
GI Geoinformatik GmbH, Augsburg

ANALYSE VON GEFAHRENSTELLEN ZWISCHEN PKW- UND FAHRRADFAHRERN MITHILFE VON GEODATEN

Nicola Forster

Zusammenfassung: Der Freistaat Bayern hat sich die Förderung des Fahrradverkehrs als Ziel gesetzt. Das „Radverkehrsprogramm Bayern 2025“ investiert in den Neubau und die Erneuerung vorhandener Radwege. Damit soll eine durchgehende Sicherheit im Radverkehrssystem gewährleistet werden. Angesichts der Bewerbung als Fahrradstadt befasst sich Augsburg mit Gefahrenquellen im Stadtverkehr. Mithilfe verschiedener Geodatenquellen und Unfalldaten der Polizei wurde ein Bewertungsindex für Straßen und Kreuzungen bezüglich des Unfallrisikos für Radfahrer am Beispiel von Augsburg entwickelt. Verschiedene Attribute wie das Vorhandensein von Ampelanlagen oder der Verlauf von Straßenbahnschienen wurden bewertet. Der Bewertungsindex berechnet für jedes Attribut die Unfallwahrscheinlichkeit. Die Ergebnisse zeigen, dass die Geodaten-basierte Methode zur Risikobewertung für Radfahrer ein wichtiger Ansatz für die zukünftige Fahrradwegeinfrastruktur ist. Als Darstellung der Ergebnisse eignen sich Fahrradkarten besonders gut.

Schlüsselwörter: Gefahrenstellen, Pkw- und Radfahrerunfälle, Unfälle an Kreuzungen, Rechtsabbiegeunfälle, Fahrradstadt Augsburg, Analyse von Gefahrenstellen, Unfalltypen, amtliche Geodaten, Open-Source-Daten.

ANALYSING DANGEROUS SPOTS BETWEEN CAR DRIVERS AND BICYCLISTS USING GEODATA

Abstract: Bicycle traffic will be supported more and more by the Free State of Bavaria. With the program “Radverkehrsprogramm Bayern 2025” they will invest in both new and reconstruction of cycleways. Thereby, a continuous safety in the bicycle traffic system should be guaranteed. With the application for “Fahrradstadt 2020”, also Augsburg pays attention to structural conditions and dangerous areas for bicyclist in the metropolitan area. Based on different data and accident information from the police, an index was developed. This index evaluates the dangerous situations between car drivers and bicyclists at the example of Augsburg. Therefore, different attributes were validated, like presence of traffic lights or route of streetcar rails. The developed index calculates the probability of an accident for every attribute. In summary, a risk assessment for bicyclist with the aid of geodata is an important approach for the new constructed infrastructure of cycleways. An illustration of the results can be done in a cycle city map.

Keywords: Dangerous spots, accidents between car drivers and cyclists, accidents at crossings, accidents with right-turning vehicles, Fahrradstadt Augsburg, analysis of dangerous spots, types of accidents, official geodata, open source date.

Autorin

Nicola Forster
GI Geoinformatik GmbH
Morellstraße 33
D-86159 Augsburg
E: n.forster@gi-geoinformatik.de

1 EINLEITUNG UND MOTIVATION

Der Freistaat Bayern hat sich als wichtigstes Ziel der bayerischen Verkehrspolitik die Förderung des Fahrradverkehrs gesetzt. Innerhalb des Radverkehrsprogramms Bayern 2025 möchte der Staat im Zeitraum von 2015 bis 2019 insgesamt 200 Millionen Euro in den Neubau und die Erneuerung vorhandener Radwege investieren. Auch die Verkehrsführung und Beschilderung für Fahrradfahrer soll verbessert werden. Ziel ist es, den Radverkehrsanteil am Modal Split zu steigern (Herrmann & Eck 2017). Aktuell überwiegt der motorisierte Individualverkehr am Modal Split in deutschen Städten.

Daher hat sich auch die Stadt Augsburg als Ziel gesetzt, den Radverkehrsanteil am Modal Split zu erhöhen. Das Projekt Augsburg City beschäftigt sich seit einigen Jahren mit der umfangreichen Erneuerung des Augsburger Zentrums in verkehrlicher und städtebaulicher Hinsicht. Ein Teilprojekt ist die „Fahrradstadt 2020“ mit dem Ziel, künftig das Radwegenetz der Stadt aufzubauen und die Verkehrsführung zu verbessern. Im Jahre 2013 war der Anteil des motorisierten Individualverkehrs mit 42% am Modal Split in Augsburg sehr hoch. Der Radfahreranteil lag bei 15%. Diese Zahl soll bis 2020 auf 25% erhöht werden (Stadt Augsburg 2018). Mit unterschiedlichen Aktionen prüft und verbessert die Stadt das Radwegenetz und versucht somit, mehr Sicherheit für die Bürger zu gewährleisten. Denn trotz eines bereits vorhandenen Leitsystems kommt es immer wieder zu einer großen Anzahl von Unfällen,

an denen Radfahrer beteiligt sind und teilweise schwer verletzt werden.

In Deutschland wurden im Jahre 2012 insgesamt 13.854 Fahrradfahrer schwer und 60.516 Fahrradfahrer leicht bei Straßenverkehrsunfällen verletzt. Abbildung 1 zeigt, dass bei 74% der Unfälle ein Pkw-Fahrer der Unfallgegner war (Hamacher et al. 2016). Auch in der Statistik des Polizeipräsidiums Schwaben Nord stieg die Zahl der Verkehrsunfälle im Jahre 2016 um 2,2%, auf 26.230 an. Dabei erhöhte sich die Zahl der Radfahrunfälle um 3,9% auf 1.426 Unfälle (Schwald 2016). Die Statistik zeigt ebenfalls, dass immer noch eine große Anzahl an Radfahrern im Straßenverkehr gefährdet sind.

Hier stellt sich die Frage, warum und an welchen Stellen es zu solchen Gefahrensituationen kommen kann. Wird dies aus Sicht der Geoinformatik betrachtet, so ist interessant, ob es möglich ist, Gefahrenstellen mithilfe von Geodaten zu analysieren und zu bewerten. Ebenfalls interessant ist die Übertragbarkeit der Methodik auf vergleichbare Städte. Die Motivation, eine Bewertung am Beispiel der Stadt Augsburg zu entwickeln, entstand durch das Projekt Augsburg City und speziell wegen des Themas „Fahrradstadt 2020“ (Stadt Augsburg 2018). Ziel ist es, innerhalb des Stadtgebiets Augsburg gefährliche Bereiche zu analysieren. Mithilfe verfügbarer Geodaten wird untersucht, ob die Möglichkeit besteht, Gefahrenstellen zwischen Radfahrern und Autofahrern herauszufinden. Dafür werden unterschiedliche Datenquellen herangezogen und eine Bewer-

tungsmethode in Form eines Bewertungsindezes wird entwickelt.

2 STAND DER FORSCHUNG

Viele Länder beschäftigen sich mit der Förderung des Radverkehrs und der Erforschung von Unfallursachen. Vor allem die Vermeidung von Unfällen zwischen Pkw-Fahrern und Fahrradfahrern ist ein Forschungsschwerpunkt. Im Folgenden werden die Forschungsstände in Finnland und in Deutschland beispielhaft herausgegriffen.

