategorien können mit wenigen Programmierungszeilen erweitert werden. Hierzu werden aber teilweise zusätzliche aufwändige Trainingsphasen benötigt.

Das Zusammenführen der drei entwickelten Systeme in einem Gesamtsystem, welches sich wiederum als Stand-alone-Software und auch als Onlinedienst darstellt, bietet andere Vorteile und dient drei Hauptzwecken:

- Die Ermöglichung des gleichzeitigen Zugriffs auf diverse Datenbanken je nach den vorhandenen aufgezeichneten Dateien des betroffenen Gebietes.
- Die Lieferung von Ergebnissen auch für den Fall, dass keine vollständig aufgenommenen Dateien des betroffenen Gebäudes oder Gebietes vorhanden sind. Das heißt, das System kann in der Regel anhand einer Datenquelle, wie zum Beispiel auf Basis nur weniger Satellitenfotos, funktionieren. Die Qualität des Resultats hängt aber stark von der Verwendung mehrerer Datenbanken gleichzeitig ab.
- Die einfache Darstellung der Ergebnisse in Form einer interaktuellen nutzerfreundlichen Karte mit korrekter Georeferenzierung, die als Vektorkarte an sich sowie als Pixeldatei mit der notwendigen Datei an Dritte mit minimalem Zeitaufwand weitergeschickt werden kann. Dies ermöglicht den Datenaustausch zwischen den diversen Interessenten in einfacher und leichter Form.

Ein Hauptteil des Funktionalitätsprinzips dieser Softwares lässt sich durch die Beschreibung des dafür verwendeten KI-Netzwerks und seiner Funktion klären. Dafür wird zunächst eine Beschreibung des eingesetzten neuronalen Netzwerks, dessen Eigenschaften und Trainingsmaßnahmen durchgeführt.

### **8.1 Funktionsbeschreibung des verwendeten neuronalen Netzwerks und dessen Trainingsprozesses**

Der Datenklassifizierungsprozess der drei Datenbanken erfolgt durch ein GooLeNet KI-Netzwerk, dessen Kern auf Inception-Module basiert. Die Klassifizierung erfolgt gemäß der o. g. drei Kategorien A (nicht beschädigt), B (beschädigt) und C (zerstört).

Das Netzwerk basiert im Kern auf miteinander gekoppelten vortrainierten Modulen, Inception-Module genannt. Dieses ist vom „Google Brain Team“ entwickelt und wurde bereits auf 1.000

diversen Kategorien zur Klassifizierung in der Imagenet Large-Scale Visual Recognition Challenge 2014 (ILSVRC 14) vortrainiert<sup>214</sup>.

Jedes dieser Module besteht wiederum aus miteinander gekoppelten künstlichen Neuronen diverser Typen in mehreren Schichten, pro Modul gehört eine Pooling-Schicht dazu. Diese bilden im Endeffekt einen Faltungsbaustein<sup>215</sup> des Netzwerkes.

Dank des Vortrainings dieser Art von Netzwerken besitzen diese deswegen die Fähigkeit, diverse Objekte anhand von deren Bildern (auch Vektordaten oder Punktwolken in einigen speziellen Netzen) zu erkennen.

Die allgemein verwendeten Kategorien des Vortrainings lassen sich in diverse Gruppen aufteilen. Zum Beispiel Tiere, Autos, Buchstaben, Obstsorten und Gesichtserkennung bilden meistverwendete Themen zum Training solcher intelligenten Netze.

Zahlreiche online zur Verfügung gestellte Open-Source Plattformen bieten Trainingsmaterialien sowie vielfältige vorteiltrainierte KI-Neuronen an. Diese ermöglichen einen schnellen Umgang mit komplizierten KI-Netzwerken und vereinfachen und verkürzen die Dauer des Aufbaus solcher Netze und deren Trainingsphasen für bestimmte Zwecke. Dies ist deutlich leichter als ein neues KI-Netzwerk von Grund auf neu aufzubauen und dieses ebenso von Null an zu trainieren. In anderen Worten, solche Netze können effizient für diverse Klassifizierungszwecke verwendet werden. Voraussetzung ist das Nachtraining für den gewünschten Zweck. Das Nachtrainieren des verwendeten Netzwerkes ermöglicht eine Anpassung gemäß den bestehenden Gewichtungen.

Diese Art des Trainings ist als Transferlernen<sup>216</sup> bekannt, wobei nicht das ganze Netz erneut erlernt werden muss, sondern nur die letzte Schicht der Module, was wiederum die Dauer des gesamten Trainings stark minimiert.

Die nachfolgende Tabelle präsentiert einen Vergleich zwischen einem neugebauten KI-Netzwerk und einem vortrainierten KI-Netzwerk. Während ein vom Grund auf neugebautes Netzwerk für einen festgelegten Zweck eigene Vorteile mitbringen und eine höhere Genauigkeit in der Klassifizierung liefern kann, bleiben die, von großen Entwicklern existierenden KI-Netze hocheffizient und bieten mehr Flexibilität für diverse Verwendungszwecke an.

---

<sup>214</sup> CVPR2015, Szegedy, Liu, Going Deeper with Convolutions, 2015, Seite 1

<sup>215</sup> convolutional building blocks als Teil der KNN

<sup>216</sup> weitere Information: I. Vasilev, Python Deep Learning, Packt Publishing Ltd. Birmingham (2019), Seiten 123-126

	neugebautes KI-Netzwerk	vortrainiertes KI-Netzwerk
<b>vortrainiert</b>	nein	ja
<b>Nachtrainingsnotwendigkeit</b>	voll / zweckbedingt	schichtweise / zweckbedingt
<b>Rechenressourcen / Hardware</b>	extrem hoch	minimal
<b>vertiefte Informatikkenntnisse</b>	extrem hoch	minimal
<b>Support von Anbieter</b>	eigener / nein	extrem hoch
<b>Trainingsklassifikationskategorien</b>	Kein / müssen definiert	flexibel / bereit bis 1000
<b>Trainingsart</b>	überwachtes Lernen	Transferlernen
<b>Effizienz und Genauigkeit</b>	zweckbedingt extrem hoch	für diverse Zwecke hoch
<b>Trainingsdaten</b>	riesig	minimal
<b>Trainingsdauer</b>	riesig	wenig

Tabelle 3: Vergleich zwischen von Grund auf neugebauten KI-Netzwerken und von Entwicklern vortrainierten KI-Netzwerken.<sup>217</sup>

Um Bilder zu klassifizieren, kann ein von Grund auf neu erstelltes KI-Netzwerksmodell wegen der besseren Anpassung seiner Parametergewichtung, eine ideale Wahl sein. Es kann theoretisch im Vergleich zum vortrainierten KI-Netzwerkmodell effizienter sein. Praxisbezogen bieten die vortrainierten KI-Module eine leichte Erstellung von KI-Netzwerken. Der Kalibrierungsaufwand wird erheblich reduziert, da für das Nachtraining nur minimale Datenmengen benötigt werden. In dieser Arbeit wurde die Entscheidung zugunsten eines von Google entwickelten und in Form von Open-Source zur Verfügung gestelltem KI-Netzwerk getroffen. In diesem KI-Netzwerk transformieren die Schichten, die aus mehreren Neuronen bestehen, die Informationen zwischen der Eingabe (Input) und der Ausgabe (Output). Die Neuronen an sich transformieren diverse Signaltypen. Dadurch erlernen und speichern die Neuronen bestimmte Merkmale, die zwischen der Eingabe und Ausgabe mehrfach in die Vortrainingsphase eingeflossen sind. Die vorletzte Schicht des Netzwerks (die letzte verborgene Schicht) besteht im Vergleich zu den anderen Schichten aus weniger Neuronen und bildet in der Regel eine enge Stelle. Diese ist im englischen Sprachraum unter "Bottleneck" bekannt, wörtlich ins Deutsche übersetzt „Flaschenhals“ oder deutlicher „Engpass“. Die Engpassschicht des GoogLeNet bildet eine vollständig verbundene Schicht (Fully Connected Layer) und ist dafür zuständig, die notwendigen Klassifizierungsinformationen zu empfangen und an die nachkommende Schicht zu übertragen, wobei diese die Klassifizierung im Endeffekt als Ausgabe erledigt und liefert. Dafür ist es prinzipiell ausreichend, die Engpassschicht durch das Transferlernen zu kalibrieren, um das KI-Netzwerk passend für andere Zwecke einzurichten. Ganz im Gegenteil zu den anderen Modulschichten, die durch das Vortraining bereits die Fähigkeit besitzen, die

<sup>217</sup> Eigene Darstellung

notwendigen Merkmale von den vorherigen Modulen und Schichten des Netzwerkes zu bearbeiten und in Form von diversen Signalen weiterzuleiten.

In der Regel werden die vortrainierten Netzwerke anhand von allgemeinen Kategorien, wie zum Beispiel Tiere, Autos, Buchstaben und Gesichtserkennung vortrainiert. Für die Feineinstellung oder Kalibrierung müssen für den gedachten Verwendungszweck Klassifizierungskategorien festgelegt werden. Deren Daten müssen ebenso vorbereitet und in passenden Datenbanken gespeichert werden.

Da es sich hier um ein vortrainiertes Netzwerk handelt, reichen in der Regel kleine Datenmengen für jede Kategorie aus. Für das Nachtraining wird in dieser Arbeit ein von Tensorflow entwickelter Programmiercode<sup>218</sup> verwendet, welcher auf dem Forschungspapier „A Deep Convolutional Activation Feature for Generic Visual Recognition<sup>219</sup>“ basiert und unter der „Apache 2.0<sup>220</sup>“ lizenziert ist.

Der Code wurde in dieser Arbeit passend zu den drei oben festgelegten Klassifizierungskategorien eingerichtet und bildet dementsprechend einen Teil der entwickelten Softwares. Die anderen verwendeten Programmiercodes aller entwickelten Softwares wurden von dem Verfasser dieser Arbeit geschrieben.

Durch Nachtraining werden die Ergebnisse in einem Subordner, welcher „Log“ heißt, gespeichert und für die spätere Klassifizierung verwendet. Im Log-Ordner sind folgende Daten zu finden:

- Bottlenecks Subordner, in dem eine kompakte Zusammenfassung der Signalwerte der Trainingsfotos einzeln und gemäß den vorgegebenen Klassifizierungskategorien gespeichert wird<sup>221</sup>. Dies geschieht in der Engpassschicht des Netzwerkes.
- Training\_Summaries Subordner, in dem die Trainingszusammenfassung gespeichert wird.
- Trained\_graph.pb, eine Datei, in der die Trainingsstatistiken und die Darstellung des KI-Netzwerkes für die Visualisierungszwecke gespeichert werden<sup>222</sup>. Diese lässt sich mit einigen Plattformen oder Softwares visualisieren, wie zum Beispiel mit Tensorboard oder Netron.

---

<sup>218</sup> How to Retrain an Image Classifier for New Categories, [www.tensorflow.org/hub/tutorials/image\\_retraining](http://www.tensorflow.org/hub/tutorials/image_retraining), abgerufen: 02.2019

<sup>219</sup> Donahue, Jia: DeCAF: A Deep Convolutional Activation Feature for Generic Visual Recognition, Oktober 2013, UC Berkeley & ICSI, Berkeley, CA, USA

<sup>220</sup> Apache License, Version 2.0: 2004, <http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0>

<sup>221</sup> How to Retrain an Image Classifier for New Categories, [www.tensorflow.org/hub/tutorials/image\\_retraining](http://www.tensorflow.org/hub/tutorials/image_retraining), abgerufen: 11.02.2019

<sup>222</sup> How to Retrain an Image Classifier for New Categories, [www.tensorflow.org/hub/tutorials/image\\_retraining](http://www.tensorflow.org/hub/tutorials/image_retraining), abgerufen: 11.02.2019

- trained\_labels.txt, eine Textdatei, in der die Klassifizierungskategorien aufgelistet sind.



Abbildung 45: Bildschirmaufnahme der erstellten Subordner und Daten nach einem Trainingsabschluss.<sup>223</sup>

Vor der Durchführung eines Nachtrainings müssen die Daten passend zu den Klassifizierungskategorien vorbereitet, sortiert und in passende Ordner gespeichert werden. Die nächste Abbildung zeigt ein Beispiel für die Sortierung von Trainingsdaten bei einem Training mit Rasterdaten. Die für das Training ausgewählten Daten können weiterhin in den allgemeinen Hauptdatenbanken platziert werden, die auch für die Auslagerung der gesammelten Aufnahmen der betroffenen Gebiete verwendet werden, müssen aber in passenden Subdatenbanken für Trainingszwecke getrennt gespeichert werden. Für das Nachtraining werden zahlreiche Fotos der drei Klassifizierungskategorien gesammelt und wie beschrieben in die passenden Datenbanken einsortiert. In die Punktwolkendatenbank werden ebenso diverse Punktwolkendaten passend in dieselben Kategorien einsortiert, die für das Nachtraining der dritten und der Endsoftware verwendet werden. Dies wird bei der Softwarebeschreibung deutlich.

---- /Trainingsdatenbank

---- /A - normal  
 A1.jpg  
 A2.jpg  
 A3.jpg  
 ...

---- /B - beschädigt  
 B1.jpg  
 B2.jpg  
 B3.jpg  
 ...

---- /C - zerstört  
 C1.jpg  
 C2.jpg  
 C3.jpg  
 ...

Abbildung 46: Einsortierung der Fotodaten in passenden Datenbanken für das Training des KI-Netzwerks.<sup>224</sup>

Zur Visualisierung des in dieser Arbeit angewendeten KI-Netzwerkes wurde Tensorboard Toolkit sowie Netron verwendet, dies ermöglicht eine grafische Darstellung des Netzwerkes, dessen Modulen und die Feineinstellung des Netzwerkes durch das Nachtraining. In den folgenden drei Abbildungen wird zuerst die Kalibrierung der Gewichtung in einem 200-stufigen

<sup>223</sup> Eigene Darstellung

<sup>224</sup> Eigene Darstellung

Trainingsprozess dargestellt, danach wird das KI-Netzwerk gezeigt und in der dritten Abbildung ist das Inception V3 Modul des Netzwerks zu sehen.

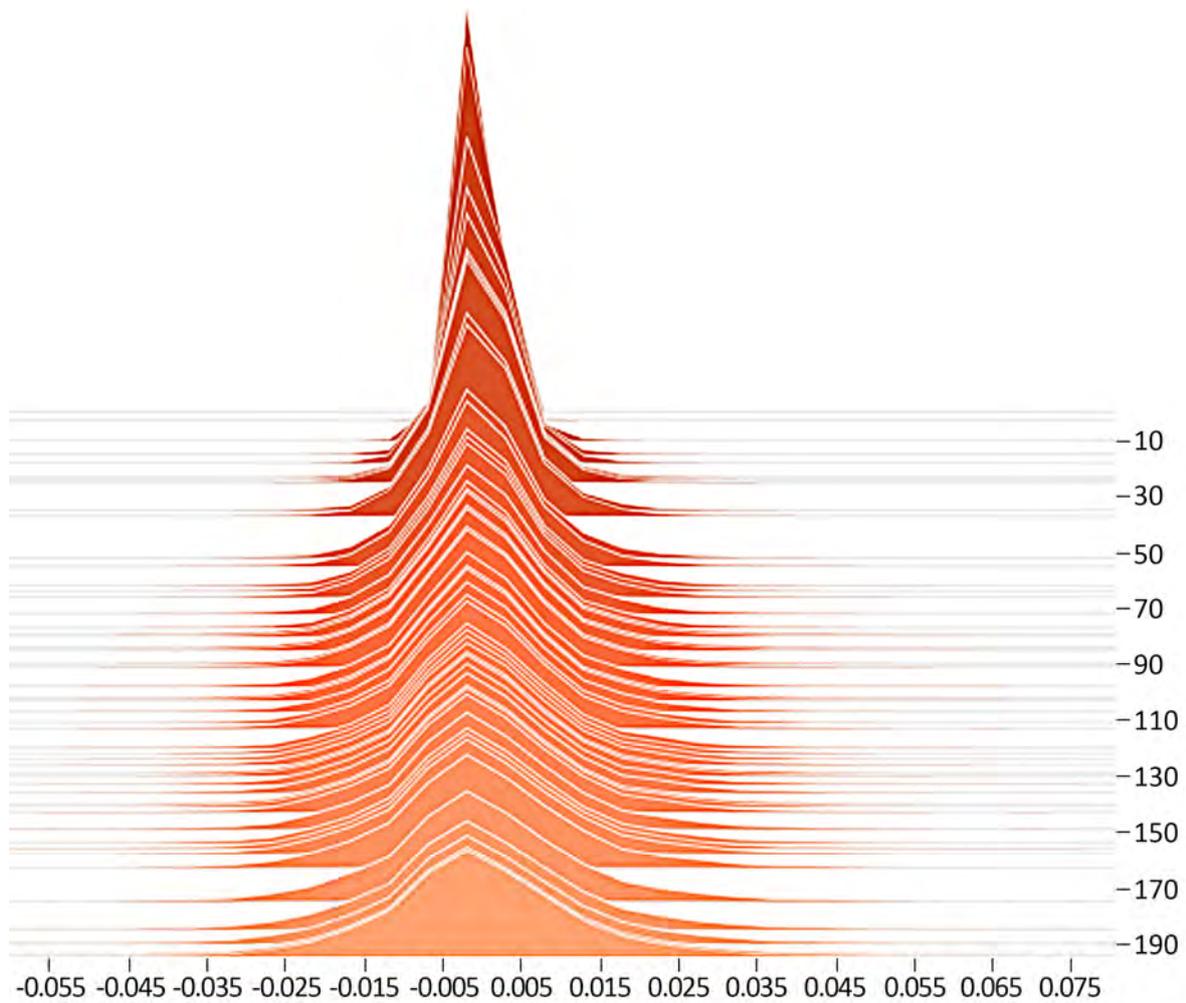


Abbildung 47: Darstellung der Gewichtskalibrierung beim Nachtraining mit 200 Schritten, visualisiert mit Tensorboard Visualisierung Toolkit.<sup>225</sup>

---

<sup>225</sup> Eigene Darstellung mit Tensorboard Visualisierung-Toolkit.

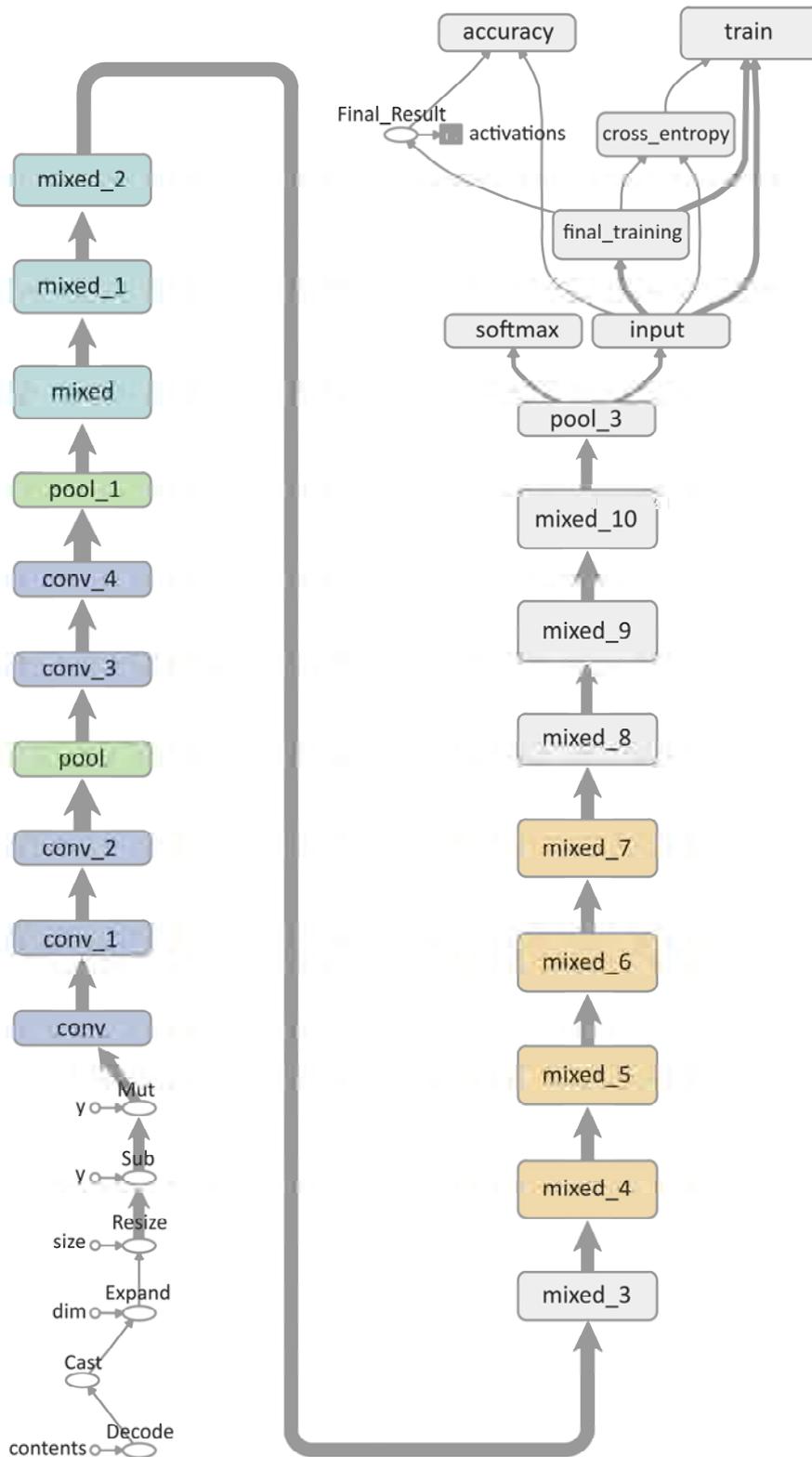


Abbildung 48: Grafische Darstellung des in dieser Arbeit angewendeten KI-Netzwerks „GoogLeNet“, visualisiert mit Tensorboard Toolkit.<sup>226</sup>

<sup>226</sup> Eigene Darstellung mit Tensorboard Toolkit

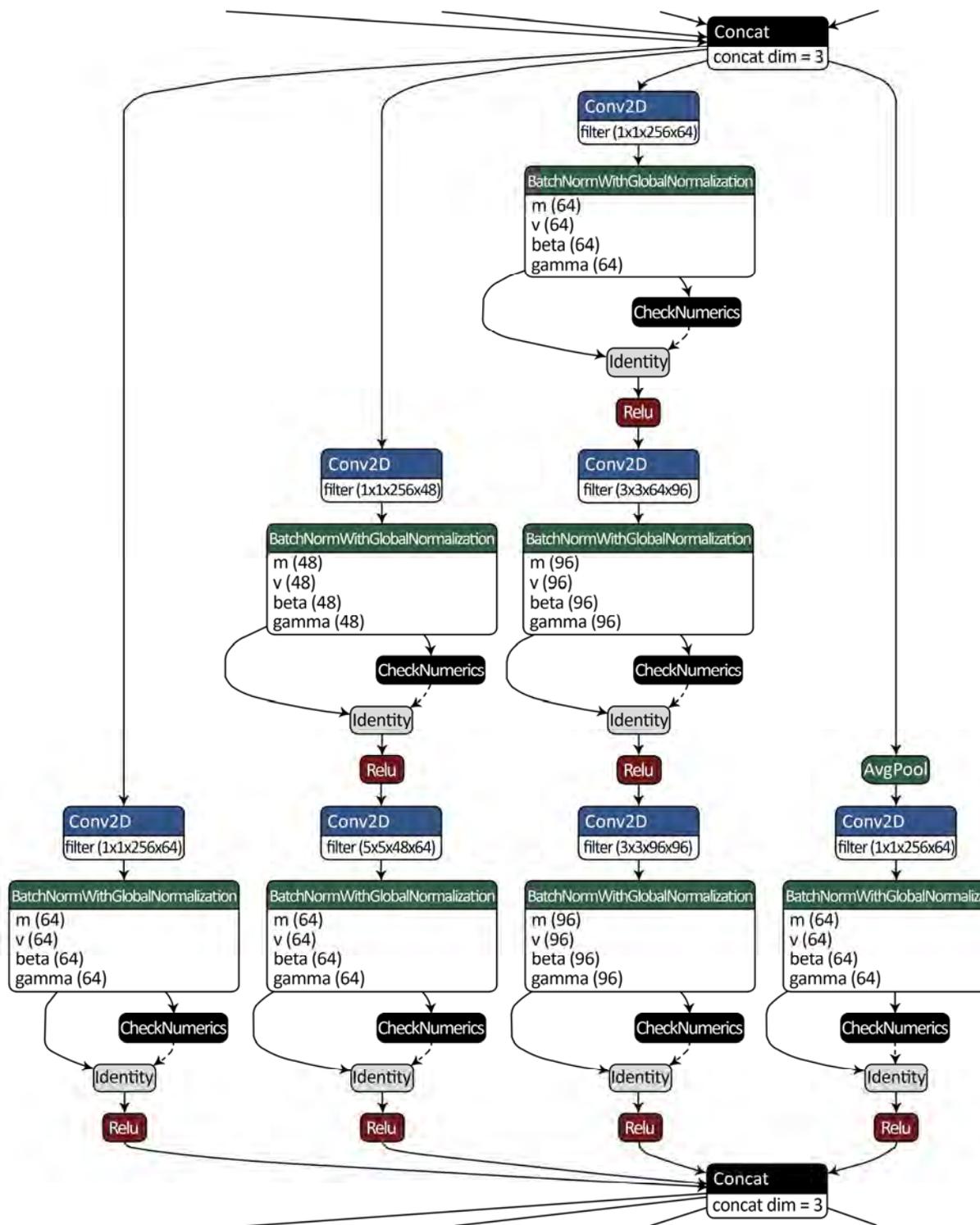


Abbildung 49: Das Kernmodul „Inception“ des in dieser Arbeit verwendeten KI-Netzwerks, visualisiert mit „Netron“. Die letzte verborgene Schicht „Bottleneck“ ist rot markiert.<sup>227</sup>

<sup>227</sup> Eigene Darstellung

## 8.2 Beschreibung der Softwares

Die Softwares werden wie folgt erläutert:

- Zuerst werden die drei Softwares beschrieben, die die Daten gemäß der Reihenfolge der Datenbanken 1 bis 3 verwenden.
- Danach wird die Endsoftware als Stand-alone-Version erklärt.
- Zum Schluss wird die Endsoftware als Onlinedienst erläutert.

Die Entwicklung von unterschiedlichen Softwares hat folgende Gründe:

- Die ersten drei Softwares sind für Trainingszwecke und Validierung gedacht, dadurch können weiterhin Nachtrainingsphasen durchgeführt werden. Eine Erweiterung der Klassifizierungskategorien kann mit geringem Aufwand erzielt werden, dafür müssen die geschriebenen Codes teilweise angepasst werden. Die Erweiterung sowie Verfeinerung der Klassifizierungskategorie ist zwar aus technischer Sicht möglich, benötigt allerdings im Vorfeld eine Festsetzung von Fachleuten, zu welcher Kategorie jede Schadenausmaß-Gruppe gehören soll.
- Die vierte Software, welche sich durch eine Kombination aus den ersten drei Softwares ergibt, vereinfacht für die Nutzer den gleichzeitigen Umgang mit allen verfügbaren Daten über eine einzige Benutzeroberfläche.
- Alle vorherigen entwickelten Softwares haben folgende Nachteile:
  1. Eine Durchführung einer Klassifizierung von mehreren Daten kann nicht gleichzeitig erfolgen.
  2. Der zweite Nachteil liegt in der Georeferenzierung anhand von GPS-Koordinaten. Die ersten drei Softwares und deren Kombination (Software 4) ermöglichen keine Nutzung der GPS-Koordinaten.

