



**BOSCH**  
Technik fürs Leben



# **Analyse der Verkehrssicherheit von Motorradfahrern zur prädiktiven Bestimmung von Normalfahrsituationen über kritische Situationen bis hin zu Unfällen**

## **Bachelorarbeit**

im Studiengang Maschinenbau  
der Studienrichtung Fahrzeug-System-Engineering  
an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Stuttgart

von

**Felix du Maire**

7. September 2020

Bearbeitungszeitraum

15.06.2020- 07.09.2020

Matrikelnummer, Kurs

5793383, TMB17FSE1

Ausbildungsfirma

Robert Bosch GmbH

Betreuer

Dipl. Math. (FH) Thomas Lich

Gutachter

Dipl. Ing. Frank Schnur

### Selbstständigkeitserklärung:

Ich versichere hiermit, dass ich meine Bachelorarbeit mit dem Thema: „*Analyse der Verkehrssicherheit von Motorradfahrern zur prädiktiven Bestimmung von Normalfahrsituationen über kritische Situationen bis hin zu Unfällen*“ selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Ich versichere zudem, dass die eingereichte elektronische Fassung mit der gedruckten Fassung übereinstimmt, falls beide Fassungen gefordert sind.

---

Ort

---

Datum

---

Unterschrift

## **KURZFASSUNG**

Motorradfahrer stellen im Straßenverkehr eine besonders gefährdete Gruppe an Verkehrsteilnehmern dar. Um die Sicherheit von Motorradfahrern zu verbessern soll ein Hazard Spot Warning entwickelt werden, das Gefahrenstellen, sowie gefährliche Umwelteinflüsse identifizieren können soll.

In dieser Bachelorarbeit wurden alle Datenquellen, welche für ein solches System genutzt werden können, analysiert und exemplarisch zusammengetragen.

Im ersten Schritt wurden gefährliche Infrastrukturen anhand von Unfallhäufungen identifiziert. Dabei werden die Unfälle aus dem öffentlich zugänglichen Unfallatlas mithilfe von einem Clustering-Algorithmus zusammengefasst und somit gefährliche Infrastrukturen und Gefahrenstellen bestimmt.

Darauf aufbauend wurden Wetterdaten analysiert. Dazu wurden zu jedem Unfall die jeweils nächste Wetterstation zugeordnet und die Informationen zu Niederschlag, Luft- und Bodentemperatur, zum Unfallzeitpunkt, dem Unfall zugewiesen.

Im nächsten Schritt wurden die Daten des Verkehrssicherheitsscreenings des Landes Baden-Württemberg betrachtet. Dabei werden alle Fahrzeuge, welche an den Messstationen vorbeifahren erfasst. Aus diesen Informationen über das Verkehrsaufkommen in Kombination mit den Unfallschwerpunkten lassen sich weitere Aussagen über die Gefährdung von Motorradfahrern in Bezug auf den Verkehr treffen. Im letzten Schritt wurden Daten aus der GIDAS-Datenbank verwendet. Diese stellen eine kleinere Auswahl an Unfällen mit großer Detailtiefe zur Verfügung. Daraus wurden die Unfallumstände im Detail besser betrachtet und somit die Unfallursache identifiziert.

Die Ergebnisse dieser Arbeit ermöglichen einen guten Überblick über Motorradunfälle und ihre Ursachen und bieten somit eine gute Grundlage zur Entwicklung des Hazard Spot Warning als Fahrerassistenzsystem.

## **ABSTRACT**

Motorcyclists are a particularly vulnerable group of road users. In order to improve the safety of motorcyclists, a Hazard Spot Warning is to be developed, which will be able to identify dangerous spots and dangerous environmental influences.

In this bachelor thesis, all data sources that can be used for such a system were analyzed and compiled in exemplary fashion.

In a first step, hazardous infrastructures are identified by means of accident clusters. The accidents from the publicly accessible accident atlas are summarized using a clustering algorithm to identify dangerous infrastructures and hazardous areas.

Based on this, weather data was analyzed. For this purpose, the nearest weather station is assigned to each accident and the information on precipitation, air and ground temperature at the time of the accident was assigned to the accident.

In the next step, the data from the road safety screening of the state of Baden-Württemberg were considered. All vehicles passing the measuring stations are getting recorded. From this information on traffic volume in combination with the accident hotspots, further statements can be made about the risk to motorcyclists in relation to traffic.

In the last step, data from the GIDAS database were used. These provide a smaller selection of accidents with more detail on each accident. From this, it is easier to determine the circumstances of the accident and acquire information about the cause of the accident.

The results of this work provide a good overview of motorcycle accidents and their causes and thus offer a good basis for the development of Hazard Spot Warning as a driver assistance system.

## **INHALTSVERZEICHNIS:**

<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>VII</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>FORMELVERZEICHNIS.....</b>	<b>X</b>
<b>1. EINLEITUNG.....</b>	<b>1</b>
<b>2. GRUNDLAGEN.....</b>	<b>5</b>
2.1 Hazard Spot Warning im PKW.....	5
2.2 Datenquellen .....	5
2.2.1 Wetterdaten.....	5
2.2.2 Verkehrssicherheit Screening .....	6
2.2.3 Unfallatlas.....	7
2.2.4 GIDAS (German In-Depth Accident Study) .....	7
2.3 Clustering Algorithmen.....	7
2.3.1 K-means .....	8
2.3.2 Mean Shift.....	9
2.3.3 DBSCAN.....	10
<b>3. IDENTIFIKATION VON KRITISCHER VERKEHRSINFRASTRUKTUR ANHAND VON UNFALLSCHWERPUNKTEN .....</b>	<b>13</b>
3.1 Bewertung der Algorithmen .....	13
3.2 Anwendung von DBSCAN auf Unfalldaten.....	14
3.3 Fazit.....	19
<b>4. KORRELATION WETTERDATEN UND GEFAHRENSTELLEN .....</b>	<b>20</b>
4.1 Zuordnung Wetterdaten zu Unfällen .....	20
4.2 Ergebnisse Wetterdaten und Unfälle.....	23
4.2.1 Unfälle über Temperatur.....	23
4.2.2 Unfallschwere in Bezug auf Nässe .....	26
4.2.3 Unfallentwicklung übers Jahr .....	27
4.3 Wetterdaten und Unfallschwerpunkte .....	29
4.4 Fazit.....	31
<b>5. KORRELATION VSS UND GEFAHRENSTELLEN .....</b>	<b>32</b>
5.1 Beschaffung der VSS Daten .....	32
5.1.1 Beschreibung der ausgewählten Stationen.....	32
5.2 Analyse der VSS-Daten in Korrelation mit den Unfallschwerpunkten .....	37
5.3 Weitere Vorgehensweise .....	41
5.3.1 Analyse aller aggregierten Daten.....	41

---

5.3.2 Rohdaten des VSS .....	42
5.4 Fazit.....	44
<b>6. KORRELATION GIDAS UND UNFALLSCHWERPUNKT.....</b>	<b>45</b>
6.1 Datensatzbeschreibung .....	45
6.2 Analyse der Daten .....	46
6.2.1 Analyse der GIDAS-Daten in Hinblick auf die Geschwindigkeit.....	46
6.2.2 Analyse der GIDAS-Daten in Hinblick auf die Wetterdaten.....	49
6.2.3 Analyse der GIDAS-Daten in Hinblick auf die Unfallschwerpunkte .....	50
6.3 Fazit.....	51
<b>7. FAZIT UND AUSBLICK .....</b>	<b>52</b>
<b>8. LITERATUR.....</b>	<b>55</b>

## **ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**

<i>ABS</i>	<i>Antiblockiersystem</i>
<i>BAST</i>	<i>Bundesanstalt für Straßenwesen</i>
<i>ESP</i>	<i>Elektronisches Stabilitätsprogramm</i>
<i>FAT</i>	<i>Forschungsvereinigung Automobiltechnik</i>
<i>GIDAS</i>	<i>German In-Depth Accident Study</i>
<i>LKW</i>	<i>Lastkraftwagen</i>
<i>MSC</i>	<i>Motorcycle Stability Control</i>
<i>PKW</i>	<i>Personenkraftwage</i>
<i>VSS</i>	<i>Verkehrssicherheitsscreening</i>

## **ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

ABBILDUNG 1: UNFALLTOTE JE 100 MILLIONEN GEFAHRENE KILOMETER [1] [2] [3] [4] [5] [6].....	2
ABBILDUNG 2: MOTORRADUNFÄLLE NACH UNFALLTYP [1].....	3
ABBILDUNG 3: K-MEANS BEISPIEL [15].....	9
ABBILDUNG 4: MEAN SHIFT BEISPIEL [14].....	10
ABBILDUNG 5: DBSCAN BEISPIEL .....	11
ABBILDUNG 6: ANWENDUNG DBSCAN AUF UNFALLATLAS.....	15
ABBILDUNG 7: AUSSCHNITT AUS DER UNFALLKARTE .....	16
ABBILDUNG 8: UNFALLART UND UNFALLTYP BEZOGEN AUF UNFÄLLE IN UND AUßERHALB EINES CLUSTERS.....	18
ABBILDUNG 9: UNFALLSCHWERE .....	19
ABBILDUNG 10: AUSSCHNITT AUS DER UNFALL UND WETTERSTATIONEN KARTE ..	21
ABBILDUNG 11: UNFÄLLE ÜBER LUFTTEMPERATUR VON MOTORRADFAHRERN UND ALLEN VERKEHRSTEILNEHMERN.....	24
ABBILDUNG 12: UNFÄLLE ÜBER BODENTEMPORATUR VON MOTORRADFAHRERN UND ALLEN VERKEHRSTEILNEHMERN .....	25
ABBILDUNG 13: 2D-HISTOGRAMM ZWISCHEN BODEN- UND LUFTTEMPERATUR ZUM UNFALLZEITPUNKT .....	26
ABBILDUNG 14: UNFALLSCHWERE NACH STRAßENZUSTAND.....	27
ABBILDUNG 15: MOTORRADUNFÄLLE UND LUFTTEMPERATUR IM JAHRESVERLAUF FÜR 2017 .....	28
ABBILDUNG 16: MOTORADUNFÄLLE UND NIEDERSCHLAG IM JAHRESVERLAUF FÜR 2017.....	29
ABBILDUNG 17: MOTORRADUNFÄLLE IN BZW. AUßERHALB EINES CLUSTERS IN BEZUG AUF DIE BODENTEMPORATUR.....	30
ABBILDUNG 18: MOTORRADUNFÄLLE IN BZW. AUßERHALB EINES CLUSTERS IN BEZUG AUF DIE LUFTTEMPERATUR .....	30
ABBILDUNG 19: UNFÄLLE IN BZW. AUßERHALB EINES CLUSTERS IN BEZUG AUF STRAßENBEDINGUNGEN.....	31
ABBILDUNG 20: STATION 81472 .....	33
ABBILDUNG 21: VERKEHRSAUFGKOMMEN 81472 .....	34
ABBILDUNG 22: KARTE 86519 .....	35
ABBILDUNG 23: WOCHENGANGLINIE 86519.....	35
ABBILDUNG 24: KARTE 84426 .....	36
ABBILDUNG 25: WOCHENGANGLINIE 84426.....	36
ABBILDUNG 26: UNFÄLLE AKKUMULIERT ÜBER WOCHENTAGE .....	37
ABBILDUNG 27: UNFALLART UND UNFALLTYP FÜR VSS-UNFÄLLE.....	38
ABBILDUNG 28: GESCHWINDIGKEITSÜBERSCHREITUNGEN NACH PKW- UND MOTORRADFAHRERN.....	39
ABBILDUNG 29: VERKEHRSSTÄRKE ZUM UNFALLZEITPUNKT ZU MITTLERER VERKEHRSSTÄRKE AN DEN VSS-STATIONEN .....	40
ABBILDUNG 30: UNFÄLLE PRO GEZÄHLTEM MOTORRADFAHRER .....	41
ABBILDUNG 31: KARTE GIDAS CLUSTER .....	46
ABBILDUNG 32: UNFALLSCHWERE ÜBER GESCHWINDIGKEIT.....	47
ABBILDUNG 33: GESCHWINDIGKEITSDelta ÜBER UNFALLSCHWERE .....	48
ABBILDUNG 34: UNFALLSCHWERE ÜBER STRAßENZUSTAND .....	49
ABBILDUNG 35: TEMPERATURVERTEILUNG DER MOTORRADUNFÄLLE IN BZW. AUßERHALB EINES UNFALLSCHWERPUNKTS .....	50
ABBILDUNG 36: UNFALLGESCHWINDIGKEIT INNERHALB UND AUßERHALB EINES CLUSTERS BEI EINEM GESCHWINDIGKEITSLIMIT VON 50 KM/H.....	51



---

TABELLENVERZEICHNIS	
TABELLE 1: BEWERTUNG DER CLUSTERING ALGORITHMEN.....	14
TABELLE 2: ERMITTLUNG DES DATUMS .....	22
TABELLE 3: ERMITTLUNG DES DATUMS MIT NIEDERSCHLAGSWERTEN .....	22

## **FORMELVERZEICHNIS**

FORMEL 1: K-MEANS [15] .....	8
FORMEL 2: MEAN SHIFT [15] .....	9
FORMEL 3: EUKLIDISCHER ABSTAND.....	20

## 1. EINLEITUNG

Die Bosch Unfallforschung beschäftigt sich mit mehreren Aufgabenfeldern. Darunter fällt zum einen die Analyse des Verkehrs- und Unfallgeschehens, hierbei wird die Entwicklung der Unfälle betrachtet und mit den Jahren zuvor abgeglichen. Dabei werden Informationen über die Entwicklung und Effektivität von Sicherheitskonzepten erlangt und somit die Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen verbessert. Ein weiteres Standbein stellt die Verkehrssimulation dar. Hierbei werden bestimmte Szenarien simuliert und auch vergangene Unfälle rekonstruiert, daraus kann die Effektivität zukünftigen Fahrerassistenzsysteme bestimmt werden bevor ein Prototyp entwickelt wird. Der letzte Aufgabenbereich liegt im automatisierten Fahren. Hier werden verschiedene Systeme auf ihre Realisierbarkeit und Sicherheit untersucht.

In der Vergangenheit lag der Fokus der Fahrerassistenzsysteme in erster Linie auf PKW, da diese die größte Gruppe an Verkehrsteilnehmern darstellt. Der Fokus soll in der Zukunft auch auf motorisierte Zweiräder erweitert werden.

Dies ist auf die Tatsache zurückzuführen, dass Motorradfahrer eine besonders gefährdete Gruppe an Verkehrsteilnehmern darstellt. Bei einer Analyse des Verkehrsgeschehens in Deutschland zeigt sich, dass im deutschen Straßenverkehr im Jahr 2018 insgesamt 2.636.468 Unfälle polizeilich erfasst wurden. Davon waren 308.721 Unfälle mit Personenschaden. Dabei wurden 399.293 Menschen verletzt, von denen 3.275 getötet wurden [1]. Von den insgesamt 3.275 Getöteten waren 697 Motorradfahrer und von den 399.293 Verletzten waren 46.223 Motorradfahrer [1]. Bei der Betrachtung der Verunglückten und Getöteten fällt auf, dass 11,6 % der Verletzten Verkehrsteilnehmer Motorradfahrer sind, aber 21,3% der Getöteten auf Motorradfahrer entfallen. Diese absoluten Zahlen fallen umso stärker ins Gewicht, wenn man die Fahrleistung mit einbezieht. Abbildung 1 zeigt die Getöteten Motorradfahrer im Vergleich zu den getöteten PKW-Fahrern bezogen auf einhundert Millionen gefahrene Kilometer für verschiedene Länder. Es zeigt sich, dass Motorradfahrer in Deutschland eine 21-mal höhere Wahrscheinlichkeit haben getötet zu werden, als PKW-Fahrer. Als Motorrad werden hier alle motorisierten Zweiräder mit amtlichen Kennzeichen gelistet, dies enthält keine Mofas und Mopeds.

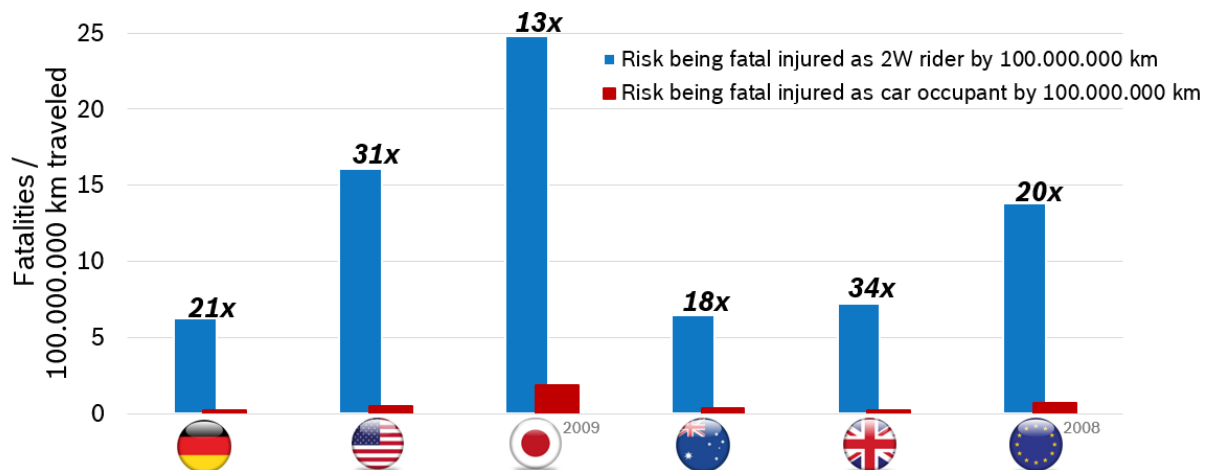


Abbildung 1: Unfalltote je 100 Millionen gefahrene Kilometer [1] [2] [3] [4] [5] [6]

In der Vergangenheit wurden bereits einige Maßnahmen ergriffen, um die Sicherheit von Motorradfahrern zu verbessern.

Dafür wurden Assistenzsysteme wie z.B. ein Antiblockiersystem für Motorräder entwickelt (Markteinführung 1988), dieses verhindert das blockieren der Räder, und hilft somit den Bremsweg zu minimieren und ein Wegrutschen des Motorrades zu vermeiden. Außerdem sind bei Motorrädern mit ABS Lenkeinschläge während einer Vollbremsung möglich.

Dies wird ermöglicht indem die Raddrehzahlen am Vorder- und Hinterrad gemessen werden und der Bremsdruck bei einem Blockieren der Räder angepasst wird [7].

Aufbauend darauf gibt es die Motorrad-Stabilitätskontrolle (Motorcycle Stability Control), das MSC funktioniert ähnlich wie ein ESP im PKW. Ziel ist es dem Zweiradfahrer das Bremsen bei erhöhter Schräglage in einer Kurve ohne Kontrollverlust zu ermöglichen. Neben den Raddrehzahlen, wird die Beschleunigung und der Gierwinkel verwendet um die Schräglage des Motorrads zu schätzen. Wenn ein Rad beim Bremsen in der Kurve droht die Traktion zu verlieren, werden Bremsdruck und Motormoment angepasst, um einen Kontrollverlust zu vermeiden [8].

All diese Systeme führen zu einer erhöhten Sicherheit im Motorradsektor reagieren aber erst auf eine Gefahr, wenn sich der Fahrer in der Gefahrensituation befindet und auch Maßnahmen zur Unfallvermeidung ergreift. Dies ist nur dann effektiv, wenn sich der Unfall aus einem Fahrfehler heraus ergibt und sich die Situation noch innerhalb des physikalisch möglichen Kontrollbereichs befindet.

Bei näherer Analyse der Motorradunfälle nach Unfalltyp (Unfallauslösende Situation), stellt sich heraus, dass die größte Gruppe Fahrurfälle sind (Verlust der Fahrzeugkontrolle und in Folge Abkommen nach links/rechts von der Fahrbahn oder Zusammenstoß gegen ein Objekt). Unfälle mit Fahrzeugen die in derselben Fahrspur fahren (sowohl in gleiche Fahrtrichtung als auch entgegenkommend) und beim Einbiegen/Kreuzen in eine Straße/Kreuzung sind nahezu identisch (siehe Abbildung 2).