Eine Statistik von Finnland aus dem Jahre 1980 zeigt, dass 90% der Fahrradunfälle, bei denen ein Radfahrer starb, aufgrund von Kollisionen zwischen Fahrradfahrern und Pkw-Fahrern entstanden sind. Räsänen & Summala (1998) untersuchten 188 Unfälle zwischen Autos und Fahrrädern. Datengrundlage der Studie waren die Unfalldaten der Polizei in vier unterschiedlichen großen finnischen Städten. Ziel war es herauszufinden, wie aufmerksam die beteiligten Verkehrsteilnehmer während des Fahrens sind und wann sie eine Gefahr jeweils erkennen. Eine Gefahr muss nicht zwingend zu einem Unfall führen, jedoch ist die Wahrscheinlichkeit für einen Schaden der Verkehrsteilnehmer sehr hoch. In 37% der Fälle realisierte weder der Autofahrer noch der Radfahrer die Gefahr einer Kollision. Eine weitere Absicht war es herauszufinden, wie sich die beiden Verkehrsteilnehmer an Kreuzungen verhalten und in welchen Situationen es am häufigsten zu einer Kollision kommt. Gefahren ergeben sich meist beim Queren von Kreuzungen, bei denen Radfahrer und Au-

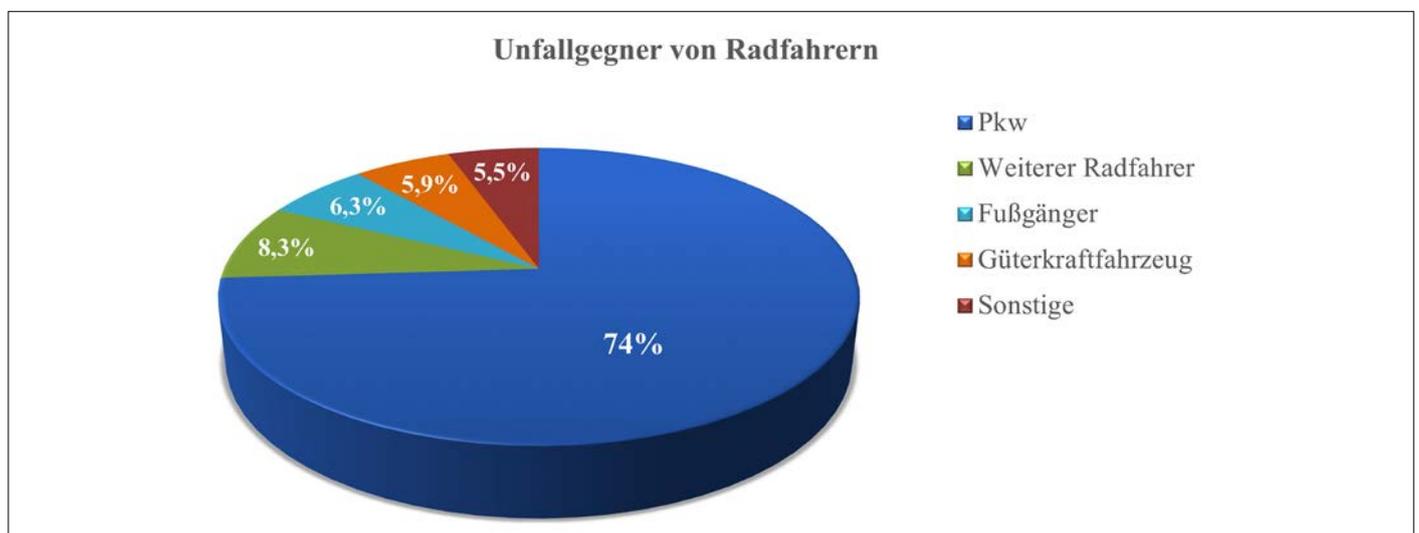


Abbildung 1: Fahrradunfälle mit Personenschaden in Deutschland 2012 nach Hamacher et al. (2016)

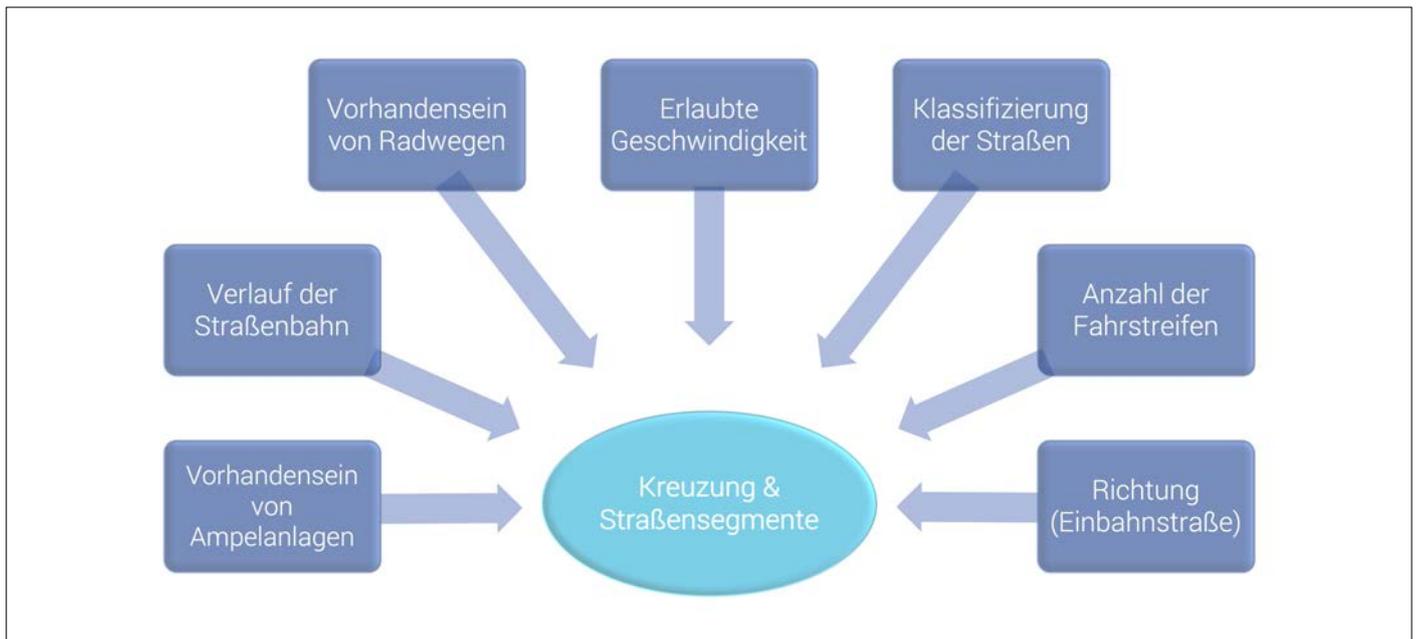


Abbildung 2: Verfügbare Attribute für die Analyse an Kreuzungen und Straßensegmenten

tofahrer aufeinandertreffen. Die Unfalldaten wurden durch ein Team von vier Leuten bewertet, darunter ein Polizist, ein Fahrzeugingenieur, ein Verkehrsingenieur und ein Mediziner. Da keine Informationen vorlagen, wie oder wo genau der Unfall passiert ist, wurden die 97 Kollisionen nochmals im Detail untersucht, um die verschiedenen Unfallursachen herauszufinden. Die Studie ergab, dass die meisten Unfälle an Kreuzungen geschehen. Das häufigste Szenario ist, wenn der Radfahrer aus der gleichen Richtung bzw. von links kommt und geradeaus fahren möchte und gleichzeitig der Autofahrer rechts abbiegt (Räsänen & Summala 1998).

Auch in Deutschland ist die Situation des rechts abbiegenden Pkws bei rechts kreuzenden Radfahrern sehr häufig und stellt sich als besonders gefährlich heraus. In Deutschland untersucht die Unfallforschung der Versicherer ebenfalls verschiedene Unfallszenarien. Neben Themen wie sichere Kreuzungen für schwächere Verkehrsteilnehmer, Reduzierung von Unfällen mit Straßenbahnen und einer Sicherheitsbewertung von Fahrradstraßen beschäftigen sie sich zusätzlich mit der Analyse von Abbiegeunfällen zwischen Radfahrern und Pkw/Lkw. Innerhalb der Analyse wurden verschiedene Szenarien unter den Aspekten Kollisionswinkel sowie Fahrzeug- und Radfahrergeschwindigkeit untersucht. Als Datengrundlage dienen die GIDAS-Daten (German In-Depth Accident Study) sowie

Auswertungen durch die Unfallforschung der Versicherer. Die Studie bestätigt die Erkenntnis aus Finnland. Das entscheidende Szenario mit einem Anteil von ca. 51% aller Pkw-Radfahrer-Kollisionen ist „Pkw fährt geradeaus, Fahrrad kreuzt“. Nach einem weiteren Test wird deutlich, dass vor allem das Szenario des rechts abbiegenden Pkws bei von rechts kreuzenden Radfahrern häufig vorkommt (Hamacher et al. 2016).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass sowohl in Finnland als auch in Deutschland die meisten Unfälle zwischen einem Pkw-Fahrer und Fahrradfahrer an Kreuzungen passieren. Vor allem das Szenario des kreuzenden Radfahrers und rechts abbiegenden Pkws kommt auffällig oft vor.