Darauf aufbauend wurde im Laufe dieser Arbeit festgestellt, dass anhand von den vier entwickelten Softwares das Ziel dieser Arbeit nur teilweise erfüllt und eine Weiterentwicklung notwendig ist, deswegen wurde die Software 5 in der Form Webdienst weiterentwickelt.

In der untenstehenden Tabelle werden alle 5 entwickelten Softwares miteinander verglichen und die Vorteile jeder Software mit blauer Farbe hervorgehoben:

	Software 1	Software 2	Software 3	Endsoftware	Onlinedienst
Installationsbedarf	ja	ja	ja	ja	nein
Programmierbibliotheken Install.	teilweise	teilweise	teilweise	Voll	nein
interaktive Benutzeroberfläche	ja	ja	ja	ja	ja
Zugriff auf Datenbank 1 (Foto)	ja	nein	nein	ja	ja
Zugriff auf Datenbank 2 (Foto)	nein	ja	nein	ja	ja
Zugriff auf Datenbank 3 (PW)	nein	nein	ja	ja	ja
Zugriff auf alle Datenbanken	nein	nein	nein	ja	ja
automatische Georeferenzierung	nein	nein	nein	nein	ja
Internetverbindung	nein	nein	nein	nein	Ja
Resultate als Text	ja	ja	ja	ja	ja
Resultate als Karte	nein	nein	nein	nein	ja
PC-Betriebssystemabhängig	nein	nein	nein	nein	nein
verwendbar auf Smartphones	nein	nein	nein	nein	Ja
KI-Netzwerk zeigen	ja	ja	ja	ja	nein
Nachtraining des Netzwerks	ja	ja	ja	ja	nein
Export der Resultate	beschränkt	beschränkt	beschränkt	beschränkt	unbeschränkt
Speicherung der Ergebnisse	manuell	manuell	manuell	manuell	automatisch
Visualisierung des Netzwerks	ja	ja	ja	ja	Nein

Tabelle 4 Vergleich aller 5 entwickelten Softwares / Vorteile und Nachteile der Softwares, wobei Vorteile blau markiert sind<sup>228</sup>

### 8.2.1 Beschreibung der ersten zwei entwickelten Softwares:

Bei den ersten zwei Softwares werden ausschließlich Rasterdaten gesammelt und entsprechend klassifiziert. Allerdings werden diese Dateien in zwei Gruppen gemäß deren Datenbanken kategorisiert:

- Fotos, die beispielweise mit Kamera, Drohne oder Smartphone aus verschiedenen Blickwinkeln aufgenommen wurden, und
- Draufsicht-Fotos, die von Satelliten, Flugzeugen oder Heißluftballons in einem Senkrechthwinkel zur Erde aufgenommen wurden.

Durch die Sortierung der Rasterdaten in zwei Gruppen lassen sich die Trainingsresultate anhand dieser Daten besser nachverfolgen und die gesamte Entwicklung der Endsoftware sowie die Verwendung der gemäß dieser zwei Gruppen entwickelten Teilsoftwares wird vereinfacht, wenn nach einer Katastrophe nur eine Gruppe dieser Daten zur Verfügung gestellt werden kann.

<sup>228</sup> Eigene Darstellung

Vor der Nutzung dieser Softwares muss ein Trainingsprozess durchgeführt werden, damit die Softwares sich mit den drei oben genannten Kategorien (nicht beschädigt, teilbeschädigt und stark beschädigt) befassen. Dies kann erfolgen, wenn das GoogLenet-Netzwerk die Merkmale anhand von Fotos kennenlernt und wiedererkennt. Dies ermöglicht zu einem späteren Zeitpunkt dem neuronalen Netzwerk und dementsprechend den Softwares an sich, die Fotos von untersuchten Gebäuden nach diesen Kategorien mit Bezug auf die gespeicherten Merkmale klassifizieren zu können. Dafür wird für jede Kategorie eine Subdatenbank in der Hauptdatenbank benötigt, deren Daten müssen im Vorfeld gesammelt und vorbereitet werden.

Die Leistungsfähigkeit des künstlich neuronalen Netzwerks steigt verhältnismäßig zu der Anzahl der zum Trainieren verwendeten Daten. Zum Zweck der Erhöhung der Klassifizierungsgenauigkeit ist eine enorme Anzahl von Aufnahmefotos diverser Gebäude mit unterschiedlichen Umgebungen, Zuständen, Architekturstilen und Ausmaßen für das Training notwendig.

Die Software eignet sich für verschiedene Aufnahme- sowie Vermessungsverfahren solcher Gebäude und lässt unabhängig von den oben genannten Gebäudemerkmalen eine Bewertung des Ist-Zustandes zu.

#### Benutzeroberfläche der Klassifizierungssoftware 1 und 2:

Die Benutzeroberfläche dieser zwei Softwares ist identisch strukturiert und wird in Abb. 49 dargestellt. Sie bietet dem Nutzer eine interaktive nutzerfreundliche und leichte Bedienung an. Im oberen Bereich sind die drei vorgenannten Kategorien neben der Schaltfläche (Subdatenbank addieren) zu sehen.

Die Kategorien sind, wie oben gegliedert, mit den Buchstaben A für nicht beschädigt (Normal), B für teilbeschädigt (beschädigt) und C für stark beschädigt (zerstört) abgekürzt.

Dieser Bereich ist für den Trainingsprozess vorgesehen, in dem zuerst eine der drei Kategorien und die dazu gehörige Datenbank durch die Schaltfläche „Subdatenbank addieren“ ausgewählt werden muss. Im mittleren Bereich wird auf der linken Seite der Ordner der ausgewählten Subdatenbank angezeigt und auf der rechten Seite gibt es zwei Schaltflächen, nämlich „Training“ zum Beginnen des Trainings der Software und „Tensorboard“ zur Visualisierung des zum Training verwendeten GoogLenet Netzwerks.

Mit dem Abschluss des Trainingsprozesses für die drei Kategorien ist die Software in der Lage, Fotos von Gebäuden zu klassifizieren. Zu diesem Zweck ist der untere Bereich der Benutzeroberfläche vorgesehen. Links ist die Schaltfläche „Foto klassifizieren“, über die das Bild eines Gebäudes ausgewählt werden kann.

Die Ergebnisse dieser Bearbeitung werden daneben in drei Kästen dargestellt, in denen die Übereinstimmung mit den drei Kategorien prozentual dargestellt wird. Der größte Prozentsatz bestimmt die Kategorie, wobei deren Kasten mit Farbe ausgefüllt wird.

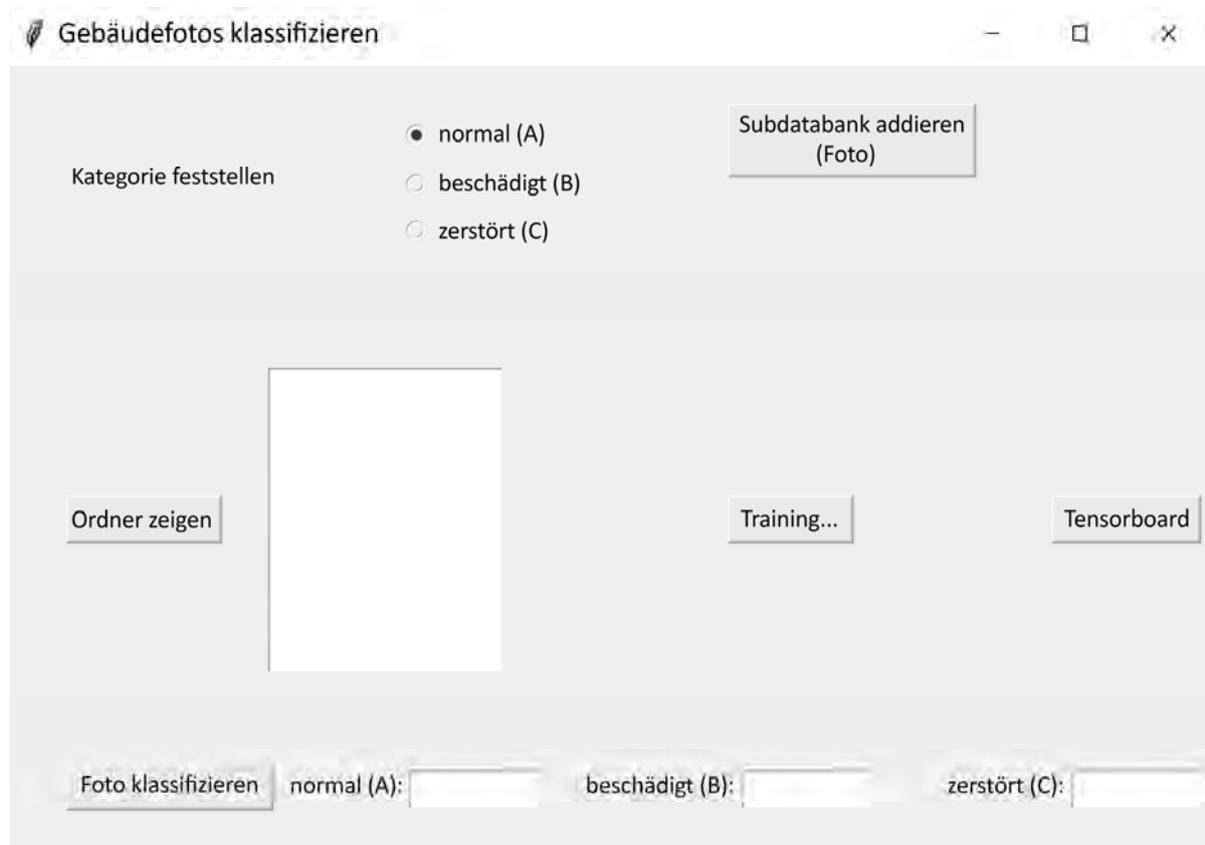


Abbildung 50: Bildschirmaufnahme der Benutzeroberfläche der ersten zwei Softwares, gestartet auf dem Betriebssystem Windows 10.<sup>229</sup>

## 8.2.2 Beschreibung der dritten entwickelten Software

Die dritte entwickelte Software wird zur Klassifizierung der Punktwolkendaten angewendet. Diese Software ist in der Lage, die meist textbasierenden Punktwolkendateitypen zu identifizieren und entsprechend zu klassifizieren. Ähnlich wie bei den ersten zwei Softwares muss vor der ersten Nutzung ein Trainingsprozess durchgeführt werden. Der Ablauf dieses Prozesses ähnelt dem Trainingsprozess der ersten beiden Softwares. Die Benutzeroberfläche der Software ist ebenso identisch strukturiert, weist aber einige wenige Änderungen der Schaltflächenbezeichnungen auf: „Subdatenbank addieren / Fotos“) wird zu „Subdatenbank addieren / Punktwolken“ und „Foto klassifizieren“ wird zu „PW klassifizieren“. Der Hauptunterschied dieser Software im Vergleich zu den ersten Softwares liegt in der Abarbeitung der

<sup>229</sup> Eigene Darstellung

Punktwolken. Da das KI-Netzwerk GoogLeNet normalerweise nur Rasterdaten und keine Punktwolkendaten bearbeiten kann, muss entweder ein zusätzliches neuronales Netzwerk verwendet oder eine Möglichkeit geschaffen werden, dass das GoogLeNet die Punktwolken indirekt ablesen kann.

In dieser Arbeit wurde die zweite Variante realisiert und das GoogLeNet konnte dadurch Punktwolkendaten bearbeiten. Dafür wird die PCL Bibliothek (Point Cloud Library) eingesetzt, die eine Punktwolkendatei anhand des in der Punktwolkendatei gespeicherten Aufnahmewinkels des Laserscanners in eine schwarz-weiße Pixeldatei (Foto) umwandelt. Dies ermöglicht die Klassifizierung der Vektordaten (Punktwolken) weiterhin als Fotodatei durch dasselbe KI-Netzwerk mit geringem Aufwand.

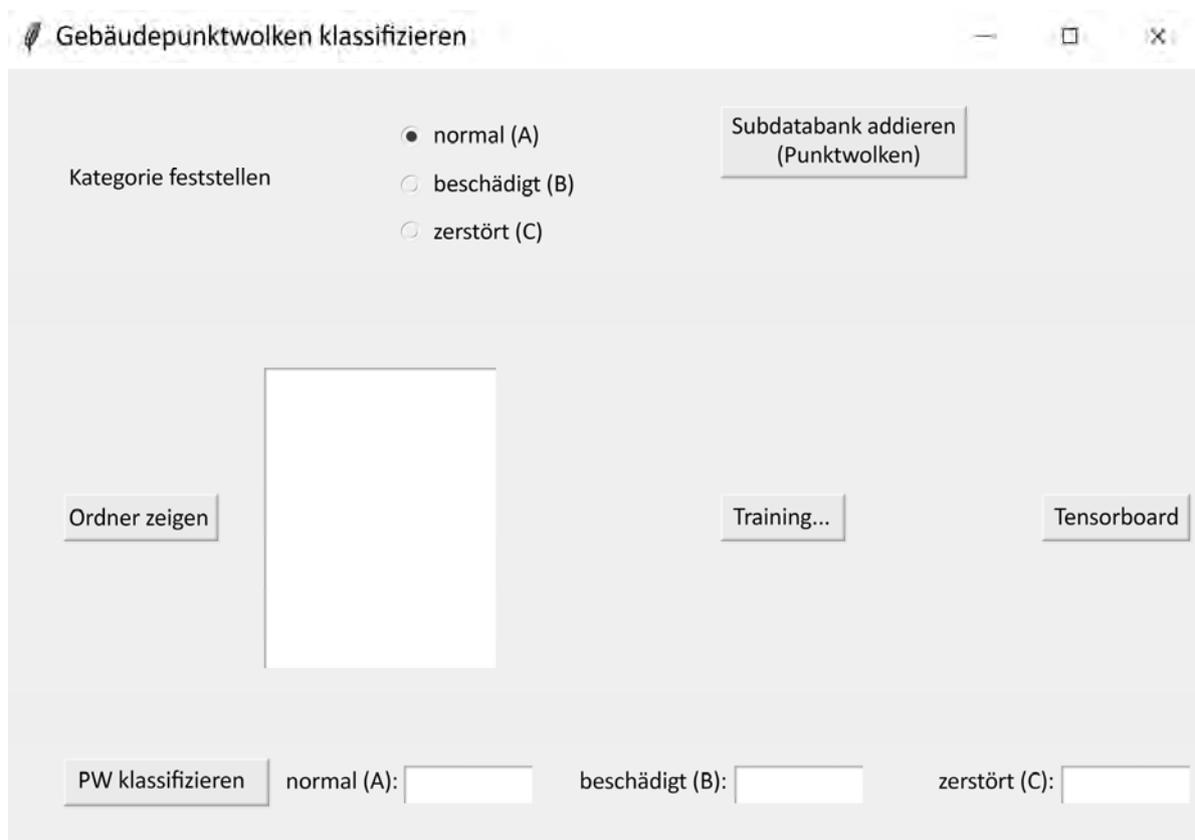


Abbildung 51: Bildschirmaufnahme der Benutzeroberfläche der dritten Software, gestartet auf dem Betriebssystem Windows 10.<sup>230</sup>

Die Software sollte mit den Punktwolkendatentypen CPD, LAS, PTS, 3D und XYZ problemlos umgehen können. Bevorzugt werden die Punktwolken des Typs PCD, da diese in deren

<sup>230</sup> Eigene Darstellung

Headertext spezifische Informationen im Vergleich zu anderen genannten Punktwolkentypen enthalten.

```
def modify_pc(file):  
    cloud = pcl.load(os.path.join(file + ".pcd"))  
    cloudAsArray = np.asarray(cloud)  
    cloudAsPureArray = remove_NaN(cloudAsArray)  
    scaledAr = scale_range(cloudAsPureArray, 0, 639)  
    scaled3Ar = scale_range_3dim(scaledAr, 0, 255)  
    new_ar = np.zeros([640, 640, 3], dtype=np.uint8)  
    for point in scaled3Ar:  
        if (int(round(point[2])) > new_ar[int(round(point[0])), int(round(point[1]))][0]):  
            new_ar[int(round(point[0])), int(round(point[1]))].fill(int(round(point[2])))  
    cv2.imwrite(os.path.join(file + ".jpg"), new_ar)
```

Abbildung 52: Bildschirmaufnahme eines Codeteils der dritten Software, in dem die Umwandlung einer Punktwolke der Art PCD in eine Rasterdatei (JPG) erfolgt.<sup>231</sup>

Die Entwicklung der dritten Software als Stand-alone-Software dient der Trainingsvereinfachung anhand von Punktwolkendaten, da diese Art Daten generell komplizierter und größer als Rasterdaten ist. Diese Entwicklungsphase ist ein Schritt des gesamten Entwicklungsprozesses und ermöglicht ein Zusammenfügen aller drei bisher entwickelten Softwares in einer Endsoftware.

### 8.2.3 Beschreibung der Endsoftware

Die Endsoftware fügt die drei oben genannten Softwares zusammen und bietet die Klassifizierung aller Daten in einem Programm an. Dies erfolgt mit Hilfe einer Stand-alone-Software, die über ein Benutzeroberflächenfenster verfügt, das ähnlich wie das Fenster der drei oben beschriebenen Teilsoftwares aussieht. Die Benutzeroberfläche ist nach dem gleichen Prinzip einfach und wiederum benutzerfreundlich strukturiert.

Der obere und mittlere Bereich dient zum Auswählen von Subdatenbanken und entsprechend zum Training der Software gemäß den Datentypen in einem dreistufigen Prozess. Dieser muss am Anfang durchgeführt werden und erfordert einen hohen Aufwand. Der Trainingsprozess dieser Software besteht aus drei Phasen, in der ersten und zweiten Phase muss das Netzwerk anhand von Datenbank 1 und 2 (Kamera- und Draufsicht-Fotos) trainiert werden. In der dritten Phase lernt das Netzwerk anhand von der Datenbank 3 (Punktwolken), so dass es nach Abschluss des gesamten Trainingsprozesses die Fähigkeit besitzt, die unterschiedlichen Datentypen in die oben genannten Kategorien zu klassifizieren.

<sup>231</sup> Eigene Darstellung, der Code mit Notepad++ geöffnet

Die Trainingsphasen werden über die Benutzeroberfläche gestartet. Zunächst wird die Kategorie und dann die passende Datenbank angeklickt. Die ausgewählten Datenordner werden im Feld unter der ausgewählten Kategorie angezeigt. Zum Schluss erfolgt der Klick auf die Schaltfläche „Training“. Wie in den ersten drei Softwares kann eine Visualisierung des Trainingsprozesses, dessen Exaktheit oder des gesamten verwendeten KI-Netzwerkes dargestellt werden. Dies wird durch Anklicken der Schaltfläche „Tensorboard“ durchgeführt.

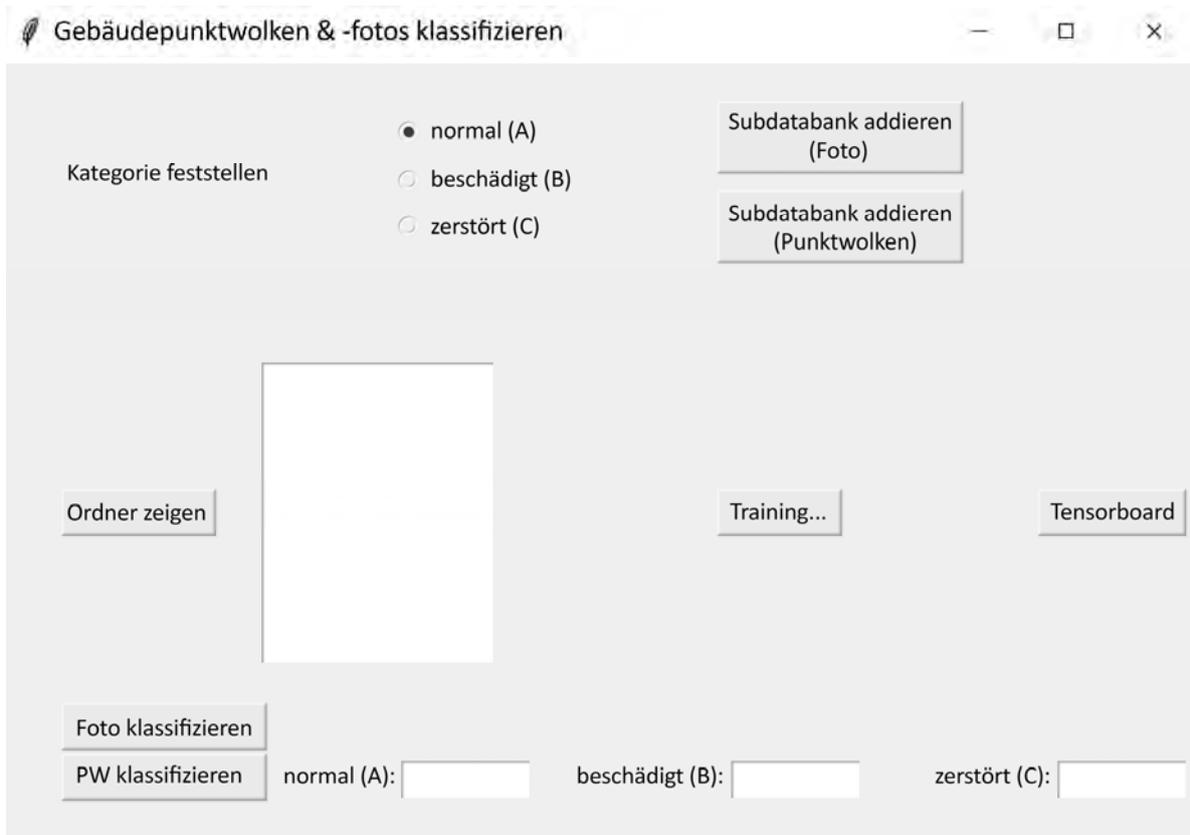


Abbildung 53: Bildschirmaufnahme der Benutzeroberfläche der dritten Software, gestartet auf dem Betriebssystem Windows 10.<sup>232</sup>

Der untere Bereich ist zur Klassifizierung der Daten, wobei zwei Schaltflächen auf der Benutzeroberfläche zur Auswahl der Auswertungsdatei dienen. Die erste Schaltfläche ermöglicht die Auswahl einer Fotodatei in den Formaten .JPEG, .PNG oder .GIF. Die zweite Schaltfläche dient der Durchsuchung von Punktewolken in den Formaten: .PCD, .XYZ, .PTS, .3D oder .Las. Wie bei der dritten Software ist das PCD Format auch für diese Software zu bevorzugen.

<sup>232</sup> Eigenen Darstellung

```
IMAGE_EXTENSIONS = {'png', 'jpg', 'jpeg', 'gif'}  
PC_EXTENSIONS = {'pcd', 'xyz', 'pts', '3d', 'las'}
```

Abbildung 54: Bildschirmaufnahme eines Teils des Codes, auf dem die Datenformate für die Software definiert werden<sup>233</sup>

Der größte Vorteil dieser Software liegt in der Abschaffung der Notwendigkeit, die drei Softwares einzeln verwenden zu müssen<sup>234</sup>. Allerdings hat diese Software den Nachteil, dass bei der Klassifizierung einzelne Daten nur nacheinander abgearbeitet werden können und die jeweiligen Auswertungsergebnisse schrittweise und extern zwischengespeichert werden müssen. Dies führt zu einer erheblichen Verzögerung bei der Auswertung einer großen Datenmenge. Ein weiterer Nachteil liegt darin, dass die Auswertung ohne Verwendung der in den Aufnahmen gespeicherten GPS-Koordinaten erfolgt. Dies schließt die Möglichkeit aus, eine sofortige und automatisierte Geopositionierung der ausgewerteten Daten durchzuführen und dieser Schritt muss im Nachgang manuell erledigt werden.

Daraus folgend besteht die Notwendigkeit, die entwickelte Software praxisorientiert in anderer Form weiterzuentwickeln. Dies erfolgt durch eine Onlinedienst-Software, die für jeden Nutzer mit einem Rechner, Tablet oder Smartphone und einem Standardinternetbrowser unabhängig von Betriebssystembeschränkungen einsetzbar ist.

Zusammengefasst bietet diese Software, als Kombination der drei vorherigen Softwares, dem Nutzer eine volle Kontrolle des Nachtrainings und der Kalibrierung des Netzwerks. Es ist auch dank der integrierten Tensorboard-Funktion möglich, das Netzwerk zu visualisieren und die gesamte Trainingsphase in grafischen Statistiken darzustellen. Eine Auswertung von Gebäuden in drei Kategorien anhand von zwei Datentypen, nämlich Fotos und Punktwolken, ist mit der Software möglich.

#### 8.2.4 Beschreibung der Onlinedienst-Software

Die Software lässt sich als Webdienst oder Webapplikation definieren. Das bedeutet, dass dieser Webdienst, wie oben erwähnt, mit einem Standardinternetbrowser genau wie jede Website aufgerufen wird, zum Beispiel über „Mozilla Firefox“ oder „Microsoft Edge“. Voraussetzung dafür ist eine bestehende Internetverbindung. Der Programmierkern dieses Webdienstes soll auf dem Server gestartet bleiben und die davon abhängigen Bibliotheken zur Verfügung stehen. Dies kann derzeit problemlos über die Cloud-Services erfolgen.

---

<sup>233</sup> Eigene Darstellung

<sup>234</sup> Die drei Softwares können einzeln verwendet werden, wenn es sich nur um einen Datentyp handelt.



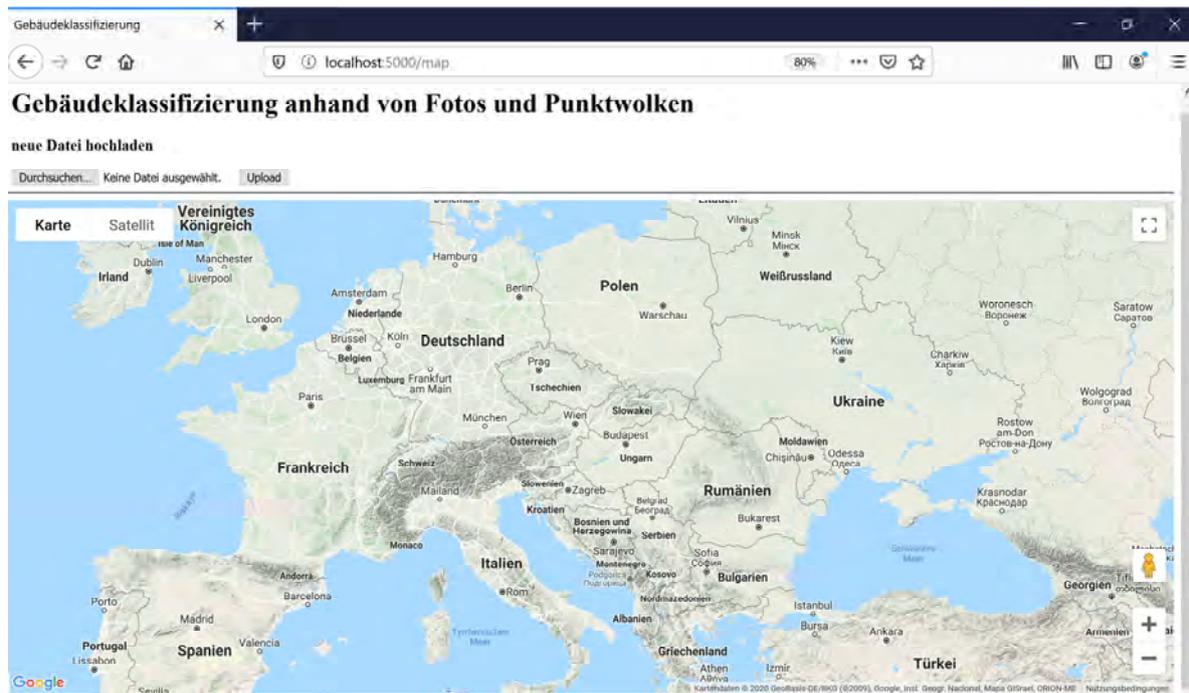


Abbildung 56: Bildschirmaufnahme der Homepage des entwickelten Webdiensts, geöffnet mit dem Internetbrowser Mozilla Firefox unter Windows 10.<sup>236</sup>

Auf der Kartenseite können die Nutzer die Karten in Satelliten-, Karten- oder Geländesicht darstellen. Zwei interaktive Schaltflächen oben links ermöglichen das Durchsuchen, das Hochladen und die Klassifizierung der für diese Webapplikation passenden gewünschten Datei, wobei eine Kopie der ausgewählten Datei automatisch auf dem Webserver der Applikation gespeichert wird. Die möglichen klassifizierbaren Daten werden wiederum, wie bei den vorherigen entwickelten Softwares, in drei Kategorien klassifiziert.