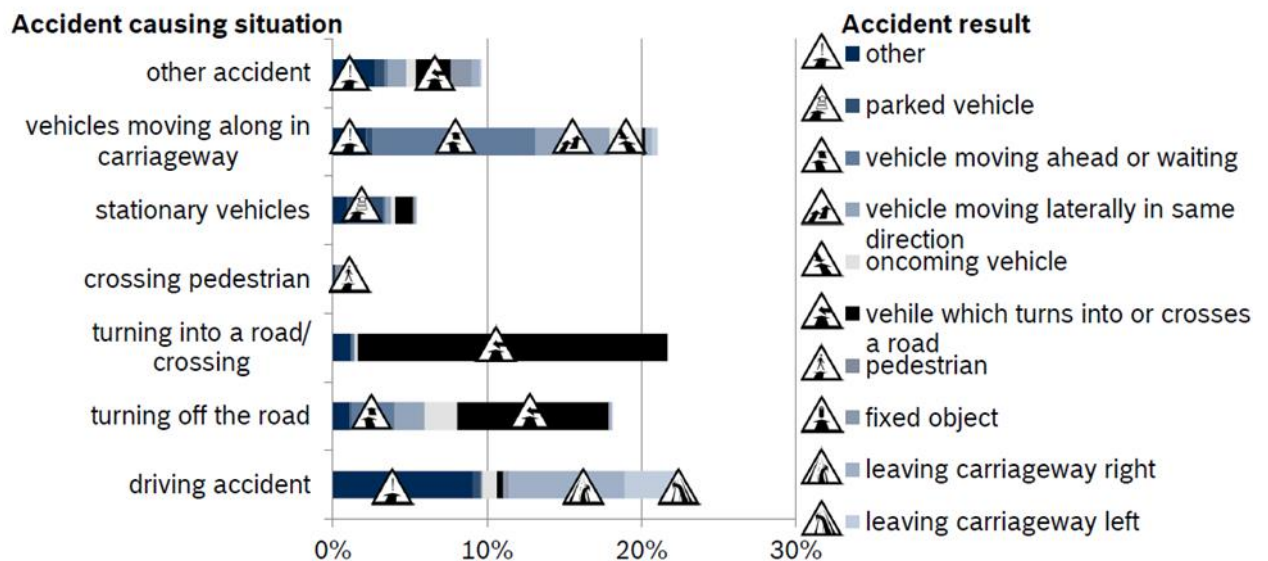


Abbildung 2: Motorradunfälle nach Unfalltyp [1]

Das ABS und MSC-System sind in der Lage einige der Unfälle zu verhindern bzw. zu entschärfen. Zum Beispiel können Fahrurfälle durch das MSC deutlich verringert werden. Allerdings sind beide diese Systeme reaktiv und treten erst in Kraft, wenn die Situation bereits gefährlich ist. Um Motorradfahrer in Zukunft im Vorhinein vor gefährlichen Situationen zu warnen soll ein Tool entwickelt werden.

Die Funktion „Hazard-Spot-Warning“ ist eine Assistenzfunktion die, die Anzahl von Motorradunfällen verringern soll und ist derzeit ein Forschungsprojekt. Um diese zu realisieren, werden besonders gefährliche Streckenabschnitte gekennzeichnet und aktuelle Fahr- und Umgebungsparameter bewertet. Befindet der Motorradfahrer sich in einer potenziell gefährlichen Situation (z.B. zu hohe Geschwindigkeit im Kurvenbereich), wird er auf die Gefahr hingewiesen. Zur Identifikation von gefährlichen Streckenabschnitten werden zum einen historische Unfalldaten zu Rate gezogen. Dabei kann z.B. eine Einmündung, an welcher in der Vergangenheit viele Unfälle passiert sind, als Gefahrenstelle

deklariert werden. Zum anderen können Streckenparameter (Infrastrukturdaten) mit den vergangenen Unfällen abgeglichen werden, z.B. können Kurvenkombinationen, welche in der Vergangenheit zu Unfällen geführt haben, als Gefahr eingestuft und an den Fahrer übermittelt werden.

Zur Analyse von Fahr- und Umgebungsparametern wird auf aktuelle Daten/Messwerte zurückgegriffen. Darunter fallen zum Beispiel Telemetriedaten des Fahrstils aber auch die aktuellen Wetterbedingungen.

Um an diese Informationen zu gelangen müssen Daten aus verschiedenen Quellen verwendet und so aufbereitet werden, dass diese auch für eine Assistenzfunktion nutzbar sind und einen Gesamtüberblick über das Unfallgeschehen geben.

In dieser Bachelorarbeit werden alle relevanten Datenquellen betrachtet, analysiert und ausgewertet. Aufgrund dieser Datengrundlage werden gefährliche Situationen identifiziert und analysiert, daraus folgend werden weitere Schritte abgeleitet, um den Funktionsumfang des Hazard Spot Warnings besser zu definieren und auf Machbarkeit zu überprüfen.

## 2. GRUNDLAGEN

### 2.1 Hazard Spot Warning im PKW

Mit der fortschreitenden Digitalisierung im Verkehrswesen und der breiteren Verfügbarkeit von Daten und Fahrassistenzfunktionen werden auch neuartige Systeme im so genannten Car 2 X Bereich weiterentwickelt. Dabei werden verschiedene Daten in Fahrzeugen gesammelt und entweder mittels extra dafür errichteter Infrastruktur oder direkt über das Telekommunikationsnetz an andere Fahrzeuge weitergeleitet [9].

Dabei können z.B. Informationen über akute Gefahrensituationen, wie Unfälle oder Stauenden, an andere Fahrzeuge weitergeleitet werden. Um dort entweder an den Fahrer oder direkt an die Fahrzeugelektronik weitergegeben werden, um entsprechende Sicherheitsmaßnahmen zu ergreifen [9].

Vergleichbar dazu soll das Hazard Spot Warning arbeiten, indem es Daten aus der Vergangenheit nutzt, um den Fahrer bevor er eine Gefahrenstelle erreicht zu warnen. Der Unterschied liegt im zeitlichen Rahmen, Car 2 X Systeme gehen lediglich auf akute Gefahrenstellen ein, während sich das Hazard Spot Warning in erster Linie auf historische Daten beruft oder Rückschlüsse aus historischen Daten zieht mithilfe von aktuellen Daten.

Wenn die Car 2 X Technologie und das Hazard Spot Warning beide Serienreife erreicht haben könnten ggf. die Systeme kombiniert werden, um ein noch weitreichenderes Bild über die Gefahrensituationen zu erzeugen und somit mehr Unfälle vorbeugen.

### 2.2 Datenquellen

Die Grundlage eines jeden Hazard Spot Warning Systems sind die historischen Daten von Gefahrenstellen. Deshalb werden im folgenden Abschnitt alle Datenquellen, welche für die Analysen im Rahmen dieser Bachelorarbeit verwendet wurden, beschrieben. Dabei wird ein kurzer Überblick über die verfügbaren Daten gegeben und wer diese veröffentlicht.

#### 2.2.1 Wetterdaten

Der Deutsche Wetterdienst stellt historische Wetterdaten zur Verfügung. Dabei sind Daten wie z.B. Niederschlag, Temperatur, Luftfeuchte und Bodentemperatur, an den jeweils verfügbaren Wetterstationen abrufbar [10]. Je

mehr Stationen im Umkreis eines Unfalls zur Verfügung stehen, desto aussagekräftiger sind die aus dem Wetterparametern abgeleiteten Resultate. Für Motorradunfälle sind im Besonderen die Niederschlagswerte, Luft- und Bodentemperaturwerte von Relevanz, da durch schlechte Straßenzustandsverhältnisse der Reibwert abnimmt und in Folge daraus das Traktionsniveau. Dies bedeutet bei nicht angepasster Geschwindigkeit in Kurven eine erhöhte Unfallwahrscheinlichkeit.

### 2.2.2 Verkehrssicherheit Screening

Das Verkehrssicherheit Screening wird vom Land Baden-Württemberg erhoben und stellt eine Form der Verkehrsüberwachung dar.

Das VSS führt landesweit für das gesamte rund 26.000 km lange übergeordnete Straßennetz (alle Autobahnen, Bundes-, Landes-, und Kreisstraßen, Inner- und Außerorts) von Baden-Württemberg die für die Verkehrssicherheitsarbeit verfügbaren Informationen zusammen [11]. Dazu gehören:

- die Straßenbreiten und die Straßenaufbaudaten aus der Straßendatenbank [11]
- die Straßenzustände mit zugehöriger Straßengeometrie und Streckenfotos aus den Straßenzustandsbefahrungen für Großteile des Netzes [11]
- die Durchschnittlichen Täglichen Verkehrsmengen der rund 5.000 Zählstellen im Land [11]
- die Auswertung der Geschwindigkeiten von monatlich rund 20 Millionen Kraftfahrzeugen aus der kontinuierlichen Verkehrsbeobachtung [11]
- die monatlich von der Polizei bereitgestellten Unfalldaten von rund 4.200 neuen Unfällen [11]

Für die Erfassung der Geschwindigkeits- und Verkehrsmengendaten, werden jeweils für zwei Wochen auf einem bestimmten Streckenabschnitt Radarmessgeräte aufgestellt, welche die Geschwindigkeit, Anzahl an Fahrzeugen, Fahrtrichtung, Geräuschpegel und Fahrzeugtyp bestimmen können [11]. Dazu wird die Sensorik in einem Leitpfosten untergebracht und am Straßenrand aufgestellt [11].



### 2.2.3 Unfallatlas

Der Unfallatlas wird vom statischen Bundesamt herausgegeben. Dafür werden Unfälle aus 13 Bundesländern, bei welchen Personen zu Schaden gekommen sind (keine Sachschäden) gelistet. Dabei werden die Angaben zu den Unfällen um die Polizeiberichte erweitert. Dadurch sind über die einzelnen Unfälle relevante Daten, wie z.B. Ort, Straßenzustand und Uhrzeit vorhanden [12].

### 2.2.4 GIDAS (German In-Depth Accident Study)

GIDAS ist ein Gemeinschaftsprojekt der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) und der Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (FAT) [13] und ist eine Unfallvororterhebung. Für die GIDAS-Datenbank werden Unfälle mit Personenschaden zusätzlich zu einem Unfallbericht der Polizei, von einem Team an Unfallforschern dokumentiert und im Anschluss analysiert. Dabei werden bis zu 3.000 Einzelinformationen zu jedem Unfall erfasst. Neben der Vermessung der Unfallstelle erfolgt eine ausführliche Bilddokumentation. Informationen zur Unfallursache, -hergang und den Umweltbedingungen sowie die Unfallfolgen werden für jeden Beteiligten dokumentiert [13]. Zusammen mit der anschließenden Rekonstruktion liefern diese Informationen ein umfangreiches Gesamtbild des Unfalls und sind dadurch für die Analyse von Unfällen von großer Bedeutung. Insgesamt werden in die GIDAS-Datenbank jährlich ca. 2.000 Unfälle aufgenommen [13]. Bei der Bosch Unfallforschung liegen zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeit rund 40.000 Unfälle mit Personenschaden zur Analyse bereit.

## 2.3 Clustering Algorithmen

In diesem Abschnitt werden die gängigsten Clustering Algorithmen erläutert. Ein Clustering Algorithmus fasst Daten in Gruppierungen zusammen, diese Gruppierungen werden Cluster genannt. [14]

### 2.3.1 K-means

K-means ist einer der am häufigsten verwendeten Clustering Algorithmen. Dazu werden am Anfang die Anzahl an Clustern festgelegt. Der Algorithmus iteriert dann durch die Datenpunkte und sucht nach Mittelpunkten für die Anzahl an Clustern, welche vorgegeben ist.

Diese Suche erfolgt nach der Optimierung folgender Formel.

$$\sum_{i=1}^n \min_{\mu_j \in C} (||x_i - \mu_j||^2)$$

Formel 1: K-means [15]

Anschaulich beschrieben, teilt K-means n Datenpunkte x in k Cluster c ein und beschreibt diese Cluster durch den Mittelwert der Datenpunkte. Dieser Mittelwert wird als Centroid deklariert und stellt den dichtebasierten Mittelwert dar.

Wenn alle Datenpunkte einem der Cluster zugewiesen sind und alle Mittelpunkte gefunden wurden, ist der Prozess abgeschlossen. [15]

Abbildung 3 stellt das Ergebnis einer Cluster Suche dar, dabei wurden drei Cluster festgelegt. Als Ergebnis legt der K-means Algorithmus drei Mittelpunkte fest (große Kreise) und ordnet die Punkte darum den Clustern zu. Dabei ist zu beachten, dass alle Punkte einem Cluster zugewiesen werden.

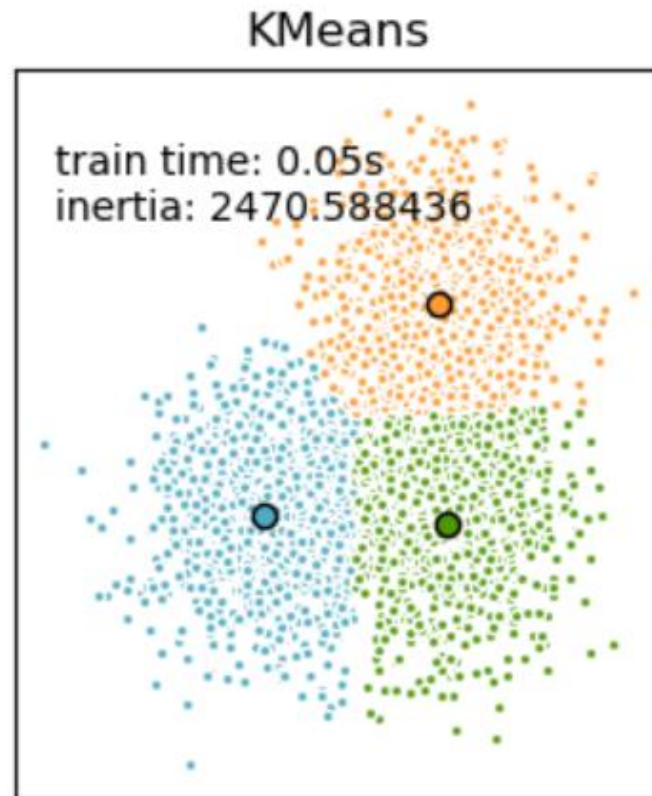


Abbildung 3: K-means Beispiel [15]

### 2.3.2 Mean Shift

Mean Shift versucht Cluster anhand von ihrer Dichte zu bestimmen. Dazu werden vergleichbar zu K-means Mittelpunkte in den Clustern gesucht. Die Suche erfolgt anhand von Updates der Mittelpunkte und der Berechnung des Mittelwertes der im Cluster befindlichen Punkte.

Der Vektor in welche sich der Mittelpunkt bewegt wird durch folgende Gleichung beschrieben.

$$m(x) = \frac{\sum_{x_i \in N} K(x_i - x)x_i}{\sum_{x_i \in N} K(x_i - x)}$$

Formel 2: Mean shift [15]

Anschaulich betrachtet wird als Eingabeparameter die Bandweite(N) festgelegt, diese beschreibt die Größe des Clusters. Dann wird ein zufälliger Punkt als Mittelpunkt(x) für ein Cluster gewählt und dieser Punkt solange verschoben, bis dieser Mittelpunkt den Mittelwert der Punkte in seiner Umgebung darstellt. Der Vektor  $m(x)$  beschreibt eben diese Bewegung des Mittelpunktes hingehend zu

einem besseren Mittelwert. Der Algorithmus kann mehrere Cluster identifizieren, die Anzahl der Cluster muss dafür nicht vorher vorgegeben werden. Da dieses Verfahren mitunter viele Iterationsschritte benötigt ist die Rechenzeit dafür lang und kann nicht auf beliebig viele Datenpunkte angewandt werden. [15]

In Abbildung 4 wird die Bewegung des Mittelpunktes durch die Datenpunkte dargestellt. Der rote, transparente Kreis stellt dabei die Bandweite dar. Dabei wird am Anfang ein zufälliger Mittelpunkt gewählt und die Anzahl an Punkten im Cluster ermittelt, von diesem Punkt bewegt sich der Mittelpunkt immer weiter Richtung einer Region mit einer höheren Dichte an Punkten, bis im dritten Bild die optimale Position gefunden wurde, alle Punkte die sich dann innerhalb des Kreises befinden gehören zum Cluster.

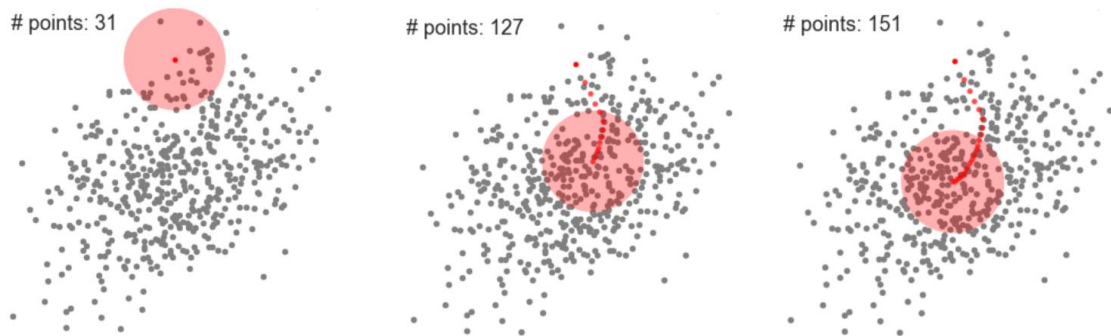


Abbildung 4: Mean shift Beispiel [14]

### 2.3.3 DBSCAN

Der DBSCAN-Algorithmus (density-based spatial clustering algorithm with noise), zu Deutsch Dichtebasierte räumliche Clusteranalyse mit Rauschen, basiert auf der Dichte-Verbundenheit.

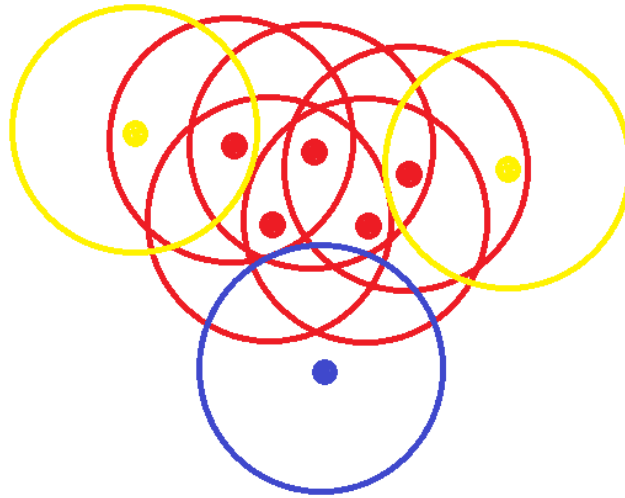


Abbildung 5: DBSCAN Beispiel

Zwei Objekte gelten als dichte-verbunden, wenn eine Kette aus dichten Objekten diese verbindet. Dies bedeutet, dass um jeden Punkt ein Kreis aufgespannt wird, wenn sich innerhalb dieses Kreises ein weiterer Punkt befindet sind die Punkte dichte-verbunden. [15]

In DBSCAN gibt es drei Arten von Punkten:

- Kernobjekte, welche selbst dicht sind (rote Punkte).
- Dichte-erreichbare Objekte. Dies sind Objekte, die zwar von einem Kernobjekt des Clusters erreicht werden können, selbst aber nicht dicht sind. Anschaulich bilden diese den Rand eines Clusters, zählen aber noch zum Cluster dazu (gelbe Punkte)
- Rauschpunkte, die weder dicht, noch dichte-erreichbar sind, diese zählen nichtmehr zum Cluster (blauer Punkt)

Der Algorithmus verfügt über zwei Parameter *Epsilon*  $\epsilon$  und minPts.

- $\epsilon$  definiert dabei den maximalen Abstand zwischen den Punkten (Anschaulich der Radius des Kreises um einen Punkt).
- MinPts steht für die Anzahl an Punkten, welche mindestens benötigt wird, um ein Cluster zu bilden. Beispielsweise wird definiert, dass ein Cluster aus fünf Punkten bestehen muss, dann werden alle Cluster, welche aus vier oder weniger Punkten bestehen als Rauschen deklariert. [15]

Der Vorteil des DBSCAN-Algorithmus gegenüber anderen Verfahren ist, dass er Cluster zulässt, welche nicht rund sind. Sondern sich über eine Linie an Punkten erstreckt, dies ist erweist sich für die Erkennung von Kurven in der Unfallanalyse als sehr wichtig.

### **3. IDENTIFIKATION VON KRITISCHER VERKEHRSINFRASTRUKTUR ANHAND VON UNFALLSCHWERPUNKTEN**

Um Motorradfahrer vor kritischer Verkehrsinfrastruktur zu warnen, wie z.B. Kurven oder Einmündungen und Kreuzungen, müssen diese zunächst ermittelt werden.

Die Identifikation von kritischer Verkehrsinfrastruktur erfolgt über die Unfallschwerpunkte, dazu werden die Unfälle aus dem Unfallatlas verwendet. Die Unfälle werden dazu anhand ihrer geografischen Lage in Gruppen zusammengefasst. Um diese Gruppierungen zu erfassen bieten sich Machine-Learning Algorithmen der Clustering Methode an. Die Funktionsweise der Clustering Algorithmen ist in Kapitel 2.3 erläutert.

#### **3.1 Bewertung der Algorithmen**

In der Tabelle 1 werden die Clustering Algorithmen nach ihren Vor- und Nachteilen in Bezug auf den Anwendungsfall, der Identifikation von Unfallschwerpunkten, bewertet.