3 DATENGRUNDLAGE UND -AUFBEREITUNG

Die statistischen Unfalldaten der Jahre 2014 bis 2016 für die Stadt Augsburg, zur Verfügung gestellt durch die Polizei Schwaben Nord, bilden die Datengrundlage für die Entwicklung der Methodik. Informationen über die unterschiedlichen Attribute und Gegebenheiten an Straßen und Kreuzungen im Stadtgebiet können durch amtliche Geodaten des Landesamts für Digitalisierung, Breitband und Vermessung (LDBV) und des Geodatenamts der Stadt Augsburg, ergänzt durch OpenStreet-Map-Daten, mit einbezogen werden.

Durch die Kombination von Geodaten aus verschiedenen Datenquellen konnten insgesamt sieben Attribute mit in die Analyse aufgenommen und bewertet werden: das Vorhandensein von Ampelanlagen, der Verlauf der Straßenbahnschienen (mit auf der Straße, eigene Fahrspur), das Vorhandensein von Radwegen oder Mitfahren im Verkehr, die erlaubten Geschwindigkeiten, Klassifizierung der Straßen, z.B. Haupt- oder Sammelstraßen sowie Neben- oder Anliegerstraßen, die Anzahl der Fahrstreifen und die erlaubten Fahrrichtungen. Abbildung 2 zeigt eine Zusammenfassung der Attribute.

Neben den Attributen, die bewertet werden sollen, sind auch Informationen zu den Unfalldaten für den weiteren Verlauf wichtig. Vor allem die verschiedenen Unfalltypen sollten näher betrachtet werden. Die folgenden Unfalltypen sind deutschlandweit gleich definiert und gültig (Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. 2003):

► Unfalltyp 1: Fahrnfall

Der Unfall wurde ausgelöst durch den Verlust der Kontrolle über das Fahrzeug (z.B. wegen nicht angepasster Geschwindigkeit oder falscher Einschätzung des Straßenverlaufs) ohne Beitrag anderer Verkehrsteilnehmer. Infolge unkontrollierter Fahrzeugbewegungen kann es aber dann zur Kollision mit anderen Verkehrsteilnehmern gekommen sein.

► **Unfalltyp 2: Abbiege-Unfall**

Der Unfall wurde verursacht durch den Konflikt zwischen einem Abbieger und einem aus gleicher oder entgegengesetzter Richtung kommenden Verkehrsteilnehmer (auch Fußgänger) an Kreuzungen, Einmündungen, Grundstücks- oder Parkplatzzufahrten.

► **Unfalltyp 3: Einbiegen/Kreuzen-Unfall**

Der Unfall wurde ausgelöst durch den Konflikt zwischen einem einbiegenden oder kreuzenden Wartepflichtigen und einem vorfahrberechtigten Fahrzeug an Kreuzungen, Einmündungen oder Ausfahrten von Grundstücken oder Parkplätzen.

► **Unfalltyp 4: Überschreiten-Unfall**

Der Unfall wurde verursacht durch den Konflikt zwischen einem Fahrzeug und einem Fußgänger auf der Fahrbahn, sofern dieser nicht in der Längsrichtung ging und sofern das Fahrzeug nicht abgebogen ist. Dies gilt auch, wenn der Fußgänger nicht erfasst wurde.

► **Unfalltyp 5: Unfall des ruhenden Verkehrs**

Der Unfall wurde ausgelöst durch den Konflikt zwischen einem Fahrzeug des fließenden Verkehrs und einem Fahrzeug, das parkt, hält bzw. Fahrmanöver im Zusammenhang mit dem Parken/Halten durchführte.

► **Unfalltyp 6: Unfall im Längsverkehr**

Der Unfall wurde durch den Konflikt zwischen Verkehrsteilnehmern verursacht, die sich in gleicher oder entgegengesetzter Richtung bewegten, sofern dieser Konflikt nicht einem anderen Unfalltyp entspricht.

► **Unfalltyp 7: Sonstiger Unfall**

Unfall, der sich nicht den Typen 1-6 zuordnen lässt, z. B. Wenden, Rückwärtsfahren, Parker untereinander, Hindernis oder Tier auf der Fahrbahn, plötzlicher Fahrzeugschaden (Bremsversagen, Reifenschaden).

Da für die Analyse Unfälle zwischen Pkw- und Radfahrern untersucht werden sollen, werden nur Unfalldaten zwischen mindestens einem Pkw- und Radfahrer der Jahre 2014 und 2015 mit in die Analyse und Entwicklung der Methodik aufgenommen. Jeder Unfall verfügt neben einer ID über zeitliche Informationen, räumliche Informationen in Form von Straßennamen mit Hausnummern und Informationen über Unfalltyp, -art und -ursache. Die statistischen Unfalldaten liegen als Tabellen vor und werden durch Pythonskripte mithilfe der Overpass-API von OpenStreetMap für die weitere Verarbeitung geocodiert.

Vorab können bereits einige Analysen mithilfe des Tools Insights for ArcGIS durchgeführt werden. Das Tool ermöglicht, inter-

aktive Karten zu erzeugen, räumliche Analysen durchzuführen und Diagramme sowie Tabellen zu erstellen (Esri 2018). Nach einer ersten Auswertung der Unfälle ergibt sich, dass am häufigsten die Unfalltypen „Einbiegen/Kreuzen-Unfall“ (41%) und „Abbiege-Unfall“ (38%) vorkommen. Dies bestätigt wiederum den aktuellen Stand der Forschung. Auch eine zeitliche Analyse ist mit Insight for ArcGIS möglich. Abbildung 3 zeigt die Unfälle zum einen im Wochenverlauf und zum anderen im Tagesverlauf. Hier fällt auf, dass die meisten Unfälle unter der Woche und weniger am Wochenende passieren. Wird zusätzlich der Tagesverlauf betrachtet, so zeigt sich, dass sich die Unfälle unter der Woche zu den Berufsverkehrszeiten morgens und abends ereignen. Zu diesen Zeiten sind die Verkehrszahlen höher und dadurch steigt das Unfallrisiko.

Um mit den unterschiedlichen Datenquellen arbeiten zu können, werden diese kombiniert und räumlich verbunden. Es entstehen zwei Featureklassen, eine für Straßen und eine für Kreuzungen, mit denen weitergearbeitet wird. Die Attribute werden mit dem GISconnector for Excel von ArcGIS Desktop nach Microsoft Excel übertragen und nach den gewünschten Berechnungen nach ArcGIS zurückübertragen. Bei dem GISconnector handelt es sich um

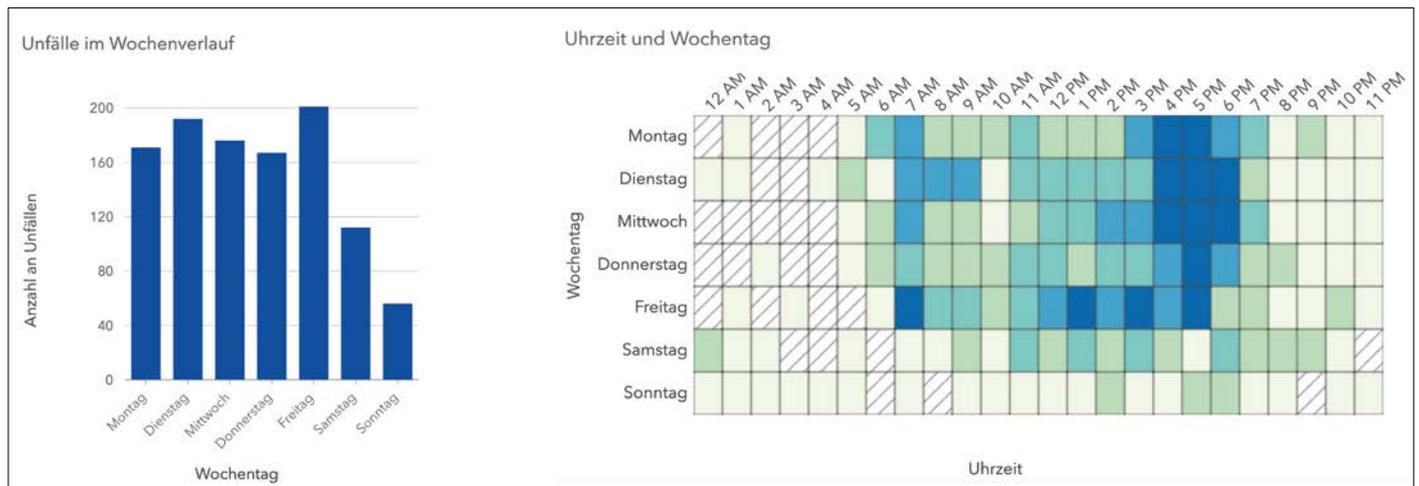


Abbildung 3: Analyse der Unfalldaten mithilfe von Insight for ArcGIS – Wochenverlauf und Uhrzeit und Wochentag