Die Klassifizierungsergebnisse werden als Symbole anhand der GPS-Koordinaten der klassifizierten Daten auf der Karte geositioniert. Diese sind:

- ein grünes Symbol und der Buchstabe (A) für die Kategorie (normal),
- ein gelbes Symbol und der Buchstabe (B) für die Kategorie (beschädigt) und
- ein rotes Symbol und der Buchstabe (C) für die Kategorie (zerstört).

<sup>236</sup> Eigene Darstellung



Abbildung 57: Grafische Darstellung der drei Klassifizierungskategorien<sup>237</sup>

Zusätzlich zu der Darstellung der klassifizierten Daten als farbigen Symbolen werden diese inklusive ihrer GPS-Koordinaten, sofern vorhanden, in Textform unter der Karte dargestellt.

Dies hat zwei Vorteile:

- Die Klassifikationsergebnisse der Daten, die keine GPS-Koordinaten beinhalten, werden angezeigt.
- Es besteht die Möglichkeit, die Ergebnisse als Text zu kopieren, um diese für eine spätere Verwendung in brauchbare Tabellen, wie zum Beispiel die Darstellung von Statistiken, einzufügen.

Durch die geositionierte Darstellung von Klassifikationsergebnissen auf der Karte kann die Karte über eine Zoom-Funktion vergrößert und der genaue Ort in Satellitendarstellung präsentiert werden. Für viele Orte wäre durch die Aktivierung des in der Karte integrierten Google Services „Street view“ sogar ein Vergleich mit dem vorherigen Zustand möglich. Der Hauptvorteil dieses entwickelten Klassifikationswebdiensts liegt darin, dass mehrere Daten innerhalb kurzer Zeit nacheinander ausgewertet werden können, wobei deren Ergebnisse auf der Karte als zusammengefasst dargestellt werden. Dies ermöglicht beispielweise, eine Ist-Zustandskarte mit minimalem Arbeitsaufwand schnell zu erstellen, die diversen Zwecken der Beteiligten an dem Katastrophenort dient. Dieser Leistungsumfang der Software erfüllt wiederum das Ziel dieser Arbeit.

```
def getGPSData(filepath):
    pcfile = open(filepath)
    lines = pcfile.readlines()
    for line in lines:
        if 'GPS' in line:
            newline = line.replace('GPS', '').replace(' ', '')
            return ast.literal_eval(newline)
```

Abbildung 58: Bildschirmaufnahme des GPS -Codes, der das Lesen der GPS-Koordinaten ermöglicht<sup>238</sup>

<sup>237</sup> Eigene Darstellung

<sup>238</sup> Eigene Darstellung

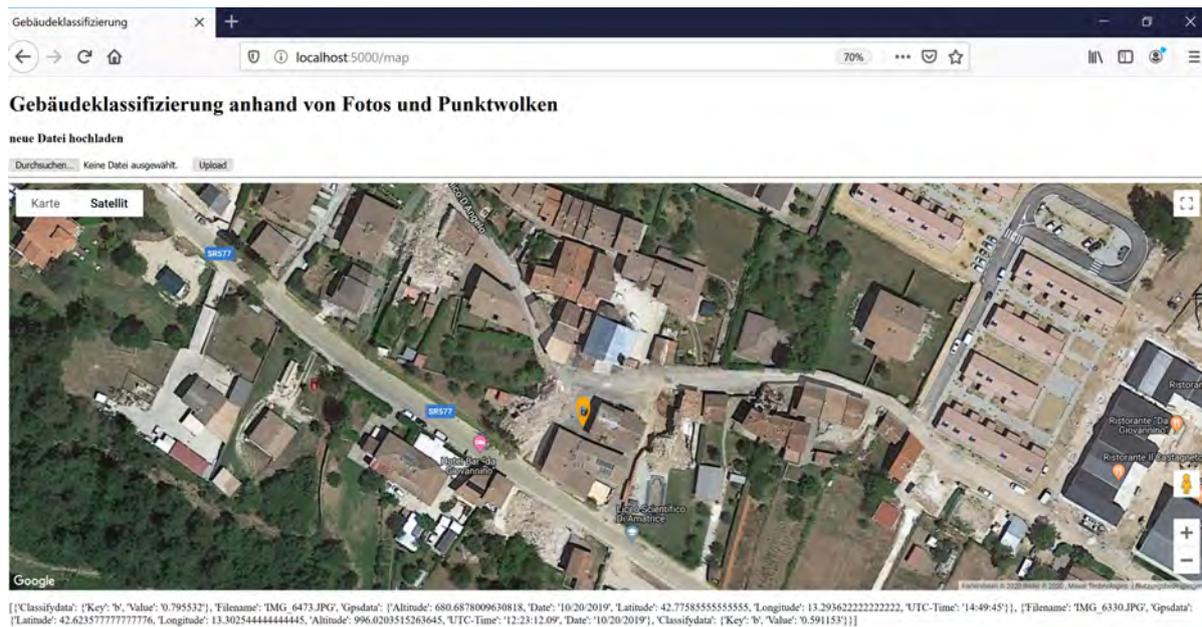


Abbildung 59: Bildschirmaufnahme der Google-Karte in Satellitsicht, auf der eine klassifizierte Fotodatei eines Gebäudes in Amatrice/Italien als gelbes Symbol (Kategorie beschädigt) dargestellt ist.<sup>239</sup>

Die inkludierten Dateien des Webapplikationsprogrammierspakets wurden von dem Verfasser dieser Arbeit genannt. Mit Ausnahme der Datei „Index.html“ können alle anderen Dateien auch anders benannt werden. Die Webapplikation lässt sich aus der Sicht der Programmierung wie folgt beschreiben:

1. Drei Python-Dateien befinden sich im Stammordner der Webapplikation: „tfClassify.py“, in der die Logik der Klassifizierung dargestellt wird. „gpspc.py“ sucht die GPS-Koordinaten, falls vorhanden, in der Punktwolke und liest sie aus. Die dritte Python-Datei ist Classify.py, diese bildet die Kernfunktion der Webapplikation und verbindet die anderen Programmier-elemente und Dateien miteinander. Dies ist in dem nachfolgendem Flowchart dargestellt.
2. Zwei HTML<sup>240</sup>-Dateien; „index.HTML“ für die Homepage und „Map.HTML“ für die Klassifizierungsseite mit der Integrierung der Google-Karte. Die beiden HTML-Dateien werden in dem Ordner „Templates“ platziert. Sie beinhalten CSS<sup>241</sup>-Skripte im Headerbereich, die die Gestaltung der Webseiten ermöglicht. Die beiden HTML-Dateien befinden sich in dem Ordner „Templates“.

<sup>239</sup> Eigene Darstellung

<sup>240</sup> Hypertext Markup Language: eine textbasierte Auszeichnungssprache des World Wide Web

<sup>241</sup> CSS: Cascading Style Sheets

3. Der Ordner „Instance“: beinhaltet die von den Benutzern für den Klassifizierungszweck hochgeladenen Daten.
4. Im Ordner „Static“ werden die verwendeten Klassifizierungssymbole und das Home-pagehintergrundbild gespeichert.
5. Der Ordner „Logs“ enthält die aus dem Training erstellten Daten, die wiederum für die Klassifizierung von Benutzerdaten benötigt werden. Bei fehlenden Dateien in diesem Ordner findet keine Klassifizierung statt.

	instance	File folder
	logs	File folder
	static	File folder
	templates	File folder
	classify.py	PY File
	gpspc.py	PY File
	tfClassify.py	PY File

Abbildung 60: Bildschirmaufnahme des Programmierpaketes der Webdienstapplikation<sup>242</sup>

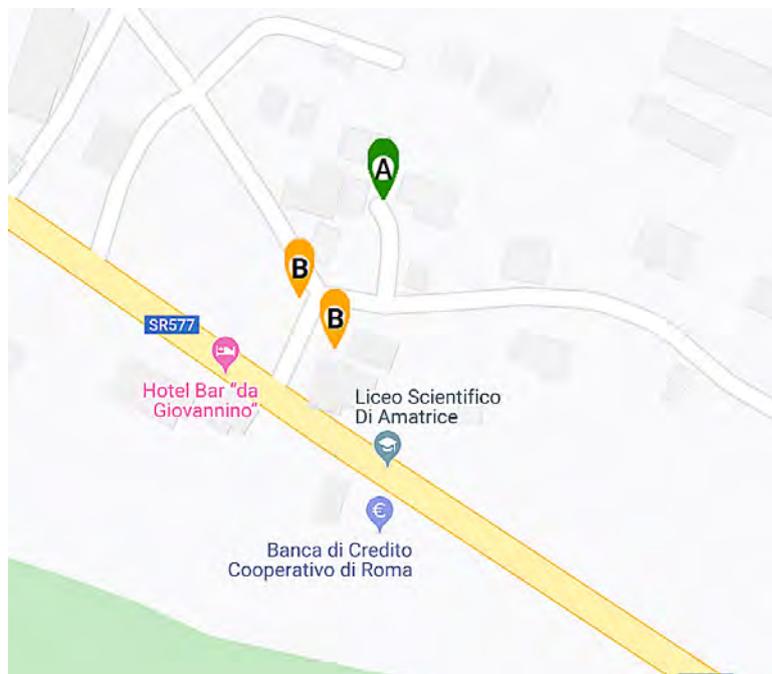


Abbildung 61: Darstellung des Klassifizierungsergebnisses von drei Gebäuden mit der Webdienstapplikation<sup>243</sup>

<sup>242</sup> Eigene Darstellung

<sup>243</sup> Eigene Darstellung

Flussdiagramm der Webdienstapplikation

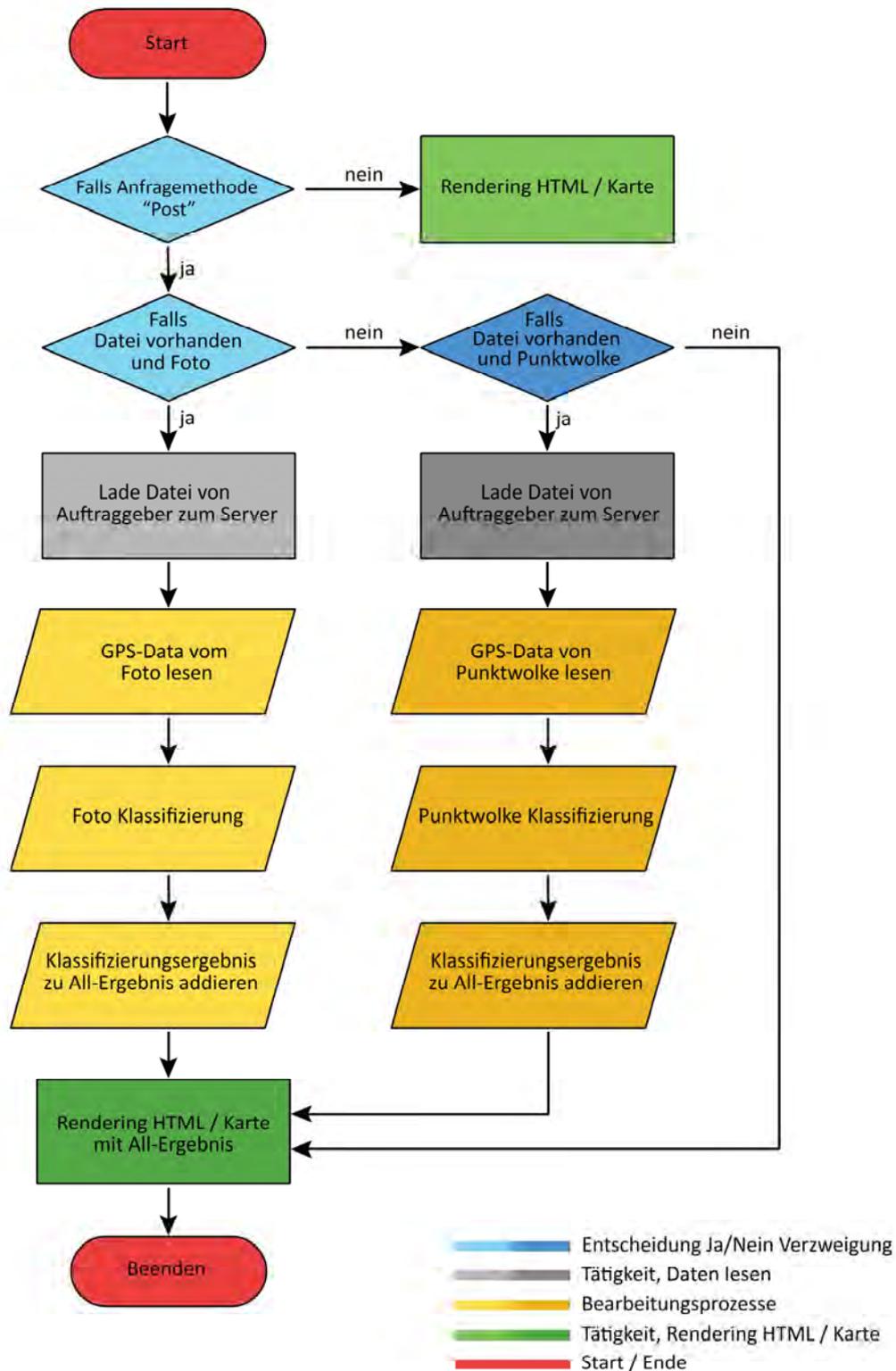


Abbildung 62: Grafische Darstellung des Flussdiagramms (Flowchart) der Webdienstapplikation.<sup>244</sup>

<sup>244</sup> Eigene Darstellung

### 8.3 Zusammenfassung des Kapitels

Fünf Klassifizierungssoftwares bieten dem Nutzer die Möglichkeit, die Gebäude anhand ihrer Foto- und/oder Punktwolkendaten zu klassifizieren. Die Softwares sollen jede Art, Form und jeglichen Architekturstil der Gebäude auswerten. Das Nachtraining ist für die Genauigkeit der Auswertung entscheidend. In dieser Arbeit wurde ein Nachtraining des KI-Netzwerks anhand von ca. 300 Fotos und Punktwolken jeder Klassifizierungskategorie durchgeführt. Alle zum Trainingszweck verwendeten Daten wurden von dem Verfasser erstellt. Ein Nachtraining mit einer zusätzlichen größeren Datenmenge könnte die Genauigkeit noch verschärfen.

Die Softwares 1, 2 und 3 ermöglichen die Klassifizierung und das Training eines einzigen Datentyps, der aus der dafür geeigneten Datenbank abgerufen wird. Deswegen eignet sich jede dieser drei Softwares für die Nutzer, die nur mit einem bestimmten Datentyp arbeiten, zum Beispiel passt für einen Vermesser, der anhand von Daten des Laserscannings die Gebäude klassifiziert, die Software 3.

Im Endeffekt besitzen die Endsoftware (Software 4) und die Webapplikation (Software 5) den größten Leistungsumfang und die höchste Benutzerfreundlichkeit und ermöglichen eine Klassifizierung der Gebäude in den drei genannten Kategorien anhand von Fotos- und Punktwolkendaten.

Die Software 4 unterscheidet sich von der Webapplikation durch die folgenden Merkmale:

- Die Nutzung bzw. der Zugriff erfolgt auf lokalen Datenbanken, deswegen erfordert die Auswertung der Daten keine Internetverbindung. Die Auswertung der Gebäude anhand von Punktwolken kann deswegen schnell ausgeschlossen werden, da die Punktwolken meist große Dateien bilden.
- Die Darstellung der Gebäudeklassifizierungsergebnisse anhand von mehreren Dateien ist eingeschränkt, weil die Ergebnisse bei dieser Software nur in Textform dargestellt werden können.
- Bei den Wertangaben in den Feldern neben „unbeschädigt“, „beschädigt“ und „zerstört“ handelt es sich nicht um Prozentangaben zum Schadenanteil, die Werte dienen ausschließlich der Zuordnung der Endkategorie.
- Die Visualisierung des Netzwerkes kann mit dieser Software realisiert werden.
- Das Training des Netzwerks ist bei der Software 4 gestattet. Dies ermöglicht den Nutzern, das Netzwerk mithilfe eigener Datenbanken zu größerer Genauigkeit zu trainieren.
- Die Gebäudeklassifizierung wird unabhängig davon, ob die zum Klassifizierungszweck verwendete Datei GPS-Koordinaten enthält, geositionslos angezeigt.

- Die jetzige entwickelte Form der Software erzwingt eine Reihe von Installationen. Diese sind die Python-Programmiersprache und deren Bibliotheken.

Die Software 5 (Webapplikation) bietet den Nutzern sowie möglichen Serviceanbietern die optimalsten Anwendungsbedienungen:

- Durch die ortsunabhängige Anwendung der Applikation im weltweiten Netz, kann der Nutzer sie als Internetwebseite mit einer minimalen Anzahl von Schaltflächen bedienen, zum Beispiel erfolgt die Klassifizierung der betroffenen Gebäude anhand von Foto- und Punktwolkendaten über eine einzige interaktive Schaltfläche.
- Der Zugriff des Nutzers auf externe Datenbanken mit der automatischen Abspeicherung der hochgeladenen Dateien im Server ermöglicht dem Anbieter des Dienstes eine Erweiterung der bestehenden Datenbank. Dies kann für die öffentliche Hand oder Versicherungsunternehmer sowie für Rettungsdienste besonders wichtig sein und hilft bei der Archivierung anhand von Aufnahmen und Darstellung von Statistiken. Die privaten Nutzer können ebenso mit ihren Aufnahmen dazu beitragen, die Datenbanken zu erweitern.
- Die Darstellung von Auswertungen der betroffenen Gebäude, unabhängig von deren Anzahl erfolgt geositioniert auf einer Karte. Dies ersetzt die Auflistung der untersuchten Gebäude in tabellarischer Form und ermöglicht stattdessen eine schnelle Verteilung der Resultate an der Beteiligten. Die Darstellung in Textform befindet sich unterhalb der Karte und kann bei Bedarf kopiert oder gedruckt werden.
- Es besteht kein Trainingsbedarf des KI-Netzwerks bei dieser Applikation, dies wird von dem Anbieter mit der Software 4 erledigt, wobei die Trainingsergebnisse (Ordner „Logs“) mit dem Programmpaket der Webapplikation auf den Server hochgeladen werden müssen.

Die Erstellung und Pflege der Datenbanken spielt eine wichtige Rolle für eine einwandfreie Verwendung der Software 1 bis 4, bei der Software 5 sollen die bei dem Webapplikationsanbieter erstellten Datenbanken keine große Rolle spielen, diese werden durch den Einsatz der Webapplikation erweitert, da jeder Benutzer durch seine Auswertung der Webapplikationen, Foto- und Punktwolkendaten hochlädt. Diese Daten werden auf dem Server gespeichert und können den beim Anbieter bestehenden Datenbanken zugeordnet werden. Der Datenfluss zwischen den Datenbanken und den 5 entwickelten Softwares erfolgt wie in der Abb. 62 dargestellt.

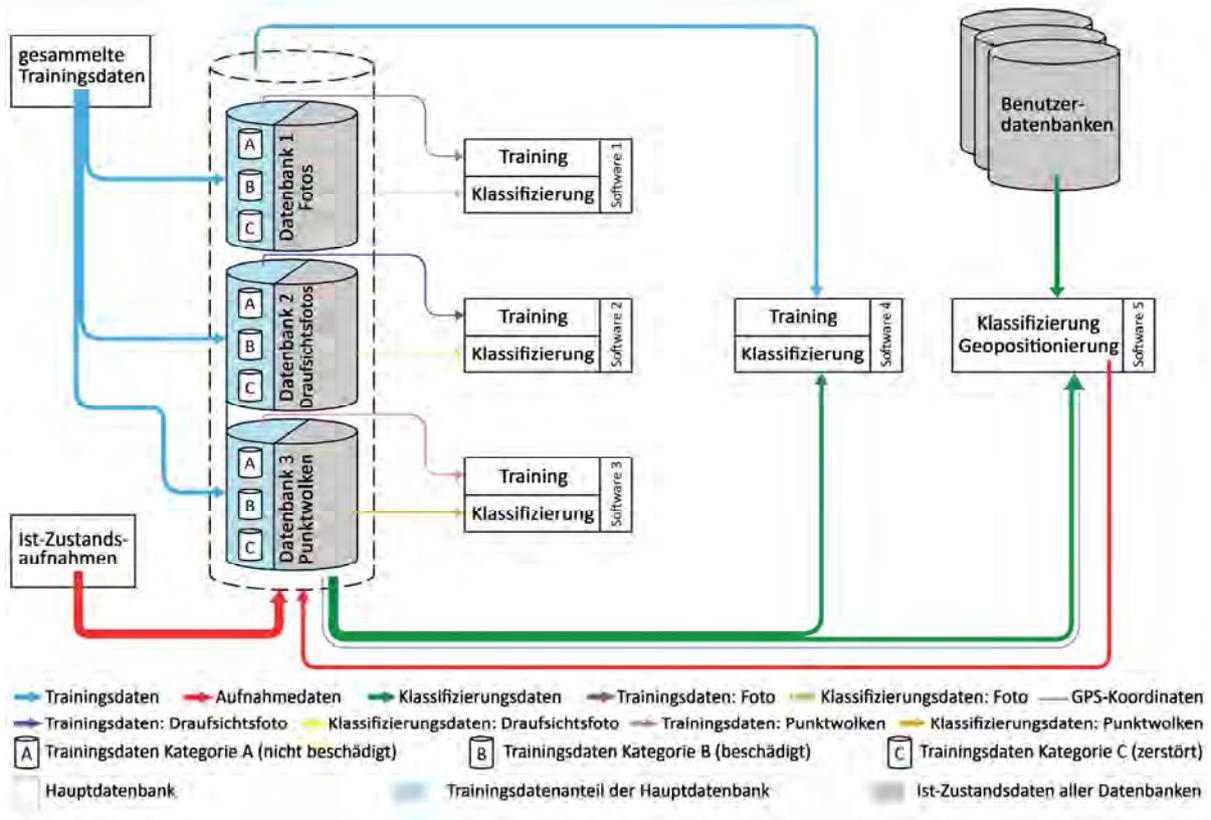


Abbildung 63: Grafische Darstellung des Datenflusses zwischen den diversen Datenbanken und den entwickelten Softwares<sup>245</sup>

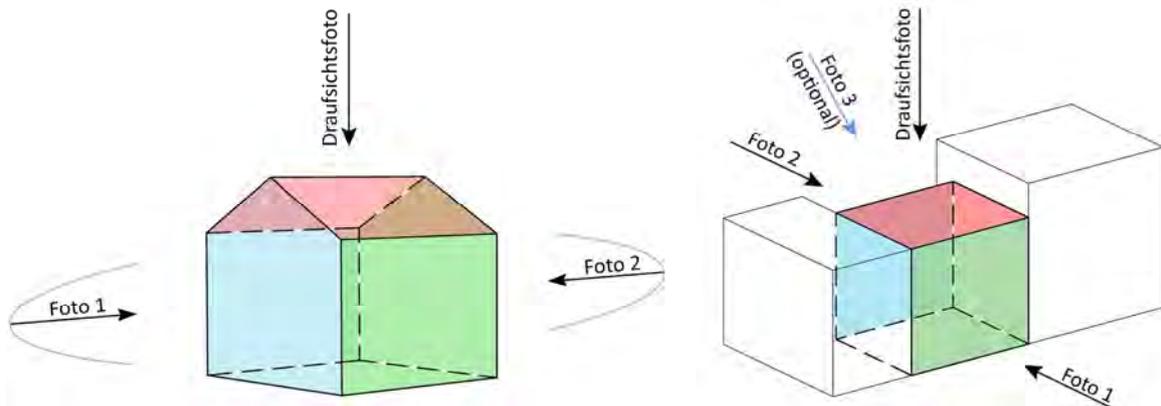


Abbildung 64: Die optimale Aufnahmerichtung für die Auswertung mit den entwickelten Softwares<sup>246</sup>

<sup>245</sup> Eigene Darstellung

<sup>246</sup> Eigene Darstellung

## Kapitel 9 - Validierung

Bevor eine Software in der Praxis eingesetzt werden kann, muss sie validiert werden. Die ISO 9000:2015 definiert eine Validierung wie folgt: „Bestätigung durch Bereitstellung eines objektiven Nachweises, dass die Anforderungen für einen spezifischen beabsichtigten Gebrauch oder eine spezifische beabsichtigte Anwendung erfüllt worden sind.“<sup>247</sup> In anderen Worten, die entwickelte Software muss durch einen Validierungsprozess geprüft werden und dessen Ergebnisse müssen als zulässig bestätigt werden. Für diesen Zweck wird ein Fallbeispiel - oder mehrere - gesucht und mithilfe von zwei Verfahren, nämlich einer subjektiven Bewertung durch den Nutzer selbst oder eines Dritten und einem auf Computer basierten Vergleichsverfahren, untersucht.

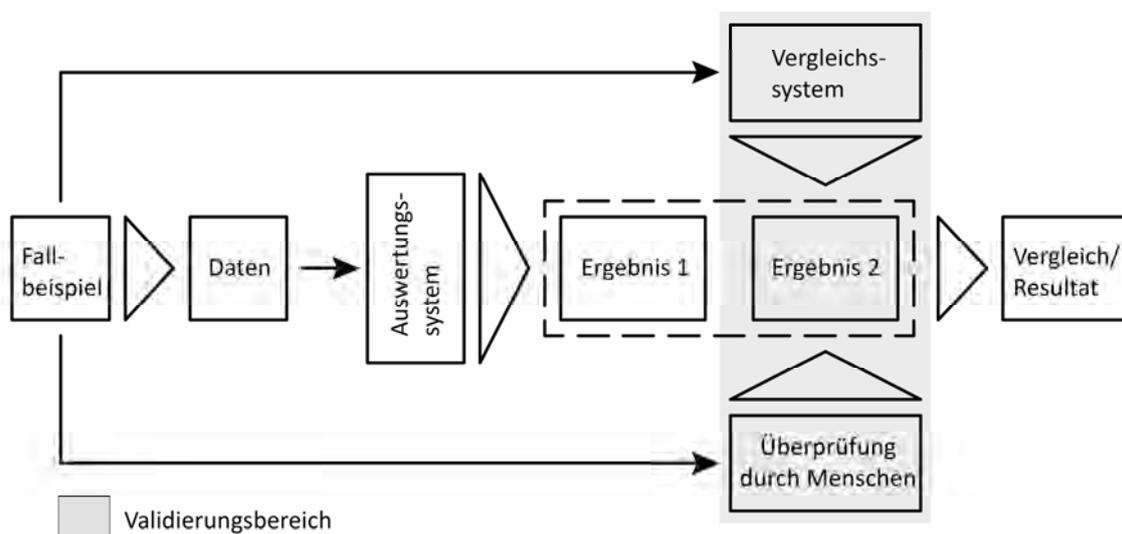


Abbildung 65: Grafische Darstellung der Validierungsverfahren, die zur Verifikation der Auswertungsergebnisse der entwickelten Software eingesetzt werden<sup>248</sup>

### 9.1 Überprüfung durch Menschen

In diesem Verfahren werden die durch die entwickelte Software gelieferten Ergebnisse durch Personen überprüft. Dafür werden die durch ein ausgewähltes Aufnahmeverfahren erfassten und in einer Datenbank gespeicherten Daten von Personen mit dem passenden Tool oder Programm analysiert und ausgewertet. Die Datenbanken sind hauptsächlich in zwei Kategorien geteilt: Pixel- und Vektordaten.