Algorithmus	Vorteile	Nachteile
K-means	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Gute Skalierbarkeit auf große Datenmengen</li> <li>-Geringe Rechenzeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Runde Cluster, welche sich um einen Mittelpunkt orientieren</li> <li>-Alle Datenpunkte werden einem Cluster zugewiesen</li> <li>-Anzahl an Clustern muss vorher bekannt sein</li> </ul>
Mean Shift	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Anzahl an Clustern wird vom Algorithmus festgelegt</li> <li>-Nicht alle Punkte müssen einem Cluster zugewiesen werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Hohe Rechenzeit</li> <li>-Schlechte Skalierbarkeit</li> <li>-Cluster erstrecken sich um einen Mittelpunkt und sind daher eingeschränkt in ihrer Form</li> </ul>
DBSCAN	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Gute Skalierbarkeit</li> <li>-Form der Cluster ist variabel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Hohe Rechenzeit</li> </ul>

	-Anzahl an Clustern wird vom Algorithmus erfasst -Nicht alle Punkte müssen einem Cluster zugewiesen werden, sondern können auch als Rauschen deklariert werden	
--	---	--

Tabelle 1: Bewertung der Clustering Algorithmen

Wie die Tabelle 1 zeigt eignet sich DBSCAN am besten für die Anwendung, der Identifizierung von Unfallschwerpunkten.

DBSCAN bietet eine gute Skalierbarkeit mit großen Datenmengen, was wichtig ist, da im Unfallatlas im Zeitraum von 2016 bis 2019 ca. 80000 Motorradunfälle mit Personenschaden gelistet sind. Außerdem ist die Form der Cluster nicht vorher definiert, dies bietet mehr Flexibilität bei der Identifikation von Clustern. Z.B. ein Cluster, welches eine gefährliche Kurve beschreibt erstreckt sich entlang dieser Kurve und hat keinen dichte-gemittelten Mittelpunkt.

Die Tatsache, dass der Algorithmus automatisch die Anzahl an Clustern erkennt ist wichtig, da die Anzahl an Cluster vorher unbekannt und somit eine empirische Ermittlung sehr aufwendig ist.

Ein weiterer Vorteil ergibt sich daraus, dass nicht alle Punkte einem Cluster zugewiesen werden müssen, sondern als Rauschen identifiziert werden können. Dies ist ein vorteilhaft, da auch im Unfallgeschehen nicht jeder Unfall einem Unfallschwerpunkt zugewiesen werden kann.

Der Nachteil der schlechten Rechenzeit besteht zwar, wird aber dadurch relativiert, dass der Algorithmus nur einmal auf jeden Datensatz angewendet werden muss.

### 3.2 Anwendung von DBSCAN auf Unfalldaten

Um DBSCAN auf die Unfalldaten anzuwenden, werden die Daten zuerst skaliert. Dazu bietet sich der StandardScaler an. Der StandardScaler normiert die Daten so, dass in jeder Spalte eines Datensatzes (Matrix) der Mittelwert auf null gesetzt wird und die Standardverteilung auf den Wert 1. Dadurch wird die Anwendung vom DBSCAN vereinfacht und ist weniger fehleranfällig.

In Abbildung 6 ist die Anwendung des DBSCAN-Algorithmus und des StandardScaler auf den Unfallatlas für Baden-Württemberg für die Jahre 2016-2019 zu sehen. Die Ermittlung des Epsilon und der minPts geschieht in diesem



Fall empirisch. Die Wahl der minimalen Clustergröße von 3 stellt sicher, dass nicht zufällige Orte als Gefahrenstelle eingestuft und gleichzeitig keine Gefahrenstellen übersehen werden.

Für die Ermittlung des Epsilon (der Radius um die Punkte) muss ein Kompromiss gefunden werden. Da bei einem zu kleinen Epsilon Unfälle außerorts nicht mehr als Cluster erkannt werden und bei einem zu großen Epsilon Unfälle innerorts in ein Cluster zusammengefasst werden, welches gar nicht existiert. Für ein Epsilon von 0,003 ergibt sich eine gute Balance zwischen beiden Aspekten, ohne einen zu großen Fehler zuzulassen. Alternativ ist es möglich die Daten so im Vorfeld zu filtern, dass nur Unfälle die sich außerorts ereigneten dem Algorithmus zur Verfügung zu stellen. Dies wurde aber nicht weiter untersucht.

```
def dbsc(accBW, accBWcoord):
    acc_df = accBWcoord
    acc_df_scale = StandardScaler().fit_transform(acc_df)

    db = DBSCAN(eps = 0.003, min_samples = 3).fit(acc_df_scale)
    labels = db.labels_
    accBW["cluster"] = labels
    unique_labels = set(labels)

    colors = []
    for i in range(len(unique_labels)):
        colors.append("#%06X" % randint(0, 0xFFFFFF))

    comb_df = pd.DataFrame()
    comb_df["Farbe"] = colors
    comb_df["cluster"] = unique_labels
    accBW1 = pd.merge(accBW, comb_df, on = ["cluster"], how = "left", left_index = True)
    accBW1 = accBW1.drop(columns=["index", "level_0"])
    accBW1 = accBW1.reset_index()
    Motinc = (labels == -1).sum() / len(labels)
    m = folium.Map([48, 9], zoom_start = 8)

    for i in range(len(accBWcoord)):
        folium.Circle(radius=50, location=[accBW.loc[i, "Latitude"],
            accBW.loc[i, "Longitude"]], color = accBW1.loc[i, "Farbe"], fill=True, alpha=0.5).add_to(m)

    m.save('clusterMap1.html')

    return unique_labels, comb_df, accBW1, Motinc, labels
```

Abbildung 6: Anwendung DBSCAN auf Unfallatlas

Zur Veranschaulichung werden die Unfälle auf einer Karte aufgezeichnet, wobei die jeweiligen Cluster in einer Farbe dargestellt werden.

Dies wird in Abbildung 7 beispielhaft dargestellt, dabei ist zu sehen, dass die roten, dunkelgrünen und violetten Punkte jeweils auf Unfallophäufungen in den Kurven hinweisen. Die türkisenen Punkte stellen einzelne Unfälle dar, welche vom DBSCAN als Rauschen deklariert werden und keinem Cluster angehören.

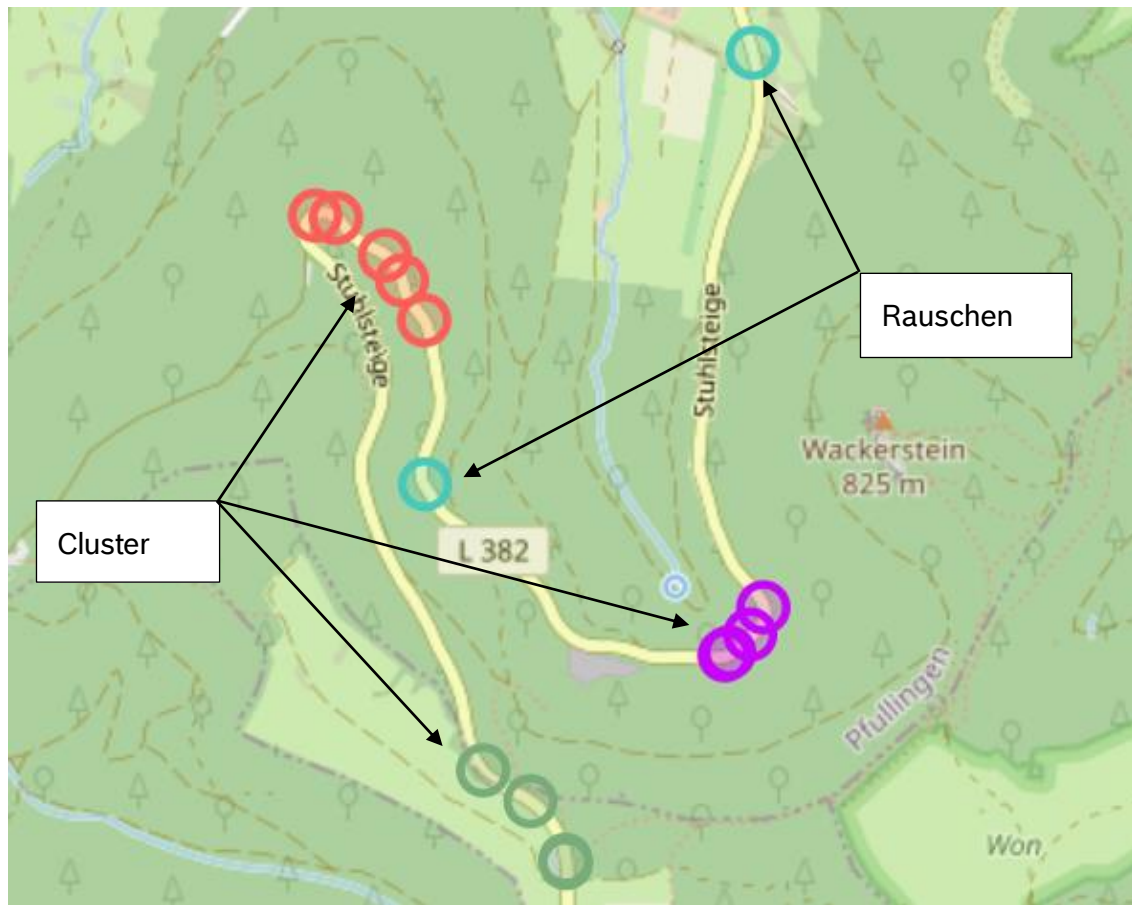


Abbildung 7: Ausschnitt aus der Unfallkarte

Bei der Vorgehensweise entstehen für das Land Baden-Württemberg ergeben sich insgesamt 1.377 Cluster. Diese decken ca. 28% der gesamten Motorradunfälle in Baden-Württemberg ab. Mit anderen Worten jeder 3. Unfall ereignet sich an einem Unfallschwerpunkt. Es gilt zu prüfen, ob dieser Schwerpunkt ggf. mit anderen Maßnahmen z.B. Verkehrsführung entschärft werden könnte. Dem gegenüber stehen also 72% der Unfälle mit Motorradbeteiligung in Baden-Württemberg die sich an Stellen ohne eine Häufung ereignen.

Die Abbildung 8 zeigt zwei Heatmaps, in welcher die Unfälle nach Unfallart und Unfalltyp aufgeschlüsselt sind. Bei einer Heatmap werden über zwei Parameter (x- und y-Achse) Werte aufgetragen. Dabei werden die Felder mit einer höheren Zahl heller, um zu signalisieren, dass diese Ausschlaggebend sind.

In der Abbildung 8 sind die dargestellten Zahlen der prozentuale Anteil des jeweiligen Unfalltyps und der Unfallart. Alle Felder der Heatmap gesamt ergeben immer 100%.

Die zwei Heatmaps bieten einmal Angaben für Unfälle im Cluster und einmal für die Unfälle außerhalb des Clusters. Dabei zeigt sich, dass bei den geclusterten Unfällen anteilig mehr Einbiege-, Abbiege- und Längsverkehrsunfälle geschehen und bei den Unfällen außerhalb eines Clusters mehr Fahrtenfälle. Dies kann auf die Häufung an Clustern in den Städten zurückgeführt werden. Da in Städten mehr Kreuzungsunfälle vorkommen und das Verkehrsaufkommen in den Städten höher ist.

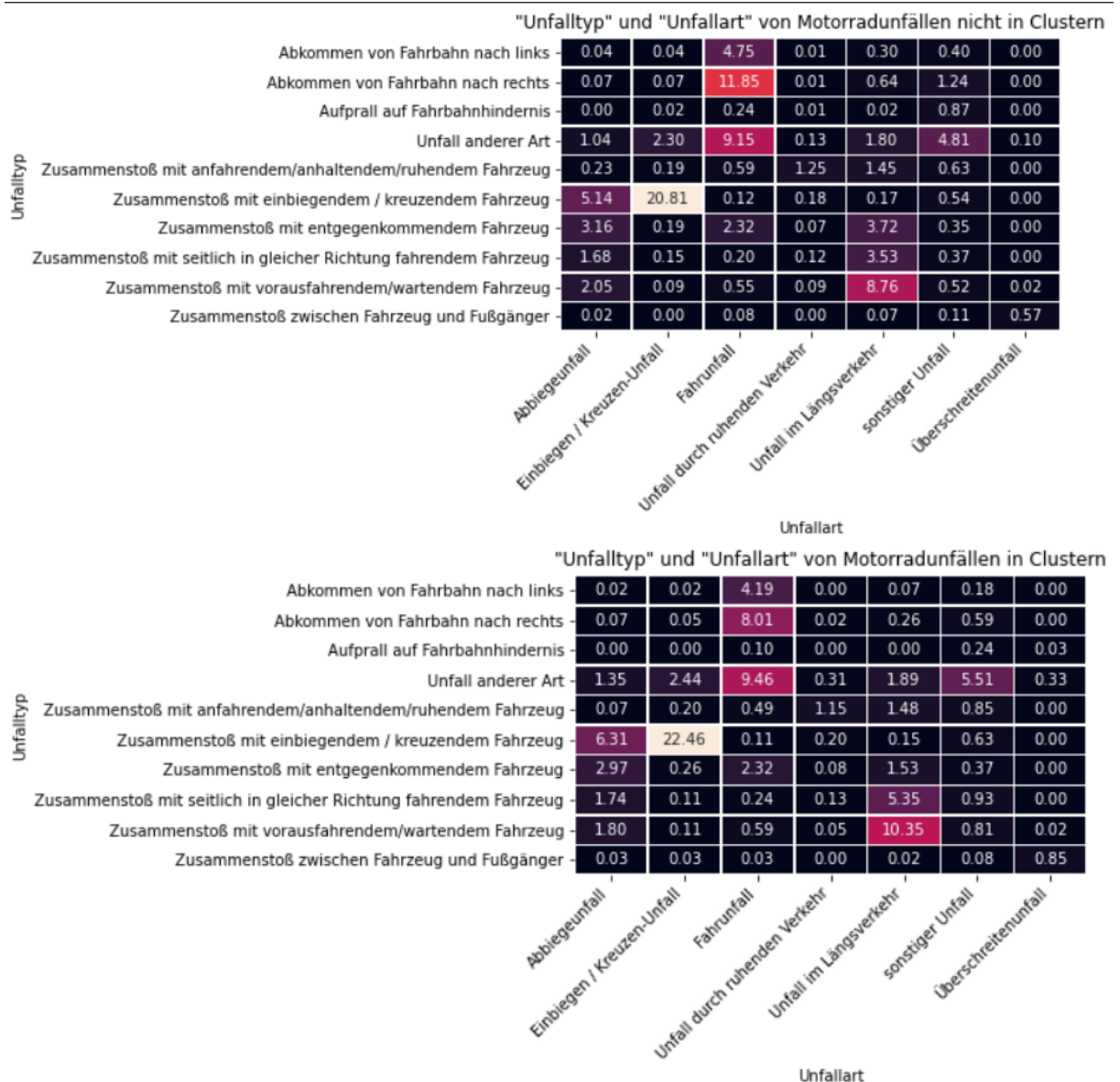


Abbildung 8: Unfallart und Unfalltyp bezogen auf Unfälle in und außerhalb eines Clusters

Die Abbildung 9 zeigt ein Balkendiagramm, in diesem werden die Unfälle in beziehungsweise außerhalb eines Clusters bezogen auf ihre Unfallschwere in Prozent dargestellt. Die Unfallschwere beschreibt den Verletzungsgrad des am schwersten Verletzten Unfallteilnehmer.

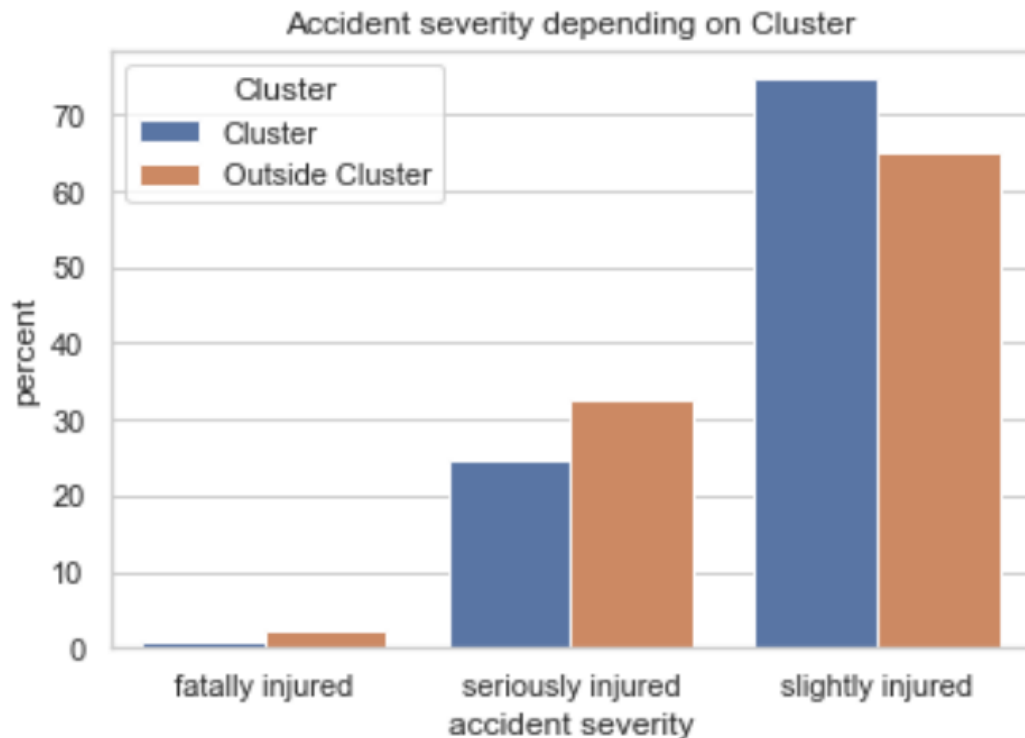


Abbildung 9: Unfallschwere

Dabei zeigt sich, dass bei den Unfällen in Clustern prozentual mehr Motorradfahrer leicht verletzt werden und bei den Unfällen außerhalb eines Clusters es mehr schwer Verletzte und tödlich Verletzte gibt.

### 3.3 **Fazit**

Aus der Betrachtung der Unfallschwerpunkte zeigt sich, dass sich für Baden-Württemberg insgesamt 1377 Cluster ergeben, welche ca. 28% der gesamten Unfälle beinhalten.

Bei der Gegenüberstellung der Unfälle in einem Cluster bzw. außerhalb eines Clusters zeigt sich, dass die Unfälle im Cluster besonders viele Einbiege-, Abbiege-, Längsverkehrsunfälle ereignen. Daran zeigt sich, dass Kreuzungen einen besonderen Risikofaktor darstellen.

Auch ergibt sich aus dieser Auswertung, dass die Motorradfahrer, welche an einem Unfallschwerpunkt verunfallen, öfter leichte Verletzungen erleiden, als die außerhalb eines Clusters.

## 4. KORRELATION WETTERDATEN UND GEFAHRENSTELLEN

Um weiteren Aufschluss über die Unfallursachen zu erhalten, werden öffentlich verfügbare Wetterdaten zusätzlich zu den Unfalldaten genutzt. Da schlechte Straßenbedingungen wie z.B. Nässe oder Glätte zu einem geringeren Traktionsniveau führen liegt die Hypothese nahe, dass bei sich verändernden Witterungsbedingungen die Anzahl der Unfälle erhöht. Dies wirkt sich besonders auf Motorradfahrer aus, da die Aufstandsfläche der Reifen geringer ist als bei beispielsweise PKW und somit ein Traktionsverlust wahrscheinlicher ist und gleichzeitig auch gravierendere Folgen hat.

Der Deutsche Wetterdienst stellt verschiedene historische Wetterdaten zum Download zur Verfügung. Die Wetterdaten unterscheiden sich nach Art und Häufigkeit der Messung und sind für viele Messstation in ganz Deutschland verfügbar. Für die Anwendung auf die Unfälle werden Niederschlag, Bodentemperatur und Lufttemperatur verwendet.

Der Niederschlag hat einen maßgeblichen Einfluss auf die Straßenbedingungen, da Nässe das Traktionsniveau verringert und dadurch die Unfallwahrscheinlichkeit erhöht wird. Die Bodentemperatur kann ebenfalls Aufschluss über die Straßenbedingungen liefern, da Glätte einen noch höheren Traktionsverlust hervorruft, als Nässe. Die Lufttemperatur bietet in Korrelation mit der Bodentemperatur Aufschluss über die Straßenoberfläche auch ohne Bodenfrosts.

### 4.1 Zuordnung Wetterdaten zu Unfällen

Um die Wetterdaten in die Aufarbeitung der Unfälle einfließen lassen zu können, müssen die Wetterdaten an der Unfallposition und dem Unfalldatum ermittelt werden.

Dazu werden zunächst der euklidische Abstand zwischen den Unfall GPS-Koordinaten und den GPS-Koordinaten der Wetterstationen gebildet.

Der Euklidische Abstand berechnet sich nach folgender Formel:

$$d = \sqrt{\sum_{i=1}^n (q_i - p_i)^2}$$

Formel 3: Euklidischer Abstand



Dabei stellt  $q$  das jeweilige Koordinatenpaar des Unfallortes dar. Das  $p$  die Koordinaten der Wetterstation. Um die nächstgelegene Wetterstation zu jedem Unfall zu finden, wird zuerst der Abstand zwischen dem Unfall und jeder Wetterstation ermittelt. Anschließend wird die *min()*-Funktion verwendet. Diese Funktion sortiert aufsteigend nach der kleinsten Zahl in der Spalte einer Matrix oder Datenbank.