Ampel	Alle Kreuzungen	Unfallkreuzungen	Bedingte relative Häufigkeit	Chance	Bewertung
ja	523	35	0,067	14,943	4,872
nein	6334	87	0,014	72,805	1,000
6857		122			

Abbildung 4: Berechnung der Bewertungen am Beispiel Ampelanlagen

$$\text{bedingte relative Häufigkeit} = \frac{\text{Anzahl Kreuzungen mit Unfall}}{\text{Anzahl aller Kreuzungen}} \quad (\text{Formel 1})$$

$$\text{relative Chance} = \frac{1}{\text{bedingte relative Häufigkeit}} \quad (\text{Formel 2})$$

eine ArcGIS-Erweiterung, die eine Datenübertragung in beide Richtungen ermöglicht. Damit ist ein dynamisches Arbeiten mit Attributdaten in ArcGIS Desktop und Excel möglich (GI Geoinformatik 2018a). Im nachfolgenden Kapitel wird die Analyse der Daten durch einen Bewertungsindex näher beschrieben.

4 ANALYSE UND METHODIK

Für die Analyse der Daten wurde ein Bewertungsindex entwickelt. Die Berechnun-

gen für den Index werden manuell in Excel durchgeführt. Bewertet werden die Attribute von Abbildung 2. Für eine Erklärung der Methodik dient das Beispiel Ampelanlagen an Kreuzungen, da dieses einfach nachzuvollziehen ist. Zuerst wird für jedes Attribut berechnet, wie oft dieses vorkommt. Mithilfe der Zählenwenn-Funktion kann in Excel automatisch die Anzahl für das jeweilige Attribut an allen Kreuzungen sowie Unfallkrenzungen berechnet werden (Matthäus & Schulz 2011). Abbildung 4

zeigt die Berechnungen des Bewertungsindex für das Attribut Vorhandensein von Ampelanlagen. Hierbei besitzen 523 von 6.857 Kreuzungen eine Ampel und 6.334 keine Ampel. Bei den insgesamt 122 Unfallkrenzungen sind 35 signalisiert und 87 unsignalisiert.

Da aufgrund von absoluten und relativen Häufigkeiten nicht unmittelbar auf einen Zusammenhang zwischen Merkmalen geschlossen werden kann, werden zunächst die bedingten relativen Häufigkeiten bestimmt. Dabei wird die Anzahl der Kreuzungen, an denen ein Unfall passiert ist, durch die Anzahl aller Kreuzungen dividiert (siehe auch Formel 1). Die Inverse dieses Ergebnisses wird in der Statistik „relative Chance“ genannt. Formel 2 bestimmt die relative Chance eines Unfalls. Aus der bedingten relativen Häufigkeit wird durch Normierung auf den kleinsten Wert innerhalb eines Attributs die Bewertung für das jeweilige Attributfeld gebildet. Diese Bewertungen sagen aus, um wie viel die Chance eines Unfalls an einer Kreuzung oder einem Straßenabschnitt gegenüber des geringsten Risikos ansteigt.

Somit ist in diesem Beispiel die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls 4,872-mal so hoch, wenn eine Ampel vorhanden ist, als wenn die Kreuzung nicht signalisiert wäre. Die Bewertungen werden verwendet, um für jede Kreuzung und jedes Straßensegment durch Multiplikation der Einzelattribute den Bewertungsindex zu berechnen, um somit die gefährlichsten Stellen herauszufiltern. Daraus resultiert, dass die Kreuzungen und Straßenabschnitte mit den höchsten Indizes gefährlicher sind als die mit niedrigeren Werten. Die Ergebnisse werden im nächsten Kapitel genauer dargestellt.

5 ERGEBNISSE

Der Bewertungsindex liefert, unabhängig vom Unfalltyp, folgende Ergebnisse. Abbildung 5 zeigt jeweils eine Spalte für Kreuzungen und eine für Straßensegmente, die durch +, - und 0 anzeigen, ob das Attribut das Unfallrisiko erhöht, verringert bzw.

Attribut	Auswirkung Kreuzungen	Auswirkung Straßen
• Ampelanlage vorhanden	+	
• Ampelanlage nicht vorhanden	-	
• Erlaubte Geschwindigkeit 30 km/h	-	+
• Erlaubte Geschwindigkeit 50 km/h	+	-
• Straßenbahn verläuft mit auf der Straße	+	+
• Straßenbahn mit eigener Fahrspur	-	-
• Radweg ist vorhanden	+	-
• Radfahrer fahren mit im Verkehr	-	+
• Haupt- oder Sammelstraßen	+	-
• Neben- oder Anliegerstraßen	-	+
• Anzahl an Fahrstreifen: zwei	-	-
• Anzahl an Fahrstreifen: vier	+	+
• Einbahnstraße	+	0
• Beide Fahrtrichtungen erlaubt	-	0