<sup>247</sup> ISO 9000:2015

<sup>248</sup> Eigene Darstellung

- Fotoaufnahmen (Pixeldaten):

Fotoaufnahmen stellen ein Erscheinungsbild von Bauwerken dar. Sie können von Menschen mithilfe von Bildbearbeitungsprogrammen geöffnet und damit bewertet werden. Diese manuelle Bewertung kann das von der Software gelieferte Ergebnis vollkommen oder zum Teil bestätigen bzw. ihm widersprechen. Einige der zur Verfügung stehenden Bildersoftwares sind: Photoshop, Picasa, Gimp und die Standardbildersoftware je nach Betriebssystem.

Es ist wichtig zu erwähnen, dass die menschliche Betrachtung durch die gesammelte Erfahrung der Personen den Vorteil hat, in den Bildern mehr zu erkennen als eine Software. Wie oben erwähnt, präsentieren Fotos eine äußere Betrachtung der Gebäude. Es könnte aber sein, dass das Gebäude keine äußeren Schäden zeigt, während das Innere teilweise oder komplett zerstört ist. Experten können manchmal durch bestimmte Details in einem Foto Hinweise auf innere Zerstörung erkennen, welche das Programm nicht beurteilen kann.

- Punktwolken (Vektordaten):

Um die Punktwolkendaten von Fachleuten zu betrachten, werden spezielle Softwares benötigt, wie zum Beispiel:

- Pointcloudcompare
- Leica Cyclone
- Autodesk Recap
- Bentley Microstation descartes

Die Punktwolkendaten liefern dreidimensionale Modelle der gescannten Bauwerke und können deshalb mehr Informationen als Fotos bieten. Mithilfe eines der oben genannten Programme kann eine vollständige Betrachtung erfolgen und dadurch können die von der Software erhaltenen Ergebnisse bewertet werden.

Durch Punktwolkenmodelle können zusätzliche Daten gewonnen werden. Aus dem 3D-Modell der Gebäudeaußenhülle können Grundrisse/Schnitte/Ansichten ohne innere Aufteilung erzeugt und mit den gespeicherten alten Plänen des Vorzustandes verglichen werden. Falls das Laserscannen terrestrisch oder durch Roboter innerhalb des Gebäudes durchgeführt werden sollte, können sogar innere Zerstörungen erkannt werden, was von großem Vorteil ist. Punktwolkenaufnahmen werden in sehr großen Dateien gespeichert, was die Bearbeitung dieser Dateien aufwändig macht.

Der durch Menschen durchgeführte Teil des Validierungsprozesses beurteilt nicht nur die Ergebnisse der entwickelten Software, sondern auch andere Faktoren, die die Benutzer der

Software betreffen. Diese Faktoren werden ähnlich wie im ISO 9000:2015 genannten PQ, IQ und OQ betrachtet. Faktoren, wie die Benutzerfreundlichkeit der Software, Darstellung der Ergebnisse und die Kompatibilität mit den diversen Betriebssystemen sind von großer Bedeutung und spielen eine wichtige Rolle bei der Beurteilung, die durch Umfragen an Experten und mögliche Benutzer erfolgen kann.

### 9.2 Technisches Verfahren

Für das technische Verfahren wurde eine Software unter Einsatz von OpenCV in Python entwickelt. Der dafür geschriebene Code basiert prinzipiell zum kleinen Teil auf einem zur Verfügung gestellten Code<sup>249</sup>. Die Software dient zum direkten Vergleich zwischen zwei Dateien, um die Unterschiede zu erkennen. Der ursprüngliche Code wurde teilweise abgeändert, um dem Validierungszweck der in dieser Arbeit entwickelten Software zu dienen. Zusätzlich zur Anpassungsmodifikation des Codes wurde eine grafische Benutzeroberfläche dafür entwickelt, die eine benutzerfreundliche Bedienung der Software ermöglicht.

Dieses Validierungsverfahren fällt unter die digitale optische Zeichenerkennung und dient der Erkennung von zwei Rasterdaten unter bestimmten Voraussetzungen und Bedingungen, die für ein erfolgreiches und zuverlässiges Ergebnis notwendig sind. Diese sind:

- Die beiden Dateien müssen Rasterdaten (Fotos) sein.
- Die Fotos müssen dieselbe Größe (Länge und Breite) besitzen.
- Die Positionierung beider Bilder muss identisch sein.

Um diese Bedingungen zu erfüllen, wird eine Vorbereitungsphase benötigt, in der die Dateien dementsprechend bearbeitet und gespeichert werden. Aus den Punktwolkendaten wird deshalb eine zweidimensionale Darstellung (Draufsichten, Grundrisse, Schnitte und Ansichten) erstellt und als Bild mit passendem Datenformat (JPEG, PNG, TIFF, GIF oder BMP) gespeichert. Durch ein Bildbearbeitungsprogramm werden diese mit den vorhandenen ähnlichen Daten des Vorzustandes (Katasteramtspläne, Luftbilder, Grundrisse) auf den Bildern auf exakt der gleichen Position platziert. Wenn alles berücksichtigt wird, wird die Software die beiden Fotos miteinander vergleichen und anschließend die Unterschiede auf dem zweiten Bild mit Rot markieren sowie die Differenz auch prozentual darstellen. Dies wird mit dem Ergebnis der Auswertungssoftware verglichen und dann wird wiederum von Menschen entschieden, ob die beiden Ergebnisse völlig, zum Teil oder gar nicht miteinander übereinstimmen.

---

<sup>249</sup> Der ursprüngliche Code: Adrian Rosebrock, Image Difference with OpenCV and Python, <https://www.pyimagesearch.com/2017/06/19/image-difference-with-opencv-and-python/>, abgerufen am 16. April 2019

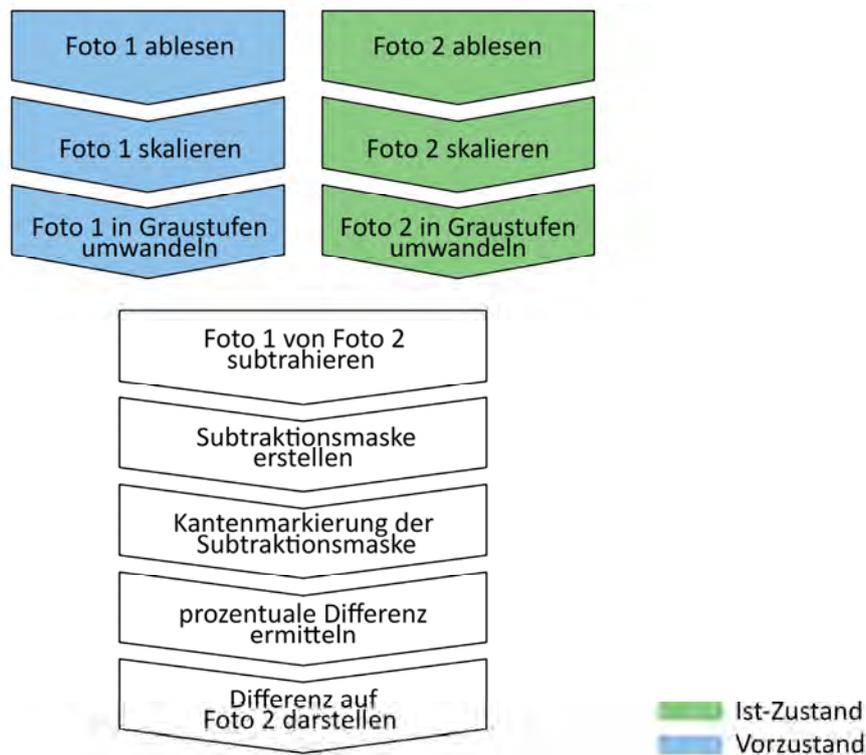


Abbildung 66: Grafische Darstellung des Funktionsprinzips der Validierungssoftware<sup>250</sup>

Für die Validierungssoftware sollen zwei Dateien gleichzeitig zur Verfügung gestellt werden, wobei die erste Datei dem Vorzustand (vor der Katastrophenzeit) entspricht und die zweite Datei den Ist-Zustand (nach der Katastrophe) widerspiegelt. Diese Daten können zum Beispiel Grundrisse oder Lagepläne sein und müssen in einem passenden Fotoformat abgespeichert werden. Die anderen oben benannten Bedingungen müssen ebenso bei der Speicherung der Daten betrachtet werden. Beim Einsatz der Software wird zu Beginn die erste Datei (Vorzustand) herausgesucht, ausgewählt und in die Software importiert. Die Software übernimmt nach dem Laden dieser Datei die Skalierung des Fotos auf 250x250 Pixel und wandelt es in Graustufen um. Das Ganze gilt ebenso für die zweite Datei. Nächster Schritt ist der Vergleich der beiden Dateien miteinander, dies wird erfüllt durch die Subtraktion der Pixeldaten aus Datei 2 von denen aus Datei 1, so dass nur die nicht übereinstimmenden Pixelflächen als Resultat der Subtraktion verbleiben. Die Software bildet anhand der nach der Subtraktion festgestellten Flächen eine schwarze Maske, in der die ermittelten Flächen weiß dargestellt und deren Kanten markiert werden. Der Flächeninhalt wird darüber hinaus prozentual ermittelt. Als Endergebnis des ganzen Prozesses werden die anhand der Maske markierten Kanten auf dem Foto 2 (Ist-Zustand) rot umgrenzt und die Vergleichsabweichung prozentual auf demselben Foto gezeigt.

<sup>250</sup> Eigene Darstellung

### 9.2.1 Beschreibung der Softwarebenutzeroberfläche

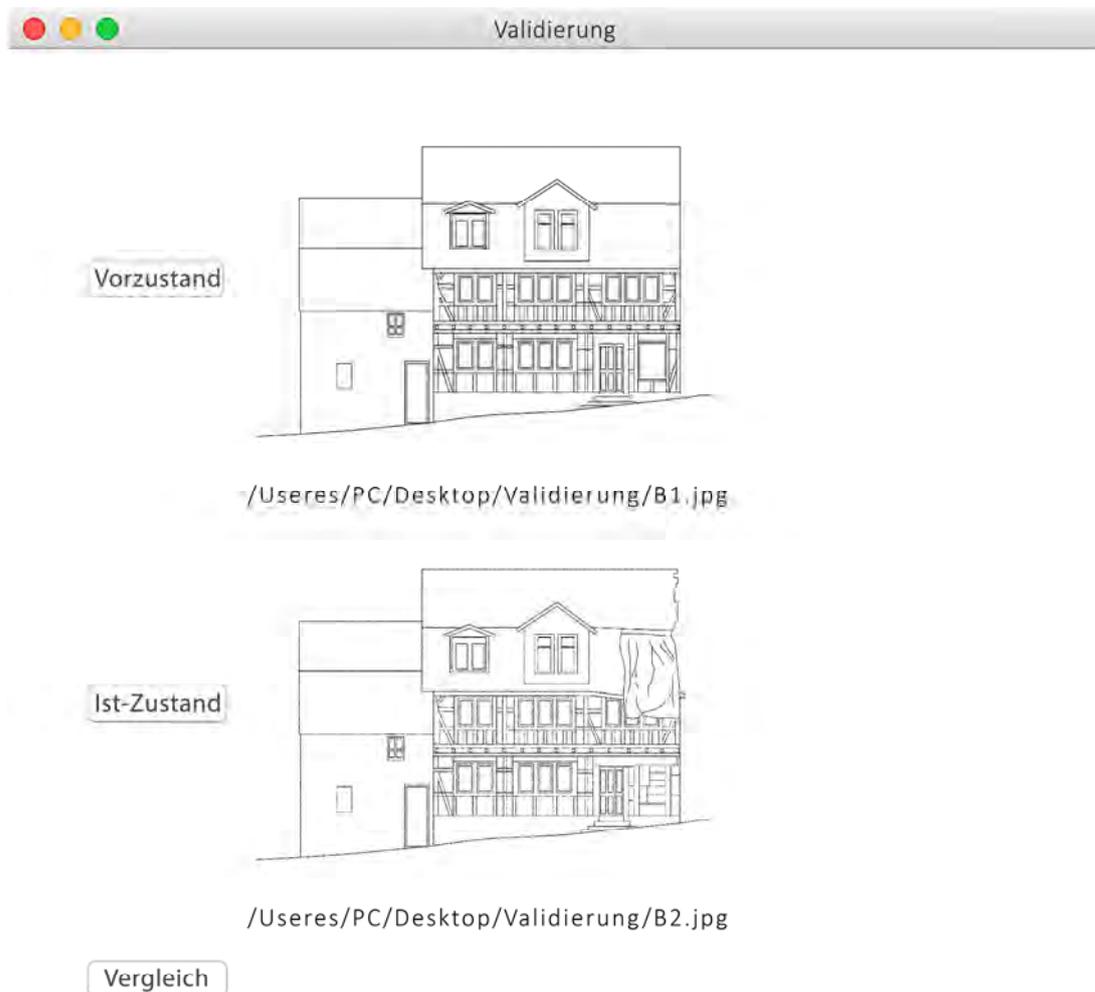


Abbildung 67: Benutzeroberfläche der Validierungssoftware nach der Auswahl der Fotos des zu untersuchenden Gebäudes<sup>251</sup>

Die Benutzeroberfläche der Validierungssoftware bildet ein leichtes und nutzerfreundliches Arbeitsfeld, das aus nur drei Schaltflächen besteht. Diese sind:

- Vorzustand: ermöglicht das Einfügen eines vorhandenen Fotos des zu untersuchenden Gebäudes in der Software
- Ist-Zustand: dadurch wird ein Ist-Zustandsfoto des zu untersuchenden Gebäudes in die Software geladen
- Vergleich: mit dem Anklicken dieser Schaltfläche werden die beiden ausgewählten Fotos, wie oben beim Funktionsprinzip der Software beschrieben, verglichen und es wird ein neues Fenster geöffnet, in dem das Ist-Zustandsfoto mit den Markierungen gezeigt und das Resultat prozentual dargestellt wird.

<sup>251</sup> Eigene Darstellung

Das neue Fenster wird nicht automatisch gespeichert und muss manuell, sofern für spätere Verwendung notwendig, ausgedruckt oder abgespeichert werden. Die zwei zum Vergleich eingefügten Fotos werden nur temporär geladen. Diese werden nicht erneut gespeichert.

Nach der Auswahl des Vorzustandsfotos und des Ist-Zustandsfotos werden diese auf dem Bildschirm innerhalb der Benutzeroberfläche gezeigt. Unter den Fotos wird der Verzeichnispfad angegeben.



Abbildung 68: Das Ergebnisfenster der Validierungssoftware<sup>252</sup>

Der Abruf der Software erfolgt nach der Aktivierung des vorbereiteten Arbeitsumfeldes (Environment) durch die virtuelle Eingabeaufforderung (Anaconda) im Windows-Betriebssystem oder durch die Terminal-Eingabeaufforderung in Linux oder Macintosh. Dafür muss der Verzeichnispfad für die Speicherung der Software ausgewählt werden. Durch Eintippen von „Python Softwarename.py“ startet die Software.

Das Eingabeaufforderungsfenster ermöglicht die Anzeige, welche Fotos ausgewählt wurden sowie deren Verzeichnispfade und die Ergebnisse in Textform. Der Text kann komplett oder teilweise kopiert und in andere Texte oder Tabellen eingefügt werden.

<sup>252</sup> Eigene Darstellung

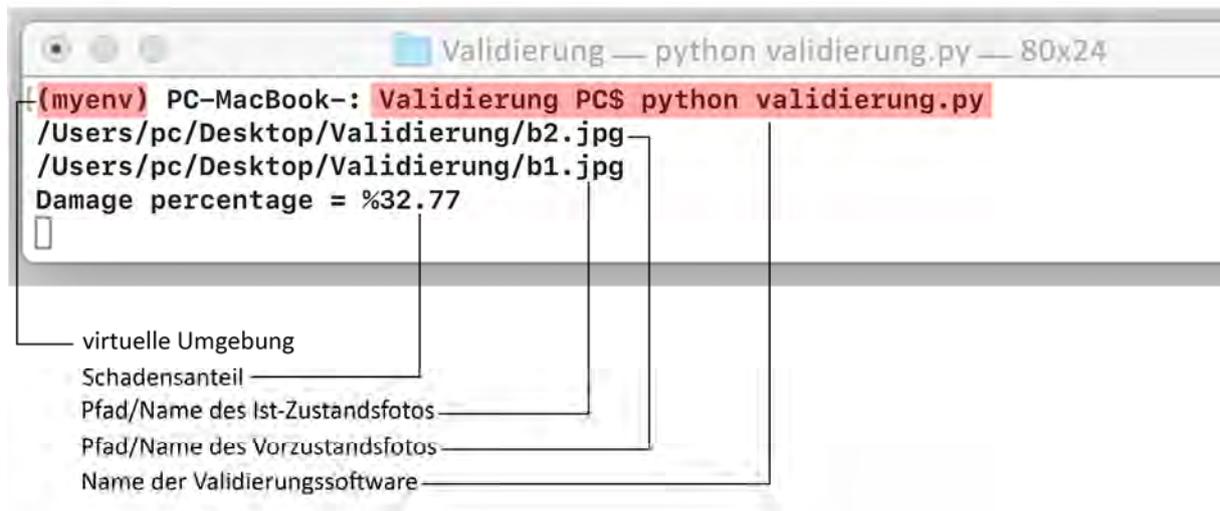


Abbildung 69: Bildschirmaufnahme der Terminal-Eingabeaufforderung (Macintosh High Sierra Betriebssysteme) für die Anzeige, welche Fotos ausgewählt wurden sowie deren Verzeichnispfade und die Ergebnisse in Textform.<sup>253</sup>

<sup>253</sup> Eigene Darstellung

## Kapitel 10 - Anwendungsbeispiele

Die entwickelte Software wurde anhand realistischer Beispiele erprobt, um ihre Funktionen und die gelieferten Ergebnisse zu überprüfen. Für diesen Zweck wurden elf Gebäude und Bauwerke in unterschiedlichen Orten ausgewählt und mithilfe der entwickelten Software bewertet. Bei der Auswahl der Fallbeispiele wurde darauf geachtet, dass diese:

- eine unterschiedliche betriebliche Nutzung aufweisen (Wohnen, Industrie, Tourismus, Lernen, Kultur, Religion und Lager),
- diverse Höhen haben (eingeschossige, zweigeschossige Gebäude sowie Hochhäuser),
- aus verschiedenen Orten in mehreren Ländern stammen,
- mit unterschiedlichen Bauweisen realisiert wurden (Dichtbebauung, Reihenhäuser sowie alleinstehende Gebäude),
- kein gleichmäßiges Schadenausmaß aufweisen (normaler bis schlechter Zustand),
- aus diversen Materialien gebaut wurden (Stein-, Holz und Stahlbeton) und
- unterschiedliche Architekturstile widerspiegeln (denkmalgeschützt bis modern sind).

Dazu werden diese ausgewählten Gebäude anhand von deren Fotos, Draufsichtsfotos, Punktwolken oder allen drei Datentypen mit den Softwares klassifiziert.

Die o. g. Auswahlaspekte sowie die diversen Datentypen helfen dabei, eine präzise Erprobung anhand von vielfältigen Gebäudetypen zu ermöglichen. Einige der Beispiele liegen in naheliegenden Orten in Mittelitalien östlich von Rom und wurden unterschiedlich beschädigt. Eine Serie von Erdbeben in Mittelitalien erschütterte zwischen August 2016 und Januar 2017 mehrere Orte der Region, wobei einige Orte, wie zum Beispiel Amatrice, mehrfach davon betroffen wurden. Andere für den Erprobungszweck ausgewählte Gebäude befinden sich in Deutschland und sind auf Grund ihrer Lage an der damaligen Grenze zwischen Ost- und Westdeutschland im kalten Krieg verwaorlost. Sie weisen daher starke Schäden auf. Weitere Beispielgebäude haben keinerlei Schäden und befinden sich weiterhin im normalen Betrieb. Andere ausgewählte Gebäude liegen in Nahost und weisen einen anderen von der Kultur beeinflussten Baustil auf. Die gewählten Gebäude mit Schäden befinden sich in Deutschland (Eschwege und Berka), in Italien (Amatrice, Pescara del Tronto, und Norcia) und in Griechenland (Heraklion). Die ausgewählten Gebäude mit normalem Zustand sind in Italien (Amatrice), in Deutschland (Kassel und Düsseldorf), in Syrien (Latakia), im Libanon (Beirut) und in den Vereinigten Arabischen Emiraten (Dubai).

Die Erprobungsdaten der ausgewählten Beispiele in Form von Fotos und Punktwolken wurden vom Verfasser dieser Arbeit selbst erstellt. Die Draufsichtsfotos stammen aus Google-Maps.

### 10.1 Fallbeispiel 1: Hotel „Regina Giovanna“ in „Pescara del Tronto“, Italien

Dieses Hotel wurde durch ein starkes Erdbeben zum Teil zerstört und steht seitdem leer.

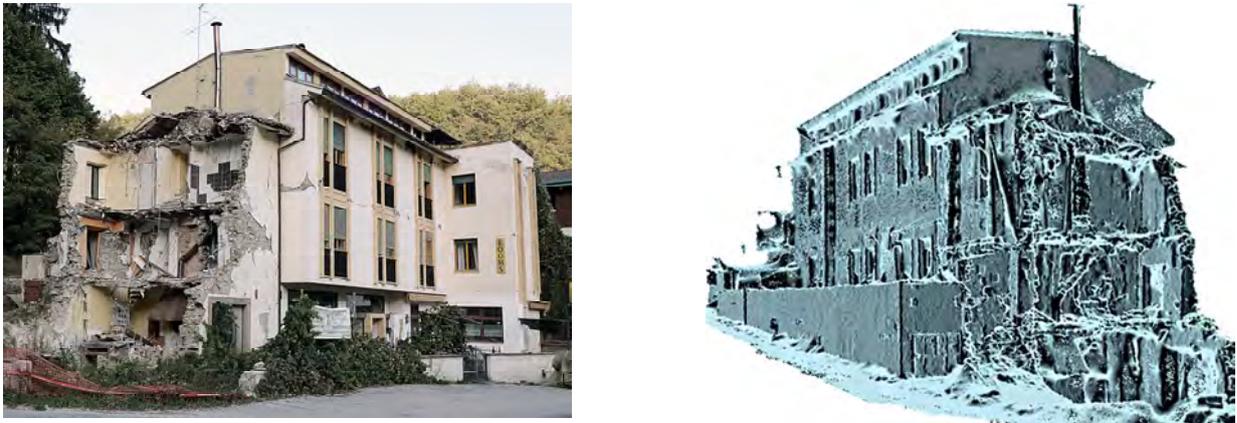


Abbildung 70:: Fotoaufnahme und Punktwolkendatei des Hotels „Regina Giovanna“ in „Pescara del Tronto“<sup>254</sup>

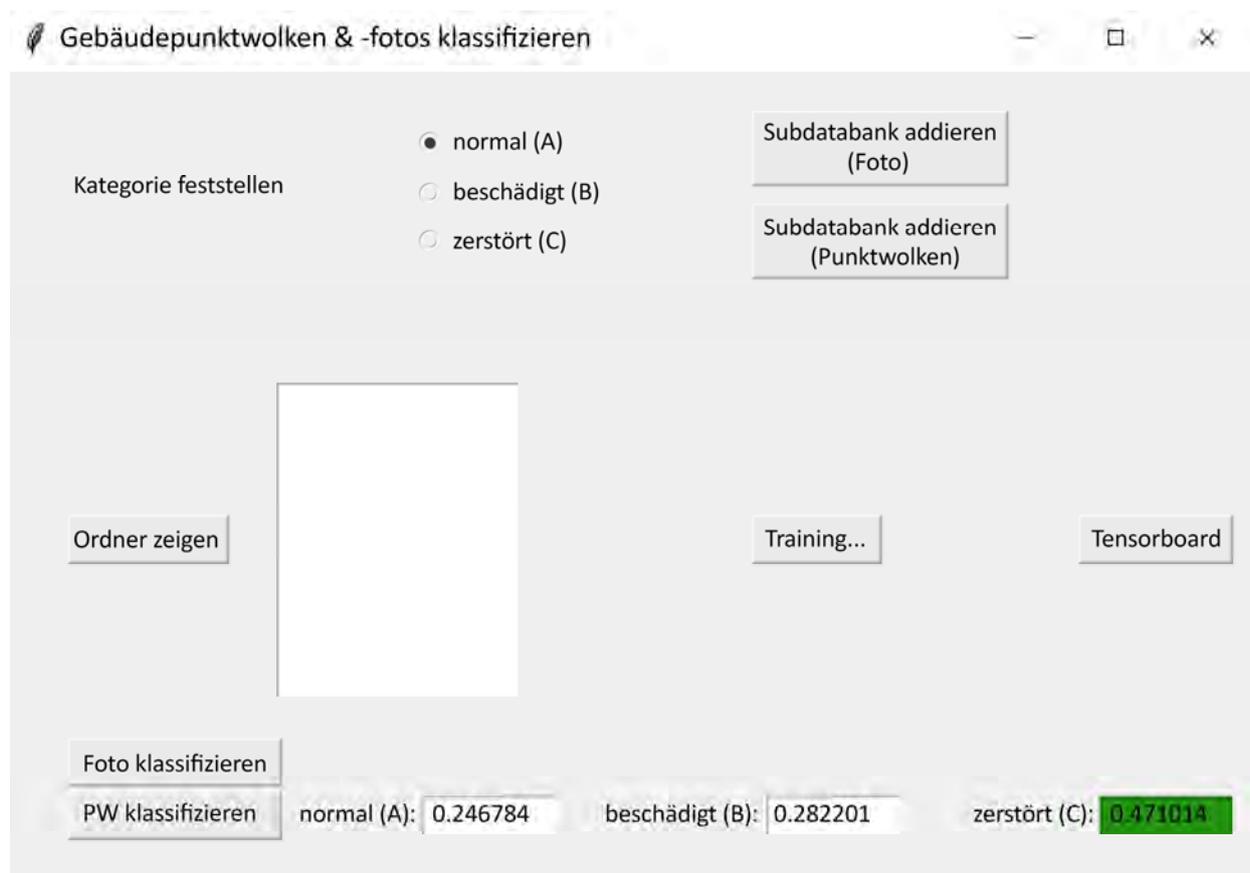


Abbildung 71: Bildschirmaufnahme mit dem Auswertungsergebnis (C) der Punktwolkendatei des Hotels „Regina Giovanna“ mit der Stand-alone-Endsoftware<sup>255</sup>

<sup>254</sup> Eigene Aufnahme, eigene Darstellung

<sup>255</sup> Eigene Darstellung

Die Auswertung des Gebäudes erfolgt anhand von einer Punktwolkendatei (Abb. 71) sowie von einer Fotodatei (Abb. 72) und von einer Fotodatei des nicht zerstörten Teils des Hotels (Abb. 74). mit der Stand-alone-Software. Eine weitere Fotodatei Auswertung desselben Gebäudes wurde mit der Webdienstapplikation durchgeführt (Abb. 73).