Der erste Eintrag in der sortierten Spalte stellt dann die Wetterstation mit dem geringsten Abstand zu dem Unfall dar.

Zur Visualisierung und Überprüfung des Ergebnisses werden alle Wetterstationen und Unfälle in einer Karte dargestellt.

Dies ist in Abbildung 10 zu sehen. Die Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus der Karte, dabei werden alle Unfälle und Wetterstationen als Marker dargestellt. Wenn eine Wetterstation angeklickt wird erscheint ein Pop-up, welches die Kennnummer der Wetterstation anzeigt. Beim Klicken auf einen Unfall werden die nächsten drei Wetterstationen angezeigt mit Kennnummer und Abstand in Kilometern.

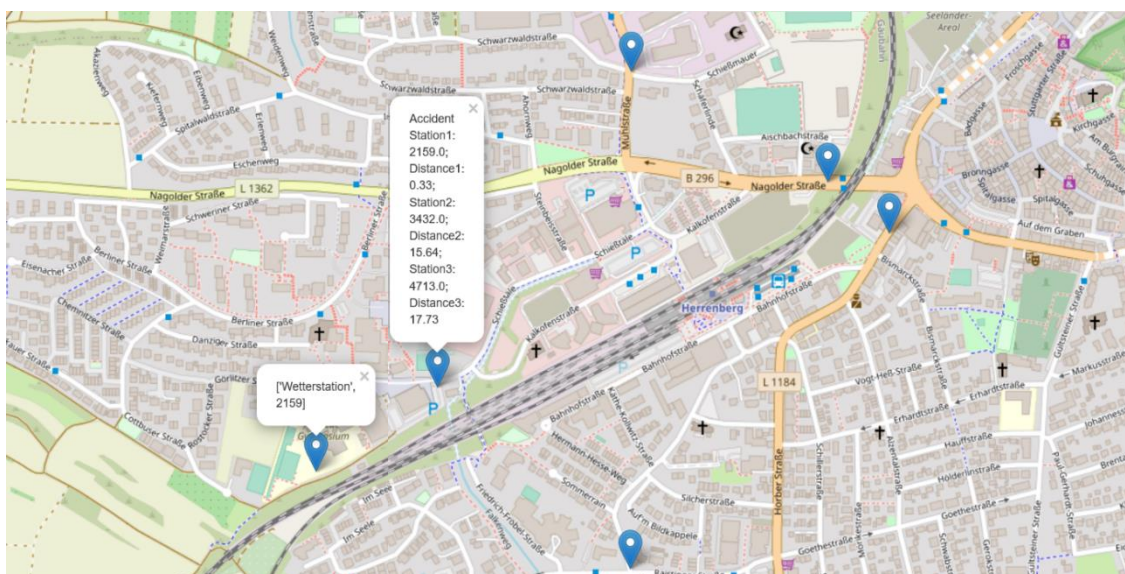


Abbildung 10: Ausschnitt aus der Unfall und Wetterstationen Karte

Um aus der Zuordnung der Unfälle mit den Wetterstationen die Wetterdaten zu erhalten muss das Datum und die Uhrzeit berücksichtigt werden.

Dabei stellt sich das Problem, dass der Unfallatlas aus Datenschutzgründen nicht das genaue Datum angibt, sondern lediglich Jahr, Monat, Wochentag und Uhrzeit. Deshalb ist eine direkte Zuordnung nicht möglich.

Um dieses Problem zu überwinden, werden alle möglichen Daten ermittelt und für jedes Datum einzeln die Wetterinformationen bestimmt.

Wenn sich der Unfall beispielsweise an einem Dienstag im Mai 2018 ereignet hat ergeben sich folgende Möglichkeiten:

Datum1	Datum2	Datum3	Datum4	Datum5
01.05.2018	08.05.2018	15.05.2018	22.05.2018	29.05.2018

Tabelle 2: Ermittlung des Datums

Diese Methodik ergibt je nach Wochentag und Monat entweder vier oder fünf mögliche Tage, an welchen sich der Unfall ereignet haben könnte. Um die Möglichkeiten an Tagen zu reduzieren wird über weitere Angaben des Unfallatlasses gearbeitet.

Dazu bietet der Unfallatlas Informationen über den Straßenzustand. Der Straßenzustand wird von der Polizei am Unfallort erfasst und untergliedert sich in nass, glatt oder trocken.

Aus der Information über die Nässe kann in Kombination mit der Information über den Niederschlag eine Aussage über mögliche Daten getroffen werden.

Wenn man das Beispiel aus Tabelle 2 nimmt und um die Information erweitert, dass der Straßenzustand nass ist und gleichzeitig aus den Wetterdaten die Niederschlagswerte ermittelt, ergibt sich folgende Tabelle.

	Datum1	Datum2	Datum3	Datum4	Datum5
Datum	01.05.2018	08.05.2018	15.05.2018	22.05.2018	29.05.2018
Niederschlag in mm/m <sup>2</sup>	0	3,5	0	2,5	0

Tabelle 3: Ermittlung des Datums mit Niederschlagswerten

Aus dieser Tabelle geht hervor, dass Datum 1, Datum 3 und Datum 5 nicht in Frage kommen, da es an diesen möglichen Unfalldaten nicht geregnet hat.



Im Umkehrschluss folgt daraus, dass nur noch die Unfalldaten 2 und 4 in Frage kommen.

Um aus verblieben Daten einen für die Statistik nutzbaren Wert zu erhalten wird mit dem Mittelwert gearbeitet, in diesem Fall wäre der gemittelte Niederschlag über die beiden verbliebenen Werte  $3 \text{ mm/m}^2$ .

Dasselbe Prinzip kann auf die Kombination aus Bodentemperatur und Glätte angewendet werden.

## 4.2 Ergebnisse Wetterdaten und Unfälle

In diesem Abschnitt werden die Unfälle mit den Wetterdaten korreliert, um Aufschluss über das Unfallgeschehen im Hinblick auf die Wetterbedingungen zum Unfall zu erhalten.

### 4.2.1 Unfälle über Temperatur

Die Abbildung 11 zeigt zwei Histogramme. Ein Histogramm stellt eine Häufigkeitsverteilung dar. Dabei werden alle Datenpunkte in einem Datensatz für einen bestimmten Wert oder einen Wertebereich aufsummiert, um somit die Häufigkeiten aufzuzeigen.

Die Histogramme in der Abbildung zeigen die Häufigkeitsverteilung der Lufttemperaturen zum Unfallzeitpunkt.

Das blaue Histogramm stellt die Unfalltemperaturverteilung für alle Unfälle ohne Motorradbeteiligung dar (PKW, LKW etc.), die blaue gestrichelte Linie stellt dabei den Mittelwert für den Datensatz, des blauen Histogramms, dar. Das rote Histogramm stellt die Unfalltemperaturverteilung für alle Motorradunfälle dar, die rote gestrichelte Linie stellt ebenfalls den Mittelwert dar.

Bei genauerer Betrachtung zeigt sich, dass sich die Motorradunfälle im Mittel bei höheren Temperaturen ereignen, als die Unfälle ohne Motorradbeteiligung. Aber die höchsten Unfalltemperaturen entfallen wiederum auf die Unfälle ohne Motorradbeteiligung.

Dies lässt zwei mögliche Schlussfolgerungen zu. Zum einen könnten Motorradfahrer besonders niedrige beziehungsweise besonders hohe Temperaturen meiden, um Glätte und große Hitze zu meiden. Zum anderen

könnten Motorradfahrer bei extremen Temperaturen vorsichtiger fahren, um Unfälle zu vermeiden.

### Accidents and air temperature

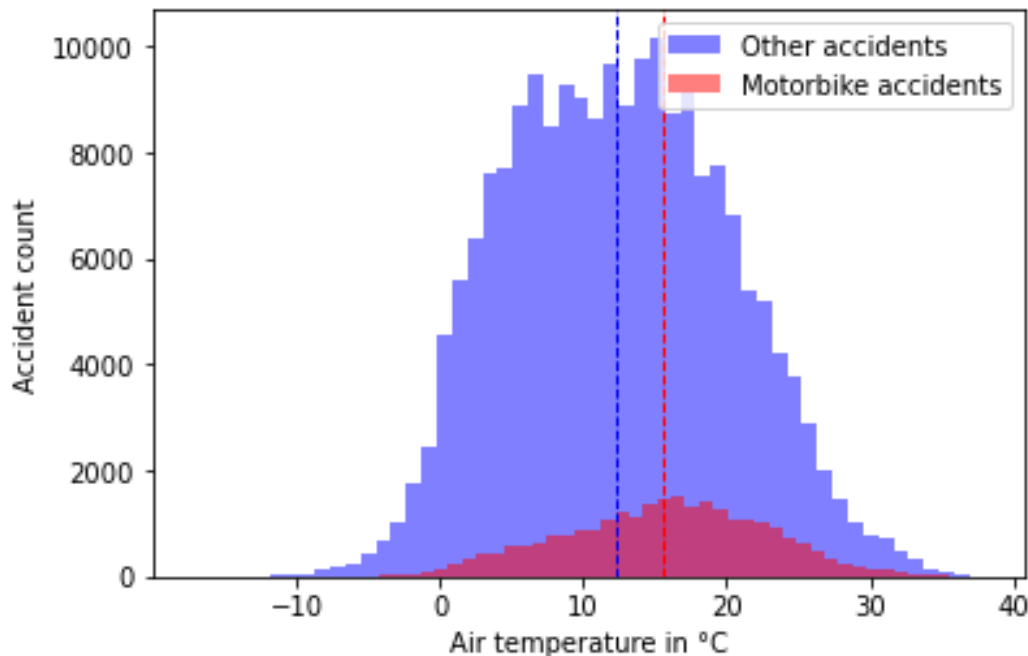


Abbildung 11: Unfälle über Lufttemperatur von Motorradfahrern und allen Verkehrsteilnehmern

Abbildung 12 zeigt ebenfalls zwei Temperaturhistogramme. Bei dieser Abbildung werden allerdings nicht die Lufttemperaturen, sondern die Bodentemperaturen in 5cm Tiefe betrachtet. Die Bodentemperatur gewährt Aufschluss über den Straßenzustand im Hinblick auf Glätte. Dabei zeigt sich, dass die Bodentemperatur, bei welcher Motorradfahrer verunfallen, höher ist als die der anderen Verkehrsteilnehmer. Dies könnte wiederum darauf zurückzuführen sein, dass Motorradfahrer bei besonders niedrigen Temperaturen vorsichtiger und/oder weniger fahren.

Außerdem ist auffällig, dass bei 0°C ein starker Einbruch der Unfälle sichtbar ist. Dies kann durch die Aggregatsänderung von Wasser erklärt werden. Da das Wasser, welches sich im Boden befindet, bei 0°C seinen Aggregatzustand ändert wird hier die Messung beeinflusst. Denn um den Aggregatzustand eines Elements zu ändern wird eine Aggregatzustandsänderungsenergie benötigt. Dadurch kühlt sich die Bodentemperatur, bei konstant sinkender Lufttemperatur, nicht mehr linear ab, sondern verweilt bei 0°C bis das Wasser im Boden gefroren ist.

## Accidents and ground temperature

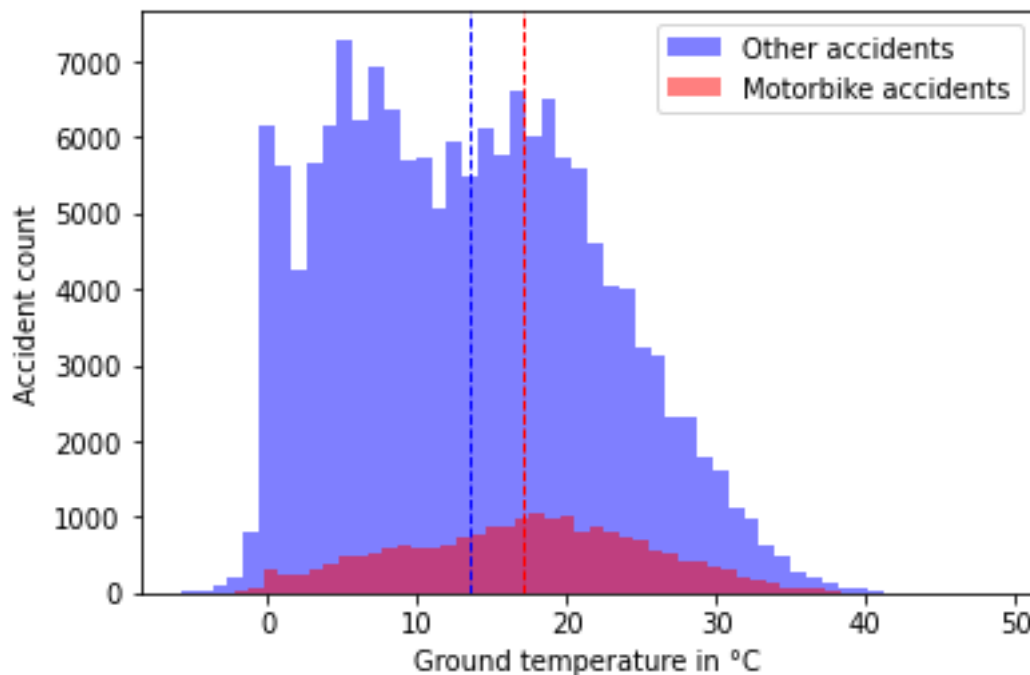


Abbildung 12: Unfälle über Bodentemperatur von Motorradfahrern und allen Verkehrsteilnehmern

Da sich sowohl die Bodentemperatur als auch die Lufttemperatur annähernd Glockenförmig verhalten bietet sich eine Korrelation zwischen beiden an.

Dazu wird ein zweidimensionales -Histogramm (2D-Histogramm) verwendet. Bei einem 2D-Histogramm werden zwei verschiedene Datensätze einmal über die x- und einmal über die y-Achse aufgetragen, dabei gehen die Informationen zu der Gesamtzahl der Datenpunkte verloren, aber eine relative Entwicklung zwischen den Datensätzen ist möglich.

Abbildung 13 zeigt das 2D-Histogramm zwischen der Boden- und Lufttemperatur zum Zeitpunkt des Unfalls. Dabei fällt auf, dass eine lineare Korrelation zwischen den Datensätzen besteht, bis hin zur 0°C Linie der Bodentemperatur.

Aus dieser Erkenntnis könnte für die Zukunft evaluiert werden, ob eine der Temperaturen ausreichend ist und somit weniger Daten berücksichtigt werden müssen.

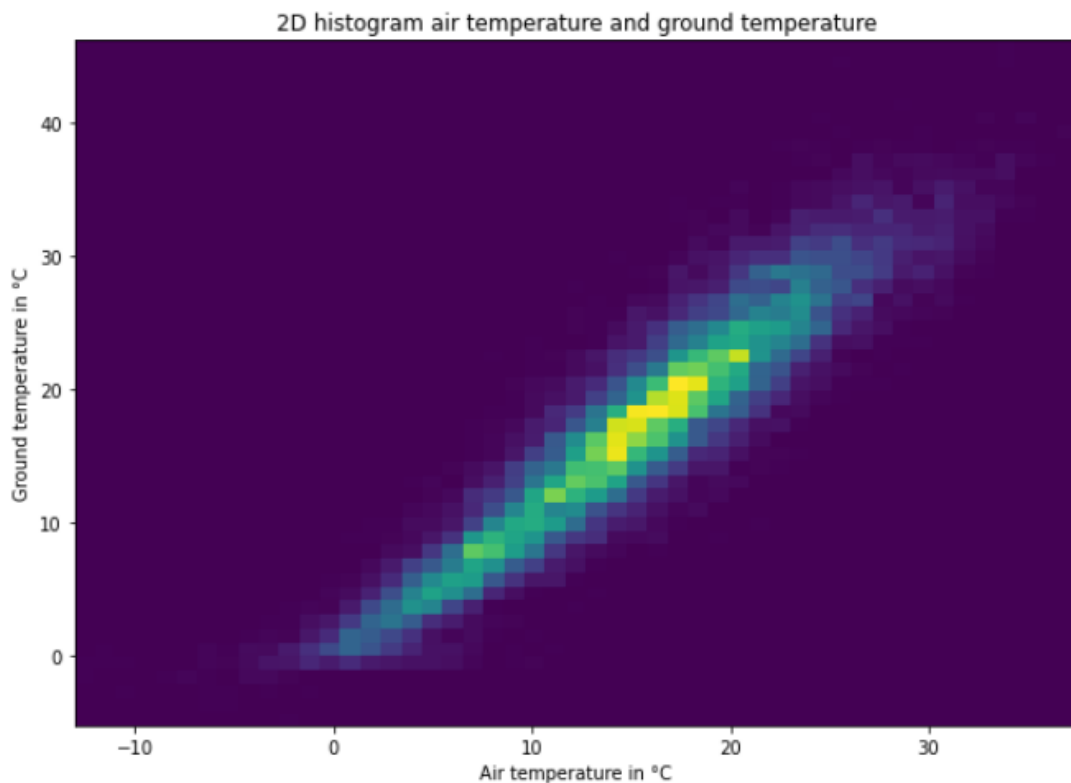


Abbildung 13: 2D-Histogramm zwischen Boden- und Lufttemperatur zum Unfallzeitpunkt

#### 4.2.2 Unfallschwere in Bezug auf Nässe

Der Unfallatlas bietet eine zusätzliche Information über die Unfallschwere, das bedeutet wie schwer der Motorradfahrer verletzt wurde. Die Unterteilung beinhaltet leicht verletzt (ambulante Behandlung), schwer verletzt (mehr als 24h im Krankenhaus) und tödlich verunglückt (im Zeitraum von 30 Tagen nach dem Unfall verstorben).

Die Abbildung 14 zeigt ein Balkendiagramm, in welchem die Unfallschwere für trockene und nasse Straßenbedingungen dargestellt sind.

Hierbei zeigt sich, dass unter nassen Straßenbedingungen Motorradfahrer häufiger leicht verletzt werden und unter trockenen Straßenbedingungen Motorradfahrer häufiger schwer verletzt werden oder tödlich verunglücken.

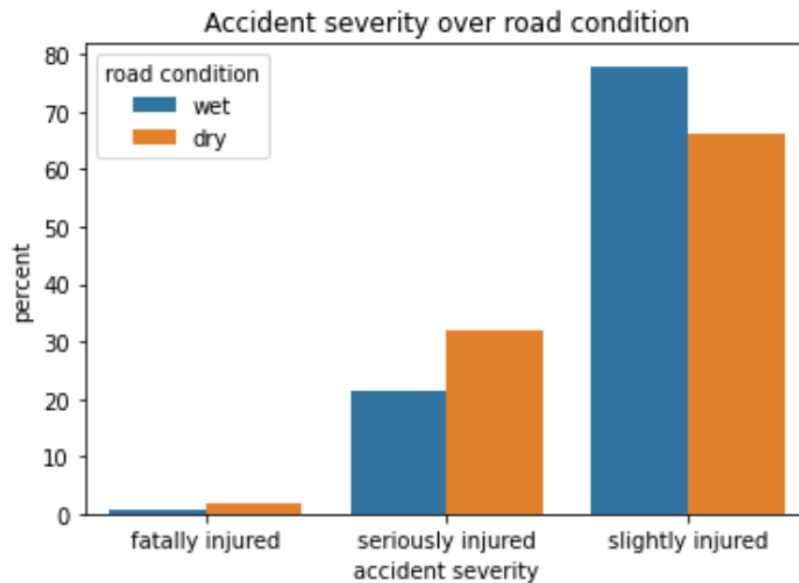


Abbildung 14: Unfallschwere nach Straßenzustand

#### 4.2.3 Unfallentwicklung übers Jahr

Die Abbildung 15 zeigt einen Count-Plot. Ein Count-Plot stellt die Anzahl an Datenpunkten zu einem bestimmten Wert dar. In diesem Fall wird die Anzahl an Motorradunfällen pro Woche dargestellt.

Die Abbildung zeigt zusätzlich zur Unfallanzahl die tagesgemittelte Lufttemperatur.

Es zeigt sich, dass in den kalten Monaten November, Dezember und Januar weniger Motorradunfälle ereignen, als in den wärmeren Monaten.

Dies lässt wiederum zwei Schlussfolgerungen zu. Zum einen, könnten Motorradfahrer die kalten Temperaturen meiden und somit gibt es weniger Unfälle aufgrund des geringeren Verkehrsaufkommens. Zum anderen kann es sein, dass Motorradfahrer bei niedrigen Temperaturen vorsichtiger fahren.