Abbildung 5: Übersicht der Ergebnisse aus dem Bewertungsindex

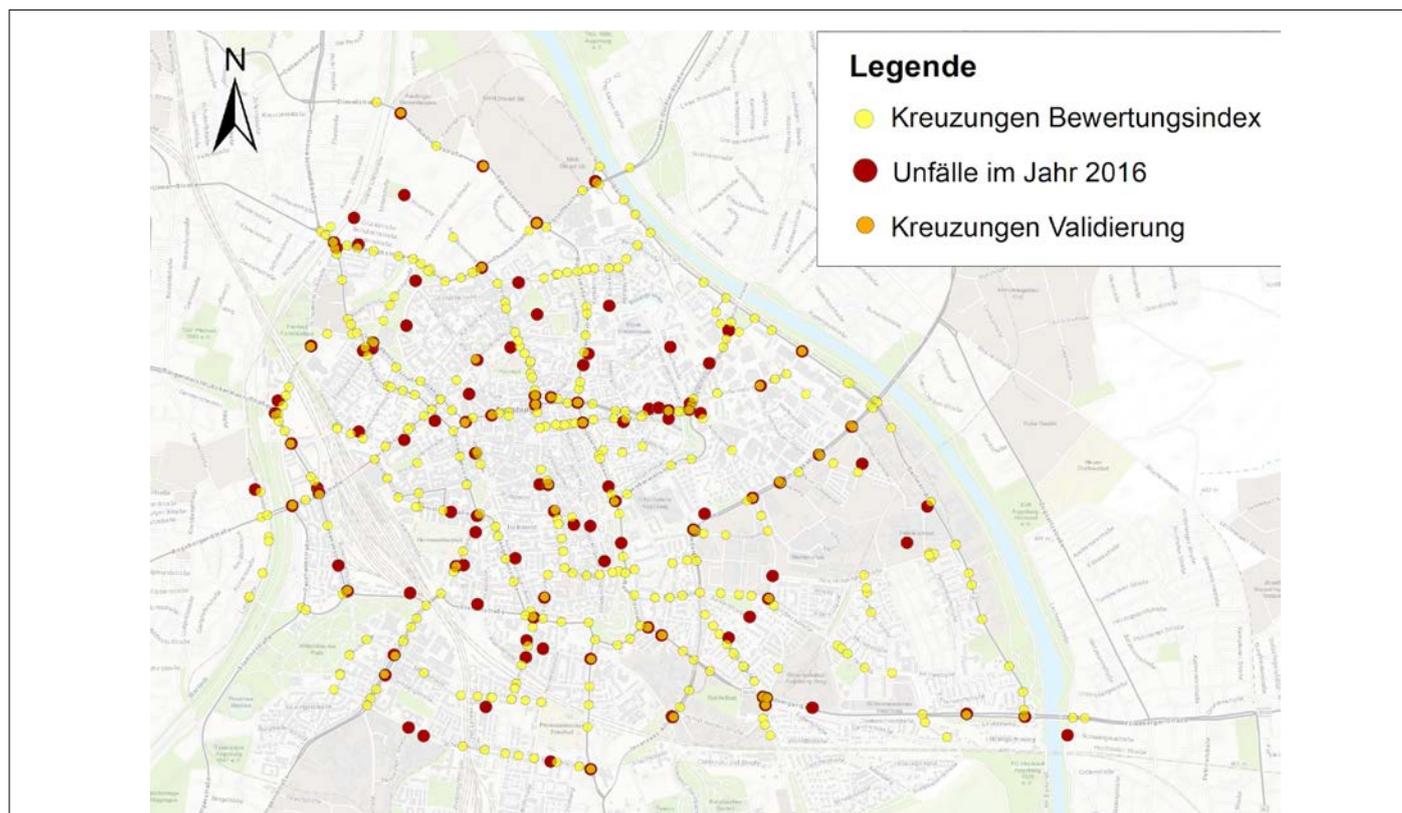


Abbildung 6: Validierung der Ergebnisse

kaum einen Einfluss auf das Risiko eines Unfalls hat.

Die Unfallgefahr an Kreuzungen mit einer Ampelanlage ist höher als ohne. Auch auf Straßen mit erlaubten Geschwindigkeiten von 50 km/h kommt es häufiger zu Unfällen als bei 30 km/h. Für Augsburg ist in erster Linie der Index für die Informationen über Straßenbahnschienen interessant, welcher deutlich höher ist, wenn die Schienen mit auf der Straße verlaufen. Bei den Radwegen wird unterschieden, ob ein Radweg vorhanden ist oder die Radfahrer mit im Verkehr fahren. Dabei fällt auf, dass Kreuzungen, an denen Radwege aufeinandertreffen, gefährlicher sind als Kreuzungen, bei denen der Radfahrer sich mit auf der Straße befindet. Betrachtet man den Verkehr sowie die Klassifizierung der Straßen durch OpenStreetMap, lässt sich festhalten, dass die Wahrscheinlichkeit für einen Unfall auf stärker befahrenen Straßen höher ist als auf sogenannten Anlieger- oder Nebenstraßen. Im Untersuchungsgebiet sind nur Straßen mit einer Anzahl von zwei oder vier Fahrstreifen vorhanden. Dabei ist das Unfallrisiko bei einer Straße mit vier Fahrspuren höher, da das Verkehrsaufkommen hier um einiges höher ist als bei zweispurigen Straßen. Betrachtet man zuletzt die

Fahrtrichtung, so fällt auf, dass Einbahnstraßen für Radfahrer gefährlicher sind als Straßen, die in beide Richtungen befahren werden können.

Bei Anwendung der Methodik auf die Straßensegmente erhält man ähnliche Ergebnisse. Auch hier führten Geschwindigkeiten von 50 km/h häufiger zu Unfällen als 30 km/h. Der Verlauf von Straßenbahnschienen im Verkehr erhöht zusätzlich das Unfallrisiko an Straßensegmenten. Bei Betrachtung der Informationen über das Vorhandensein eines Radwegs fällt auf, dass das Unfallrisiko höher ist, wenn der Radfahrer mit im Verkehr fährt. Dagegen ist es gefährlicher, wenn Radwege an Kreuzungen aufeinandertreffen. Zusätzlich ist das Verkehrsaufkommen ausschlaggebend. Auch aus dem Bewertungsindex für Straßensegmente wird deutlich, dass es gefährlicher ist, wenn das Verkehrsaufkommen höher ist wie bei Hauptstraßen als auf Anlieger- oder Nebenstraßen. Je mehr Fahrstreifen vorhanden sind, desto mehr Unfälle passieren. Werden die Fahrtrichtungen betrachtet, so fällt auf, dass der Unterschied hier nur sehr gering ist.

Abbildung 6 zeigt die Unfälle aus dem Jahre 2016 (rot) im Untersuchungsgebiet und gefährliche Stellen laut Bewertungsindex

(gelb) mit einem Index größer als der Mittelwert. Betrachtet man die orangefarbenen Punkte, so stellen diese Kreuzungen dar, die nach dem Index als gefährlich eingestuft werden und an denen auch im Jahre 2016 ein Unfall geschehen ist. Als „gefährlich“ wird hierbei die positiv statistisch relevante Abweichung vom Mittelwert des Bewertungsindex gesehen. 48% der insgesamt 796 Kreuzungen sind somit als gefährlich einzustufen. Betrachtet man nun die deckungsgleichen Unfälle mit den restlichen, so lässt sich berechnen, dass im Jahr 2016 86% der Unfälle an gefährlichen Kreuzungen passierten. Bei Straßensegmenten liegt der Wert für 2016 bei 83%.

Abbildung 7 zeigt die gefährlichste Kreuzung nach dem Ergebnis des berechneten Bewertungsindex: Pferseer Straße und Rosenaustraße nahe des Bahnhofs. Die Ergebnisse werden fotorealistisch mithilfe von Google Earth Pro dargestellt. Durch die Darstellung ist eine realitätsgetreue Vorstellung, vor allem für Personen, die nicht mit der Stadt vertraut sind, möglich. Gefährliche Stellen werden rot markiert. Zunächst ist ein Bild aus der Vogelperspektive zu sehen, bevor näher auf die einzelnen Sichtrichtungen eingegangen wird. Hierbei werden die Häuser mit Fas-



(a) Überblick Kreuzung Pferseer Str. und Rosenaustr.



(b) Blickrichtung Rosenaustraße, NW



(c) Blickrichtung Stadtmitte, Bahnhof



(d) Blickrichtung Rosenaustraße, SO



(e) Blickrichtung Pfersee

Abbildung 7: Fotorealistische 3D-Visualisierung der gefährlichsten Kreuzung

saden abgebildet und machen somit die Darstellung realistischer. An dieser Kreuzung gibt es zwei Bereiche, bei denen das Risiko für einen Unfall höher ist, dargestellt in Abbildung 7a. Abbildung 7c zeigt die im Verkehr mitfahrenden Fahrradfahrer bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h auf der Pferseer Straße. Zusätzlich befinden sich hier auch Straßenbahnschienen mit auf der Fahrbahn, was das Risiko weiter er-

höht. Abbildung 7e zeigt die gegenüberliegende Seite, wenn der Radfahrer aus dem Bahnhofstunnel in Richtung Pfersee möchte. Ist dies der Fall, so muss der Radfahrer vom Gehweg bzw. Radfahrer-frei-Weg auf die Straße wechseln. Dabei wird die Rechtsabbiegespur gekreuzt. Führt der Weg des Radfahrers weiter in Richtung Pfersee, fährt er mit im Verkehr bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h. Ein

Vorteil dieser Darstellung ist, dass die Straßenführung an der Kreuzung gut dargestellt ist. Zusätzlich sind die Radwege klar erkennbar.