Abbildung 72: Bildschirmaufnahme mit dem Auswertungsergebnis (C) der Fotodatei des Hotels „Regina Giovanna“ mit der Stand-alone-Endsoftware<sup>256</sup>

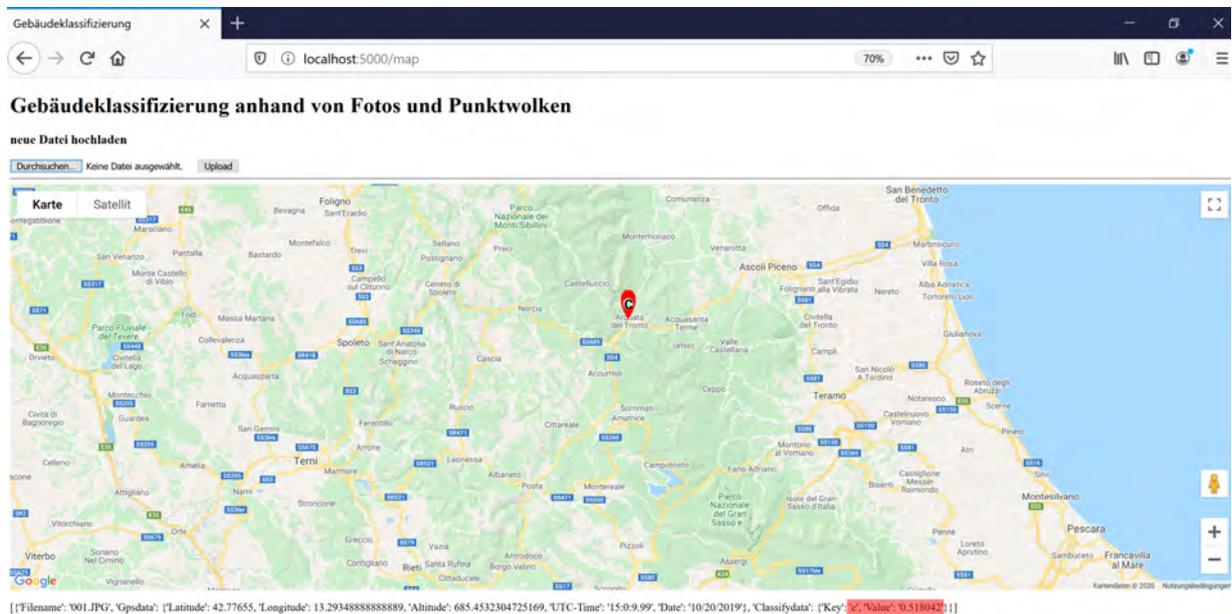


Abbildung 73: Bildschirmaufnahme der Webapplikation mit dem Auswertungsergebnis (C) der Fotodatei des Hotels<sup>257</sup>



Abbildung 74: Bildschirmaufnahme der Stand-alone-Endsoftware mit dem Auswertungsergebnis (B) der Fotodatei des Hotels<sup>258</sup>

<sup>256</sup> Eigene Darstellung

<sup>257</sup> Eigene Darstellung mit der entwickelten Webapplikation auf Basis auf Google Maps API

<sup>258</sup> Eigene Darstellung

## 10.2 Fallbeispiel 2: Seniorenwohnheim in Amatrice, Italien

Ein Erdbeben im Jahr 2017 verursachte im Seniorenwohnheim in Amatrice teilweise Schäden. Für die Erprobung wurde eine erstellte Punktwolke mit dem Format „PTS“ verwendet. Das Auswertungsergebnis ist ein gelbes Symbol mit dem Buchstaben „B“, was bedeutet, dass es sich um ein beschädigtes Gebäude handelt (Abb. 76)



Abbildung 75: Eine Punktwolke des Seniorenwohnheims in Amatrice, Italien<sup>259</sup>

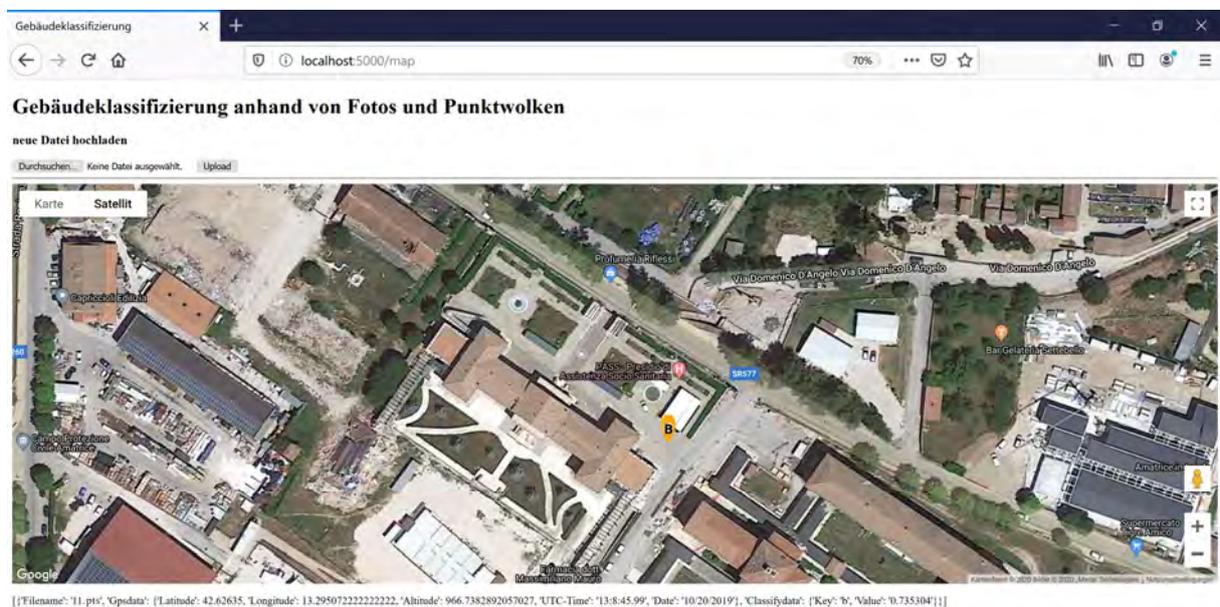


Abbildung 76: Auswertungsergebnis des Seniorenwohnheims anhand der Punktwolkendatei<sup>260</sup>

<sup>259</sup> Eigene Darstellung

<sup>260</sup> Eigene Darstellung mit der entwickelten Webapplikation auf Basis auf Google Maps API

### 10.3 Fallbeispiel 3: Vier Wohngebäude in Amatrice, Italien

Eines dieser Wohngebäude konnte trotz der mehreren Erdbeben schadensfrei bleiben, zwei andere sind teilweise beschädigt und eines ist zerstört.



Abbildung 77: Fotoaufnahmen diverser Wohnhäuser in Amatrice, Italien<sup>261</sup>



Abbildung 78: Auswertungsergebnisse der vier Wohngebäude<sup>262</sup>

<sup>261</sup> Eigene Aufnahmen

<sup>262</sup> Eigene Darstellung mit der entwickelten Webapplikation auf Basis auf Google Maps API

### 10.4 Fallbeispiel 4: Scheune in Norcia, Italien

Die untersuchte Scheune erlitt große Schäden infolge des Erdbebens.



Abbildung 79: (Links) Satellitenbild der Scheune, (rechts) Fotoaufnahme der Scheune in Norcia, Italien<sup>263</sup>

Die Auswertung wurde anhand des Satellitenbildes von Google Maps durchgeführt und das Ergebnis weist eine vollständige Zerstörung auf.



Abbildung 80: Auswertungsergebnis der Scheune, Kategorie (C), zerstört<sup>264</sup>

<sup>263</sup> Google Maps

<sup>264</sup> Eigene Darstellung

### 10.5 Fallbeispiel 5: Kulturzentrum K19 an der Uni Kassel, Deutschland

Das K19 ist das studentische Kulturzentrum der Studierendenschaft der Uni Kassel und wird durch den AStA verwaltet. Es handelt sich um einen roten Klinkerbau aus dem vorigen Jahrtausend und ist direkt neben dem offenen Parkplatz und dem neuen Lernort LEO zu finden. Manche Ansichten wurden mit Graffiti gestaltet, während eine Wand auf der linken Seite der Eingangsansicht auf Grund des Abrisses eines ehemaligen Nebengebäudes Schäden aufweist. Einige Fenster sind zerbrochen und das Gebäude ist allgemein sanierungsbedürftig.

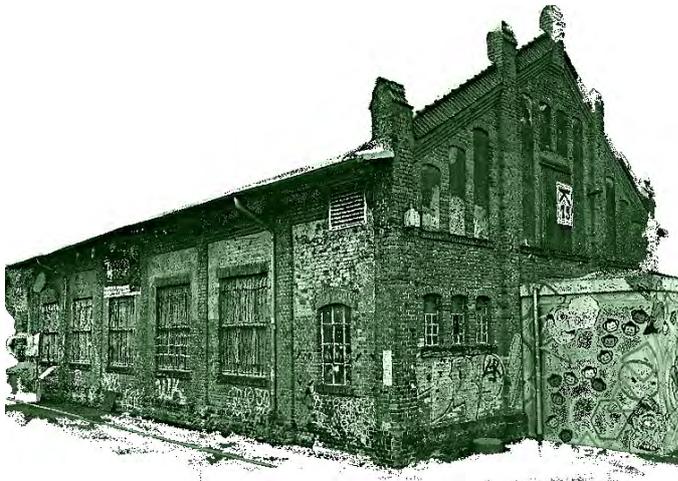


Abbildung 81: Das K19 als Punktwolke und Kameraaufnahme<sup>265</sup>

Das Ergebnis der Stand-alone-Software zeigt die Kategorie (B), die das Gebäude als beschädigt klassifiziert.



Abbildung 82: Auswertungsergebnis des K19, Kategorie (B), beschädigt<sup>266</sup>

<sup>265</sup> Eigene Darstellung, Eigene Aufnahme

<sup>266</sup> Eigene Darstellung





### 10.8 Fallbeispiel 8: Einfamilienhaus, Berka - Werra SuhI Tal, Deutschland

Das verlassene Einfamilienhaus besteht aus zwei Geschossen und befindet sich am Markt 11 in Berka Werra. Für die Auswertung mit der Webdienstapplikation wurde die unten gezeigte Fotoaufnahme (Format Jpeg) verwendet.

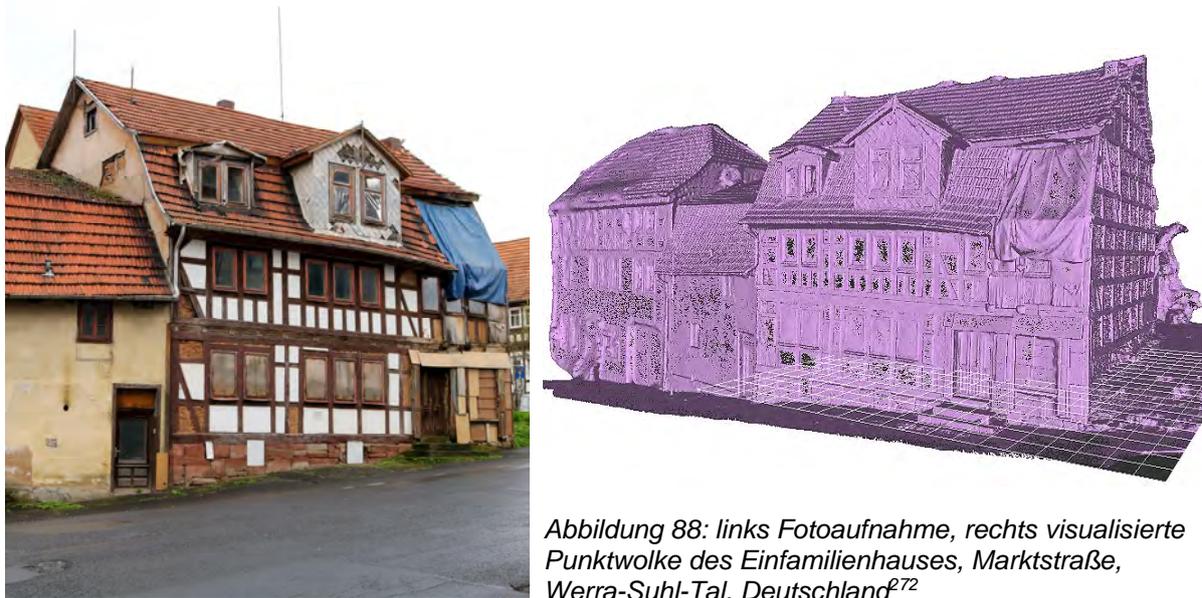


Abbildung 88: links Fotoaufnahme, rechts visualisierte Punktwolke des Einfamilienhauses, Marktstraße, Werra-Suhl-Tal, Deutschland<sup>272</sup>

Die Klassifizierung erfolgt anhand von der Fotoaufnahme mit dem Ergebnis: beschädigt (B)

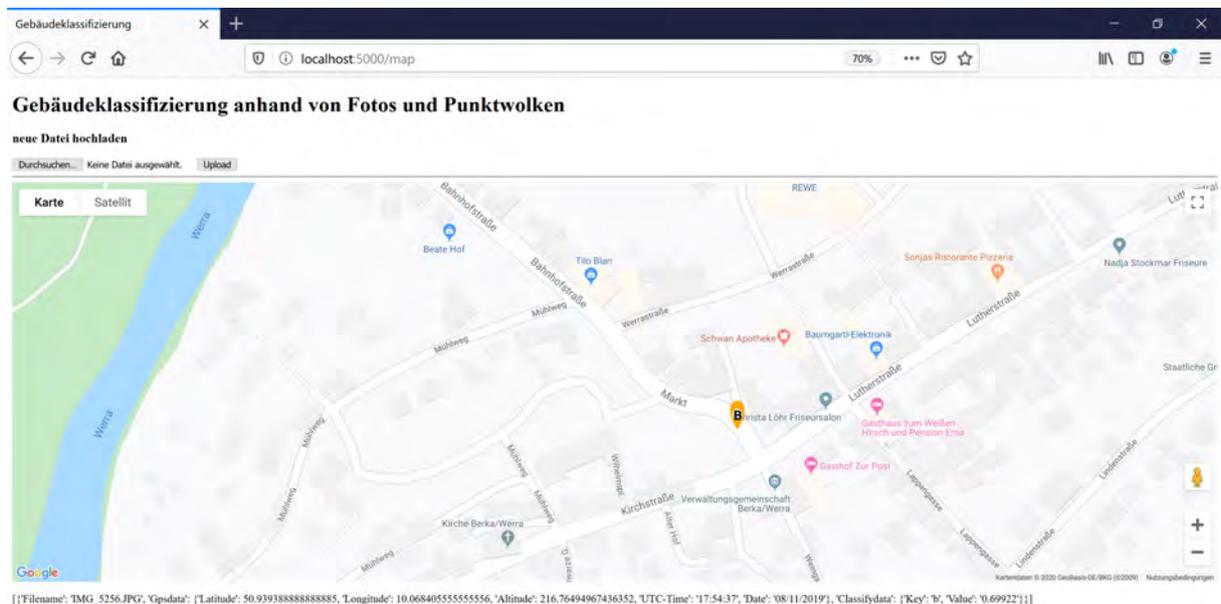


Abbildung 89: Die Fotoauswertung des Einfamilienhauses in Werra-Suhl-Tal. Das Gebäude wurde als beschädigt klassifiziert.<sup>273</sup>

<sup>272</sup> Eigene Aufnahme, eigene Darstellung

<sup>273</sup> Eigene Darstellung mit der entwickelten Webapplikation auf Basis auf Google Maps API

### 10.9 Fallbeispiel 9: Munitionsfabrik, Hirschhagen, Deutschland

Die Munitionsfabrik Hirschhagen Hessisch Lichtenau war eine in der Zeit des Nationalsozialismus ab 1936 nördlich der Kleinstadt Hessisch Lichtenau errichtete Sprengstofffabrik. Die beschädigte Fabrik hat drei Geschosse und ist momentan leer und der Zutritt ist verboten.



Abbildung 90: Fotoaufnahme der Eingangsseite (Vorderansicht) der Munitionsfabrik<sup>274</sup>

#### Gebäudeklassifizierung anhand von Fotos und Punktwolken



Abbildung 91: Die Fabrik wurde unter Kategorie (B: beschädigt) klassifiziert<sup>275</sup>

<sup>274</sup> Eigene Aufnahme

<sup>275</sup> Eigene Darstellung mit der entwickelten Webapplikation auf Basis auf Google Maps API

### 10.10 Fallbeispiel 10: Gehry Bauten in Neuer Zollhof 1-3, Düsseldorf

Dieses Beispiel ist ein Bauwerk, das aus drei Gebäuden namens „Gehry Bauten“ besteht. Der US-amerikanische Architekt Frank Gehry entwarf die Gebäude mit dekonstruktivistischem Baustil. Dies Beispiel wurde ausgewählt, um die Software mit einem außergewöhnlichen Architekturstil zu erproben.



Abbildung 92: Kameraaufnahme eines Gebäudes der Gehry Bauten in Düsseldorf<sup>276</sup>

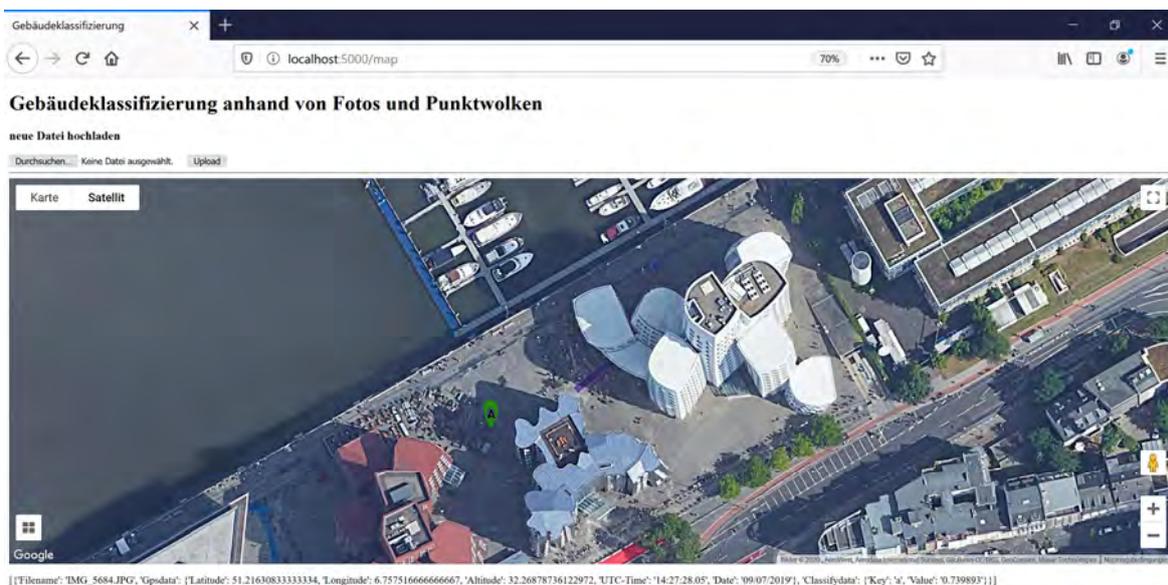


Abbildung 93: Das Ergebnis weist keine Schäden auf und das Gebäude wurde in der Kategorie (A) klassifiziert<sup>277</sup>

<sup>276</sup> Eigene Aufnahme

<sup>277</sup> Eigene Darstellung mit der entwickelten Webapplikation auf Basis auf Google Maps API

### 10.11 Fallbeispiel 11, Eine Moschee, Stadtmitte Latakia, Syrien

Die Moschee wurde im Jahr 2005 in der Stadt Latakia fertiggebaut. Der Baustil der Moschee spiegelt eine moderne Architektur wider.

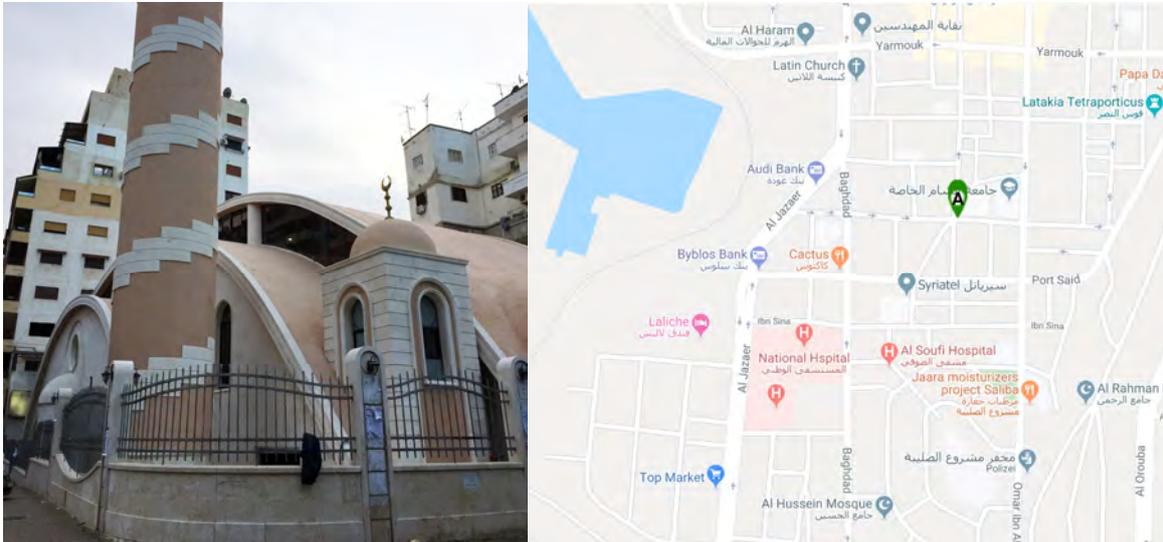


Abbildung 94: links: Fotoaufnahme der Moschee, rechts: Das Auswertungsergebnis mit Kategorie (A)<sup>278</sup>

### 10.12 Fallbeispiel 12: Ein Gebäude in dem historischen Bur Dubai Viertel, Dubai, VAE.

Das Gebäude weist eine gemischte Nutzung (Restaurant und Wohneinheiten) auf.

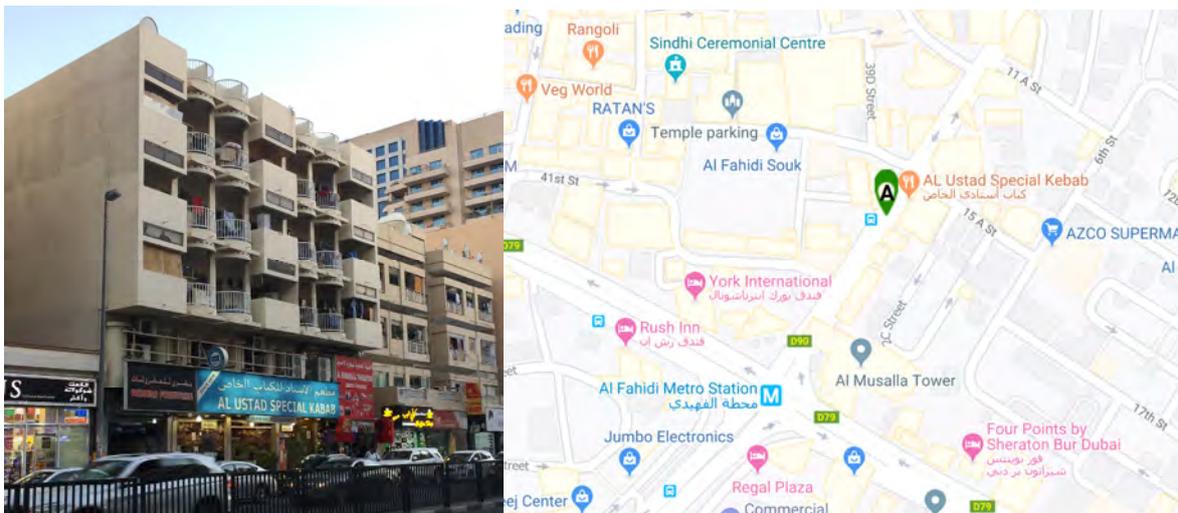


Abbildung 95: Links: Fotoaufnahme des Hauses, rechts: Das Ergebnis weist bei diesem Gebäude wiederum keine Schäden auf und stellt das Gebäude unter die Kategorie (A)<sup>279</sup>

<sup>278</sup> Eigene Aufnahme, eigene Darstellung mit der Webapplikation auf Basis der Google Maps API

<sup>279</sup> Eigene Aufnahme, eigene Darstellung mit der Webapplikation auf Basis auf Google Maps API

### 10.13 Fallbeispiel 13, Ein Hochhaus in Beirut, Libanon



Das Hochhaus steht in Raouché in Beirut, Libanon.

Es wurde mit dem Beispiel erprobt, wie die Software auf Nachtfotos reagiert. Dafür wurde ein Foto, welches mit einem Smartphone abends bei geringer Beleuchtung aufgenommen wurde, mit der Stand-alone-Software ausgewertet.

Die Stand-alone-Endsoftware erkannte das Gebäude als normal und klassifizierte es unter der Kategorie A als unbeschädigt.

Foto klassifizieren

PW klassifizieren    normal (A): **0.683695**    beschädigt (B): 0.216724    zerstört (C): 0.099580

Abbildung 96: (Oben) Abendfotoaufnahme mit einem Smartphone - (unten) Das Ergebnis weist bei diesem Gebäude wiederum keine Schäden auf und stellt das Gebäude unter die Kategorie (A)<sup>280</sup>

### 10.14 Fallbeispiel 14: Historische Funde, Heraklion, Griechenland

Eine Fotoaufnahme mit der Webapplikation ausgewertet. Das Ergebnis ist Kategorie C.

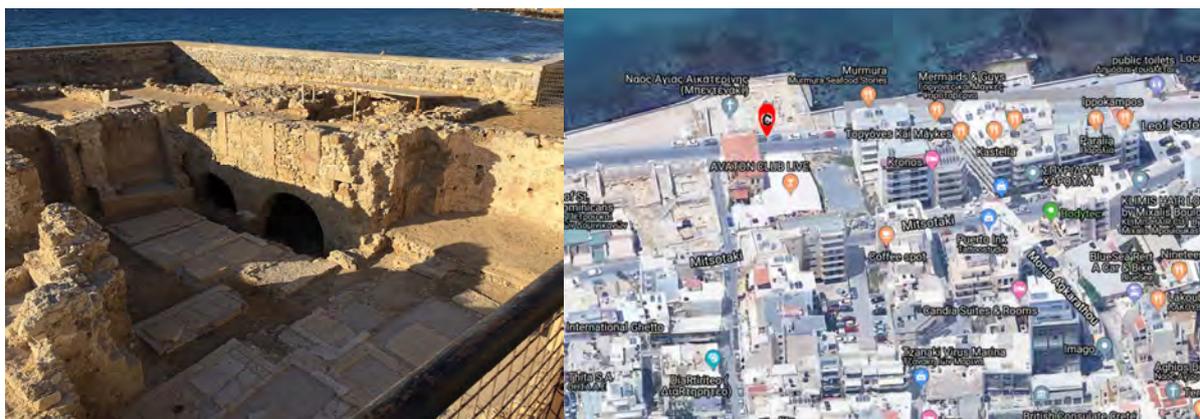


Abbildung 97: (Links) Fotoaufnahme des Ortes – (rechts) Das Klassifizierungsergebnis (Kategorie C)<sup>281</sup>

<sup>280</sup> Eigenen Aufnahme, eigene Darstellung

<sup>281</sup> Eigene Aufnahme, eigene Darstellung mit der Webapplikation auf Basis auf Google Maps API

## Kapitel 11 - Diskussion der Ergebnisse

### 11.1 Validierung eines Ergebnisses

Einige der Auswertungsergebnisse wurden durch das im Kapitel 9 (Validierung) beschriebene Validierungsverfahren überprüft, um die Richtigkeit der durch die entwickelten Softwares ausgewerteten Ergebnisse festzustellen. Dafür wurde zufällig zuerst das Fallbeispiel 8 (ein Einfamilienhaus in Werra-Suhl-Tal) als Stichprobe ausgewählt. Anhand einer Vorzustandsansicht wurde durch das Validierungsverfahren genauso wie bei dem Auswertungsergebnis der Webapplikation festgestellt, dass das Einfamilienhaus beschädigt ist. Eine zusätzliche Validierung durch die Überprüfung von Menschen zeigte wiederum, dass das Einfamilienhaus sanierungsbedürftig ist.