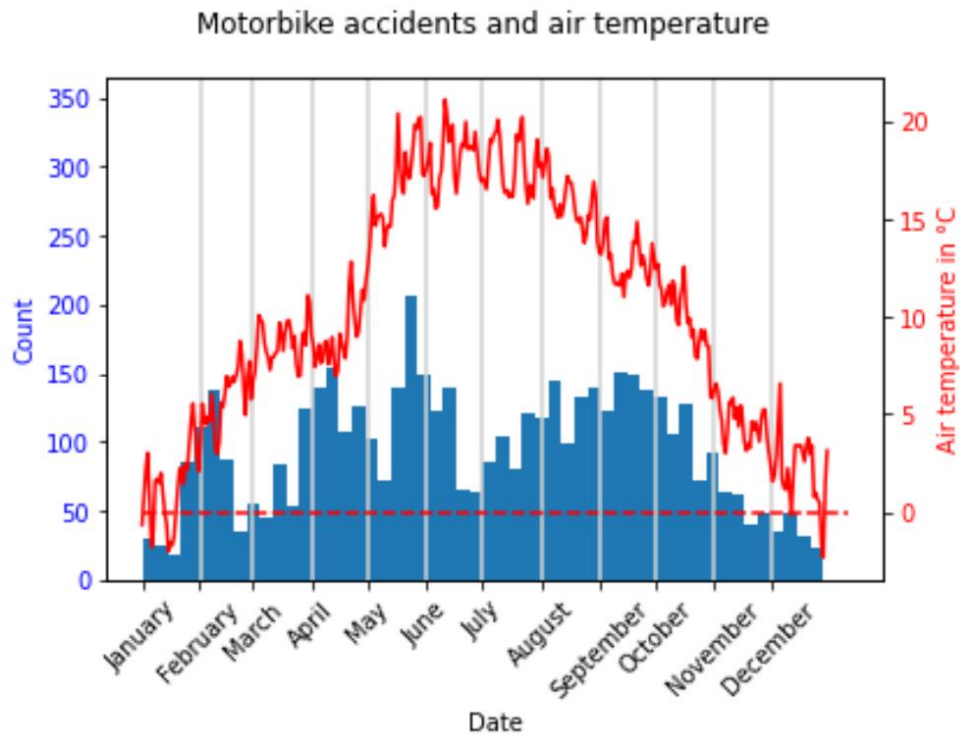


Abbildung 15: Motorradunfälle und Lufttemperatur im Jahresverlauf für 2017

Die Abbildung 16 zeigt ebenfalls einen Count-Plot, in diesem Fall werden zusätzlich zu den Unfällen die Niederschlagswerte aufgetragen. Dabei zeigt sich, dass bei besonders hohen Niederschlägen, wie z.B. Ende Februar und Anfang März weniger Unfälle geschehen. Bei besonders niedrigen Niederschlägen wie z.B. Ende Mai ereignen sich besonders viele Unfälle. Daraus folgt, dass Motorradfahrer starken Niederschlag meiden und somit ereignen sich weniger Unfälle.

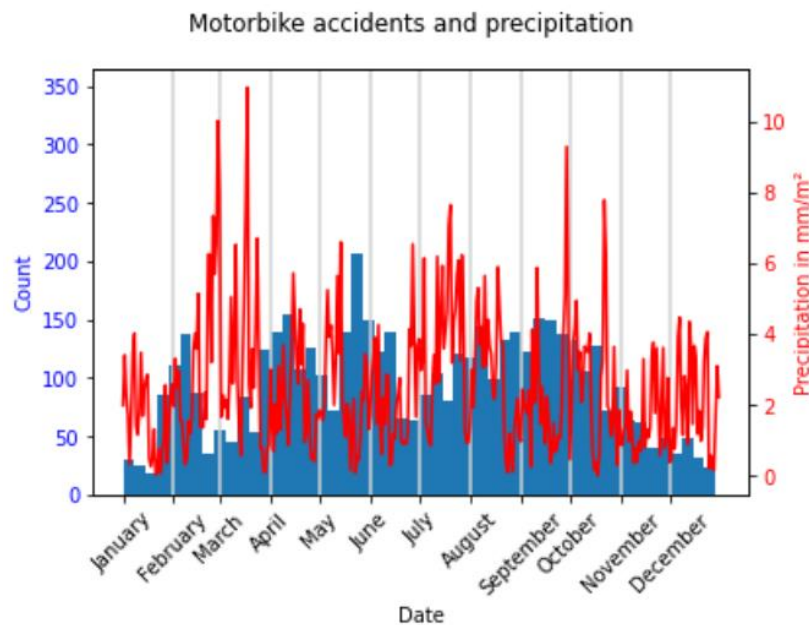


Abbildung 16: Motorradunfälle und Niederschlag im Jahresverlauf für 2017

#### 4.3 Wetterdaten und Unfallschwerpunkte

Bei der Korrelation der Wetterdaten mit den Unfallschwerpunkten werden vergleichbar zu den Abbildungen 11 und 12, zwei Histogramme überlagert, welche die Lufttemperatur bzw. die Bodentemperatur zum Unfallzeitpunkt aufzeigt.

Hier unterscheiden die Histogramme zwischen Motorradunfällen in Clustern bzw. außerhalb von Clustern.

Dabei zeigt sich, dass beide Temperaturverteilungen sehr nahe beieinanderliegen, sowohl die Verteilung der Unfälle als auch die Mittelwerte sind beinahe identisch.

Daraus resultiert, dass das Wetter keinen besonderen Einfluss auf die Unfallschwerpunkte hat, sondern sich genauso verhält, wie die Unfälle außerhalb eines der Unfallschwerpunkts.

## Motorbike accidents over ground temperature

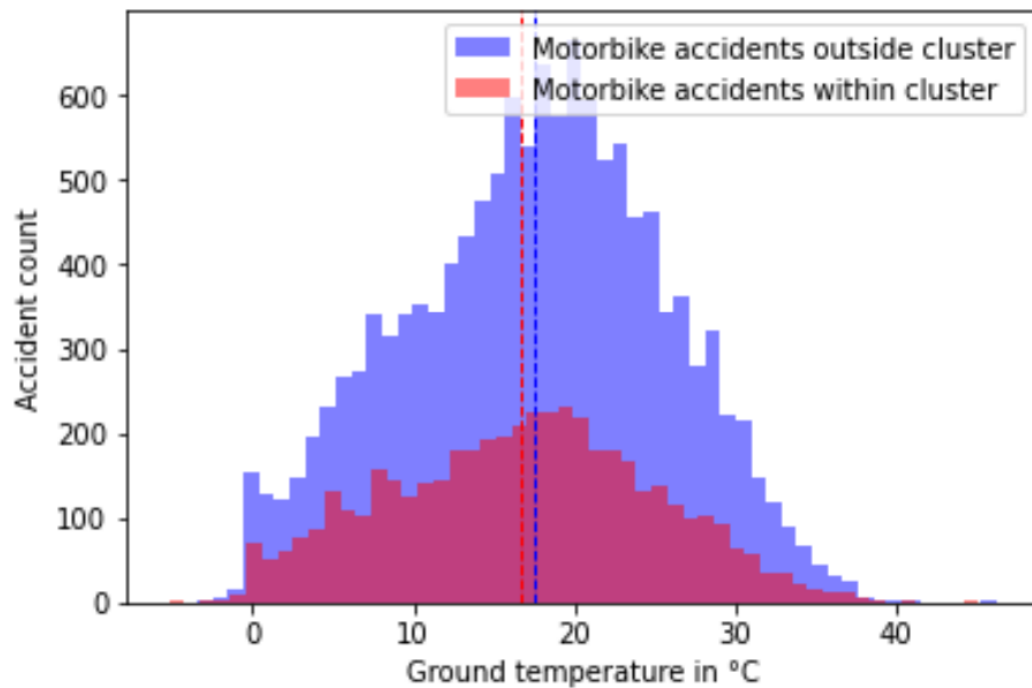


Abbildung 17: Motorradunfälle in bzw. außerhalb eines Clusters in Bezug auf die Bodentemperatur

## Motorbike accidents over air temperature

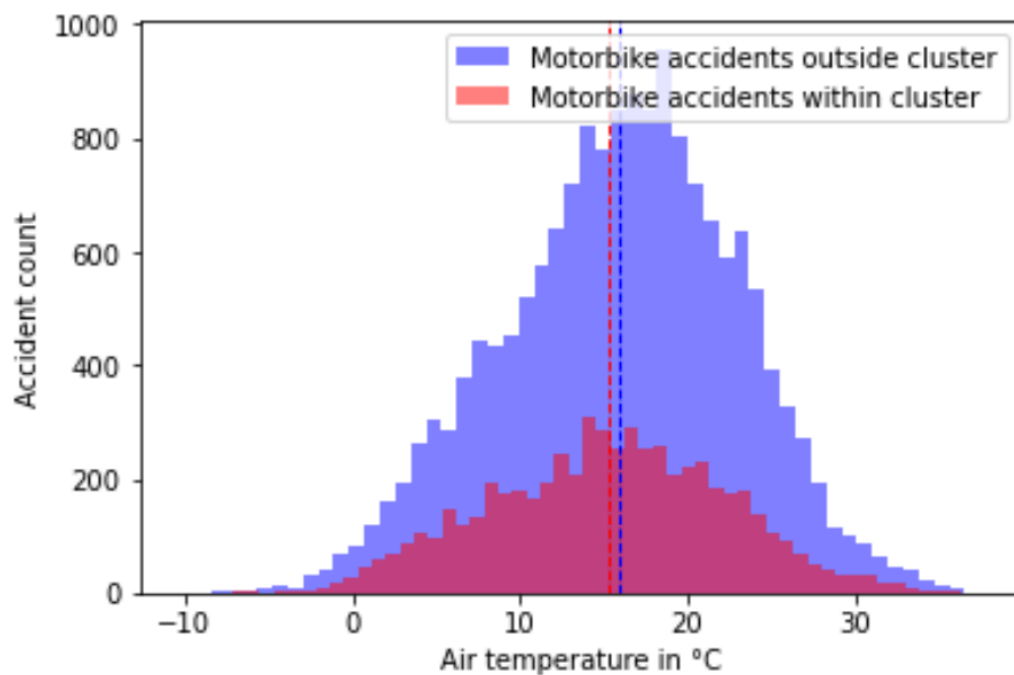


Abbildung 18: Motorradunfälle in bzw. außerhalb eines Clusters in Bezug auf die Lufttemperatur



Abbildung 19 stellt den Prozentsatz der Motorradunfälle unter nassen Straßenbedingungen dar. Dabei zeigt der linke Balken die Unfälle innerhalb eines Clusters auf und der rechte Balken die Unfälle außerhalb eines Clusters. Dabei zeigt sich wie auch in Abbildung 17 und 18, dass die Wetterbedingungen keinen besonderen Einfluss auf die Unfallschwerpunkte haben.

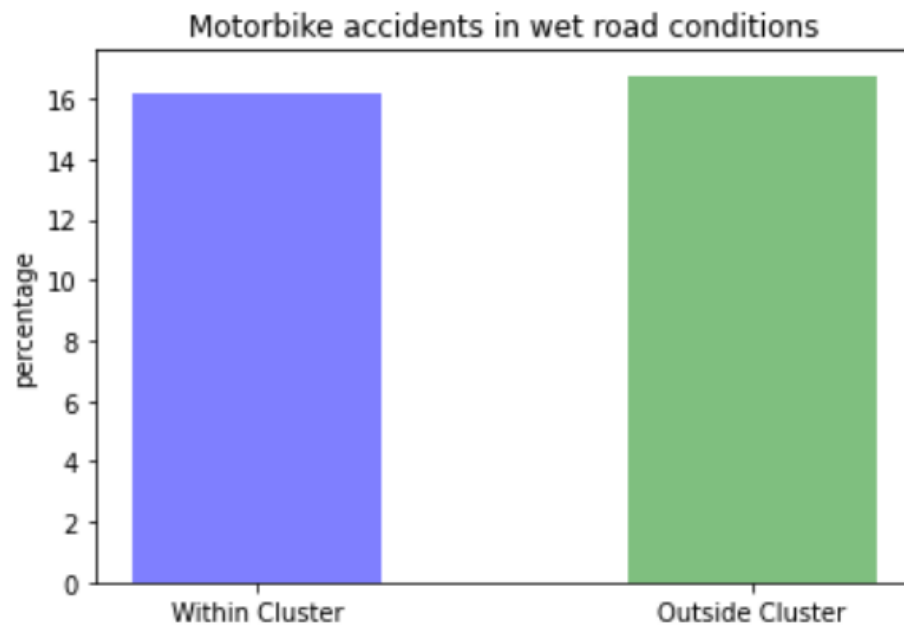


Abbildung 19: Unfälle in bzw. außerhalb eines Clusters in Bezug auf Straßenbedingungen

#### 4.4 **Fazit**

Wie in Abschnitt 4.2 dargelegt, hat das Wetter einen Einfluss auf die Motorradunfälle im Vergleich zu den gesamten Unfällen. Dabei sind Motorradunfälle besonders bei wärmerem Wetter vorzufinden als Unfälle mit anderen Kfz.

Auch der Niederschlag und die Jahreszeit wirken sich auf das Unfallgeschehen in Bezug auf Motorraunfälle aus.

Bei der Betrachtung der Motorradunfälle in bzw. außerhalb eines Clusters zeigt sich, dass hier kein Unterschied vorliegt.

## 5. KORRELATION VSS UND GEFAHRENSTELLEN

Die VSS Daten sind von Bedeutung, da sie im Gegensatz zu den Unfalldaten, das gesamte Verkehrsaufkommen beschreiben und somit einen weiteren Blickwinkel auf die Verkehrssituation ergeben.

### 5.1 Beschaffung der VSS Daten

Das Verkehrsministerium Baden-Württemberg stellt ein Portal zur Verfügung, über welches die einzelnen Verkehrsüberwachungsstationen abgefragt werden können. Allerdings ist jeweils nur die Abfrage einer einzelnen Messstation möglich und nicht aller Messstationen auf einmal. Für jede Messstation sind die aggregierten Daten für einen oder mehrere Überwachungszeiträume vorhanden. Dies bietet zwar den Vorteil, dass man sich schnell einen Überblick verschaffen kann, allerdings sind aus den Rohdaten mehr Informationen zu ermitteln, diese sind aber nicht zugänglich.

Da nicht alle Stationen auf einmal abgerufen werden können wurden einige Station händisch ausgewählt.

Die Auswahl der Messstationen erfolgt anhand von zwei Kriterien.

Zum einen muss sich ein Unfallschwerpunkt in direkter Umgebung der Messstation befinden, um Aussagen über den Verkehr und die Unfallschwerpunkte treffen zu können.

Zum anderen muss darauf geachtet werden, dass sich zwischen der Messstation und dem Unfallschwerpunkt keine Abzweigungen befinden, da sonst keine Aussage über die Verkehrsstärke getroffen werden kann.

#### 5.1.1 Beschreibung der ausgewählten Stationen

Da nicht alle VSS-Stationen analysiert werden können wurden sieben Stationen ausgewählt.

Aus den sieben ausgewählten VSS-Stationen ergeben sich insgesamt 28 Motorradunfälle aus den dazugehörigen Unfallschwerpunkten. Die Unfallschwerpunkte haben zwischen drei und sechs Unfällen pro Schwerpunkt.

Im Folgenden werden beispielhaft drei der sieben ausgewählten Stationen beschrieben, nach welchen Kriterien diese ausgewählt wurden und welche Erkenntnisse daraus gezogen werden können.

Dazu werden Ausschnitte aus einer Karte gezeigt, welche die VSS-Messstationen und die dazugehörigen Unfallschwerpunkte darstellen.

#### Messstation 81472:

Die Messstation 81472 wird durch den blauen Kreis in einer Karte in Abbildung 20 dargestellt. Die violetten Kreise stellen die Unfälle des dazugehörigen Unfallschwerpunkts dar.

Wie zu sehen ist liegt die Messstation vor einer Haarnadelkurve.

Der Streckenabschnitt befindet sich in einem urbanen Umfeld zählt allerdings als außerorts, da die Straße an dieser Stelle eine Geschwindigkeitsbegrenzung von 60 km/h hat und eine Kreisstraße ist. Durch diese Position ergeben sich Unfälle bei niedrigen Geschwindigkeit, da die Kurve einen geringen Radius aufweist.

Ein weiteres Merkmal ist die sehr enge Clusterung der Unfälle, da sich alle im Scheitelpunkt der Kurve befinden.

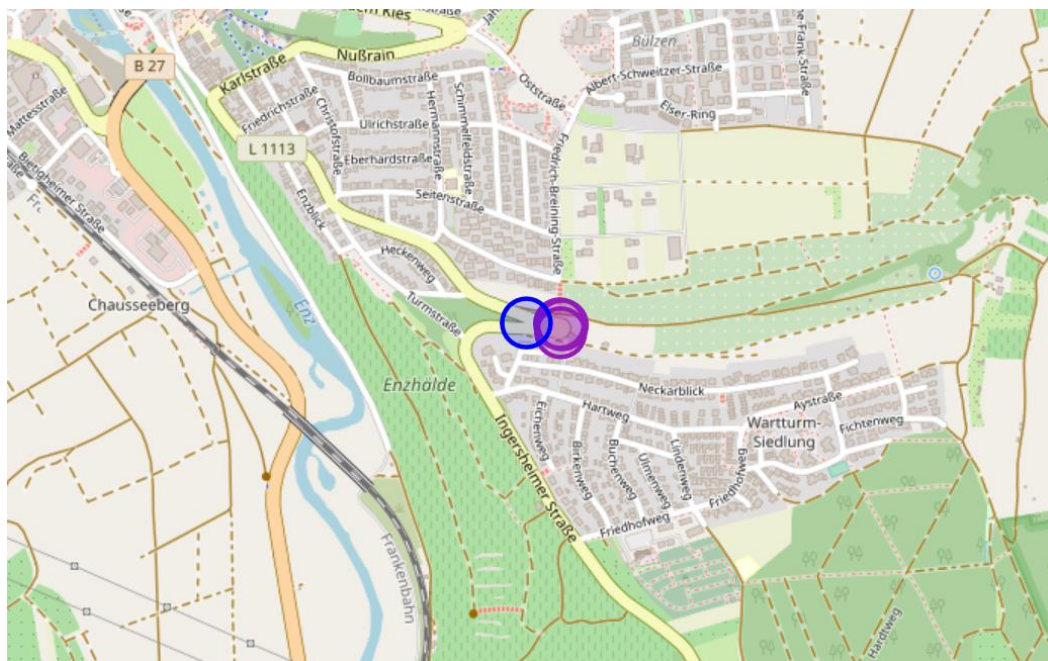


Abbildung 20: Station 81472

Die Abbildung 21 zeigt die mittlere Wochenganglinie für die Messstation 81472. Die Wochenganglinie beschreibt die Fahrzeuge, welche pro Stunde an der Messstation vorbeifahren. Diese werden über den gesamten vierwöchigen Aufzeichnungszeitraum der Messstation gemittelt.

Die gelb hinterlegten Teile der Kurve stellen alle Fahrzeuge dar, die roten Teile der Kurve beziehen sich ausschließlich auf Motorradfahrer.

Dabei zeigt sich, dass unter der Woche das Verkehrsaufkommen höher ist als am Wochenende. Über den Tag bilden sich jeweils Spitzen in der Verkehrsdichte während des Pendlerverkehrs, einmal zwischen 7 und 8 Uhr morgens und einmal zwischen 16 und 17 Uhr nachmittags.

Außerdem zeigt sich, dass das gesamte Aufkommen an Motorradfahrern sehr gering ist.

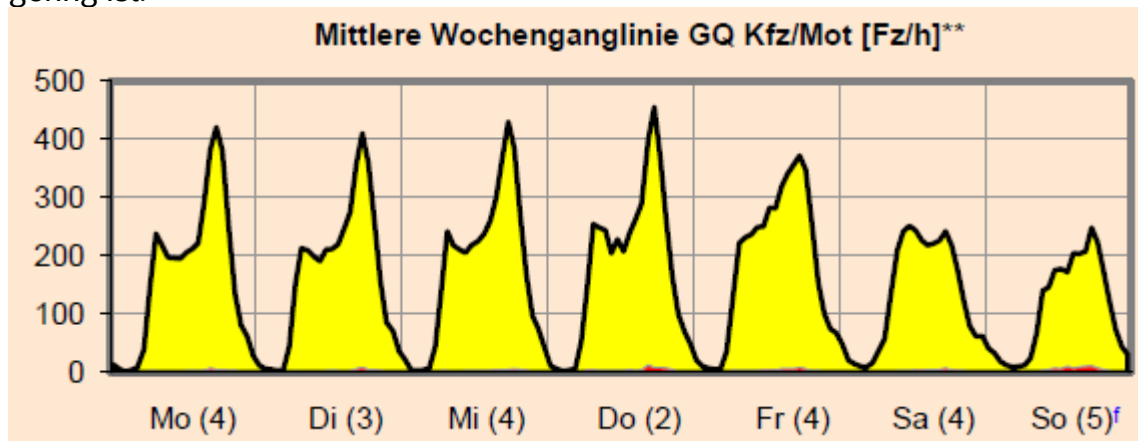


Abbildung 21: Verkehrsaufkommen 81472

#### Messstation 85619:

Die Abbildung 22 stellt die Messstation 85619 und die Unfälle des dazugehörigen Unfallschwerpunkts dar.

Die Messstation liegt vor einer Kurve auf der Bundesstraße B462 und ist somit außerorts gelegen. Das Geschwindigkeitslimit liegt bei 100 km/h. Alle Unfälle erstrecken sich entlang einer 180° Kurve.