Die Prinzstraße (nahe des Textilmuseums) wird als gefährlichstes Straßensegment nach dem Ergebnis des berechneten Bewertungsindex bewertet. Abbildung 8 zeigt diesen Straßenabschnitt aus beiden Richtungen (von Osten und Westen). Auf



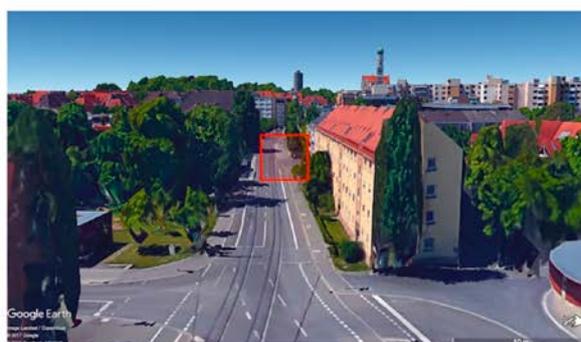
(a) Abschnitt 1 Blickrichtung Textilmuseum, O



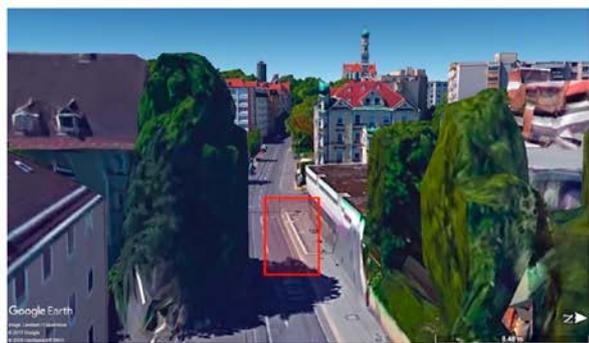
(b) Abschnitt 2 Blickrichtung Textilmuseum, O



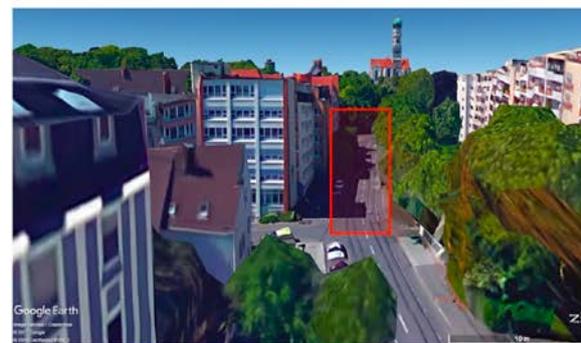
(c) Abschnitt 3 Blickrichtung Textilmuseum, O



(d) Abschnitt 1 Blickrichtung Stadtmitte, W



(e) Abschnitt 2 Blickrichtung Stadtmitte, W



(f) Abschnitt 3 Blickrichtung Stadtmitte, W

Abbildung 8: Fotorealistische 3D-Visualisierung des gefährlichsten Straßensegments

diesem Straßensegment gibt es unterschiedliche Arten von Radwegen. Die Abbildungen 8a und 8b zeigen die Prinzstraße in Richtung Textilmuseum. Dabei ist das Unfallrisiko hoch, da die Radfahrer und die Straßenbahn auf einer Fahrbahn fahren. Zudem ist die Prinzstraße mit sechs Metern sehr schmal, sodass in erster Linie Überholversuche beider Verkehrsteilnehmer hier sehr gefährlich sind.

Die Abbildungen 8c und 8e zeigen die beiden Haltestellen der Straßenbahnlinie 6. Diese Stellen sind für Radfahrer sehr gefährlich, da Autofahrer sowie Radfahrer oftmals versuchen, die haltende Straßenbahn zu überholen. Hierbei sind Radfahrer

zudem durch den Gegenverkehr gefährdet. Abbildung 8d zeigt den Übergang vom Radfahrstreifen zum Mitfahren im Verkehr. Hier kommt der Radfahrer mit auf die Straße und kann von den Autofahrern leicht übersehen werden. Die letzte Abbildung zeigt den Bereich vor der Kreuzung mit der Remboldstraße. Hier können Radfahrer mit auf dem Gehweg fahren, um Konflikte mit Autofahrern oder der Straßenbahn zu vermeiden (Abbildung 8f).

6 DISKUSSION

Bei den Ergebnissen fällt auf, dass der Stand der Forschung großteils belegt werden kann. Laut Analyse und Bewertungsin-

dex wird bestätigt, dass die meisten Unfälle beim Abbiegen oder Einbiegen passieren. Die Unfallberichte beweisen jedoch nicht, dass dies vor allem beim Rechtsabbiegen geschieht. Hierfür müsste eine ausführliche Validierung der Ergebnisse erfolgen.

Bei näherer Betrachtung der Unfallauswertung lässt sich festhalten, dass mehr Unfälle an Kreuzungen mit Ampelanlagen geschehen als an unsignalisierten Schnittstellen. Der umgekehrte Fall wird erwartet. Die Annahme ist, dass der Verkehr an Kreuzungen mit Ampeln geregelter ist und somit Radfahrer nicht so leicht übersehen werden. Der Bewertungsindex zeigt das Ge-

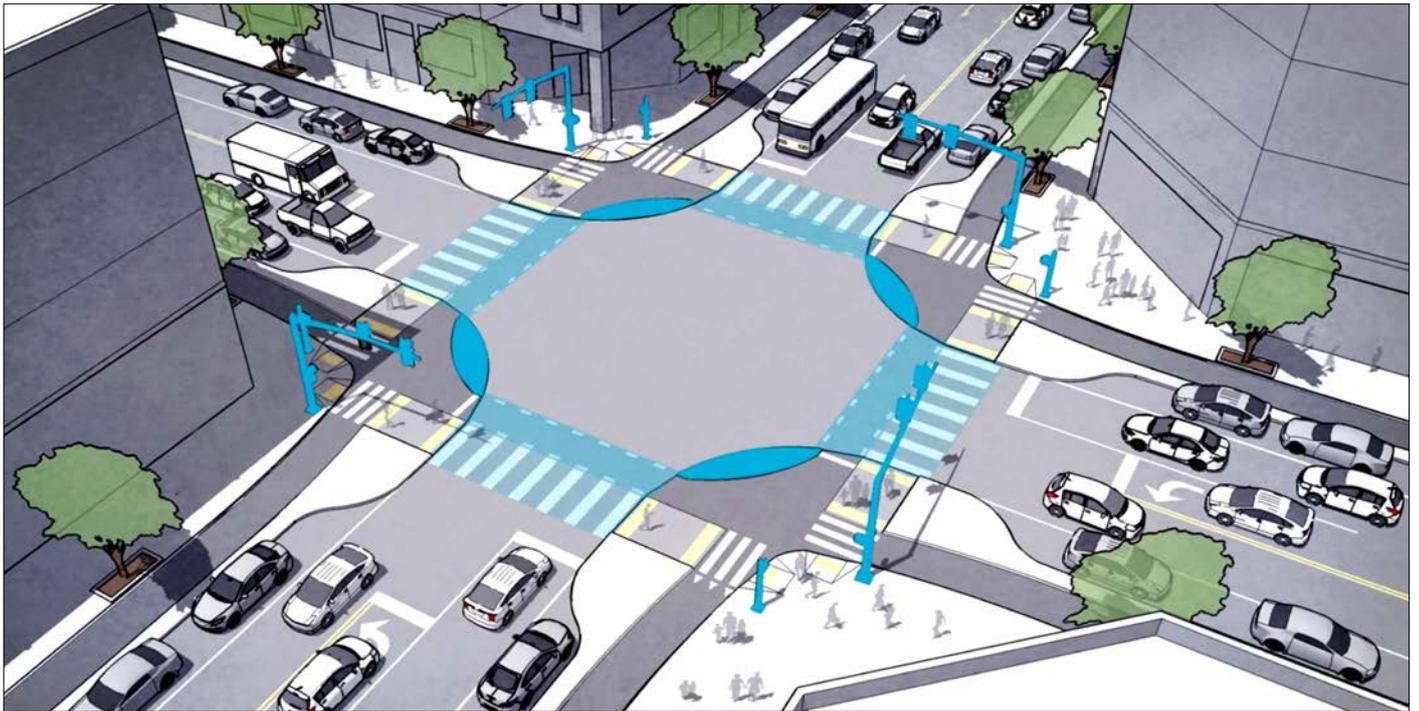


Abbildung 9: Konzept der „sicheren Kreuzung“ (Falbo 2018)

genteil. Ein Grund hierfür könnte sein, dass Verkehrsteilnehmer an Kreuzungen ohne Ampelanlagen konzentrierter sind, da sie wissen, dass der Verkehr nicht automatisch durch Signale geregelt wird und das Verkehrsaufkommen nicht so hoch ist.