Abbildung 98: Auswertungsergebnisse der Webapplikation und der Validierungssoftware des Familienhauses<sup>282</sup>

Die ausgewerteten Fallbeispiele 4 (eine Scheune in Norcia, Italien) und 15 (Historische Funde in Heraklion, Griechenland) wurden durch eine menschliche Betrachtung validiert und es wurde festgestellt, dass die Auswertungsergebnisse mit den Validierungsergebnissen übereinstimmen.



Abbildung 99: Auswertungsergebnisse der Fallbeispiele in Norcia (links) und Heraklion (rechts)<sup>283</sup>

<sup>282</sup> Eigene Darstellung

<sup>283</sup> Eigene Darstellung

Die menschliche Validierung erfolgte durch eine Umfrage und wurde von Fachleuten und Experten aus den Bereichen Architektur, Bauingenieurwesen, Umweltingenieurwesen und Katastrophenschutz durchgeführt. Die Auswertungen der Fragebögen führten zu den folgenden Ergebnissen:

- Kategorie B (beschädigt) für das Einfamilienhaus in Werra-Suhl-Tal (Fallbeispiel 8)
- Kategorie C (zerstört) für die Scheune in Norcia (Fallbeispiel 4)
- Kategorie C (zerstört) für die historischen Funde in Heraklion (Fallbeispiel 15)

Die Ergebnisse stimmen mit den Auswertungsergebnissen der entwickelten Softwares überein. Darauf aufbauend konnte sichergestellt werden, dass die entwickelten Softwares richtige Ergebnisse liefern und einsatzbereit sind.

### **11.2 Diskussion der Auswertungsergebnisse**

Die von den ausgewerteten Fallbeispielen erzielten Ergebnisse und die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden zunächst anhand der im ersten Kapitel erwähnten Thesen diskutiert. Danach wird erläutert, ob die entwickelten Softwares dabei helfen, die in dieser Arbeit definierte Problemstellung zu lösen und damit das Ziel der Arbeit zu erreichen.

These 1: Zugänglichkeitsbeschränkung und damit verbundene Erreichbarkeitsschwierigkeiten lassen den Prozess in Verzug geraten. Das ist vor allem im Fall einer Freisetzung von Schadstoffen von Bedeutung.

Die entwickelten Softwares können anhand von diversen Datentypen, die durch vielfältige technische Geräte aufgenommen werden können, eine genaue Auswertung liefern. Dies bietet eine große Flexibilität und Effizienz bei dem Einsatz von Aufnahmegeräten im Fall schwerer Erreichbarkeit des betroffenen Ortes. Auch wenn gar kein Zugang möglich ist, können die Softwares anhand von Satellitenbildern Ergebnisse liefern.

These 2: Fehlende Quellen und Mangel an vollständigen Datenbanken erschweren das Treffen der richtigen Entscheidungen und führen bei Planern zu Unsicherheit.

Eine sehr präzise Auswertung eines Gebietes mit mehreren Gebäuden benötigt in der Regel eine vollständige Aufnahme jedes Gebäudes, wie in der Abbildung 64 des Kapitels 8 beschrieben. Allerdings ermöglichen die entwickelten Softwares, eine Auswertung durchzuführen, auch wenn nur minimale Daten vorhanden sind. Diese Möglichkeit führt zu einer Reduzierung des sonst großen Zeit- und Bearbeitungsaufwandes beim Umgang mit vielen Aufnahmen.

These 3: Das Kerndreieck des Prozesses besteht aus Dauer, Kosten und Aufwand. Diese werden auch die wirtschaftlichen Faktoren genannt. Dazu gehören aber ebenso die damit

einhergehenden Risiken und die benötigte Genauigkeit. Alle fünf Elemente repräsentieren die Wirtschaftlichkeit. Die Optimierung des Zusammenhangs dieser Elemente führt zur deutlichen Verbesserung in Planung, Ausführung und bei den Endergebnissen.

Eine Optimierung der fünf erwähnten Faktoren erfolgt mithilfe der entwickelten Softwares. Die wichtigen Aspekte hierbei sind:

- Minimaler Personalaufwand für die Bedienung der entwickelten Softwares sowie für die Bearbeitung der Aufnahmen, da die Softwares die unbearbeiteten Aufnahmen diverser Typen und Formate bewerten. Damit wird der gesamte Aufwand reduziert.
- Das Training des KNN der Softwares ermöglicht eine hohe Genauigkeit bei der Auswertung.
- Die Flexibilität bei der Aufnahme ist möglich, da die Softwares wiederum diverse Typen der Daten auswerten können. Diese Flexibilität verringert das Risiko und ermöglicht eine Ersparnis bei den Kosten für Aufnahme der Daten.

These 4: Die vorhandenen Auswertungssysteme basieren auf menschlichen Entscheidungen und sind daher aufwändig und langsam, was den Wiederaufbauprozess beeinträchtigt.

Die entwickelten Softwares basieren im Kern auf einem künstlichen neuronalen Netzwerk, das durch passendes Training die Fähigkeit besitzt, eine Klassifizierung ohne menschlichen Einfluss durchzuführen. Dies schließt die menschlichen emotionalen Wirkungen auf die Entscheidungen aus und führt dementsprechend zu einem neutralen Entscheidungsprozess.

Die Auswertungen von mehreren Fallbeispielen sowie die Validierung von deren Ergebnissen spiegeln eine Optimierung der in Kapitel 1 definierten Problemstellung wider und zeigen, dass das Ziel dieser Forschung mit der Entwicklung der Softwares erreicht wurde.

## **Kapitel 12 - Fazit und Ausblick**

Im 10. Kapitel dieser Arbeit wurden die drei entwickelten Softwares dargestellt und deren Anwendungen ausführlich beschrieben. Darauf aufbauend wurde als eine Kombination der drei Softwares eine Stand-alone-Endsoftware mit einer benutzerfreundlichen Bedienungsfläche entwickelt und ebenso beschrieben. Auf Basis dieser Software wurde eine interaktive Webapplikation zur Klassifizierung von Gebäuden anhand von Punktwolken- und Fotodaten entwickelt, welche den Nutzern eine einfach zu bedienende Benutzerfläche anbietet und die Klassifizierungsergebnisse in Form einer Geo-Karte darstellt. Die im ersten Kapitel definierten Probleme und die daraus abgeleiteten Thesen werden durch die Optimierung der nach der Katastrophe ergriffenen Maßnahmen und des Bewertungsprozesses der Daten dank der entwickelten Softwares aufgehoben. Die entwickelten Softwares ermöglichen eine bessere Kontrolle der beeinflussenden Hauptfaktoren durch die Verringerung des Zeit- und Bearbeitungsaufwandes sowie der Kosten und den möglicherweise entstehenden Risiken, gleichzeitig erhöht sich die Genauigkeit der gesammelten Daten, was dem Ziel aus dem ersten Kapitel dieser vorliegenden Arbeit entspricht. Die entwickelten Softwares können eine große Gruppe von Daten diverser Typen und Formaten bearbeiten und diese in sehr kurzer Zeit auswerten, was die Effizienz und Flexibilität dieser Softwares erhöht und den Einsatzbereich vergrößert.

Öffentliche, private und internationale Sektoren sowie neutrale und gemischte Sektoren dienen als die Hauptzielgruppen, die am meisten von diesen Softwares profitieren können und deren Arbeit durch den Einsatz der Softwares erleichtert und beschleunigt werden kann. Dies wird durch die Erprobung an zahlreichen realistischen Fallbeispielen, die aus diversen Kulturkreisen stammen, welche für unterschiedliche Bauweisen und Architekturstile stehen, unter Beweis gestellt. Außerdem bieten die Softwares eine große Auswahl von Einsatzbereichen an, in denen sie problemlos funktionieren und mit einem geringen Personalaufwand zuverlässige Informationen teilautomatisiert liefern. Dies ist von großer Bedeutung nach einer Katastrophe, wo Chaos herrscht und die Rettungs- und Datenaufnahmemaßnahmen in einem gegenseitigen Abhängigkeitsverhältnis stehen. Genau dann ist der Bedarf an Information und aktuellen Daten zur Auswertung hoch, wobei diese Informationen schnellstmöglich zur Verfügung gestellt werden sollen.

Die entwickelten Softwares erledigen die Datenauswertungsaufgabe anhand der gesammelten Informationen, auch wenn diese nicht sortiert zur Verfügung gestellt werden, und können je nach Katastrophe währenddessen oder kurz danach eingesetzt werden. Die zur Auswertung gestellten Daten können mit unterschiedlichen Geräten aufgenommen werden und deswegen ermöglichen diese Softwares wiederum eine Flexibilität bei den Aufnahmen. Dies

reduziert den Zeit- sowie den Bearbeitungsaufwand und verringert das Risiko für die Menschen durch die flexiblen Bearbeitungsmöglichkeiten von diversen Aufnahmedaten. Nicht nur die kurz nach der Katastrophe zu treffenden Maßnahmen werden positiv beeinflusst, sondern auch später zu ergreifende Maßnahmen in den darauffolgenden Phasen.

Die durch den Einsatz der Webapplikation gesammelten Daten werden automatisch abgespeichert und dienen der späteren Bearbeitung für die mittelfristigen und langfristigen Katastrophenmaßnahmen. Die Softwares ermöglichen auch eine schrittweise Aktualisierung der Lage im Fall von zusätzlichen Aufnahmen. Im Endeffekt können die Auswertungen dieser Softwares von unterschiedlichen Beteiligten für diverse Zwecke verwendet werden, wobei keine spezifischen Fachkenntnisse für die Bedienung dieser Softwares erforderlich sind.

Allerdings benötigen diese Softwares passende Datenbanken für das Training des künstlichen neuronalen Netzwerkes, die sorgfältig erstellt werden müssen, sonst wird die Genauigkeit der Datenauswertungen negativ beeinflusst. Außerdem müssen die Programmierungspakete im Fall der Stand-alone-Version auf dem verwendeten Rechner installiert werden. Im Fall der Webdienst-Version ist das nicht nötig, denn die Webapplikation bzw. das Programmierpaket muss nur einmalig auf dem Server des Dienstes installiert werden. Der Nutzer benötigt dafür lediglich eine Internetverbindung. Die Webdienst-Version ermöglicht außerdem eine Steuerung der Software aus der Ferne, was wiederum mehr Flexibilität und Zeiteinsparung bedeutet und das Risiko minimiert, da die Aufnahmen und deren Auswertungen mit diesem Dienst aus großem räumlichen Abstand kontrolliert erfolgen können. Mithilfe dieser Softwares wird eine Klassifizierung der Gebäude anhand von Satelliten-, Kamera-, Roboter- und Drohnensfotos, sowie von durch diversen Laserscanningsverfahren erfassten Punktwolken dargestellt.

Die mit den Softwares durchgeführte Gebäudeklassifizierung basiert jedoch nur auf den äußeren Schadenausmaßen. Das heißt, dass nur die äußere Ansicht der Gebäude berücksichtigt wird, was nur für bestimmte Maßnahmen, wie zum Beispiel für die Rettungsaktionen oder für eine schnelle Schätzung der wirtschaftlichen Verluste eines Gebiets geeignet ist. Eine genauere Auswertung verlangt zusätzlich zu den gelieferten Ergebnissen eine weitere Betrachtung sowie eine Untersuchung des Inneren der Gebäude. Die Qualität der gelieferten Ergebnisse hängt von dem Aufnahmedeckungsbereich des Gebäudes ab. Daher muss das Gebäude für eine bestmögliche Auswertung von allen Seiten sowie von oben eingescannt bzw. aufgenommen werden, was beispielsweise durch zwei diagonal aufgenommene Fotos erfolgen kann. Dies sorgt für eine richtige Auswertung und Klassifizierung, was wiederum die Planung der Maßnahmen beeinflusst.

Die in dieser Arbeit entwickelte Webapplikation verfügt über keine Ebenenstruktur und kann deswegen momentan keine Option zur Zwischenspeicherung anbieten. Die Auswertung von

Punktwolken kann aufgrund ihrer Speichergrößen und dem Online-Hochladen der Punktwolken lange dauern. Es ist deswegen empfehlenswert, kleine Punktwolkendaten auszuwerten. Durch die Entwicklung oder Verwendung einer komplexeren Struktur können die bereits gelieferten Ergebnisse zwischengespeichert und zu einem anderen Zeitpunkt oder von einem anderen Nutzer weiterbearbeitet werden. Die drei festgelegten Klassifizierungskategorien können auch bei einer Anpassung des verwendeten künstlichen neuronalen Netzwerks erweitert werden und zu einer besseren Unterscheidung der Gebäude gemäß deren Schadensanteilen erfolgen.

Außerdem findet die Auswertung der Daten erst nach der Aufnahme und nicht in Echtzeit statt. Das liegt an dem in der Softwareentwicklung eingesetzten künstlichen neuronalen Netzwerk. Eine Optimierung durch den Einsatz eines anderen dafür passenden künstlichen Netzwerks mit passender Hardware könnte dazu führen, die Daten ähnlich wie beim autonomen Fahren in Echtzeit zu analysieren und die Ergebnisse sekundenmäßig zu liefern. Eine Erweiterung der drei Klassifikationskategorien kann zu einer Verfeinerung der Klassifikation führen. Diese kann aus technischer Sicht problemlos erfolgen, da das im Kern der entwickelten Software eingesetzte KI-Netz erweiterbar ist. Dafür sind Aussagen und Bewertungsmaßstäbe von Experten notwendig, damit die Daten zum Training des KI-Netzes in richtiger Form sortiert und verwendet werden können.

Bei der Stand-alone-Version können die Aufnahmedaten nur einzeln ausgewählt und klassifiziert werden. Hier ist zu überlegen, dass eine Weiterentwicklung dieses Aspektes sinnvoll sein kann, sodass ein Ordner mit den auszuwertenden Aufnahmedaten als Ganzes ausgewählt werden kann, was die Auswertung der Daten erheblich beschleunigen würde.

## Verzeichnisse

### Abkürzungsverzeichnis

3D: Three dimensional / dreidimensional

ALS: airborne Laserscanning / Laserscanning aus der Luft / luftgestütztes Laserscanning

API: Application programming interface / Programmierschnittstelle

ASCII: American Standard Code for Information Interchange

AST: Abstract Syntax Trees / abstrakte Syntaxbäume

BIP: Bruttoinlandsprodukt

bzw.: Beziehungsweise

CAD: computer-aided design / rechnerunterstütztes Konstruieren

CCD: Charge Coupled Device / Ladungsträgergekoppelte Schaltung /

CES: Consumer Electronics Show

CNN: Convolutional neural network / faltendes neuronales Netzwerk, Faltungsneuronale Netze

CPU: Central Processing Unit / zentrale Prozessoreinheit

CSS: Cascading Style Sheets

DGPS: Differential Global Positioning System

DNN: Deep neural network / Tiefes künstliches neuronales Netzwerk

FC: Fully connected

Flask: Full Stack

FZI: Forschungszentrum Informatik in Karlsruhe

GB: Gigabyte

GIF: Graphics Interchange Format

GIS: Geoinformationssysteme, Geografische Informationssysteme

GPS: Global Positioning System

GPU: Graphics Processing Unit / Grafikprozessoreinheit

GRADE: Global RApid post-disaster Damage Estimation / Globaler Schneller Ansatz zur Schätzung von Schäden nach Katastrophen

GUI: graphical user interface / Grafische Benutzeroberfläche

GZS: Grenzwert für zulässige Strahlung

HPE: Hewlett-Packard Enterprise

HTML: Hypertext Markup Language

Hz.: Hertz (Einheit)

IBM Q: IBM Quantum Computing

ILSVRC: ImageNet Large Scale Visual Recognition Competition

IMU: inertial measurement / inertielle Messeinheit

IoT: Internet of Things / Internet der Dinge

IQ: Installation Qualification

ISO: Internationale Organisation für Normung

JPEG: Joint Photographic Experts Group

KNN: künstliches neuronales Netzwerk

Ladar: laser detection and ranging / Detektion mittels Laser- und Abstandsmessung

Laser: light amplification by stimulated emission of radiation

Lidar: light detection and ranging / Detektion mittels Licht- und Abstandsmessung

LISP: LISt Processing language / Listen-Verarbeitungs-Sprache

MASER: Microwave amplification by stimulated emission of radiation

ML: maschinelles Lernen

MLS: mobiles Laserscanning

MZB: maximal zulässige Bestrahlung

NiN: Netzwerk in Netzwerk

NumPy: Numeric Python

o. g.: oben genannt

OpenCV: Open Computer Vision

OQ: Operational Qualification

PC: Personal Computer

PCD: Point Cloud Data

PCL: Point Cloud Library

PDNA: Post-Disaster Needs Assessment / Deutsch: Bedarfschätzung für die Zeit nach der Katastrophe

PNG: Portable Network Graphics

PQ: Performance Qualification

PW: Punktwolke

Radar: radio detection and ranging / funkgestützte Richtungs- und Abstandsmessung

RAW: Radial-Axial-Walzwerk

ReLU: rectified linear unit

Resnet: Residual Network

SUV: Sport Utility Vehicles

SyNAPSE: Systems of Neuromorphic Adaptive Plastic Scalable Electronics

TIFF: Tagged Image File Format

TKinter: Toolkit interface

TLS: terrestrisches Laserscanning

TOF: Time of flight

VAE: Vereinigte Arabische Emirate

VFE: Voxel-Feature-Encoding-Schicht

VFX: visual effects / visuelle Effekte

VGGNet: Visual Geometry Group Network

VSCoDe: Visual Studio Code

z. B.: zum Beispiel

ZB: Zettabytes

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Weltkarte mit Katastrophen, die durch Natur und Menschenhand in den Jahren 2011, 2013, 2015 und 2018 verursacht wurden .....	2
Abbildung 2 Darstellung der Faktoren: Dauer, Aufwand (Menschen), Kosten, Genauigkeit und Risiko in zwei Fallbeispielen sowie in einem optimalen Zustand .....	6
Abbildung 3: grafische Darstellung des Entwicklungsverlaufs einer Katastrophe, mögliche Probleme und Lösungsansätze bei der Bestimmung von dadurch entstandenen Schäden...	7
Abbildung 4: Entwicklungsverlauf einer Katastrophe zwischen Vor- und Soll-Zustand. Der Zielbereich dieser Forschung befindet sich in der Zeit nach der Katastrophe .....	8
Abbildung 5 grafische Darstellung der Zielgruppen dieser Forschungsarbeit und deren gegenseitiges Kooperationsverhältnis .....	9
Abbildung 6: Sechsstufige Methodik dieser Arbeit.....	12
Abbildung 7: Verfügbare Informationen von internationalen Datenquellen, nach Naturkatastrophen, Detaillierungsgrad und Zustellgeschwindigkeit kategorisiert.....	16
Abbildung 8: grafische Darstellung der Fähigkeiten und der Anwendungsfelder der künstlichen Intelligenz.....	19
Abbildung 9 Entwicklungsverlauf einer Krise, mögliche Wandlung von Krise zu Katastrophe im Verhältnis zum Risikoverlauf.....	22
Abbildung 10: Katastrophentypen, welche durch natürliche oder anthropogene Ursachen auftreten und Zerstörungen an Gebäuden verursachen.....	23
Abbildung 11: grafische Darstellung der wichtigsten Stationen in der KI-Entwicklungsgeschichte .....	27
Abbildung 12: grafische Darstellung der Erfolgsfaktoren der künstlichen Intelligenz.....	31
Abbildung 13: Grafische Darstellung des Verhältnisses bei der Lösung einer Aufgabe zwischen Menschen, traditionelle Computer und KI-Systeme .....	32
Abbildung 14: skizzenhafte Darstellung eines menschlichen Neurons.....	33
Abbildung 15: skizzenhafte Darstellung eines künstlichen Neurons (Perzeptron).....	34
Abbildung 16: Einige Aktivierungsfunktionen .....	35
Abbildung 17: Grafische Darstellung eines künstlichen Netzwerkes mit mehreren miteinander gekoppelten künstlichen Neuronen .....	36
Abbildung 18 Grafische Darstellung eines einfachen „Feed Forward Netzes“, wobei die Signale nur in Richtung Ausgabe weitergeleitet werden.....	37
Abbildung 19: Grafische Darstellung eines einfachen wiederkehrenden neuronalen Netzes	37

Abbildung 20: Grafische Darstellung eines Faltungsneuronalen Netzes .....	38
Abbildung 21: optische Messverfahren durch berührungsloses Laserscanning .....	42
Abbildung 22: Prinzip des Triangulationsmessverfahrens .....	43
Abbildung 23: Prinzip des Triangulationssensors. ....	44
Abbildung 24: Prinzip des Laufzeitmessverfahrens. ....	45
Abbildung 25: Prinzip von einer Phasendifferenz .....	46
Abbildung 26: Prinzip des Phasendifferenzmessverfahrens.....	46
Abbildung 27: Grafische Darstellung einiger Spiegelsysteme in Laserscannern.....	48
Abbildung 28: grafische Darstellung des terrestrischen Laserscanningverfahrens .....	50
Abbildung 29: Prinzip und Komponente eines airborne Laserscanningverfahrens .....	54
Abbildung 30: Aufbauprinzip des Inception-Moduls / Das Reduzierungsprinzip der Parameteranzahl des Inception-Moduls .....	59
Abbildung 31: Bildschirmaufnahme für das Meschroom-Programm. Darauf ist die Erstellung einer Punktwolke (Photogrammetrie) des Gebäude K19 in Kassel .....	63
Abbildung 32: Grafische Darstellung aller Kriterien der drei Maßnahmengruppen nach Katastrophen.....	81
Abbildung 33: Grafische Darstellung der Rangfolge der Kriterien, basierend auf den Resultaten der Vergleichsmatrix. ....	85
Abbildung 34: Grafische Darstellung der Fünfeckfaktoren, die sich aus den vorherigen untersuchten Kriterien ergeben.....	86
Abbildung 35: Grafische Darstellung für die mögliche Erstellung der Raster- und Punktwolkendaten.....	88
Abbildung 36: Skizzenhafte Darstellung der Drohnenflugpläne.....	91
Abbildung 37: Grafische Darstellung der Flugbewegung beim Einsatz vom Airborne Laserscanning.....	96
Abbildung 38: Der Code einer Punktwolkendatei, Format PCD.....	98
Abbildung 39: Der Code einer Punktwolkendatei, Format PTS .....	99
Abbildung 40: Visualisierungsdarstellung einer Punktwolke (Format PTS) eines Einfamilienhauses in Werra-Suhl-Tal.....	100
Abbildung 41: Grafische Darstellung der auf eine Aufnahme wirkenden Aspekte.....	102
Abbildung 42: Skizzenhafte Darstellung für die Erstellung der für das Training, Validierung und Klassifizierung notwendigen Datenbanken .....	106

---

Abbildung 43: Skizzenhafte Darstellung der Haupt- und Subdatenbanken .....	106
Abbildung 44: Die angewendeten Programmiermittel für die Entwicklung der Softwares. .	108
Abbildung 45: Bildschirmaufnahme der erstellten Subordner und Daten nach einem Trainingsabschluss. ....	115
Abbildung 46: Einsortierung der Fotodaten in passenden Datenbanken für das Training des KI-Netzwerks.....	115
Abbildung 47: Darstellung der Gewichtskalibrierung beim Nachtraining mit 200 Schritten, visualisiert mit Tensorboard Visualisierung Toolkit. ....	116
Abbildung 48: Grafische Darstellung des in dieser Arbeit angewendeten KI-Netzwerks „GoogLeNet“, visualisiert mit Tensorboard Toolkit.....	117
Abbildung 49: Das Kernmodul „Inception“ des in dieser Arbeit verwendeten KI-Netzwerks, visualisiert mit „Netron“. Die letzte verborgene Schicht „Bottleneck“ ist rot markiert. ....	118
Abbildung 50: Bildschirmaufnahme der Benutzeroberfläche der ersten zwei Softwares, gestartet auf dem Betriebssystem Windows 10.....	122
Abbildung 51: Bildschirmaufnahme der Benutzeroberfläche der dritten Software, gestartet auf dem Betriebssystem Windows 10.....	123
Abbildung 52: Bildschirmaufnahme eines Codeteils der dritten Software, in dem die Umwandlung einer Punktwolke der Art PCD in eine Rasterdatei (JPG) erfolgt.....	124
Abbildung 53: Bildschirmaufnahme der Benutzeroberfläche der dritten Software, gestartet auf dem Betriebssystem Windows 10.....	125
Abbildung 54: Bildschirmaufnahme eines Teils des Codes, auf dem die Datenformate für die Software definiert werden .....	126
Abbildung 55: Bildschirmaufnahme der Homepage des entwickelten Webdiensts, geöffnet mit dem Internetbrowser Mozilla Firefox unter Windows 10. ....	127
Abbildung 56: Bildschirmaufnahme der Homepage des entwickelten Webdiensts, geöffnet mit dem Internetbrowser Mozilla Firefox unter Windows 10. ....	128
Abbildung 57: Grafische Darstellung der drei Klassifizierungskategorien.....	129
Abbildung 58: Bildschirmaufnahme des GPS -Codes, der das Lesen der GPS-Koordinaten ermöglicht .....	129
Abbildung 59: Bildschirmaufnahme der Google-Karte in Satellitensicht, auf der eine klassifizierte Fotodatei eines Gebäudes in Amatrice/Italien dargestellt ist. ....	130
Abbildung 60: Bildschirmaufnahme des Programmierpaketes der Webdienstapplikation..	131

Abbildung 61: Darstellung des Klassifizierungsergebnisses von drei Gebäuden mit der Webdienstapplikation.....	131
Abbildung 62: Grafische Darstellung des Flussdiagramms (Flowchart) der Webdienstapplikation.....	132
Abbildung 63: Grafische Darstellung des Datenflusses zwischen den diversen Datenbanken und den entwickelten Softwares .....	135
Abbildung 64: Die optimale Aufnahmerichtung für die Auswertung mit den entwickelten Softwares .....	135
Abbildung 65: Grafische Darstellung der Validierungsverfahren, die zur Verifikation der Auswertungsergebnisse der entwickelten Software eingesetzt werden .....	136
Abbildung 66: Grafische Darstellung des Funktionsprinzips der Validierungssoftware .....	139
Abbildung 67: Benutzeroberfläche der Validierungssoftware nach der Auswahl der Fotos des zu untersuchenden Gebäudes.....	140
Abbildung 68: Das Ergebnisfenster der Validierungssoftware.....	141
Abbildung 69: Bildschirmaufnahme der Terminal-Eingabeaufforderung (Macintosh High Sierra Betriebssysteme) für die Anzeige, welche Fotos ausgewählt wurden sowie deren Verzeichnispfade und die Ergebnisse in Textform.....	142
Abbildung 70:: Fotoaufnahme und Punktwolkendatei des Hotels „Regina Giovanna“ in „Pescara del Tronto“ .....	144
Abbildung 71: Bildschirmaufnahme mit dem Auswertungsergebnis (C) der Punktwolkendatei des Hotels „Regina Giovanna“ mit der Stand-alone-Endsoftware .....	144
Abbildung 72: Bildschirmaufnahme mit dem Auswertungsergebnis (C) der Fotodatei des Hotels „Regina Giovanna“ mit der Stand-alone-Endsoftware .....	145
Abbildung 73: Bildschirmaufnahme der Webapplikation mit dem Auswertungsergebnis (C) der Fotodatei des Hotels.....	145
Abbildung 74: Bildschirmaufnahme der Stand-alone-Endsoftware mit dem Auswertungsergebnis (B) der Fotodatei des Hotels .....	145
Abbildung 75: Eine Punktwolke des Seniorenwohnheims in Amatrice, Italien.....	146
Abbildung 76: Auswertung des Seniorenwohnheims anhand der Punktwolkendatei .....	146
Abbildung 77: Fotoaufnahmen diverser Wohnhäuser in Amatrice, Italien .....	147
Abbildung 78: Auswertungsergebnisse der vier Wohngebäude .....	147
Abbildung 79: (Links) Satellitenbild der Scheune, (rechts) Fotoaufnahme der Scheune in Norcia, Italien .....	148

---

Abbildung 80: Auswertungsergebnis der Scheune, Kategorie (C), zerstört.....	148
Abbildung 81: Das K19 als Punktwolke und Kameraaufnahme.....	149
Abbildung 82: Auswertungsergebnis des K19, Kategorie (B), beschädigt.....	149
Abbildung 83: Fotoaufnahme des Lernorts LEO an der Universität Kassel.....	150
Abbildung 84: Das Auswertungsergebnis auf der Geo-Karte von Google Maps mit der Kategorie A (nicht beschädigt).....	150
Abbildung 85: Draufsichtsfoto des verfallenen Gebäudes von Google Maps .....	151
Abbildung 86: Aufnahme mit Smartphone .....	151
Abbildung 87: Klassifizierungsergebnis des verfallenen Gebäudes in Eltmannhausen, Kategorie (C).....	151
Abbildung 88: links Fotoaufnahme, rechts visualisierte Punktwolke des Einfamilienhauses, Marktstraße, Werra-Suhl-Tal, Deutschland .....	152
Abbildung 89: Die Fotoauswertung des Einfamilienhauses in Werra-Suhl-Tal. Das Gebäude wurde als beschädigt klassifiziert.....	152
Abbildung 90: Fotoaufnahme der Eingangsseite (Vorderansicht) der Munitionsfabrik .....	153
Abbildung 91: Die Fabrik wurde unter Kategorie (B: beschädigt) klassifiziert .....	153
Abbildung 92: Kameraaufnahme eines Gebäudes der Gehry Bauten in Düsseldorf.....	154
Abbildung 93: Das Ergebnis weist keine Schäden auf und das Gebäude wurde in der Kategorie (A) klassifiziert .....	154
Abbildung 94: links: Fotoaufnahme der Moschee, rechts: Das Auswertungsergebnis mit Kategorie (A).....	155
Abbildung 95: Links: Fotoaufnahme des Hauses, rechts: Das Ergebnis weist bei diesem Gebäude wiederum keine Schäden auf und stellt das Gebäude unter die Kategorie (A)...	155
Abbildung 96: (Oben) Abendfotoaufnahme mit einem Smartphone - (unten) Das Ergebnis weist bei diesem Gebäude wiederum keine Schäden auf - Kategorie (A).....	156
Abbildung 97: (Links) Fotoaufnahme des Ortes – (rechts) Das Klassifizierungsergebnis (Kategorie C).....	156
Abbildung 98: Auswertungsergebnisse der Webapplikation und der Validierungssoftware des Familienhauses.....	157
Abbildung 99: Auswertungsergebnisse der Fallbeispiele in Norcia (links) und Heraklion (rechts).....	157

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Darstellung der durchschnittlichen Ergebnisse aus 50 Umfrageformularen. ....	83
Tabelle 2: Die Rangfolgematrix. Blaumarkierte Kriterien sind Kriterien der mittelfristigen Maßnahmen, können aber auf die entwickelte Software wirken.....	84
Tabelle 3: Vergleich zwischen von Grund auf neugebauten KI-Netzwerken und von Entwicklern vortrainierten KI-Netzwerken. ....	113
Tabelle 4 Vergleich aller 5 entwickelten Softwares / Vorteile und Nachteile der Softwares, wobei Vorteile blau markiert sind .....	120

## Erläuterungen zu in der Arbeit genannten Ortschaften

In dieser Arbeit wurden die entwickelten Softwares anhand verschiedener Fallbeispiele erprobt. Diese Fallbeispiele sind Gebäude unterschiedlicher Arten und stammen aus verschiedenen Ortschaften. Für Erprobungszwecke sollten Aufnahmen dieser Gebäude erstellt, sortiert und untersucht werden. Zunächst werden Informationen über einige dieser Orte gegeben.