Dabei zeigt sich, dass die Unfälle über den gesamten Kurvenbereich erstrecken und nicht direkt auf einem Punkt liegen wie bei der Station 81472. Hierbei ist gut zu sehen, dass auch langgezogene Kurven eine Gefahr darstellen können.

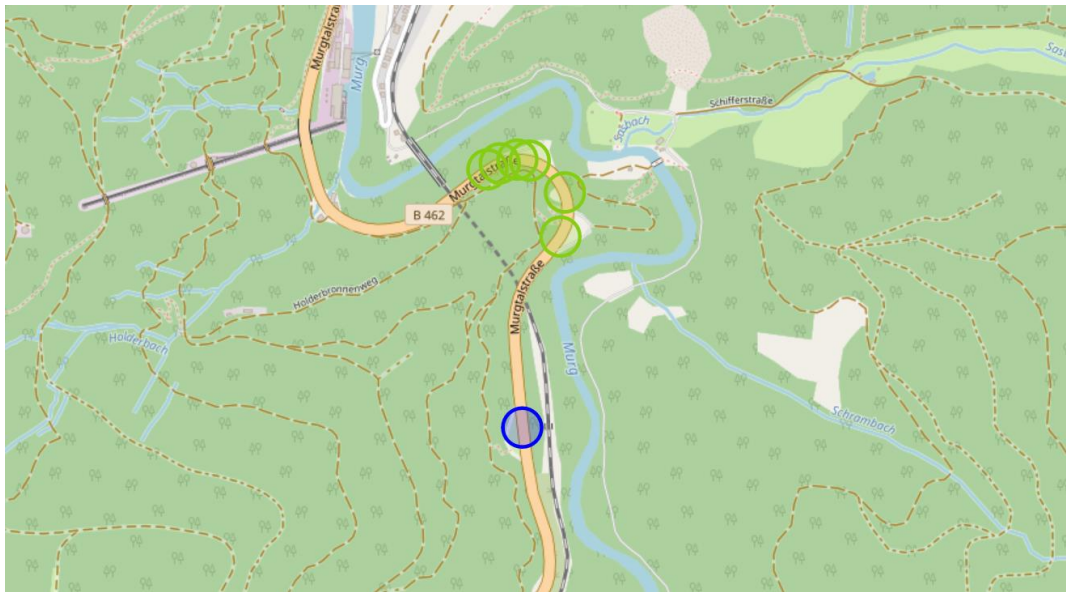


Abbildung 22: Karte 86519

In Abbildung 23 ist die Wochenganglinie zur Messstation 85619 zu sehen. Dabei zeigt sich, dass die Verkehrsdichte am Wochenende, im Besonderen am Sonntag ansteigt. Dies weist auf mehr Freizeitfahrten hin und weniger Berufsverkehr. Außerdem zeigt sich, dass besonders am Wochenende die Anzahl an Motorradfahrern deutlich ansteigt, was wiederum auf Freizeitfahrten zurückzuführen ist.

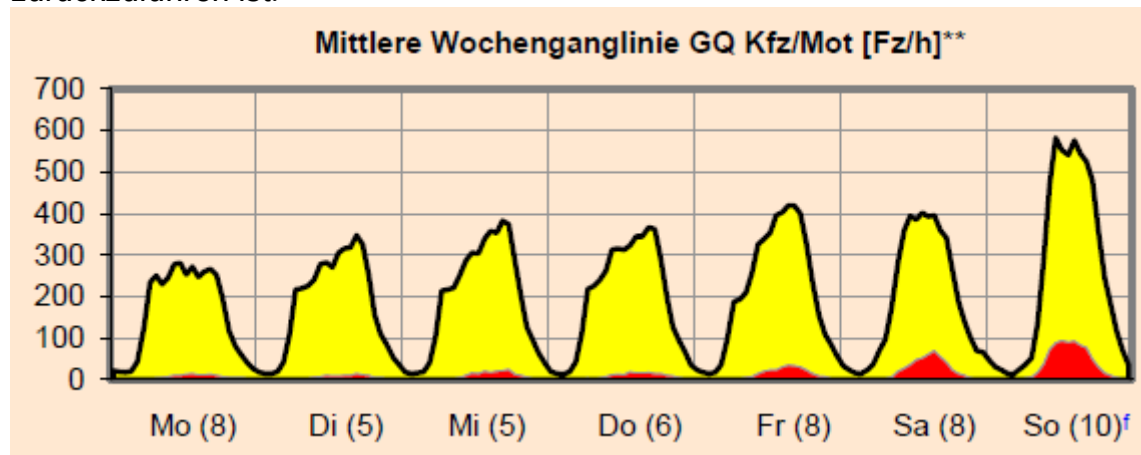


Abbildung 23: Wochenganglinie 86519

#### Messstation 84426:

Die Messstation 84426 liegt ebenfalls außerorts und hat eine Geschwindigkeitsbegrenzung von 100 km/h. Der dazugehörige



Unfallschwerpunkt liegt in einer Kurve direkt vor einer Kreuzung. Dadurch werden zwei potenzielle Gefahrenstellen kombiniert.

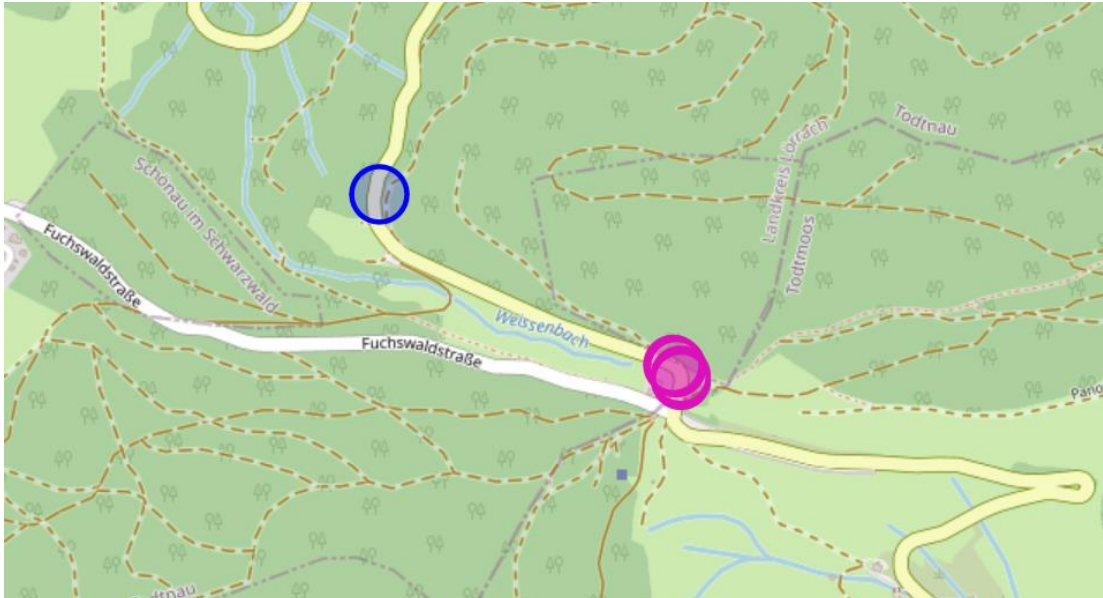


Abbildung 24: Karte 84426

Die Abbildung 25 zeigt die dazugehörige Wochenganglinie für die Station 84426. Dabei zeigt sich, dass das Verkehrsaufkommen verhältnismäßig konstant bleibt, die einzige Ausnahme bildet der Samstag, am Samstag ist das Verkehrsaufkommen höher. Auffällig ist, dass der Anteil an Motorradfahrer an der Messstation 84426 besonders hoch ist, dies kann auf die allgemeine Lage der Station auf einem kurvenreichen Abschnitt im Schwarzwald zurückgeführt werden. Durch diese Lage ist der Streckenabschnitt ein beliebtes Ziel für Motorradtouren und wird von Motorradzeitschrift für Ausfahrten empfohlen [16].

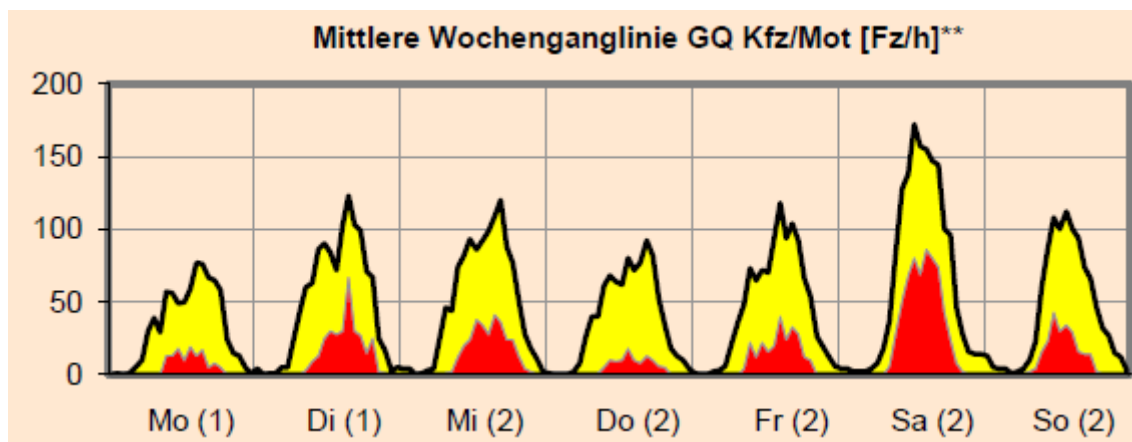


Abbildung 25: Wochenganglinie 84426

## 5.2 Analyse der VSS-Daten in Korrelation mit den Unfallschwerpunkten

In diesem Abschnitt werden die Daten der VSS-Messstationen mit den Unfalldaten der dazugehörigen Unfallschwerpunkte korreliert, um einen Überblick über die Möglichkeiten der Verkehrsüberwachung in Kombination mit den Unfällen aufzuzeigen.

Um ein Bild zu bekommen wie die Unfälle verteilt sind zeigt die Abbildung 26 eine Aufsummierung der Unfälle über den jeweiligen Wochentag, an welchem sich die Unfälle ereignet haben.

Dabei zeigt sich, dass die Unfälle sich besonders an den Wochenenden häufen. Die höchste Unfallzahl liegt am Samstag direkt gefolgt vom Sonntag. Daraus resultiert, dass sich mehr Motorradunfälle durch Freizeit und Wochenendfahrten ergeben, als durch den Pendlerverkehr unter der Woche.

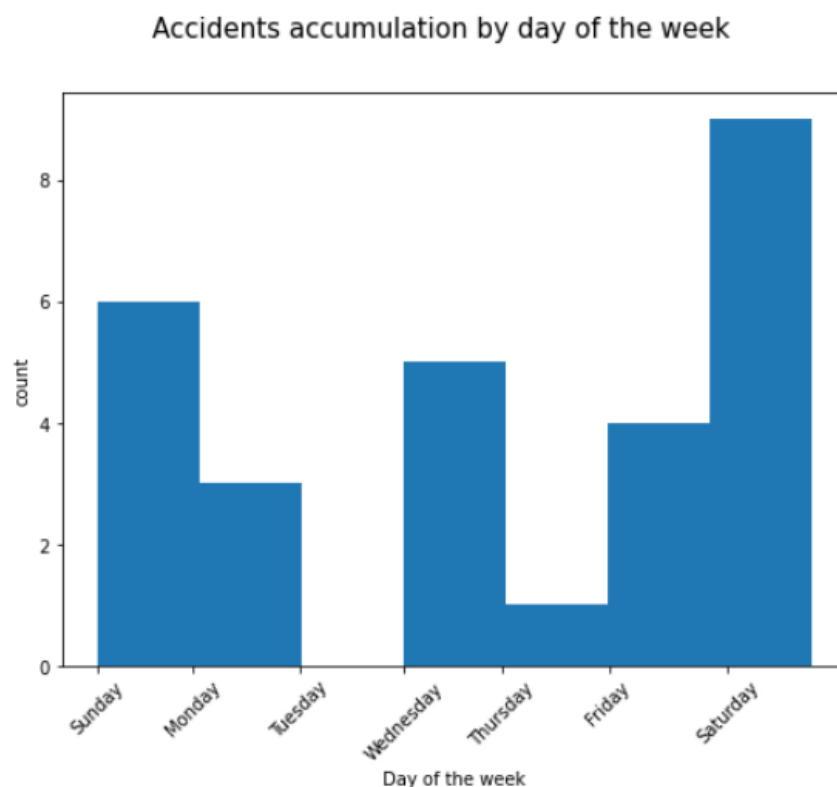


Abbildung 26: Unfälle akkumuliert über Wochentage

Um die Unfälle in den VSS-Schwerpunkten weiter aufzuschlüsseln, werden diese wie in Abbildung 8 nach Unfallart und Unfalltyp aufgeschlüsselt. Dabei zeigt sich in Abbildung 27, dass die häufigsten Unfälle Fahrurfälle darstellen. Dies ist

darauf zurückzuführen, dass das VSS das übergeordnete Straßennetz in Baden-Württemberg analysiert und somit die meisten Unfälle sich außerhalb von Ortschaft ereignen. Da außerhalb von Ortschaften Kreuzungen und Abzweigungen deutlich seltener vorkommen entfallen mehr Unfälle auf Fahrten als innerorts.

"Unfalltyp" and "Unfallart" of accidents within the VSS

Unfalltyp	Abkommen von Fahrbahn nach links	0.00	0.00	10.71	0.00	0.00	0.00
	Abkommen von Fahrbahn nach rechts	0.00	0.00	32.14	0.00	3.57	0.00
	Unfall anderer Art	0.00	0.00	3.57	0.00	7.14	0.00
	Zusammenstoß mit einbiegendem / kreuzendem Fahrzeug	0.00	3.57	0.00	0.00	0.00	0.00
	Zusammenstoß mit entgegenkommendem Fahrzeug	3.57	0.00	14.29	14.29	0.00	0.00
	Zusammenstoß mit vorausfahrendem/wartendem Fahrzeug	0.00	0.00	0.00	3.57	0.00	0.00
	Zusammenstoß zwischen Fahrzeug und Fußgänger	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.57
		Unfallart					
		Abbiegeunfall	Einbiegen / Kreuzen-Unfall	Fahrtenunfall	Unfall im Längsverkehr	sonstiger Unfall	Überschreitungsunfall

Abbildung 27: Unfallart und Unfalltyp für VSS-Unfälle

Zur Analyse des Verkehrsgeschehens werden die Geschwindigkeitsüberschreitungen, der Fahrzeuge an den Messstationen betrachtet. Dabei zeigt Abbildung 28, dass an sechs der sieben Stationen das Geschwindigkeitslimit regelmäßig überschritten wird. Dabei reichen die Werte für PKW-Fahrer von ca. 2,5% bis zu 14% und die Werte von Motorradfahrern von 10 bis 27%. Dies zeigt, dass die Geschwindigkeitsbegrenzung, welche die Sicherheit von Verkehrsteilnehmern garantieren soll missachtet wird. Außerdem zeigt sich, dass Motorradfahrer im Vergleich zu PKW-Fahrern deutlich häufiger die Geschwindigkeitsbegrenzung überschreiten.



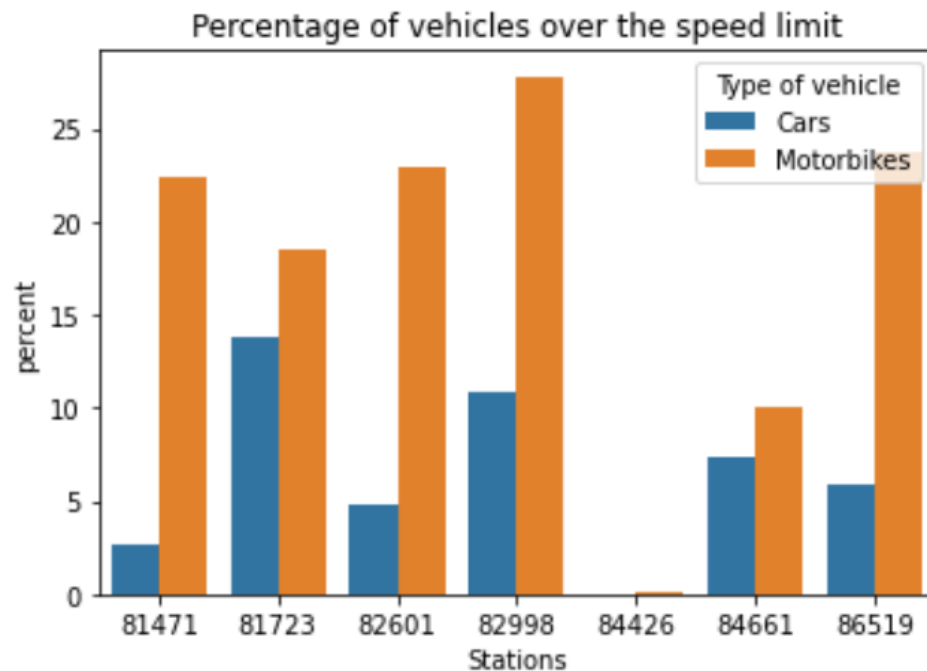


Abbildung 28: Geschwindigkeitsüberschreitungen nach PKW- und Motorradfahrern

Aus der Verkehrsüberwachung lässt sich die Verkehrsstärke zum Unfallzeitpunkt ermitteln. Dazu werden aus den Wochenganglinien die Anzahl der Fahrzeuge pro Stunde zum Unfallzeitpunkt herausgelesen, um aus der Verkehrsstärke allgemeingültige Aussagen zu treffen werden diese mit der durchschnittlichen Verkehrsstärke an der VSS-Messstation verglichen.

Die Abbildung 29 zeigt den Faktor aus Verkehrsstärke zum Unfallzeitpunkt zu gemittelter Verkehrsstärke. Dabei zeigt sich, dass die Unfälle an sechs der sieben Stationen sich bei einer überdurchschnittlich hohen Verkehrsstärke ereignen.

Über alle Stationen gemittelt ergibt sich ein Faktor von 1,76. Dies bedeutet, dass die Verkehrsstärke zum Unfallzeitpunkt im Mittel 76% höher ist als normalerweise. Daraus folgt, dass bei hohem Verkehrsaufkommen mehr Motorradfahrer verunfallen und somit diese Verkehrssituation eine besondere Gefahr darstellt.

## Vehicles per hour at the time of accident / average over all VSS accidents

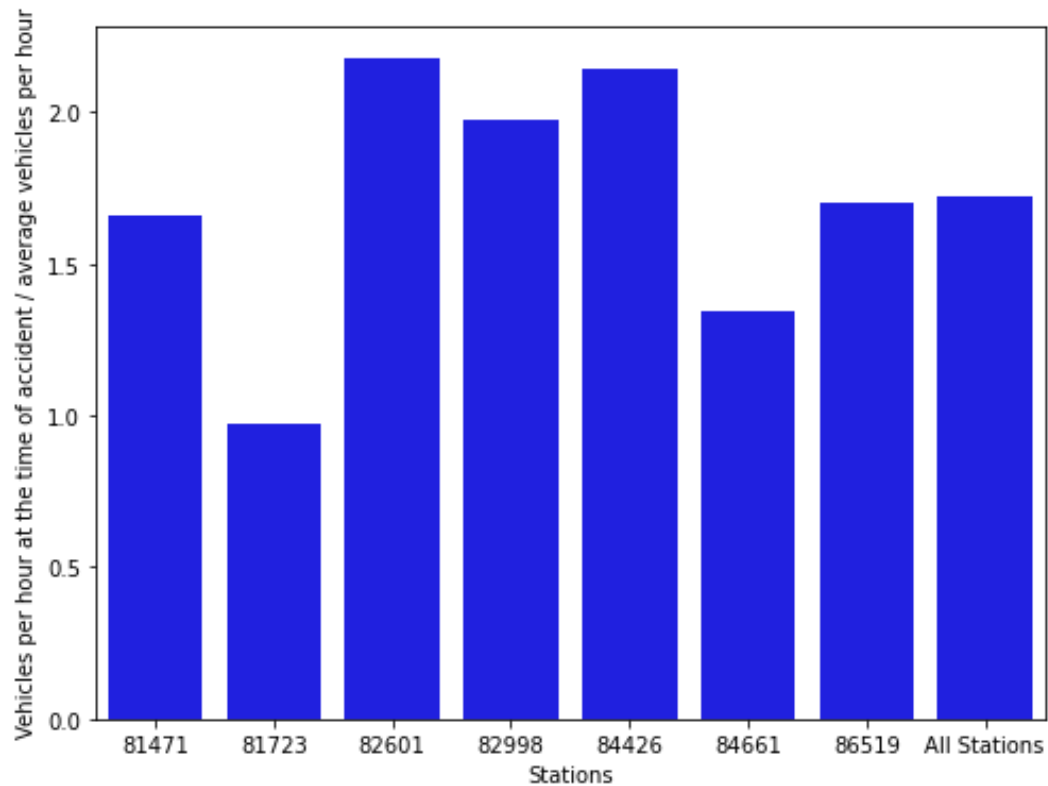


Abbildung 29: Verkehrsstärke zum Unfallzeitpunkt zu mittlerer Verkehrsstärke an den VSS-Stationen

Um die Kritikalität eines Unfallschwerpunkts zu ermitteln wird ein Risikofaktor ermittelt. Dieser Risikofaktor setzt sich aus den Unfällen, welche sich in dem Unfallschwerpunkt befinden und der gesamten Zahl an Motorradfahrern, welche an der VSS Messstation vorbeifahren, zusammen.