Werden die erlaubten Geschwindigkeiten näher betrachtet, so gibt es mehr Unfälle an Kreuzungen und Straßenabschnitten mit Tempo 50 km/h. Je höher die Geschwindigkeit, desto länger ist der Bremsweg der Autofahrer. Werden zusätzlich die Ergebnisse über Informationen der Radwege herangezogen, passieren laut der Analyse die meisten Unfälle beim Mitfahren im Verkehr bei einer erlaubten Geschwindigkeit von 30 km/h. Erwartet wird, dass schnellere Geschwindigkeiten die Reaktionszeit verringern, der Bremsweg verlängert wird und somit das Unfallrisiko steigt. Ein Grund für dieses Ergebnis ist vermutlich, dass es mehr Situationen gibt, in denen Radfahrer in 30-iger Zonen mit auf der Straße fahren. Straßen, auf denen 50 km/h erlaubt ist, besitzen hingegen oft einen Radfahrstreifen oder einen Ein- bzw. Zweirichtungsradweg und sind somit baulich von den Autofahrern getrennt.

Auch die unterschiedlichen Radwegearten sind für das Unfallrisiko entscheidend. Laut Bewertungsindex sind Einrichtungsradwege gefährlicher als Radfahrstreifen. Einrichtungsradwege wie auch

Zweirichtungsradwege verlaufen neben der Straße mit auf dem Fußweg oder separat und damit baulich von der Straße getrennt. Radfahrstreifen hingegen sind abgetrennte, markierte Bereiche, die mit auf der Straße verlaufen. Angenommen wird, dass es gefährlicher ist, im Verkehr mitzufahren. Wird jedoch der Unterschied der beiden Radwege genauer betrachtet, so fällt auf, dass Radfahrer auf einem Einrichtungsradweg sich nicht im Sichtfeld der Autofahrer bewegen. Fahrradfahrer auf dem Radfahrstreifen hingegen hat der Autofahrer stets im Blickfeld und kann dementsprechend rechtzeitig reagieren. Besonders gefährlich für Autofahrer wie auch für Radfahrer ist die Situation, wenn ein Einrichtungsradweg über Kreuzungen führt oder der Radweg endet und die Radfahrer auf die Straße wechseln.

Das Attribut Verlauf der Straßenbahnschienen erhöht sowohl an Kreuzungen als auch an Straßenabschnitten das Unfallrisiko deutlich. Befinden sich die Straßenbahnschienen mit auf der Fahrbahn, so ist der Bewertungsindex ca. fünfmal so hoch, wie wenn die Straßenbahn eine eigene Fahrspur besitzt. Die Straßenbahnschienen stellen in erster Linie eine Sturzgefahr für den Radfahrer dar. Kommt dieser in die Schienen und stürzt, muss der Autofahrer schnell reagieren, damit er rechtzeitig zum Stehen kommt. Zusätzlich gelten Straßen-

bahnhaltestellen als Gefahrenzonen für Radfahrer. Autofahrer sowie Radfahrer möchten an diesen Stellen überholen, gefährden sich gegenseitig und zusätzlich auch die Fahrgäste der Straßenbahn, die eventuell die Straße überqueren. Zudem sind Radfahrer in dieser Situation durch den Gegenverkehr gefährdet.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Bewertungsindex bereits ein gutes Ergebnis liefert. Durch Ergänzungen der bereits vorhandenen Daten kann der Index eine noch genauere Bewertung erzielen.

7 ERWEITERUNGEN

Für genauere Ergebnisse ist es möglich, einige interessante Erweiterungen zu ergänzen. Eine Information, die sowohl für Kreuzungen als auch Straßensegmente von Vorteil wäre, ist die Verkehrsbelastung der jeweiligen Straßen. Für die Analyse lagen nur Informationen vor, ob auf der Straße beispielweise Orts-, Sammel- oder Anliegerverkehr herrscht. Diese Angaben enthalten jedoch keinerlei Informationen, wie viele Autofahrer dort täglich unterwegs sind. Mit genauen Verkehrszahlen kann die Wahrscheinlichkeit, dass es zu einer Gefahrensituation zwischen Pkw- und Fahrradfahrern kommt, genauer bestimmt werden. Die Straßen haben in dieser Methodik keine Gewichtung bezüglich Verkehrsaufkommen. Je höher das Verkehrsaufkommen auf

einer Straße ist, desto höher ist auch die Wahrscheinlichkeit, dass Radfahrer übersehen werden, da die Autofahrer sich auf den Verkehr konzentrieren. Neben der Anzahl der Autofahrer wäre auch die Anzahl der Radfahrer von großem Vorteil. Dadurch ist eine Aussage möglich, ob die Verkehrsauslastung überhaupt ein Gefahrenpotenzial für Radfahrer darstellt, oder ob an den jeweiligen Positionen gar kein Radverkehr stattfindet.

Sehr hilfreich für die Bewertung von Kreuzungen sind genauere Informationen über den Fahrbahnverlauf an Kreuzungen. Die Kartierung der Kreuzung ist ein aufwendiger Prozess, weshalb dafür keine Geodaten verfügbar sind. Eine Möglichkeit wäre, sich am Forschungsstand des automatisierten Fahrens zu orientieren. Hierfür ist eine detaillierte digitale Straßenkarte offline im Auto verfügbar, auf der Informationen abgelegt sind, die das Fahrzeug nicht oder nicht zuverlässig genug über Sensoren erfassen kann. Das betrifft beispielsweise den genauen Verlauf von Fahrstreifen, in erster Linie an Kreuzungen. Durch die manuelle Erstellung von Geometrien kann in mehreren Schritten eine detaillierte Kartierung von Kreuzungen erzeugt werden (Ziegler et al. 2015). Zusätzlich rückt das Thema „sichere Kreuzung“ immer mehr in den Vordergrund. Auch große Städte, darunter Stuttgart oder Hannover, beschäftigen sich mit der Sicherheit im Radverkehr, vor allem an Kreuzungen. Autofahrer sehen Radfahrer meist dann nicht, sobald ein Radfahrstreifen optisch von der Fahrbahn getrennt ist, z. B. durch einen Grünstreifen oder parkende Autos. Ein Konzept der USA zeigt Kreuzungen, an denen Radfahrer eigene Radwege haben, die an Kreuzungen weit in die querenden Straßen mit reingezogen werden. Somit entsteht an jeder Ecke der Kreuzung eine Verkehrsinsel, die Autofahrer zwingt, langsamer zu fahren und somit die Radfahrer rechtzeitig zu erkennen.

Abbildung 9 zeigt die vier wichtigen baulichen Maßnahmen, die für eine sichere Kreuzung notwendig sind: Eine Verkehrsinsel, die in jede Kreuzung hineinragt, Haltepunkte für Radfahrer nach den Verkehrsinseln, Fußgängerüberwege hinter den Radwegen und separate Ampelschaltungen für Radfahrer. Durch einen weiteren Haltepunkt nach dem Abbiegen können Autofahrer die Radfahrer leichter erkennen. Die Strecke,

welche Radfahrer überqueren müssen, ist geringer. Durch zurückgesetzte Radwege und das Straßendesign biegen Autofahrer ab und drehen ihr Sichtfeld um 90°. Es besteht die Möglichkeit, für beide Seiten rechtzeitig zu reagieren. Ebenfalls wichtig ist laut der US-Studie die Ampelschaltung für Radfahrer. Für eine „sichere“ Ampelschaltung sind unterschiedliche Möglichkeiten verfügbar. Eine sichere Variante, den Konflikt mit abbiegenden Fahrzeugen zu vermeiden, ist eine Ampelschaltung, bei der Radfahrer und Autofahrer, die in die gleiche Richtung fahren, grün haben und abbiegende Fahrzeuge rot. Auch eine Grünphase für Radfahrer von etwa zwei bis fünf Sekunden vor den Autofahrern wäre eine Alternative (Falbo 2018). Problem dieser Studie könnte sein, dass nicht an allen Kreuzungen der nötige Platz für die baulichen Maßnahmen einer „sicheren Kreuzung“ umsetzbar sind. Zusätzlich wird ein hoher Betrag an Fördermitteln benötigt, um alle Kreuzungen dem Sicherheitsstandard entsprechend anzupassen. Es könnte jedoch in Betracht gezogen werden, kleine Änderungen, wie beispielsweise die Ampelschaltung, vorzunehmen. Oft sind die Voraussetzungen hierfür bereits gegeben, nur das Leitsystem müsste anders geschaltet werden.