- **Norcia** ist eine italienische Gemeinde in der Provinz Perugia und liegt 154 km nordöstlich von Rom. Norcia wurde im August und September 2016 durch eine Serie von Erdbeben in Mittelitalien betroffen und dort wurden viele Gebäude stark beschädigt. Ein großer Teil der Kirche San Salvatore brach im September 2016 zusammen. Am 30. Oktober 2016 folgte ein weiterer starker Erdstoß, der die Basilika von San Benedetto aus dem 14. Jahrhundert zum Einsturz brachte und andere Gebäude schwer beschädigte<sup>284</sup>.
- **Amatrice** ist eine italienische Gemeinde in der Provinz Rieti in der Region Latium, die 138 km nordöstlich von Rom entfernt liegt. Die Gemeinde liegt in der Erdbebenzone 1 und ist deswegen als „stark gefährdet“ eingestuft<sup>285</sup>. Wie in Norcia verursachte das Erdbeben am 24. August 2016 schwere Schäden, bei denen mindestens 299 Menschen ihr Leben verloren<sup>286</sup>. Das Epizentrum lag nördlich in der Nähe von Amatrice<sup>287</sup>.
- **Pescara del Tronto** ist ein kleines Dorf in der italienischen Provinz Ascoli Piceno und liegt in der Region Marken. Die kleine Ortschaft mit knapp 136 Einwohnern ist durch die seismischen Ereignisse in Mittelitalien im Jahr 2016 vollständig dem Erdboden gleichgemacht worden<sup>288</sup>. Nach knapp 4 Jahren ist die Ortschaft immer noch nicht bewohnbar und es befinden sich dort nur Ruinen und Trümmer<sup>289</sup>, ein Wiederaufbau

<sup>284</sup> vgl. Dr. M Stupazzini, Der nächste Dominostein, Naturkatastrophen 2016 Analysen, Bewertungen, Positionen Ausgabe 2017, Munich Re Topics Geo, Seiten 44, 46

<sup>285</sup> <http://www.protezionecivile.gov.it/risk-activities/seismic-risk/activities/seismic-classification>

<sup>286</sup> vgl. Dr. M Stupazzini, Der nächste Dominostein, Naturkatastrophen 2016 Analysen, Bewertungen, Positionen Ausgabe 2017, Munich Re Topics Geo, Seiten 43

<sup>287</sup> vgl. T. Sävert, Schweres Erdbeben in Italien, <http://www.naturgewalten.de/160824italien.htm>, abgerufen 20.07.2020

<sup>288</sup> vgl. Pescara del Tronto: un angolo di paradiso distrutto dal terremoto, 3 Juli 2018, <http://www.neveappennino.it/news/pescara-del-tronto-un-angolo-paradiso-distrutto-dal-terremoto-video-a-quasi-due-anni-sisma/>, abgerufen: 04.07.2020

<sup>289</sup> Eigene Besichtigung, Oktober 2019

ist laut der regionalen Architekturkammer aufgrund von Risikofaktoren ausgeschlossen<sup>290</sup>.

- **Berka/Werra** ist ein Ortsteil der Stadt Werra-Suhl-Tal im Wartburgkreis in Thüringen und liegt an der ehemaligen deutschen Ost-Westgrenze.
- **Hirschhagen** ist ein Industriegebiet in Hessen auf dem Gelände einer ehemaligen Sprengstofffabrik aus der Zeit des Nationalsozialismus. Es liegt in der Nähe von Hessesch Lichtenau.<sup>291</sup>
- **Eltmannshausen** ist ein Stadtteil von Eschwege im Werra-Meißner-Kreis in Hessen.
- **Heraklion** ist eine Hafenstadt und die Hauptstadt der südgriechischen Insel Kreta und mit offiziell 173.450 Einwohnern die viertgrößte Stadt Griechenlands<sup>292</sup>.
- **Beirut** ist die Hauptstadt des Libanon. Die Stadt erlebte 16 Jahre lang einen Bürgerkrieg, der zu erheblichen Zerstörungen an Infrastruktur und Gebäuden führte. Nach dem Bürgerkrieg im Jahr 1991 wurde die Stadt zum größten Teil wiederaufgebaut.
- **Latakia** ist die größte syrische Hafenstadt am Mittelmeer und zugleich Hauptstadt des Gouvernements Latakia. Die Stadt liegt ca. 50 Kilometer südlich von der türkischen Grenze und befindet sich in rund 350 km Entfernung von der syrischen Hauptstadt Damaskus. Die Westküsten Syriens liegen nördlich auf einer tektonischen Verwerfung, genannt „Totes-Meer-Verwerfung“<sup>293</sup>, die immer wieder die Ursache für häufig auftretende kräftige Erdbeben in der Region Latakia war und ist.

---

<sup>290</sup> vgl. Pescara del Tronto: un angolo di paradiso distrutto dal terremoto, 3 Juli 2018, <http://www.neveappennino.it/news/pescara-del-tronto-un-angolo-paradiso-distrutto-dal-terremoto-video-a-quasi-due-anni-sisma/>, abgerufen: 04.07.2020

<sup>291</sup> vgl. Themenweg Hirschhagen, <http://www.hessisch-lichtenau.de/kultur-tourismus/themenweg-hirschhagen.html>, abgerufen: 07.07.2020

<sup>292</sup> Municipality of Heraklio, <https://www.heraklion.gr/en>, abgerufen: 04.07.2020

<sup>293</sup> vgl. Erdbeben in Syrien, <http://www.das-erdbeben.de/syrien.htm>, abgerufen: 04.07.2020

## **Glossar**

### **Anthropogene Kriterien**

sind spezifische Merkmale, die sich auf menschliche Eigenschaften und -bedürfnisse beziehen und zur Entscheidungsfindung dienen.

### **Daten**

Daten bezeichnet alle Informationen, die im Rahmen dieser Arbeit benötigt wurden. Die durchgeführten Analysen, Verfahren und Umfragen haben „Daten“ ergeben. Die Daten dieser Arbeit gliedern sich hauptsächlich in zwei Gruppen: Fotos (Rasterdaten) und Punktwolken (Vektordaten). Weitere Daten ergeben sich aus Matrizen, Vergleichen und Umfragen.

### **Datenbank**

ist eine Stelle zum Speichern sowie zur Sortierung von zusammenhängenden Daten in digitaler beziehungsweise elektronischer Form, die den Verwaltungs- und Nutzungsbedarf dieser Daten erleichtert. Mithilfe der Datenbanken können große Datenmengen effizient, widerspruchsfrei und solange wie benötigt gespeichert werden, um diese in unterschiedlichen, bedarfsgerechten Darstellungsformen für Benutzer bereitzustellen<sup>294</sup>. Im Rahmen dieser Arbeit werden die aufgenommenen digitalen Daten (Fotos und Punktwolken), je nach Anwendungszweck, in verschiedenen Ordnern klassifiziert und gespeichert. Als Beispiel wird der Ordner „Training\_Fotos\_normal“ erstellt und in ihm werden alle Bilder der Gebäude vom Typ „Normal“, die zum Training des Programms verwendet werden, gespeichert. Nach der Klassifizierung der aufgenommenen Fotos werden diese zur weiteren Verwendung in passenden Datenbanken gespeichert, wie zum Beispiel der Datenbank „normal“, die nach der Klassifizierung die Fotoaufnahmen beinhaltet, die mithilfe der entwickelten Software als „normal“ klassifiziert wurden.

### **Drohne**

ein unbemanntes fliegendes Luftfahrzeug, das vom Boden angesteuert wird.

---

<sup>294</sup> vgl. Cloud Pilot, <https://www.cloud-pilot.de/de/glossar.html>, abgerufen: 04.07.2020

## **Flussdiagramm**

ist die deutsche Übersetzung für den englischen Begriff „Flow chart“ und bezeichnet eine grafische Darstellung eines Prozesses in nachvollziehbarer Art und Weise. Die wesentliche Aufgabe eines Flussdiagramms ist die verständliche Darstellung eines Systems- oder eines Arbeitsablaufs.

## **Gebäudezustand**

Der Gebäudezustand nach einer Katastrophe wird in dieser Arbeit in 3 Kategorien gegliedert, diese sind: normaler Zustand (unbeschädigt), beschädigt (teilweise beschädigt) und zerstört (erhebliche Schäden oder totale Zerstörungen). Die Schadensbewertung entspricht nur dem Äußeren des untersuchten Gebäudes und kann meistens mit Menschenaugen erkannt und festgestellt werden. Eine Klassifizierung anhand des Inneren der Gebäude wird in dieser Arbeit nicht betrachtet. Die drei Kategorien, die in dieser Arbeit verwendet wurden, definieren sich wie folgt:

- Normal (grünfarbiges Symbol / Buchstabe A): Das Bauwerk ist in sehr gutem Zustand und kann weiterhin benutzt/bewohnt werden. Das Innere und das Äußere des Gebäudes weist in der Regel keine oder nur minimale Schäden auf und das Gebäude kann in vollem Umfang genutzt werden, ohne dass Reparaturarbeiten erforderlich sind.
- Beschädigt (gelbfarbiges Symbol / Buchstabe B): Das Bauwerk ist teilweise in gutem Zustand und kann zum großen Teil benutzt werden. Allerdings besteht der Bedarf an Sanierung (Sanierungsbedürftig). Das Innere und/oder das Äußere des Gebäudes zeigt kleine bis mittlere Schäden, die vor einer weiteren Nutzung des Gebäudes beseitigt werden müssen.
- Zerstört (rotfarbiges Symbol / Buchstabe C): Das Bauwerk ist in schlechtem Zustand und kann nicht bewohnt oder anderweitig genutzt werden. Um die betriebliche Nutzung überhaupt zu ermöglichen, sind bei dem Gebäude große Sanierungsmaßnahmen notwendig. In den meisten Fällen wird das Gebäude aus wirtschaftlichen und statischen (konstruktiven) Gründen abgerissen und neu errichtet.

## **GPS**

ist die Abkürzung für **Global Positioning System** (deutsch *Globales Positionsbestimmungssystem*). GPS ist ein globales Navigationssatellitensystem zur Positionsbestimmung, das durch Verfügbarkeit und Bereitstellung von drei Hauptkomponenten funktioniert, diese sind:

funktionierende Satelliten im Weltraum, Bodenkontrollstationen zur Zeitkorrektur und Benutzergeräte<sup>295</sup>. In dieser Arbeit spielt GPS eine sehr wichtige Rolle, da die zur Aufnahme eingesetzten Geräte über GPS-Sensoren verfügen sollen und die Aufnahmedaten geografisch anhand der mit der Aufnahme gespeicherten GPS-Koordinaten zugeordnet werden können.

### **Input / Eingabe**

Input ist der englische Begriff aus dem IT-Bereich für „Dateneingabe“. Nach der Aufnahme-phase werden die aufgenommenen Daten zur Bearbeitung eingegeben. In dieser Form findet der Input statt.

### **Katastrophe**

Eine Katastrophe ist ein folgenschweres natürliches (z. B. Hochwasser, Tsunami, Erdbeben) oder von Menschen ausgelöstes (z. B. Krieg, Terroranschläge) Ereignis, das in großem Umfang das Leben oder die Gesundheit von Menschen, die Umwelt, das Eigentum oder die lebensnotwendige Versorgung der Bevölkerung gefährdet oder schädigt<sup>296</sup>. In bestimmten Fällen betreffen komplexe Katastrophen ausschließlich ein Gebiets, wobei die Komplexität in mehrfachen Ereignissen liegt, die gleichzeitig oder innerhalb kurzer Zeit hintereinander eintreffen. Zum Beispiel verursachten ein Tsunami und ein Erdbeben gleichzeitig erhebliche Schäden in Fukushima in Japan und zeitnah danach wurde das Atomkraftwerk dort beschädigt. Der Fall Fukushima aus dem Jahr 2011 kann als dreifache Katastrophe bezeichnet werden.

### **Künstliche Intelligenz**

(englisch *Artificial Intelligence AI*) Ganz allgemein bezeichnet die Künstliche Intelligenz, abgekürzt KI, die Möglichkeit, Maschinen intelligent zu machen, wobei bestimmte Prozesse, die auf Denken basieren, von Maschinen ohne menschlichen Einfluss erfolgen können, wie zum Beispiel Rekognitionen, Klassifikationen oder Entscheidungen.

---

<sup>295</sup> Jean-Marie Zogg, GPS und GNSS: Grundlagen der Ortung und Navigation mit Satelliten, ublox User's Guide, Seiten 45-46, Oktober 2011

<sup>296</sup> vgl. Tiroler Katastrophenmanagementgesetz, § 2 Absatz 1, Bundesland Tirol, März 2006, [https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/Lgbl/LGBL\\_TI\\_20060330\\_33/LGBL\\_TI\\_20060330\\_33.html](https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/Lgbl/LGBL_TI_20060330_33/LGBL_TI_20060330_33.html) abgerufen: 04.07.2020

### **Künstliche neuronale Netze**

sind lernfähige Netze, die die Informationsübertragung des menschlichen Nervensystems nachbilden und bestimmte Aufgaben erledigen können. Diese Netze bestehen aus miteinander vernetzten künstlichen Neuronen, die das Signal zwischen Eingabe und Ausgabe weiterleiten.

### **Laserscanning**

ist eine auf Laserstrahlung basierende Methode zur digitalen 3d-Erfassung von Bestandsobjekten. Mithilfe der Laserstrahlung und seiner Reflexion von betroffenen Punkten an dem Zielobjekt werden Referenzpunkte schrittweise in digitaler Form gespeichert, wobei jeder gespeicherte Punkt mindestens X, Y und Z Koordinaten beinhalten sollte.

### **Output / Ausgabe**

steht im IT-Bereich für „Ausgabe der Ergebnisse“. Der Output ist das Ergebnis der Bearbeitung der eingegebenen Daten. In dieser Arbeit bezieht sich dieser Begriff auf die Klassifizierung der Gebäude nach einer Katastrophe.

### **Photogrammetrie**

dient der Erstellung von digitalen 2d- sowie 3d -Modellen von Bestandsobjekten anhand von Fotos des Zielobjekts. Die aufgenommenen Bestandsfotos sollen mit passenden Softwares zusammengefügt werden, um das Modell in Form einer Punktwolke zu erstellen. In dieser Arbeit wurde die Software Meschroom eingesetzt.

### **Programmiersprache**

ist laut Duden ein System von Wörtern und Symbolen, die zur Formulierung von Programmen für die elektronische Datenverarbeitung verwendet werden<sup>297</sup>. Es geht bei einer Programmiersprache um den Aufbau einer Methode, die ein Problem löst. Programmiersprachen werden für die Erstellung von Softwares und Applikationen für Computer, Webentwicklung sowie für Digitalgeräte verwendet. Programmiersprachen können sich nach der Art und Weise des in

---

<sup>297</sup> Duden, <https://www.duden.de/rechtschreibung/Programmiersprache>, abgerufen: 04.07.2020

den Sprachen geschriebenen Codes sowie des Sprachkonzepts beziehungsweise den Algorithmen in imperative- oder nicht imperative Programmiersprachen gliedern, wobei die imperativen Programmiersprachen einen klaren Aufbau des Prozesses zur Problemlösung beinhalten, im Gegensatz dazu steht das zu lösende Problem an sich und nicht der Aufbau des Codes in nicht imperativer Programmiersprache im Vordergrund<sup>298</sup>.

### **Programmiercode**

Ein Programmier- oder auch Programmcode ist eine Folge/Abfolge von Anweisungen zur Entwicklung eines Prototyps, einer Software oder einer Webseite in Form eines lesbaren Textes gemäß einer passenden Programmiersprache. Programmiercodes werden mithilfe eines Compilers oder mit einem Interpreter bei der Verwendung automatisch in Maschinensprache übersetzt und stellen dem Computer die Vorgaben gemäß den vom Programmierer entwickelten Problemlösungsregeln zum Einsatz bereit<sup>299</sup>. In dieser Arbeit wurde das Tool *Visual Studio Code* für die Erstellung der entwickelten Programmiercodes verwendet.

### **Punktwolken**

Punktwolken sind die digitalen Daten, die durch den Einsatz von Laserscannings- oder Photogrammetrie-Prozessen erzeugt werden. Es handelt sich bei Punktwolken um eine Matrix von Punkten, wobei jeder dieser Punkte X, Y und Z Koordinaten beinhalten. Abhängig von dem verwendeten Verfahren zum Erstellen einer Punktwolke, können zusätzliche Werte mitgespeichert werden, wie zum Beispiel Farbenwerte.

### **Python**

ist eine Programmiersprache aus dem Anfang der 1990er Jahre und von Guido van Rossum in Amsterdam entwickelt<sup>300</sup>. Mit Python stehen zahlreiche Programmierbibliotheken, -tools und -schnittstellen zur Verfügung. In dieser Arbeit wurden einige dieser Tools verwendet, wie zum Beispiel Keras, Tkinter, Numpy, OpenCV und Flask.

---

<sup>298</sup> Prof. Dr. R. Lackes, LS für Wirtschaftsinformatik - Technische Universität Dortmund, Programmiersprache, <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/programmiersprache-42635>, abgerufen 20.07.2020

<sup>299</sup> Digital Guide IONOS, <https://www.ionos.de/digitalguide/websites/web-entwicklung/quellcode/>, abgerufen: 04.07.2020

<sup>300</sup> <http://www.Python.org>, abgerufen: 18.03.2019

### **Terrestrisches Laserscanning**

ist ein 3D-Erfassungsverfahren zur Objektmessung, das im Bereich des Erdniveaus durchgeführt wird.

### **Validierung**

die Feststellung, dass ein neuentwickeltes Produkt die notwendigen Anforderungen und Voraussetzungen für den praktischen Einsatz erfüllt.

## Quellenangaben

### Monographien

Albert Wiedemann (2004)

Handbuch Bauwerksvermessung Geodäsie, Photogrammetrie, Laserscanning - Springer Basel AG - Basel

Amita Kapoor (2019)

Hands-On Artificial Intelligence for IoT: Expert machine learning and deep learning techniques for developing smarter IoT systems - Packt Publishing - Birmingham-Mumbai

Ansgar Thiessen (2011)

Organisationskommunikation in Krisen, Reputationsmanagement durch situative, integrierte und strategische Krisenkommunikation - Springer VS Verlag für Sozialwissenschaften - Wiesbaden

Christian Heipke (2017)

Photogrammetrie und Fernerkundung, Handbuch der Geodäsie - Springer Spektrum – Wiesbaden

Dieter Bäuerle (2009)

Laser, Grundlagen und Anwendungen in Photonik, Technik, Medizin und Kunst - Wiley-VCH, Berlin

George Vosselman, Hans-Gerd Maas (2010)

Airborne and Terrestrial Laser Scanning - Whittles Publishing - Dunbeath

Hans Joachim Eichler, Jürgen Eichler (2003)

Laser Baumformen, Strahlführung, Anwendungen, 5. Auflage - Springer Verlag - Berlin Heidelberg

Ivan Vasilev, Daniel Slater, Gianmario Spacagna, Peter Roelants, Valentino Zocca (2019)  
Python Deep Learning: Exploring deep learning techniques and neural network architectures with PyTorch, Keras, and TensorFlow, Auflage: 2nd Revised edition - Packt Publishing - Birmingham

John Edward Hall Twelfth edition (2011)  
Gyton and Hall: Textbook of Medical Physiology - Saunders, an imprint of Elsevier Inc. Philadelphia

Michael Schuth, Wassili Buerakov (2017)  
Handbuch Optische Messtechnik Praktische Anwendungen für Entwicklung, Versuch, Fertigung und Qualitätssicherheit - Hanser - München

Oskar Grün, Andrea Schenker-Wicki (2014)  
Katastrophenmanagement: Grundlagen, Fallbeispiele und Gestaltungsoptionen aus betriebswirtschaftlicher Sicht - Springer Gabler - Wiesbaden

Paul Dobrinski, Gunter Krakau, Anselm Vogel (2010)  
Physik für Ingenieure, 12. aktualisierte Auflage - Vieweg+Teubner - Wiesbaden

Peter Buxmann, Holger Schmidt (2019)  
Künstliche Intelligenz mit Algorithmen zum wirtschaftlichen Erfolg - Springer Gabler - Berlin

Peter Gentsch (2018)  
Künstliche Intelligenz für Sales, Marketing und Service: Mit AI und Bots zu einem Algorithmic Business – Konzepte, Technologien und Best Practices - Springer Gabler - Wiesbaden

Roshdi Rashed (1990)  
A pioneer in anaclastics: Ibn Sahl on burning mirrors and lenses - Isis: Vol 81 Seiten 464-491 - University of Chicago

Siegfried Jachs (2011)  
Einführung in das Katastrophenmanagement - Buch & Netz, Virtual Management Services AG - Zürich

Subana Shanmuganathan, Sandhya Samarasinghe (2016)

Artificial Neural Network Modelling, Volume 628 - Springer International Publishing  
Switzerland

Tariq Rashid (2016)

Make your own neural Network, A gentle journey through the mathematics of neural  
networks, and making your own using the Python computer Language - Verlag: Cre-  
ateSpace Independent Publishing Platform

Wolfgang Radloff (2010)

Laser in Wissenschaft und Technik - Springer Spektrum – Wiesbaden

Wörterbuch Langenscheidt (2003)

Langenscheidt KG, Berlin und München

## **Normen**

DIN EN ISO 9000:2015-11 (D/E)

## **E-Books**

asprs, The Imaging & Geospatial Information Society (2013): LAS Specification 1.4 - R14, The  
American Society for Photogrammetry & Remote Sensing

Bentley (2011)

Pointools Software Supports Reconstruction of Russian Orthodox Church

Danilo Schneider, Stephan Maes, Bernd Grafe: Tutorial / Einführung für das Modul Objekter-  
kennung und Geodatenfusion: Point Cloud Library, TU Dresden, 24.10.2013

Discover intelligent machine control, Komatsu (2017)

Komatsu Europe International N.V. Belgien

Dr. Marco Stupazzini, Der nächste Dominostein, Naturkatastrophen 2016 Analysen, Bewer-  
tungen, Positionen Ausgabe 2017, Munich Re Topics Geo

DVW – Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement e.V., Terrestrisches Laserscanning 2017, Beiträge zum 165. DVW-Seminar, Band 88, Wißner-Verlag (2017)

DVW – Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement e.V., Terrestrisches Laserscanning 2019, Beiträge zum 184. DVW-Seminar, Band 96, Wißner-Verlag (2019)

Gottfried Hofmann, Ebook: Meshroom – Open-Source-Photogrammetrie auf einen Klick, digitalproduction.com, Ausgabe (2018): [www.digitalproduction.com](http://www.digitalproduction.com)

Iraq reconstruction and investment, part 1, Reconstruction and Development Framework (2018)

Jean-Marie Zogg, GPS und GNSS: Grundlagen der Ortung und Navigation mit Satelliten, ublox User's Guide, Seiten 45-46, (2011)

Jahresbericht 2016 | 2017, digitale Wlet, FZI Forschungszentrum Informatik, Karlsruhe (2017)

Jahresbericht 2017 | 2018, Faszination, so funktioniert Zukunft, FZI Forschungszentrum Informatik, Karlsruhe (2018)

Peter Dauscher, (2012), Aufbau und Funktionsweise eines von-Neumann-Rechners, Ein Kurs mit praktischen Übungen am Simulator „Johnny“ Version 3.0

Peter Rieger, Nikolaus Studnicka, Andreas Ullrich (2004) - Beiträge der Oldenburger 3D-Tage Laserscanning und Photogrammetrie – kombinierte Datenaufnahme und –auswertung, in Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik – Wichmann – Berlin

Rashmin Gunasekera, James Daniell, Antonios Pomonis, Rodrigo Andres, Donoso Arias, Oscar Ishizawa, Harriette Stone - Methodology Note on the Global RAPid post-disaster Damage Estimation (GRADE) approach, Global Facility for Disaster Reduction and Recovery (2018)

Terry Jeggle, lead writer, and Marco Boggero, Post-Disaster Needs Assessment PDNA, Lessons from a Decade of Experience (2018)