Die Abbildung 30 stellt diesen Risikofaktor für die VSS-Stationen dar. Dabei wird die Anzahl der Unfälle im Cluster durch die gesamte Anzahl an Motorradfahrern dividiert.

Dabei zeigt sich, dass je nach Station zwischen jedem 100000sten und 300000sten Motorradfahrer verunfallt. Bei diesem Risikofaktor ist zu beachten, dass eine geringere Zahl ein höheres Risiko darstellt.

Auch zeigt sich, dass die Kritikalitäten mit Faktor drei auseinanderliegen und es somit deutliche Unterschiede in der Risikobewertung gibt.

### Motorbike accidents per traffic volume over VSS stations

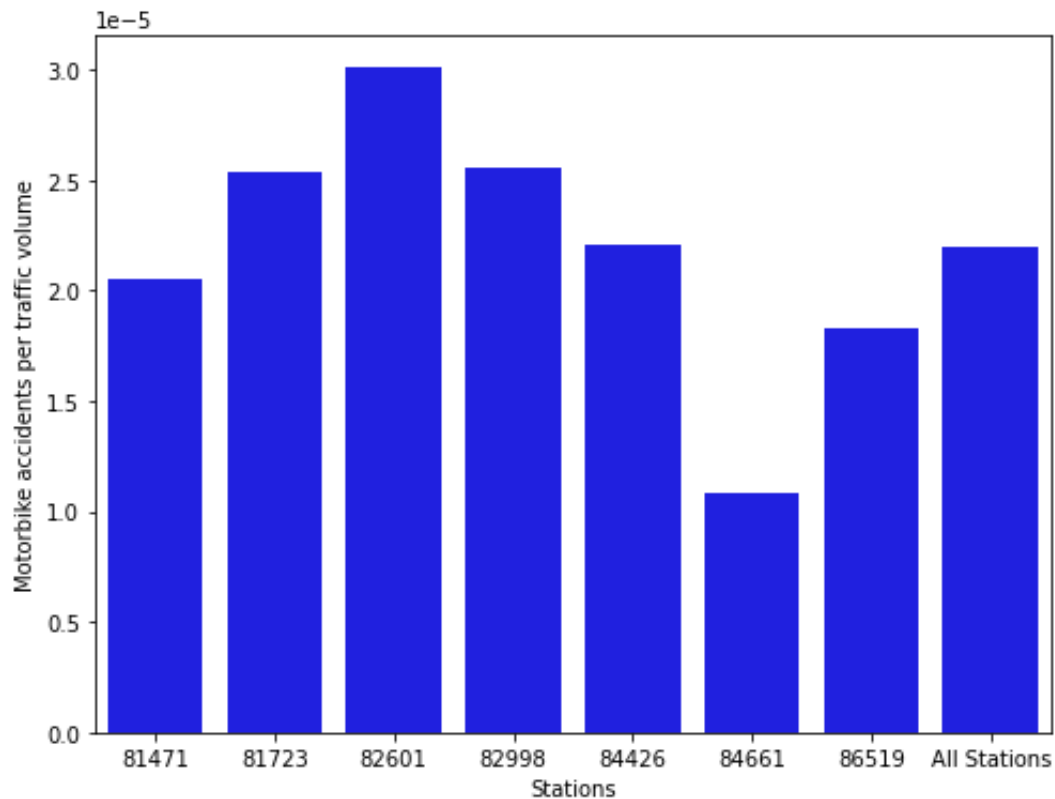


Abbildung 30: Unfälle pro gezähltem Motorradfahrer

## 5.3 Weitere Vorgehensweise

Da sich die Abfrage der VSS-Daten als schwierig erwiesen hat und nur ein kleiner Auszug aus den VSS-Daten verwendet wurde, ist die Aussagekraft der Daten limitiert. Deshalb wird in diesem Abschnitt beschrieben welche Daten in Zukunft genutzt werden können und wie diese ausgewertet werden können.

### 5.3.1 Analyse aller aggregierten Daten

Zum einen könnten die aggregierten Daten aller VSS-Messstationen vom Verkehrsministerium Baden-Württemberg beantragt werden.

Durch diese flächendeckende Verkehrsüberwachung können mehr Unfallschwerpunkte einer Messstation zugeordnet werden. Dadurch lassen sich die Analysen, welche in Punkt 5.2 dargelegt sind in einem statistisch relevanten Maßstab aufarbeiten und somit ein allgemeingültiges Bild erschaffen.

Um die zusätzlichen Daten nutzbar zu machen ist ein höheres Maß an Automatisierung notwendig.

Für die Zuordnung der Unfallschwerpunkte zu den VSS-Stationen kann über die GPS-Koordinaten gearbeitet werden, um aber sicher zu stellen, dass sich die VSS-Station und der Unfallschwerpunkt auf derselben Straße befinden müssen die Straßenkennungen abgeglichen werden.

Dafür müsste ein Tool entwickelt werden, welches die Straße, auf welcher sich der Unfall ereignet hat, erkennt. Dies könnte über Datenbanken von OpenStreetMap geschehen.

OpenStreetMap ist ein open-source Programm, welches Karten zur Verfügung stellt, in diesen Karten sind zu den jeweiligen Straßen Informationen, wie z.B. Straßenkennung oder Geschwindigkeitsbegrenzung hinterlegt.

Aus dieser Datenbank kann mithilfe der GPS-Koordinaten eine Zuordnung zur Straße ermöglicht werden.

Eine weitere Herausforderung stellt die Nutzbarkeit der aggregierten Daten dar. Da diese Daten nur in Form eines pdf-Dokuments vorliegen ist die Nutzung der Daten diesbezüglich schwieriger.

Eine Möglichkeit wäre es vom Verkehrsministerium die Daten direkt als csv- oder text-Dateien zu beantragen, dann könnten die Daten ohne weitere Aufarbeitung verwendet werden.

Wenn dies nicht möglich ist, da das Verkehrsministerium diese Daten nicht zu Verfügung stellen kann oder will, können Tools wie pdftotext() benutzt werden.

Pdftotext() ist in der Lage pdf-Dateien einzulesen und daraus text-Dateien zu erstellen. Mit diesen text-Dateien kann dann weitergearbeitet werden.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass durch die Nutzung aller VSS-Daten eine größer Breite an Daten vorhanden ist und somit statistisch relevante Aussagen getroffen werden können, allerdings kann dadurch nicht die Detailtiefe erhöht werden.

### 5.3.2 Rohdaten des VSS

Um die Detailtiefe zu erhöhen, kann auf die Rohdaten der Verkehrsüberwachung zurückgegriffen werden.

Die Rohdaten beinhalten Daten zu allen Fahrzeugen, welche an der Messstation vorbeigefahren sind. Dabei werden zu jedem Fahrzeug Daten zu Datum und Zeitpunkt, Fahrzeugtyp, Geschwindigkeit, Geräuschpegel und Fahrspur erhoben.

Durch diese zusätzlichen Informationen können mehr Auswertungen durchgeführt werden.

Durch das genaue Datum und die Uhrzeit können jedem Fahrzeug Wetterdaten zugewiesen werden, dadurch können die Analysen der Wetterdaten in Korrelation mit den Unfällen, welche in 4.2 beschrieben sind, um diese erweitert werden. Beispielsweise zeigen sich im Winter weniger Unfälle als im Sommer, da aber Daten über das Verkehrsaufkommen im Winter und Sommer fehlen kann nicht gesagt werden, ob dies auf weniger Motorradfahrer im Winter oder auf eine sicherere Fahrweise zurückzuführen ist.

Diese Information kann aus den Rohdaten ausgelesen werden und somit das Risiko für Motorradfahrer, im Winter bzw. Sommer, evaluiert werden.

Auch können die Wetterdaten genutzt werden, um die geringere Anzahl an Unfällen bei niedriger Temperatur bzw. Bodentemperatur zu erklären.

Da durch die Verkehrsdaten ein Einblick in die Fahrprofile geliefert wird kann hier unterschieden werden zwischen, ob die geringere Anzahl an Unfällen auf weniger Motorradfahrer bei diesen Temperaturen zurückzuführen ist oder ob die geringere Anzahl an Unfällen auf eine passivere Fahrweise zurückzuführen ist.

Eine passive Fahrweise kann aufgrund von zwei Arten festgestellt werden, zum einen können die Geschwindigkeiten betrachtet werden. Wenn z.B. bei Nässe Motorradfahrer im Mittel langsamer fahren kann von einem sichereren Fahrstil ausgegangen werden. Zum anderen kann der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug ermittelt werden. Wenn dieser größer ist kann ebenfalls eine sicherere Fahrweise als Grund dafür angenommen werden.

Der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug kann wie folgt ermittelt werden.

Aus den Rohdaten sind die Uhrzeiten, an welchen die Fahrzeuge die Station passierten, sekundengenau ersichtlich. Ebenfalls ist die Geschwindigkeit erfasst. Den Abstand erhält man aus der Multiplikation aus der Geschwindigkeit und dem Zeitdelta zwischen den beiden Fahrzeugen.

Resultierend daraus kann der Risikofaktor welcher in 5.2 ermittelt wurde präzisiert werden, z.B. kann durch die Angabe der Wetterdaten ein Risikofaktor für Nässe, Glätte und Trockenheit ermittelt werden. Daraus resultiert die Unfallwahrscheinlichkeit für die gegebenen Straßenbedingungen.

Ein weiterer Punkt ist die Analyse der Abstände zwischen den Fahrzeugen, wie Abbildung 29 zeigt ereignen sich die meisten Unfälle bei hohen Verkehrsdichten. Aus den Rohdaten kann ermittelt werden, ob diese Unfälle zumindest Teilweise auf zu geringe Abstände zum vorausfahrenden Fahrzeug zurückzuführen sind.

Eine weitere Analyse ist in die Richtung von Freizeitfahrten im Vergleich zum Pendelverkehr. Fragestellungen wie, fahren Motorradfahrer im Pendelverkehr langsamer als zu Freizeitfahrten am Wochenende, können durch die Rohdaten beantwortet werden. Auch kann analysiert werden, ob Kolonnenfahrten einen Einfluss auf die Fahrsicherheit von Motorradfahrern hat.

#### 5.4 **Fazit**

Die VSS-Daten eröffnen einen neuen Einblick in das Verkehrsgeschehen, Fragestellungen zum Verkehrsaufkommen und der zeitlichen Verteilung können beantwortet werden.

In Zukunft könne mit mehr Daten die bis jetzt gewonnenen Erkenntnisse noch erweitert und vertieft werden, um die Aussagekraft zu erhöhen.

## 6. **KORRELATION GIDAS UND UNFALLSCHWERPUNKT**

Die GIDAS-Datenbank stellt nur eine Auswahl an Unfällen zur Verfügung, dafür sind zu den jeweiligen Unfällen mehr Unfallparameter verfügbar. Um die Unfallursache besser zu beschreiben, werden diese zusätzlichen Unfallparameter analysiert.

### 6.1 **Datensatzbeschreibung**

Die GIDAS-Datenbank werden erstellt indem Unfallforscher mit der Polizei an den Unfallort fahren und weitere Parameter über den Unfall erfassen.

Die Teams an Unfallforschern sind in Deutschland an zwei Standorten stationiert. Einmal in Dresden und einmal in Hannover. Daraus resultiert, dass alle von GIDAS erfassten Unfälle sich im jeweiligen Großraum um die Städte befinden. Insgesamt werden pro Unfall ca. 3000 Parameter erfasst und auch teilweise aus den Unfallfolgen rekonstruiert, diese Daten dienen zur Unfallanalyse, werden aber auch zur Simulation der Unfälle verwendet.

Für die hier durchgeführten Analysen wurden einige Parameter händisch ausgewählt, um die Unfälle besser zu verstehen.

Diese Daten enthalten Informationen zu:

- GPS-Koordinaten: Um die Unfälle mit der Methodik aus Kapitel 3 in Unfallschwerpunkte unterteilen zu können.
- Straßenzustand: Der Straßenzustand umfasst genauso wie der Unfallatlas nass, glatt oder trocken.
- Verletzungsschwere: Um Aufschluss über die Unfallfolge in Hinblick auf die Verletzungsschwere zu erhalten, wird der Verletzungsgrad des am schwerst verletzten Unfallteilnehmer erfasst.
- Geschwindigkeitsbegrenzung: Um zu sehen, welche Geschwindigkeit maximal erlaubt ist an der Stelle, an welcher sich der Unfall ereignet hat, wird diese erfasst.
- Kollisionsgeschwindigkeit und Ausgangsgeschwindigkeit: Aus der Deformation werden von den Unfallforschern die Kollisionsgeschwindigkeit und die Ausgangsgeschwindigkeit rekonstruiert. Dabei kann aus der Ausgangsgeschwindigkeit ermittelt werden, ob das Geschwindigkeitslimit überschritten wurde und aus der Kollisionsgeschwindigkeit ob vor dem Unfall gebremst wurde.



- Temperatur: Da die GIDAS-Daten aus Datenschutzgründen keine Information über das Unfalldatum enthalten kann die Methodik aus Kapitel 4 in Bezug auf die Wetterdaten nicht angewendet werden. Dafür stellt die GIDAS-Datenbank die Temperatur direkt zur Verfügung.

Um die GIDAS-Daten im Hinblick auf Unfallschwerpunkte nutzen zu können müssen diese zunächst geclustert werden. Dazu wird der in Kapitel 3 entwickelte Algorithmus genutzt und auf die GIDAS-Unfälle angewendet. Abbildung 31 zeigt einen Ausschnitt aus der Karte, welche die geclusterten GIDAS-Unfälle darstellt.

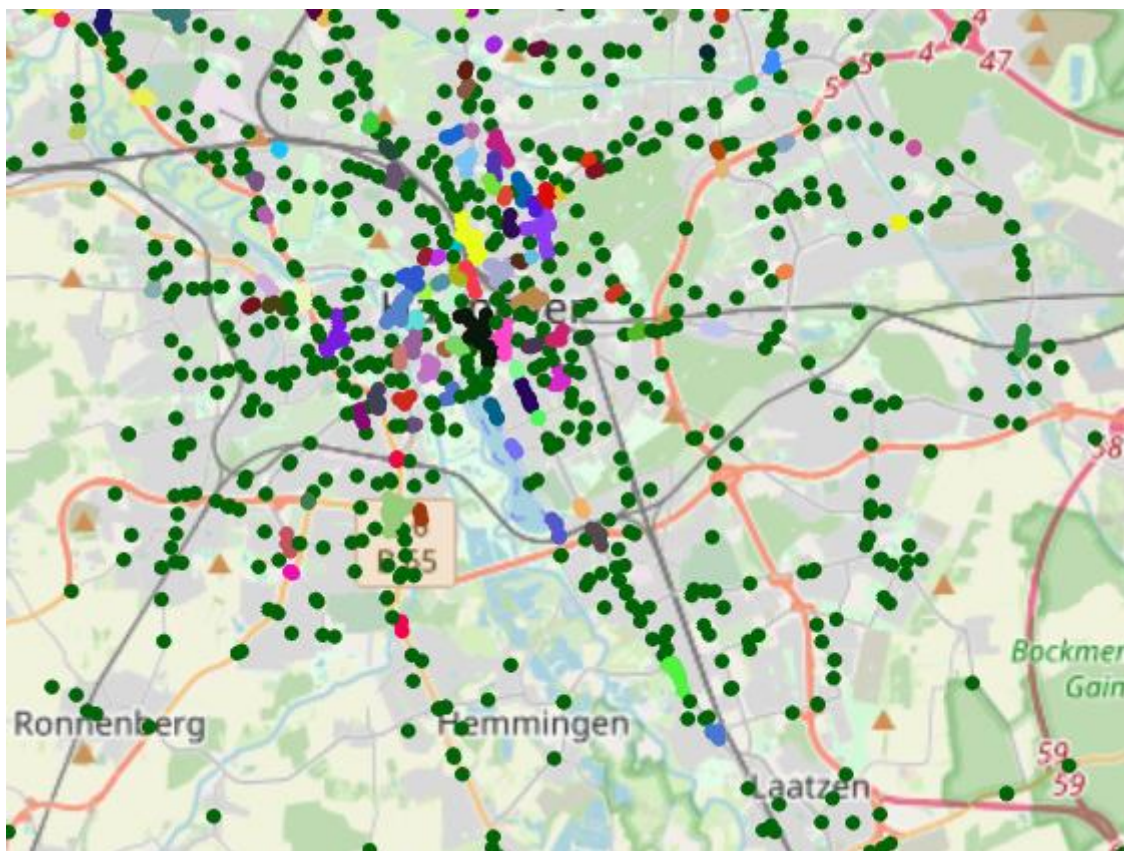


Abbildung 31: Karte GIDAS Cluster

## 6.2 Analyse der Daten

### 6.2.1 Analyse der GIDAS-Daten in Hinblick auf die Geschwindigkeit

Da die GIDAS-Daten eine Rekonstruktion der Ausgangsgeschwindigkeit zur Verfügung stellen kann durch diese Daten ermittelt werden, welchen Einfluss die Ausgangsgeschwindigkeit des Motorradfahrers auf die Unfallfolgen hat.



Dazu zeigt Abbildung 32 drei Histogramme. Die Histogramme stellen die Geschwindigkeit, welche der Motorradfahrer vor dem Unfall hatte, dar. Dabei werden die Unfälle nach der Unfallschwere in drei Histogramme unterteilt. Die Unterteilung gliedert sich in leicht verletzt, schwer verletzt und tödlich verwundet. Dabei ist darauf zu achten, dass die Histogramme skaliert sind, das bedeutet es wird nicht die absolute Anzahl in einem Balken dargestellt, sondern der Anteil an Unfällen, welche sich bei dieser Geschwindigkeit ereignet hat. Dies bietet den Vorteil, dass die Histogramme besser verglichen werden können, da der numerische Unterschied zwischen leicht Verletzten und Getöteten sehr groß ist. Die gestrichelten Linien stellen jeweils den Mittelwert des jeweiligen Histogramms dar.

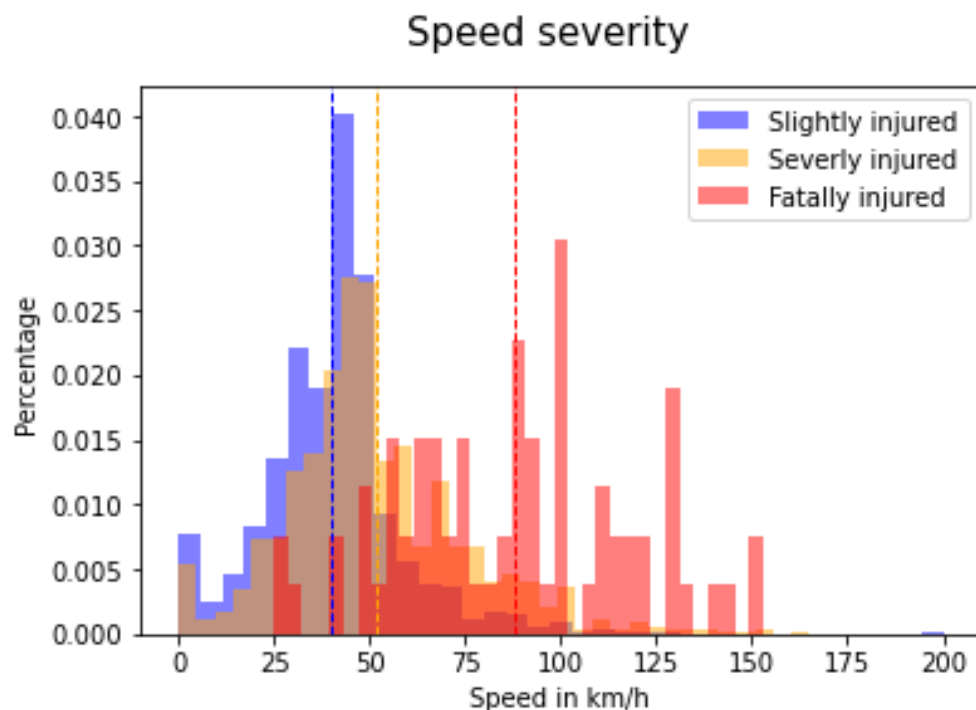


Abbildung 32: Unfallschwere über Geschwindigkeit

Bei Betrachtung der Abbildung 32 zeigt sich, dass bei höheren Geschwindigkeiten die Unfälle einen gravierenderen Ausgang haben. Besonders auffällig ist, dass es keine Unfälle mit 0km/h Ausgangsgeschwindigkeit gibt, welche tödlich enden. Auch zeigt sich, dass ab 100 km/h keine Unfälle mit leichten Verletzung mehr vorliegen.

Die höhere Verletzungsschwere bei hohen Geschwindigkeiten ist auf die dadurch höheren Kräfte, welche beim Unfall auf den Motorradfahrer wirken,

zurückzuführen. Da es im Motorrad keine Knautschzone gibt können dies auch nicht abgeleitet werden, sondern werden direkt an den Fahrer weitergeleitet.