Ein weiterer interessanter Aspekt ist die Beschaffenheit der Straßen, die vor allem in Augsburg einen entscheidenden Grund für Gefahrensituationen darstellen kann. Viele Straßen im Innenstadtbereich haben ein Kopfsteinpflaster. Dieses ist ein unsicherer Untergrund für Radfahrer. Radfahrer müssen oft Schlaglöchern oder holprigen Stellen ausweichen und scheren dabei aus. Wenn zusätzlich noch Straßenbahnschienen mit auf der Fahrbahn liegen, ist die Wahrscheinlichkeit für Unfälle an diesen Stellen sehr hoch, da Radfahrer sowohl den Schienen als auch der unebenen Fahrbahn ausweichen müssen.

Ein wichtiges Attribut, welches an Straßensegmenten ergänzt werden sollte, sind Informationen über parkende Autos auf sogenannten Parkstreifen im Seitenbereich der Straßen. Viele Studien beziehen diese Art des Parkens mit in ihre Untersuchungen ein, so auch Carter et al. (2007) bei der Entwicklung eines Sicherheitsindex für Radfahrer an Kreuzungen. Parkstreifen liegen meist zwischen der Fahrbahn und dem Einrichtungsradweg oder zwischen dem Radfahrstreifen auf der Straße und dem Fuß-

weg. Da oft nicht genug Platz ist, Abstand von den parkenden Autos zu halten, werden Radfahrer hier durch ein- bzw. ausparkende Autos oder das Ein- und Aussteigen von Personen aus dem Fahrzeug behindert. In beiden Situationen befindet sich der Radfahrer meist im sogenannten toten Winkel des Autofahrers und wird durch den Seiten- bzw. Rückspiegel zu spät erkannt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass es neben den bereits verwendeten Attributen noch einige weitere hilfreiche Informationen gibt, die zukünftig mit in eine Analyse aufgenommen werden sollten. Je nach Stadt und Geodatenname sind bereits jetzt unterschiedliche Datenquellen und somit auch unterschiedliche Attribute verfügbar. Teilweise müssten die Informationen zusätzlich selbst erfasst bzw. ergänzt werden. Dabei sollte stets darauf geachtet werden, dass die Methodik auf andere Städte übertragbar bleibt.

8 AUSBLICK

Die Förderung des Radverkehrs steht in vielen Ländern an erster Stelle der Verkehrspolitik. Daher soll auch in Bayern bis 2025 die Infrastruktur sowie die Verkehrssicherheit für Radler weiter verbessert werden. Insgesamt sollen 200 Millionen Euro zusätzlich von 2016 bis 2025 in den Ausbau des Radwegenetzes entlang von Bundes- und Staatsstraßen investiert werden. Ziel ist es, den gegenwärtigen Radverkehr am Gesamtverkehrsaufkommen von 10% auf 20% zu steigern. Einer der wichtigsten Partner der Radverkehrsförderung sind die Kommunen in Bayern. Auch in Augsburg ist daher das Thema Radverkehr und Steigerung des Radverkehrsanteils am Modal Split aktuell und wird durch die Bewerbung als Fahrradstadt 2020 gefördert. Trotz Förderung und Verbesserung des Radverkehrs kommt es immer wieder zu schweren Unfällen.

Warum und an welchen Stellen es zu Kollisionen zwischen Autofahrern und Radfahrern kommt, kann mithilfe des entwickelten Bewertungsindex berechnet werden. Dieser kann auf Städte übertragen werden, bei denen die oben genannten Geodaten oder ähnliche Datenquellen vorhanden sind. Um die Unfallrisiken zu minimieren, ist es wichtig, nicht nur den theoretischen Bewertungsindex für eine bauliche Maßnahme und Verbesserung heranzuziehen. Auch die Bürger, die sich täglich mit den Situationen auseinandersetzen, sollten mit einbe-

zogen werden. Hierfür eignet sich zukünftig eine Art Meldeplattform, auf der die Bürger beispielsweise Gefahrenstellen eintragen können.

Als Darstellung der resultierenden Gefahrenstellen aus dem Bewertungsindex, die durch Bürger ergänzt werden können, eignet sich ein Stadtplan. Die GIS-basierte Stadtplanerstellung setzt hierbei auf den amtlichen Geobasisdaten auf. Diese Daten werden mithilfe von standardisierten Prozessen in ein Stadtplanmodell migriert. Die Darstellungsregeln, Geometrien und Attribute werden in einer Geodatenbank verwaltet, wodurch die schnelle Ableitung ein und desselben Datensatzes für unterschiedliche Endprodukte und Maßstäbe möglich ist. Diese Technologie bietet neben der Stadtplanerstellung und Aktualisierung auch die

Grundlage für alle Arten von thematischen Karten und Bürgerinformationen. So ist es beispielsweise mit dem GI Stadtplan ++ möglich, Fahrradkarten abzuleiten und diese über einen Webauftritt oder als App zur Verfügung zu stellen (GI Geoinformatik 2018b). Dadurch besteht die Möglichkeit, die Bürger direkt in die Planung, Meldung von Gefahrenstellen oder aktuellen Baustellen sowie einer Bewertung von Straßenabschnitten und Kreuzungen mit einzubeziehen. Eine Aufbereitung der verfügbaren Daten in 3D ist für den Bürger zusätzlich leichter zu erfassen und die unterschiedlichen Situationen sind besser vorstellbar.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Ergebnisse des entwickelten Indexes die Fragen beantworten, warum und an welchen Stellen es zu Kollisionen zwi-

schen Pkw- und Fahrradfahrern kommt und ob dies mit Geodaten untersucht werden kann. Durch die erläuterten Erweiterungen besteht die Möglichkeit, zukünftig die Ergebnisse zu verbessern und Gefahrenstellen genauer herauszufinden. Auch durch Einbinden der Bürger, die sich in einem übersichtlichen Stadtplan informieren und gefährliche Stellen ergänzen können, wird es künftig leichter werden, Unfallrisiken zu analysieren und somit Unfälle zwischen beiden Verkehrsteilnehmern zu vermeiden.

Literatur

- Carter, D. L. et al. (2007): „Bicyclist Intersection Safety Index“. In: *Transportation Research Record*, 2031, S. 18-24.
- Esri (2018): Insights for ArcGIS. <https://doc.arcgis.com/de/insights>, Zugriff 12/2018.
- Falbo, N. (2018): Protected Intersections for Bicyclists. <http://www.protectedintersection.com>, Zugriff 12/2018.
- Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (2003): Sicherung des Verkehrs auf Straßen In: *SVS, Anhang 8, Unfalltypen-Katalog*. Brandenburgische Universitätsdruckerei und Verlagsgesellschaft mbH, Potsdam, S. 78-93.
- GI Geoinformatik (2018a): GISconnector for Excel. <https://gisconnector.de/produkt>, Zugriff 12/2018.
- GI Geoinformatik (2018b): GI Stadtplan ++. <https://www.gi-geoinformatik.de/gis-dienstleistung/stadtplanerstellung>, Zugriff 12/2018.
- Hamacher, M. et al. (2016): Analyse der Radfahrer-Pkw-Kollision. Forschungsbericht, Unfallforschung der Versicherer, 2016. Berlin.
- Herrmann, J.; Eck, G. (2017): Radverkehrsprogramm Bayern 2025. Bayerisches Staatsministerium des Innern für Bau und Verkehr, 2017.
- Matthäus, W. G.; Schulz, J. (2011): *Statistik mit Excel – Beschreibende Statistik für jedermann*. 4. Auflage. Vieweg + Teubner, Wiesbaden.
- Räsänen, M.; Summala, H. (1998): „Attention and expectation problems in bicycle-car collisions: An in-depth study“. In: *Accident Analysis and Prevention*, 30.5, S. 657-666.
- Stadt Augsburg (2018): Projekt Augsburg City – Die Fahrradstadt. <https://www.projekt-augsburg-city.de/fahrradstadt/fahrradstadt-news>, Zugriff 12/2018.
- Schwald, M. (2016): Sicherheitsbericht 2016. Polizeipräsidium Schwaben Nord, 2016.
- Ziegler, J. et al. (2015): Kartengestütztes automatisiertes Fahren auf der Bertha-Benz-Route von Mannheim nach Pforzheim. In: *Tagungsband zum 9. Workshop Fahrerassistenzsysteme – FAS 2014*, 26. – 28. März 2014, Walting (Hrsg. von B. Färber). Uni-DAS e.V., Darmstadt, S. 79-94.