Yin Zhou, Oncel Tuzel, VoxelNet: End-to-End Learning for Point Cloud Based 3D Object Detection. The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition - CVPR, (2018)

Prof. Dr.-Ing. Volkhard Franz, SPB I Teilmodul Bauverfahrenstechnik BO2, Verfahrenstechnik im Baubetrieb und Grundlagen der industriellen Fertigung, Universität Kassel (2018)

Prof. Dr. Werner Dilger, Einführung in die künstliche Intelligenz, Vorlesung an der Technischen Universität Chemnitz (2006)

### **Dissertationen**

Daniel Eggert, Effiziente Verarbeitung und Visualisierung von Mobile Mapping Daten, Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (2017)

### **Forschungsberichte**

Christian Szegedy, Wei Liu, Yangqing Jia, Pierre Sermanet, Scott Reed, Dragomir Anguelov, Dumitru Erhan, Vincent Vanhoucke, Andrew Rabinovich (2015) - Going deeper with convolutions CVPR2015 Inception Paper

Francesca Negrello, Alessandro Settimi, Danilo Caporale, Gianluca Lentini, Mattia Poggiani, Dimitrios Kanoulas, Luca Muratore, Emanuele Luberto, Gaspare Santaera, Luca Ciarleglio, Leonardo Ermini, Lucia Pallottino, Darwin G. Caldwell, Nikolaos Tsagarakis, Antonio Bicchi, Manolo Garabini, Manuel Giuseppe Catalano (2018) - Humanoids at work: the WALK-MAN robot in a post-earthquake scenario

German Novikov, Alexey Trekin, Georgy Potapov, Vladimir Ignatiev, Evgeny Burnaev: Satellite Imagery Analysis for Operational - Damage Assessment in Emergency Situations, Skolkovo institute of Science and technology, Moscow 2018

Henry B. Hodde III (2012) - The damage assessment process: evaluating coastal storm damage assessments in Texas after hurricane Ike, The University of Houston Clear Lake

Jeff Donahue, Yangqing Jia, Oriol Vinyals, Judy Hoffman, Ning Zhang, Eric Tzeng, Trevor Darrell (2013) - DeCAF: A Deep Convolutional Activation Feature for Generic Visual Recognition, UC Berkeley & ICSI, Berkeley, CA, USA

Michelle Annette Meyer, Marccus D. Hendricks (2018) Using Photography to Assess Housing Damage and Rebuilding Progress for Disaster Recovery Planning- Journal of the American Planning Association, Volume 84, 2018 - Issue 2

Rashmin Gunasekera, James Daniell, Antonios Pomonis, Rodrigo Andres Donoso Arias, Oscar Ishizawa, and Harriette Stone: An innovation to Disaster Response: The Global Rapid-post-disaster Damage Estimation (GRADE) Approach, Geophysical Research Abstracts 2018

Sara Gonizzi Barsanti, Fabio Remondino, Domenico Visintini (2012) Photogrammetry and Laser Scanning for Archaeological Site 3D Modeling - Some Critical Issues  
University of Trieste, University of Udine, Italy

Zhou Wang, Alan C. Bovik, Fellow, Hamid R. Sheikh, Eero P. Simoncelli (2004) Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, VOL. 13, NO. 4

### Internetquellen

Adobe (Zugriff: 18.07.2019)

<https://helpx.adobe.com/de/photoshop/using/file-formats.html>

Adrian Rosebrock, Image Difference with OpenCV and Python (Zugriff: 16.04.2019)

<https://www.pyimagesearch.com/2017/06/19/image-difference-with-opencv-and-python/>

Apache License, Version 2.0: 2004 (Zugriff: 03.05.2019)

<http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0>

Bernhard Haselbauer, Open Source und KI (Zugriff: 17.02.2019)

<https://www.trendreport.de/open-source-und-ki/>

Charles Thomson, Common 3D point cloud file formats (Zugriff: 03.012.2019)

<https://info.vercator.com/blog/what-are-the-most-common-3d-point-cloud-file-formats-and-how-to-solve-interoperability-issues>

CloudCompare (Zugriff: 12.12.2019)

<https://www.cloudcompare.org/doc>

Cloud Pilot, Glossar (Zugriff: 02.07.2020)

<https://www.cloud-pilot.de/de/glossar.html>

Digital Guide IONOS (Zugriff: 04.07.2020)

<https://www.ionos.de/digitalguide/websites/web-entwicklung/quellcode/>

Dipartimento della Protezione Civile, Seismic Risk (Zugriff: 04.07.2020)

<http://www.protezionecivile.gov.it/risk-activities/seismic-risk/activities/seismic-classification>

Duden Online (Zugriff: 05.07.2020)

<https://www.duden.de/rechtschreibung/Programmiersprache>

DZNE-Presse, Neue Computerarchitektur: Zeitraffer für die Demenz-Forschung (Zugriff: 26.01.2019): <https://www.dzne.de/aktuelles/pressemitteilungen/presse/neue-computer-architektur-zeitraffer-fuer-die-demenz-forschung/>

Fjodor van Veen, The Neural Network Zoo, The Assimov Institute 2016, (Zugriff: 18.05.2018)

<https://www.asimovinstitute.org/neural-network-zoo/>

Flask (Zugriff: 23.04.2019)

<https://www.fullstackpython.com/flask.html>

<https://www.palletsprojects.com/p/flask/>

Github (Zugriff: 18.03.2019)

<https://github.com/>

How to Retrain an Image Classifier for New Categories (Zugriff: 23.12.2019)

[https://colab.research.google.com/github/tensorflow/hub/blob/master/examples/colab/tf2\\_image\\_retraining.ipynb](https://colab.research.google.com/github/tensorflow/hub/blob/master/examples/colab/tf2_image_retraining.ipynb)

IBM Developing Computing System to Challenge Humans on America's Favorite Quiz Show, Jeopardy 2009 (Zugriff: 21. Jun. 2019): <https://www-03.ibm.com/press/us/en/press-release/27324.wss>

IBR Inschriften im Bezugssystem des Raums (Zugriff: 03.01.2018)

<http://www.spatialhumanities.de/ibr/technologie/terrestrisches-laserscanning.html>

ImageNET (Zugriff: 03.05.2019)

<http://image-net.org>

Introducing the new IBM Q Experience (Zugriff: 24.06.2019)

<https://www.research.ibm.com/ibm-q/>

JAAI, Künstliche neuronale Netze - Aufbau & Funktionsweise, KI Basis, (Zugriff: 18.05.2018)

<https://jaai.de/kuenstliche-neuronale-netze-aufbau-funktion-291/>

Jürgen Reschke, Erdbeben in Syrien (Zugriff: 04.07.2020)

<http://www.das-erdbeben.de/syrien.htm>

Klaus Manhart, Eine kleine Geschichte der Künstlichen Intelligenz 2018 (Zugriff: 21.06.2019)

<https://www.computerwoche.de/a/eine-kleine-geschichte-der-kuenstlichen-intelligenz,3>

Landeszentrale für politische Bildung Baden-Württemberg (Zugriff: 23.11.2019)

<https://www.lpb-bw.de/atomkatastrophe#c11757>

Laserscanner (2D/3D): Funktion, Aufbau, Einsatz (Zugriff: 03.01.2018)

<https://wiki.induux.de/Laserscanner>

Lernen Keras, Stack Overflow contributors (Zugriff: 17.02.2019)

<https://riptutorial.com/Download/keras-de.pdf>

Michael Katzlberger, Biologische und künstliche Neuronen im Vergleich (Zugriff: 23.11.2019)

<https://katzlberger.ai/2019/12/13/biologische-und-kuenstliche-neuronen-im-vergleich/>

Microsoft (Zugriff: 16.12.2019)

<https://code.visualstudio.com/docs>

Mobile Laserscanning, Topscan GmbH (Zugriff: 26.01.2019)

<http://topscan.de/deutsch/mobile-laser-scanning/>

MunichRE (Zugriff: 03.05.2019)

<https://www.munichre.com/de.html>

Municipality of Heraklio (Zugriff: 02.07.2020)

<https://www.heraklion.gr/en>

NumPY (Zugriff: 23.04.2019)

<https://numpy.org/devdocs/user/whatisnumpy.html>

OpenCV (Zugriff: 09.08.2019)

[https://docs.opencv.org/4.1.2/d0/de3/tutorial\\_py\\_intro.html](https://docs.opencv.org/4.1.2/d0/de3/tutorial_py_intro.html)

Parrot (Zugriff: 15.05.2019)

<https://www.parrot.com/de/support/produkte/parrot-bebop-pro-3d-modeling/flugplan-erstellen>

Peri, Vermessungssystem Moselcopter (Zugriff: 12.05.2019)

<https://www.peri.de/produkte/planungssoftware-apps-tools/moselcopter-raumvisualisierung-vermessungssysteme.html>

Pescara del Tronto: un angolo di paradiso distrutto dal terremoto 2018 (Zugriff: 15.07.2020):

<http://www.neveappennino.it/news/pescara-del-tronto-un-angolo-paradiso-distrutto-dal-terremoto-video-a-quasi-due-anni-sisma/>

Prof. Dr Andreas Nüchter, 3DTK The 3D Toolkit, Informatics VII - Robotics and Telematics, Julius Maximilian Universität Würzburg (Zugriff: 11.11.2019)

<http://slam6d.sourceforge.net>

Prof. Dr. Richard Lackes, LS für Wirtschaftsinformatik - Technische Universität Dortmund, Programmiersprache, (Zugriff: 15.07.2020)

<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/programmiersprache-42635>

Python (18.03.2019)

<https://docs.python.org/3/library/ast.html>

<http://www.Python.org>

Sik-Ho Tsang, GoogLeNet Inception v1, 2018 (Zugriff: 18.03.2019)

<https://medium.com/coinmonks/paper-review-of-googlenet-inception-v1-winner-of-ilsvlc-2014-image-classification-c2b3565a64e7>

Tensorflow (Zugriff: 17.02.2019)

<https://www.tensorflow.org/>

The story of AlphaGo so far (Zugriff: 21.06.2019)

<https://deepmind.com/research/alphago/>

Themenweg Hirschhagen (Zugriff: 07.07.2020)

<http://www.hessisch-lichtenau.de/kultur-tourismus/themenweg-hirschhagen.html>

Thomas Sävert, Schweres Erdbeben in Italien (Zugriff: 20.07.2020)

<http://www.naturgewalten.de/160824italien.htm>

Tiroler Katastrophenmanagementgesetz, § 2 Absatz 1, Bundesland Tirol, März 2006 (Zugriff: 15.07.2020): [https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/Lgbl/LGBL\\_TI\\_20060330\\_33/LGBL\\_TI\\_20060330\\_33.html](https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/Lgbl/LGBL_TI_20060330_33/LGBL_TI_20060330_33.html)

Tkinter (Zugriff: 18.03.2019)

<https://docs.python.org/3/library/tkinter.html>

<http://effbot.org/tkinterbook/tkinter-index.htm#introduction>

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Transferfunktionen (Zugriff: 03.02.2019)

[https://www2.htw-dresden.de/~boehme/Neuroinformatik/GNI\\_Prakt\\_TUI/ni\\_grundlagen\\_prak/transferfunction/transferfunction.htm](https://www2.htw-dresden.de/~boehme/Neuroinformatik/GNI_Prakt_TUI/ni_grundlagen_prak/transferfunction/transferfunction.htm)

WALK-MAN: Whole-body Adaptive Locomotion and Manipulation (Zugriff: 03.08.2019)

<https://www.walk-man.eu/>

## Anlagen

### Fragebogen zur Umfrage an Fachleute:

Die Ergebnisse dieser Umfrage wird lediglich für wissenschaftliche Forschung verwendet. Diese Umfrage erfasst die Kriterien, die für die Maßnahmen während und nach eines Katastrophenereignisses eine Notwendigkeit stellen.

Die Fragen sind **anonym** zu beantworten unter Berücksichtigung folgender Punkte:

1. Fragen sind wissenschaftlich, neutral und emotionslos zu beantworten.
2. Fragen sind basierend auf dem fachlichen Wissen und der persönlichen praktischen Erfahrung zu beantworten.
3. Wenn verwendet, bitte die wissenschaftlichen Quellen und Referenzen nennen.
4. Das Feld „Fragebogennummer“ ist leer zu lassen. Es wird später vom Forscher ausgefüllt.

**Land/Stadt:**

\_\_\_\_\_

**Datum:**

\_\_\_\_\_

**Fragebogennummer:**

\_\_\_\_\_

#### Persönliche Daten:

Fachbereich    Architektur    Ingenieurwesen    Vermessung    Rettung    Sonstiges  
                                                                               

Schwerpunkt: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Falls „Sonstiges“, bitte erläutern  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Berufserfahrung in Jahren: \_\_\_\_\_    Arbeitsbereich: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**Fachspezifische Fragen:**

Nr.	Kriterium-Name:	Beschreibung:
1	Ereigniskriterien	Es handelt sich um die Katastrophe (Art, Größe, ...)
2	allgemeine Faktoren	Es handelt sich um planerische und die damit verbundenen organisatorischen Faktoren
3	anthropogene Kriterien	Es handelt sich um die menschlichen Auswirkungen
4	risikobezogene Kriterien	Es handelt sich um die möglichen Risiken
5	ortsbezogene Kriterien	Es handelt sich um die Eigenschaften des Ortes
6	klimabedingte Kriterien	Es handelt sich um Wirkungen von Wetter, Sichtschwierigkeiten, ...
7	wirtschaftliche Kriterien	Es handelt sich um die entstehenden Kosten und die notwendige Finanzierung
8	technische Kriterien	Es handelt sich um die verwendeten Geräte und deren Stand der Technik
9	organisatorische Kriterien	Es handelt sich um die Kooperation der Beteiligten und die dafür benötigte Struktur
10	rechtliche Kriterien	Es handelt sich um die geltenden Gesetze und deren Auswirkungen

**Bitte ordnen Sie die oben genannten Kriterien nach Wichtigkeit und Priorität aus Ihrer Sicht:**

Rang	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kriterium-Nr.										

**Anmerkungen:**

---



---



---



---

Gewichten Sie jetzt die Kriterien gegeneinander: Wenn die Kriterien auf der rechten Seite in Ihrer Sicht wichtiger als die Kriterien auf der linken Seite sind, geben Sie bitte die Zahl 2 ein. Wenn beide Kriterien gleich wichtig sind, dann die 1. Wenn die Kriterien auf der rechten Seite in Ihrer Sicht weniger wichtig sind, dann die 0.

<b>Gewichtung</b>		
Ereigniskriterien	_____	allgemeine Faktoren
	_____	anthropogene Kriterien
	_____	risikobezogene Kriterien
	_____	ortsbezogene Kriterien
	_____	klimabedingte Kriterien
	_____	wirtschaftliche Kriterien
	_____	technische Kriterien
	_____	organisatorische Kriterien
allgemeine Faktoren	_____	rechtliche Kriterien
	_____	anthropogene Kriterien
	_____	risikobezogene Kriterien
	_____	ortsbezogene Kriterien
	_____	klimabedingte Kriterien
	_____	wirtschaftliche Kriterien
	_____	technische Kriterien
	_____	organisatorische Kriterien
anthropogene Kriterien	_____	rechtliche Kriterien
	_____	risikobezogene Kriterien
	_____	ortsbezogene Kriterien
	_____	klimabedingte Kriterien
	_____	wirtschaftliche Kriterien
	_____	technische Kriterien
	_____	organisatorische Kriterien
	_____	rechtliche Kriterien
risikobezogene Kriterien	_____	ortsbezogene Kriterien
	_____	klimabedingte Kriterien
	_____	wirtschaftliche Kriterien
	_____	technische Kriterien
	_____	organisatorische Kriterien
	_____	rechtliche Kriterien

Gewichtung		
ortsbezogene Kriterien	_____	klimabedingte Kriterien
	_____	wirtschaftliche Kriterien
	_____	technische Kriterien
	_____	organisatorische Kriterien
	_____	rechtliche Kriterien
klimabedingte Kriterien	_____	wirtschaftliche Kriterien
	_____	technische Kriterien
	_____	organisatorische Kriterien
	_____	rechtliche Kriterien
wirtschaftliche Kriterien	_____	technische Kriterien
	_____	organisatorische Kriterien
	_____	rechtliche Kriterien
technische Kriterien	_____	organisatorische Kriterien
	_____	rechtliche Kriterien
<sup>3</sup> organisatorische Kriterien	_____	rechtliche Kriterien

### Ergänzungen und Vorschläge:

Falls nicht vorhanden, bitte nennen Sie aus Ihrer Sicht die fehlenden Kriterien. Bitte beschreiben Sie das Kriterium und erläutern dessen Wichtigkeit und Auswirkung.

Kriterium-Name:      Beschreibung:


### Bewertung von Fotos:

Bitte ordnen Sie die unten beigefügten Fotos einer der Klassen A, B oder C zu.

Klasse A: nicht beschädigt. Klasse B: beschädigt. Klasse C: zerstört.

Fotos

Klasse



A

B

C



A

B

C



A

B

C



**Kontakt:**

Universität Kassel

Fachbereich Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen

Institut für Bauwirtschaft (IBW)

Mönchebergstraße 7

34109 Kassel

Tel.: +49 561 804-2619

Fax: +49 561 804-7795

**I - Forschung**

**Band 1: Schopbach, Holger (2001)**

Ansätze zur Kostensenkung in Konstruktion und Baubetrieb  
durch Einsatz mathematischer Optimierungsmethoden

**Band 2: Grau, Heidrun (2002)**

Zielorientiertes Geschäftsprozessmanagement zur Förderung der Wirtschaftlichkeit von Abbundzentren

**Band 3: Arnold, Daniel (2005)**

Entwicklung einer Methodik für Innovationsprozesse im Wohnungsbau

**Band 4: Schmitt, Roland (2005)**

Die Beschaffung von Schalungsgeräten und den zugehörigen  
Ingenieurleistungen nach deren Outsourcing

**Band 5: Heinrich, Nils (2006)**

Entwicklung von Parametern zur Risikobewertung für Projektentwicklungen auf brachgefallenen Flächen - am Beispiel freizeitlich orientierter Projekte

**Band 6: Mittelstädt, Norbert (2006)**

Leitlinie zur projektbezogenen Spezifikation und erfolgsabhängigen Honorarbemessung von extern beauftragten Projektmanagement-Leistungen

**Band 7: Chahrour, Racha (2007)**

Integration von CAD und Simulation auf Basis von Produktmodellen im Erdbau

**Band 8: Mieth, Petra (2007)**

Weiterbildung des Personals als Erfolgsfaktor der strategischen Unternehmensplanung in Bauunternehmen. Ein praxisnahes Konzept zur Qualifizierung von Unternehmensbauleitern

**Band 9: Mergl, Oliver (2007)**

Flexibilisierung von Baustrukturen durch Modularisierung zur Verbesserung des Nutzungspotenziales am Beispiel industrieller Produktionsstätten des Automobilbaus

**Band 10: Eitelhuber, Andreas (2007)**

Partnerschaftliche Zusammenarbeit in der Bauwirtschaft – Ansätze zu kooperativem Projektmanagement im Industriebau

**Band 11: Hermelink, Andreas (2008)**

Ein systemtheoretisch orientierter Beitrag zur Entwicklung einer nachhaltigkeitsgerechten Technikbewertung angewandt auf den mehrgeschossigen Wohnungsbau im Niedrigstenergie-Standard

**Band 12: Utsch, Jens H. (2008)**

Entscheidungskomplexorientiertes Controlling – ein Beitrag zur Unterstützung der Planung und Entscheidungsfindung im Baubetrieb

**Band 13: Pauli, Christian (2009)**

Entwicklung einer Entscheidungshilfe zur Beurteilung der PPP-Eignung kommunaler Bauvorhaben

**Band 14: Fistera, Detlev (2009)**

Revitalisierung brachgefallener Wohnbauflächen. Indikatorenbildung zur multikriteriellen Untersuchung und prophylaktischen Abschätzung von entstehenden Wohnbaubrachen

**Band 15: Dobler, Thomas (2009)**

Entwicklung der Archintra-Methodik als Beitrag zur Verbesserung von Bauprozessen

**Band 16: Strack, Stefan (2010)**

Entwicklung eines Bewertungssystems für Redevelopment-Maßnahmen von leer stehenden Gebäuden für Wohnzwecke

**Band 17: Körtgen, Manfred (2010)**

Optimierungsansätze zur prozessorientierten Abwicklung komplexer Baumaßnahmen unter Einsatz neuer Informations- und Kommunikationssysteme

**Band 18: Stichnoth, Philipp (2010)**

Entwicklung von Handlungsempfehlungen und Arbeitsmitteln für die Kalkulation betriebsphasenspezifischer Leistungen im Rahmen von PPP-Projekten im Schulbau

**Band 19: Deppenmeier, Jens (2011)**

Lebenszyklusorientierte Planung von Erschließungskonzepten in Hochhäusern am Beispiel von Aufzugsanlagen. Entwicklung einer Methode zur Bewertung von Lebenszykluskosten mit Hilfe von Verkehrsberechnungs-Simulationen unter Berücksichtigung der Transportstrategie

**Band 20: Schleicher, Melanie (2012)**

Komplexitätsmanagement bei der Baupreisermittlung im Schlüsselfertigbau

**Band 21: Altmüller, Patrick (2012)**

Entwicklung einer differenzierten Preisgleitklausel für Funktionsbauverträge im Straßenbau

**Band 22: Kugler, Martin (2012)**

CAD-integrierte Modellierung von agentenbasierten Simulationsmodellen für die Bauablaufsimulation im Hochbau

**Band 23: Groenmeyer, Thomas (2012)**

Logistikimmobilien vom Band. Standardisierung im gewerblichen Hochbau am Beispiel von Warehouse-Logistikimmobilien

**Band 24: Schölzel, Stefan (2013)**

Optimierungsanalysen und -ansätze des Planungs- und Schnittstellenmanagements vor Baubeginn im Vergleich zur baubegleitenden Planung

**Band 25: Schlabach, Carina (2013)**

Untersuchungen zum Transfer der australischen Projektabwicklungsform Project Alliancing auf den deutschen Hochbaumarkt

**Band 26: Kordi, Basel (2013)**

Ansätze zur automatischen Terminplanung für Roh- und Ausbauarbeiten auf Basis der Integration von CAD- und Bauprozessmodellen

**Band 27: Federowski, Martin (2014)**

Mieterbetreuung als Projektmanagementprozess beim Bauen im bewohnten Bestand

**Band 28: Rathswohl, Stefan (2014)**

Entwicklung eines Modells zur Implementierung eines Wissensmanagement-Systems in kleinen und mittleren Bauunternehmen

**Band 29: Samkari, Kais (2015)**

Automatisierungsansätze zur Verbesserung der Simulation von Bauabläufen im Hochbau

**Band 30: Hintsche, Sven L. (2015)**

Optimierung der Schnittstellenregelung zwischen dem auftraggeberseitigen Betriebsdienst und der auftragnehmerseitigen baulichen Erhaltung bei Funktionsbauverträgen im Straßenbau

**Band 31: Aljaratli, Dima (2015)**

„CIREVIVAL“: ein Bewertungssystem für Wiederaufbau-Maßnahmen von zerstörten öffentlichen Gebäuden in Syrien

**Band 32: Bleichert, Oliver (2015)**

Entwicklung eines Simulationswerkzeuges zur Ermittlung des Energieverbrauchs im Rahmen der Ökobilanzierung von Bauprozessen

**Band 33: Astour, Habeb (2016)**

Entwicklung eines BIM-basierten Systems zur Entscheidungsunterstützung mittels Simulation für die Baustelleneinrichtungsplanung

**Band 34: Hassoun, Bashar (2016)**

Entwicklung eines Fehlermanagement-Systems zum sicheren Umgang mit menschlichen Ausführungsfehlern im Hochbau

**Band 35: Rode, Bernd (2016)**

Entwicklung von Indikatoren zur Bestimmung eines zukünftigen baulichen Bedarfs sozialer Institutionen dargestellt am Beispiel einer Tagespflege

**Band 36: Vollmer, Kévin (2017)**

Konzept einer webbasierten Plattform für das Produktionsmanagement von Bauprozessen in der Großregion Saar - Lor - Lux - Rheinland-Pfalz – Wallonie

**Band 37: Olender, Margarete Dorothea (2018)**

Kontrollierte Planungsprozesse. Entwicklung eines Systems zur Reduktion von Störungen und Optimierung von Planungsabläufen

**Band 38: Tiesler, Antje S. L. (2018)**

Entwicklung eines substantiierten Kausalitätsnachweises von Ursache und Wirkung für Bauablaufstörungen auf Basis der deutschen Rechtsprechung

**Band 39: Klahm, Roman M. (2019)**

Entwicklung eines Verfahrens zur Prozesssteuerung mittels Indikatoren für die Realisierung von Bauvorhaben im Hochbau

**Band 40: Gnerlich, Ralf (2019)**

Entwicklung eines Konzepts zur digitalen Untersuchung von Bauzeitverzögerungen auf Grundlage einer BIM-basierten Bauablaufsimulation

**Band 41: Simon, Natalie (2020)**

Entwicklung eines Prämiensystems zur Berücksichtigung der Bauprozessqualität in Bauverträgen

#### **Band 42: Halabi, Ibrahim (2021)**

Entwicklung eines Verfahrens zur Ermittlung des Schadenausmaßes an Gebäuden auf Basis von Fotografie und Laserscanning Technologie unter Verwendung von künstlicher Intelligenz

#### **II - Lehre**

##### **Band 1: Institut für Bauwirtschaft (Hrsg.)**

Seminar Sommersemester 2003, Hochhäuser

#### **III - Tagungen und Berichte**

##### **Band 1: Institut für Bauwirtschaft (Hrsg.)**

Tagungsband zum Symposium 2002

Projektentwicklung brachgefallener Flächen am 13. September 2002

##### **Band 2: Racky, Prof. Dr.-Ing. Peter (Hrsg.)**

3. IBW-Symposium, 17. September 2004 an der Universität Kassel.

Partnerschaftliche Vertragsmodelle für Bauprojekte

##### **Band 3: Racky, Prof. Dr.-Ing. Peter (Hrsg.)**

4. IBW-Symposium, 15. September 2006 an der Universität Kassel.

Innovative Abwicklungsformen für Bauprojekte: Partnering und PPP

##### **Band 4: Franz, Prof. Dr.-Ing. Volkhard (Hrsg.)**

1. IBW-Workshop, 13. September 2007 an der Universität Kassel.

Simulation in der Bauwirtschaft

##### **Band 5: Busch, Prof. Dr.-Ing. Antonius (Hrsg.)**

5. IBW-Symposium, 26. September 2008 an der Universität Kassel.

Projektentwicklung brachgefallener Flächen und Immobilien

##### **Band 6: Institut für Bauwirtschaft (Hrsg.)**

Tagungsband des 20. Assistententreffens der Bereiche Bauwirtschaft,

Baubetrieb und Bauverfahrenstechnik, 01. – 03. April 2009 an der

Universität Kassel

**Band 7: Racky, Prof. Dr.-Ing. Peter (Hrsg.)**

Forum Baubetrieb, 4. November 2009 an der Universität Kassel.

Kooperationsorientierte Projektabwicklung im Hochbau

**Band 8: Franz, Prof. Dr.-Ing. Volkhard (Hrsg.)**

2. IBW-Workshop, 24. März 2011 an der Universität Kassel.

Simulation von Unikatprozessen – Neue Anwendungen aus  
Forschung und Praxis

**Band 9: Busch, Prof. Dr.-Ing. Antonius (Hrsg.)**

„RÖ 80 – Was hat es gebracht“. Tagungsband zum IBW-Konvent 2016  
anlässlich des 80. Geburtstages von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Rösel  
veranstaltet am 11.11.2016 vom Institut für Bauwirtschaft der Universität  
Kassel

Weitere Informationen zur Schriftenreihe unter <http://kup.uni-kassel.de>

ISBN 978-3-7376-0950-0