Um die Geschwindigkeiten weiter zu analysieren wird in Abbildung 33 das Geschwindigkeitsdelta gebildet. Dabei wird die Geschwindigkeitsbegrenzung von der tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeit abgezogen.

Diese Deltas werden ebenfalls über die Unfallschwere in Histogrammen dargestellt.

Dabei kann festgestellt werden, ob die Geschwindigkeitsbegrenzung häufiger überschritten wird bei schweren Unfällen.

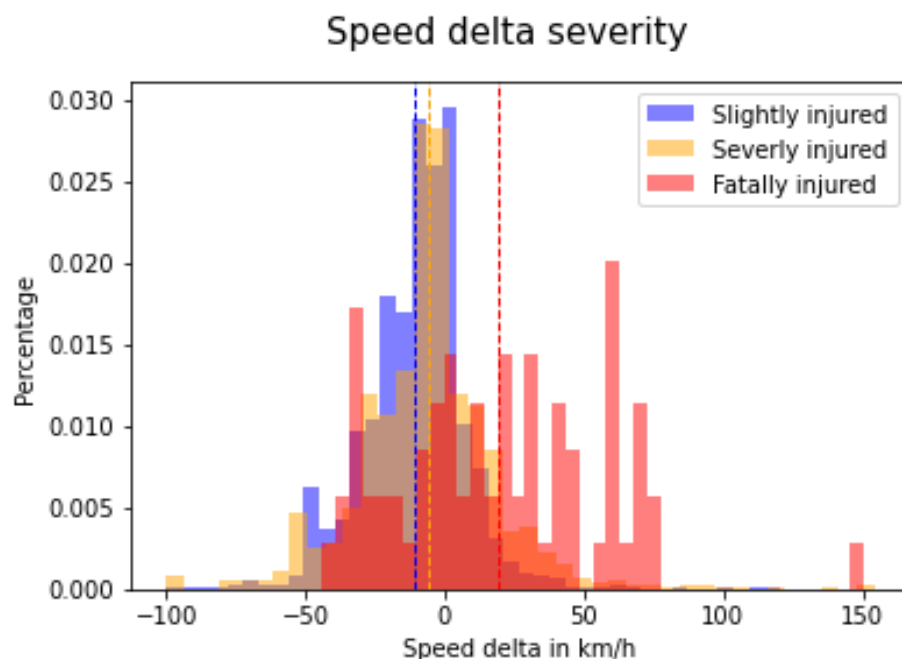


Abbildung 33: Geschwindigkeitsdelta über Unfallschwere

Aus Abbildung 33 zeigt sich, dass bei einer höheren Geschwindigkeitsüberschreitung die Unfallschwere zunimmt. Daraus folgt, dass es für die Verkehrssicherheit von großer Bedeutung ist, dass die Geschwindigkeitsbegrenzungen eingehalten werden, um die Unfallschwere zu minimieren.

Allerdings gibt es Unfälle bei welchen die Geschwindigkeitsbegrenzung nicht überschritten wurde und der Unfall trotzdem tödlich geendet ist, somit stellt die Geschwindigkeit nur einen Risikofaktor dar.

### 6.2.2 Analyse der GIDAS-Daten in Hinblick auf die Wetterdaten

Die GIDAS-Datenbank beinhaltet das genaue Datum nicht, deshalb können die Methodiken aus Kapitel 4 nicht genutzt werden. Dafür wird die Temperatur zum Unfall angegeben sowie der Straßenzustand.

Bei der Analyse der Unfallschwere im Hinblick auf den Straßenzustand zeigt sich vergleichbar zur Abbildung 14, dass unter nassen Straßenbedingungen Motorradfahrer häufiger leicht verletzt werden und unter trockenen Straßenbedingungen Motorradfahrer häufiger schwer verletzt werden oder tödlich verunglücken.

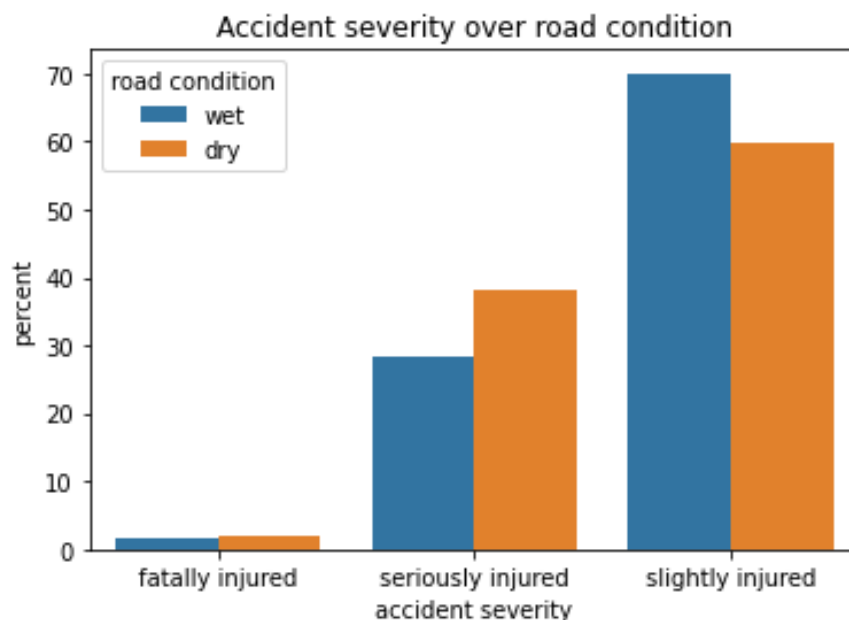


Abbildung 34: Unfallschwere über Straßenzustand

Die Abbildung 35 zeigt die Histogramme zu den Lufttemperaturen zum Unfallzeitpunkt. Dabei stellt das blaue Histogramm die Unfälle in einem Cluster dar und das rote die Unfälle außerhalb eines Clusters. Die gestrichelten Linien stellen die Mittelwerte der Histogramme dar.

Dabei zeigt sich, dass die Mittelwerte dieselben sind und auch die Temperaturverteilungen beinahe identisch sind. Außerdem zeigt sich, dass die Temperaturverläufe denen aus dem Unfallatlas stark ähneln (siehe Abb. 11).

Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Temperatur keinen Einfluss auf die Unfallschwerpunkte hat und dass Motorradfahrer im Mittel bei gemäßigten Temperaturen verunfallen.

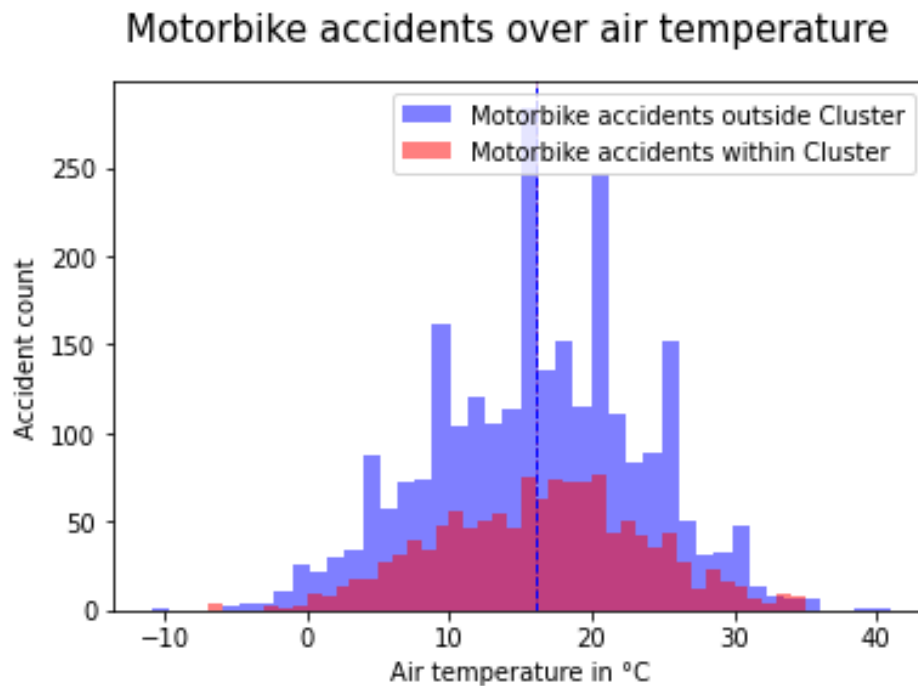


Abbildung 35: Temperaturverteilung der Motorradunfälle in bzw. außerhalb eines Unfallschwerpunkts

### 6.2.3 Analyse der GIDAS-Daten in Hinblick auf die Unfallschwerpunkte

Zur weiteren Aufschlüsselung der Daten werden die Geschwindigkeitsverteilungen in und außerhalb des Clusters in zwei Histogrammen dargestellt. Dabei stellen die gestrichelten Linien jeweils den Mittelwert für das jeweilige Histogramm dar.

Der hier gezeigte Datensatz bezieht sich auf Unfälle mit einem Geschwindigkeitslimit von 50 km/h.

Aus der Abbildung 36 zeigt sich, dass der Mittelwert der Unfallgeschwindigkeit bei 40 bzw. 42km/h liegen und somit unterhalb des Geschwindigkeitslimits, aber einige der Geschwindigkeiten liegen bei 120 km/h, was mehr als das doppelte der Begrenzung darstellt.

Der Unterschied zwischen den Histogrammen ist gering sowohl die Verteilung als auch der Mittelwert liegen nahe beieinander, mit einer etwas höheren Tendenz für Unfälle außerhalb des Schwerpunkts.

### Vehicle speed at a speed limit of 50km/h

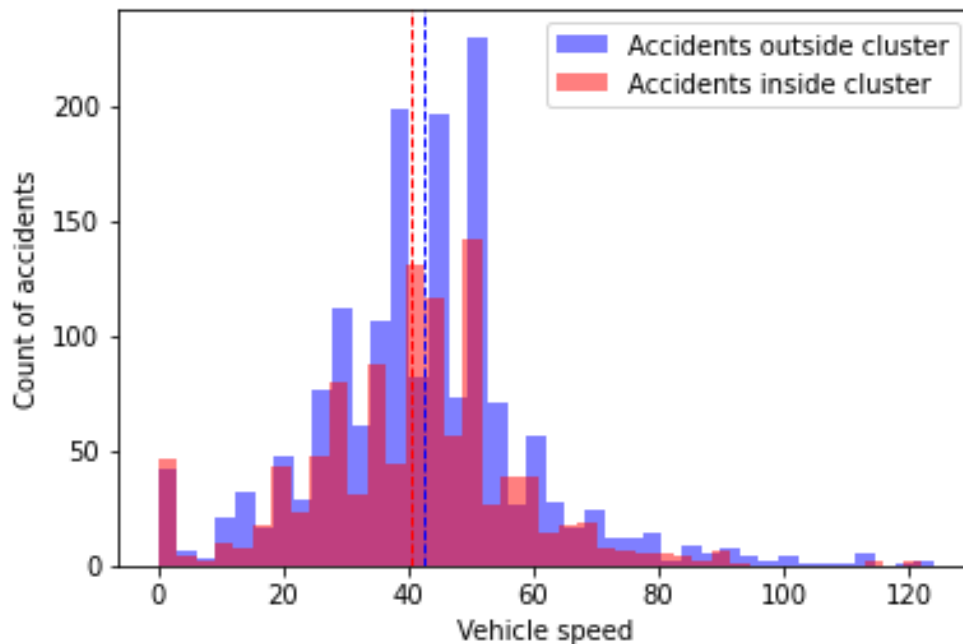


Abbildung 36: Unfallgeschwindigkeit innerhalb und außerhalb eines Clusters bei einem Geschwindigkeitslimit von 50 km/h

## 6.3 Fazit

Aus den GIDAS-Daten erschließt sich, dass besonders die Geschwindigkeiten der Motorradfahrer einen Einfluss auf den Unfallausgang haben. Auch ist die Geschwindigkeitsüberschreitung ein wichtiger Indikator für die Unfallschwere.

Es zeigt sich des Weiteren, dass die Information über das Wetter vergleichbare Ergebnisse liefert, wie die Daten des Unfallatlas.

Auch ergibt sich aus den GIDAS-Daten, dass im Hinblick auf das Clustering die Geschwindigkeitsverteilungen beinahe identisch sind.

## 7. **FAZIT UND AUSBLICK**

Da Motorradfahrer eine besonders gefährdete Gruppe an Verkehrsteilnehmern darstellt, soll ein Hazard Spot Warning entwickelt werden, welches gefährliche Situationen identifiziert und den Motorradfahrer warnt.

Im ersten Schritt werden dafür die Unfälle aus dem Unfallatlas betrachtet. Aus diesen Unfällen wird kritische Verkehrsinfrastruktur ermittelt, indem die Unfälle mithilfe von einem Clustering Algorithmus zu Unfallschwerpunkten zusammengefasst werden.

Aus der Betrachtung der Unfallschwerpunkte zeigt sich, dass sich für Baden-Württemberg insgesamt 1377 Cluster ergeben, welche ca. 28% der gesamten Unfälle beinhalten. Bei der Gegenüberstellung der Unfälle in einem Cluster bzw. außerhalb eines Clusters zeigt sich, dass die Unfälle im Cluster besonders viele Einbiege-, Abbiege-, Längsverkehrsunfälle ereignen. Daran zeigt sich, dass Kreuzungen einen besonderen Risikofaktor darstellen.

Für weiteren Aufschluss über die Unfallursachen werden Wetterdaten genutzt, dabei werden vom Deutschen Wetterdienst Wetterdaten abgefragt und dem jeweiligen Unfall die Informationen über Niederschlag, Luft- und Bodentemperatur zugeordnet.

Aus der Analyse dieser Daten zeigt sich, dass die Witterungsbedingungen einen Einfluss auf die Motorradunfälle haben. Dabei sind Motorradunfälle besonders bei gemäßigtem Wetter vorzufinden, bei Temperaturen unter 0°C und über 30°C überwiegen Unfälle mit anderen Kfz deutlich.

Bei der Entwicklung über das Jahr hinweg ist zu sehen, dass Motorradfahrer hohe Niederschläge und niedrige Temperaturen meiden und es somit zu weniger Unfällen kommt.

Im Hinblick auf die Unfallschwerpunkte zeigt sich, dass das Wetter hier keinen Einfluss hat.

Die Daten des Verkehrssicherheitsscreenings werden vom Verkehrsministerium Baden-Württemberg abgefragt. Diese Daten bieten einen weiteren Blickwinkel auf die Verkehrssituation, da sie das gesamte Verkehrsaufkommen abbilden und nicht ausschließlich die Unfälle.

Aus der Analyse der VSS-Daten zeigt sich, dass im Durchschnitt 25% der Motorradfahrer das Geschwindigkeitslimit überschreiten und somit einer höheren Gefahr ausgesetzt sind einen schwerwiegenden Unfall zu erleiden.

Auch zeigt sich aus der Analyse der VSS-Daten in Kombination mit Unfallschwerpunkten, dass sich die Unfälle bei einem überdurchschnittlichen hohen Verkehrsaufkommen ereignen.

Im letzten Schritt werden die GIDAS-Daten genutzt, um die Unfälle näher zu analysieren.

Aus den GIDAS-Daten zeigt sich, dass besonders die Geschwindigkeiten der Motorradfahrer einen Einfluss auf die Unfallschwere haben, dies ist sowohl der Fall für die Ausgangsgeschwindigkeit als auch für das Geschwindigkeitsdelta, zwischen Ausgangsgeschwindigkeit und Geschwindigkeitsbegrenzung.

In Bezug auf die Wetterdaten zeigt sich, dass bei den GIDAS-Daten eine ähnliche Systematik, wie bei den Daten des Unfallatlas vorliegt.

Auch ergibt sich aus den GIDAS-Daten, dass im Hinblick auf das Clustering die Geschwindigkeitsverteilungen beinahe identisch sind.

Diese Datengrundlage und Auswertungen bieten einen guten Startpunkt zur Entwicklung des Hazard Spot Warning. Aus den Unfallclustern können direkt gefährliche Kreuzungen, Einmündungen und Kurven extrahiert werden und in ein entsprechendes Tool eingearbeitet werden. Aus den Wetterdaten können die Witterungseinflüsse bestimmt werden, um sie in das Hazard Spot Warning einfließen zu lassen. Außerdem können die Daten des Unfallatlas um diese Informationen erweitert werden, da dies bis jetzt nicht möglich war. Die Ergebnisse aus den VSS- Daten können ebenfalls für das Hazard Spot Warning benutzt werden, indem Bereiche mit einem hohen Risikofaktor speziell hervorgehoben werden und Tages- und Uhrzeiten mit hohen Verkehrsdichten gesondert analysiert werden. Aus den GIDAS-Daten lassen sich im Hinblick auf das Hazard Spot Warning im Besonderen die Geschwindigkeiten berücksichtigen, da diese zu schweren Verletzungen führen.

Aufbauend auf den Daten und Analysen die bereits durchgeführt wurden, können weitere Schritte unternommen werden, um ein umfassenderes Bild zu erhalten. Im Hinblick auf die VSS-Daten sind weitere Analysen möglich. Dazu müssen zuerst vom Verkehrsministerium mehr Daten abgefragt werden. Wenn nicht nur die aggregierten Daten, sondern auch die Rohdaten verfügbar sind bieten sich weiter Möglichkeiten.

Dann können z.B. Aussagen über das Verkehrsaufkommen in Bezug auf die Wetterdaten getroffen werden und somit die Unfallwahrscheinlichkeit ermittelt

werden. Auch können aus den Rohdaten eine Korrelation zwischen der Verkehrsdichte und dem Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug getroffen werden. Diese Aussage ist relevant, da die Unfälle bei einer überdurchschnittlichen Verkehrsdichte stattfinden.

In Richtung einer Serienentwicklung können auch noch weitere Parameter betrachtet werden.

So könnten z.B. die Daten der Beschleunigungs- und Giersensoren genutzt werden, um bestimmte Fahrverhalten als gefährlich zu klassifizieren. Diese könnten auch in Zusammenarbeit mit dem MSC und ABS stehen, um die Effektivität zu erhöhen.

Außerdem könnten die Daten aus dem Hazard Spot Warning mit denen eines Car to X- Systems kombiniert werden, um hier aus einer Kombination aus Vergangenen Gefahrenstellen und akuten Gefahrensituationen ein besseres Bild über die gesamte Gefährdung zu erhalten.

Insgesamt konnte im Rahmen dieser Arbeit die Datengrundlage für ein Hazard Spot Warning geschaffen werden. Weiterführend wurden die Unfall- und Verkehrssituation analysiert und beschrieben, sowie die Witterungsbedingungen aufgearbeitet und integriert.



## 8. LITERATUR

- [1] DESTATIS: Verkehrsunfälle, Kraftrad- und Fahrradunfälle im Straßenverkehr 2018, Erscheinungsjahr: 2019
- [2] US Traffic Safety Facts 2016, DOT HS 812 492 and FHWA, Erscheinungsjahr: 2018
- [3] Japan NPA Annual Report (MAME) 2010, Ministry of Internal Affairs and Communications, Erscheinungsjahr: 2010
- [4] Australia Department of Infrastructure and Regional Development, Motorcycling Safety 89, Erscheinungsjahr: 2018
- [5] UK Road use statistics 2016, Department of Transport statistics TRA0201, Erscheinungsjahr: 2018
- [6] European Transport Safety Council (ETSC) Report 2008: "VULNERABLE RIDERS" Safety implications of motorcycling, Erscheinungsjahr: 2009
- [7] Bosch Mobility Solutions: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/de/produkte-und-services/zweiraeder-und-powersports/fahrsicherheitssysteme/motorrad-abs/> Einsichtnahme: 06.07.2020
- [8] Bosch Mobility Solutions: <https://www.bosch-mobility-solutions.com/de/produkte-und-services/zweiraeder-und-powersports/fahrsicherheitssysteme/motorrad-stabilit%C3%A4tskontrolle/> Einsichtnahme: 06.07.2020
- [9] Daimler AG: <https://www.mercedes-benz.com/de/innovation/connected/car-to-x-kommunikation-2/> Einsichtnahme: 08.07.2020
- [10] Deutscher Wetterdienst: <https://cdc.dwd.de/portal/> Einsichtnahme: 04.05.2020
- [11] Verkehrssicherheit Screening: <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/politik-zukunft/verkehrssicherheit/verkehrssicherheitsscreening/> Einsichtnahme: 04.05.2020
- [12] Unfallatlas: [https://unfallatlas.statistikportal.de/\\_opendata2019.html](https://unfallatlas.statistikportal.de/_opendata2019.html) Einsichtnahme: 20.01.2020
- [13] GIDAS: <https://www.gidas.org/gidas-publikationen/> Einsichtnahme: 15.01.2020
- [14] <https://towardsdatascience.com/the-5-clustering-algorithms-data-scientists-need-to-know-a36d136ef68> Einsichtnahme: 14.05.2020
- [15] <https://scikit-learn.org/stable/modules/clustering.html> Einsichtnahme: 22.05.2020
- [16] <https://kurvenkoenig.de/motorrad/schwarzwald/todtmoos.html> Einsichtnahme: 28.05.2020