

KI-basierte Aufnahme sicherheitstechnischer Indikatoren auf freien Strecken von Landstraßen & abschnittsbasierte Integration zur Ableitung von Defiziten

André Hoffmann¹ and Marek Skakuj²

¹ Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen, TU Darmstadt,
Franziska-Braun-Str. 7, 64287 Darmstadt, Deutschland

² HELLER Ingenieurgesellschaft mbH, Otto-Hesse-Straße 19/T9, 64293 Darmstadt, Deutschland
E-mail(s): hoffmann@iib.tu-darmstadt.de, marek.skakuj@heller-ig.com

Abstract: Im Zuge des „Vision Zero“ Ansatzes der Bundesregierung sollen vermehrt präventive Verfahren zur Anwendung kommen, welche die Straße auf Grund von sicherheitsrelevanten indikativen Elementen bewerten. Im vorliegenden Paper soll ein Ansatz gezeigt werden, der es erlaubt auf Grundlage der Streckenbilder der ZEB und der zugehörigen Meta- und Stammdaten zur sicherheitstechnischen Bewertung relevante Größen abschnittsweise integriert bereitzustellen. Die Streckenbilder der ZEB werden hierbei mit Faltungsnetzen zur Erkennung der Fahrstreifenposition und Art, der Position der passiven Schutzeinrichtung, der Vegetation im Seitenraum sowie Verkehrsschildern, welche Geschwindigkeitsgebote sowie Gefahrenschilder umfassen, durchsucht. In mehrstufigen Pipelines werden sicherheitsrelevante Indikatoren und Defizite aus den erkannten physischen Objekten abgeleitet. Zur Demonstration werden die erkannten Defizite an einer Unfallstelle analysiert.

Keywords: Machine Learning, KI, Verkehrssicherheit, Zustandserfassung

1 Einführung

Bei der Zustandserfassung und Bewertung (ZEB) handelt es sich um ein amtlich festgelegtes Verfahren in welchen in Zyklen, öffentliche Straßen befahren werden, um mit visuellen und messtechnischen Methoden Zustandsmerkmale zu erfassen [1]. Ziel ist die Ermittlung des Zustandes und der zugehörigen Unterhaltskosten. Bei den Zustandsmerkmalen handelt es sich um Fahrbahnoberflächenschäden, Längs- und Querunebenheit, Griffigkeit und Straßenentwässerung. Zur Einordnung werden außerdem Frontal-, Seiten- und Rückfahrkamerabilder angefertigt. Die Zustandsmerkmale werden abschnittsweise zu Zustandsnoten aggregiert und in Karten sowie Streckenbändern visual-

isiert, um auf ihrer Basis strategische Entscheidungen über aufgrund des hohen Materialeinsatzes oftmals kostspielige Erhaltungsmaßnahmen zu treffen. In dieser Arbeit wird dargestellt, wie diese Daten auch für verkehrssicherheitstechnische Auswertungen eingesetzt werden können, um die Verkehrssicherheitsarbeit in Deutschland zu unterstützen. Auf Netzebene existiert zur Bewertung der Verkehrssicherheit in Deutschland die „Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen (ESN)“ [2]. In diesen Verfahren wird das Sicherheitspotential eines Streckenabschnitts als Differenz der auf in auftretenden Unfallkosten und dem für diesen Streckenabschnitt zu erwartenden Unfallkosten berechnet (Grundunfallkosten). In den USA existiert vergleichbar das Highway Safety Manual [3], welches die Berechnung eines Erwartungswerts für Unfallhäufungen vorsieht, der mit Unfallhäufigkeitsfaktoren an regionale Gegebenheiten angepasst werden kann. Neben diesen auf Unfalldaten angewiesenen (reaktiven) Verfahren, wird in Deutschland an einem proaktiven Verfahren gearbeitet, dem Handbuch für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen (HVS) [4]. Mit dem HVS wird es möglich ohne bestehende Unfalldaten anhand von Defiziten, welche Abweichungen vom für Deutschland spezifischen richtliniengerechten Ausbau darstellen, in der Verkehrsinfrastruktur eine Bewertung in Form des sogenannten Gefahrengrades vorzunehmen. Im Ausland existiert mit dem Road Assessment Programm (usRAP, EuroRAP, AusRAP usw.) [5] ebenfalls ein Verfahren mit dem die Straßen anhand indikativer Elemente auf Sicherheit untersucht werden können. Diese Stellen allerdings keine Abweichungen von den im jeweiligen Land geltenden Richtlinien dar, sondern beziehen sich lediglich auf das Vorhandensein allgemein gültiger verkehrstechnischer Zusammenhänge (z.B. Anzahl der Fahrstreifen, Vorhandensein von passiver Schutzeinrichtung). Parallel hierzu wurden im Forschungszweig des Visual Computing mit der Weiterentwicklung von Faltungsnetzen entscheidende Fortschritte gemacht, welche es ermöglichen auf Bildern der Straße Objekte und Zusammenhänge zu erkennen und zu segmentieren. In dieser Arbeit soll aufgezeigt werden wie Faltungsnetz basierte Methoden auf die Frontalkamerabilder der ZEB angewendet werden können, um in einen mehrstufigen Verfahren relevante Größen für die sicherheitstechnische Bewertung abzuleiten, welche statistisch analysiert bzw. auf Karten visualisiert werden können, um die Arbeit der Unfallkommissionen und Bestandsauditoren zu unterstützen. Hierzu soll zunächst das Gesamtkonzept und Architektur der Anwendung vorgestellt werden. Danach werden die zu erkennenden Objekte und eingesetzten Netzarchitekturen diskutiert. Das nächste Kapitel widmet sich der Integration und Ableitung der Sicherheitsdefizite. Abschließend werden die Sicherheitsdefizite anhand eines Streckenabschnitts exemplarisch diskutiert.

2 Gesamtkonzept

Der Datengewinnungsprozess basiert auf den Ergebnissen der ZEB und erzeugt aus diesen strukturierte Daten, welche vom Benutzer anhand einer Applikation nach Defiziten durchsucht werden können. Um die Anforderung an den Datengewinnungsprozess zu kennen, muss das Datenmodell in welches die Daten gespeichert werden sollen, bekannt sein. Um das Datenmodell zu generieren, müssen wiederum Anforderungen der Applikation definiert werden.

2.1 Fachliche Anforderungen

Als Ziel der Anwendung werden freie Strecken von Landstraßen definiert. Diese haben den Vorteil, dass sie im Handbuch für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen (HVS) [4] behandelt werden und dieses somit als Orientierungspunkt bei fachlichen Fragen dienen kann. Instanzen von Landstraßen sind außerdem auf Grund ihrer niedrigeren Verbindungsfunktion in größerer Anzahl vorhanden als Autobahnen, was es erleichtert Trainingsbeispiele zu generieren. In einer Betrachtung wie sie hier der Fall ist, können nur Defizite untersucht werden, die sich aus den Streckenbildern erfassen lassen und somit statischer Natur sind. Das heißt auch, dass Defizite, die sich aus den unterschiedlichen Fahrtbeziehungen am Knotenpunkt ergeben nicht geprüft werden können, daher wurde der Schwerpunkt auf Defizite gelegt, die sich auf freie Strecken beziehen. Die Defizite werden angelehnt an das HVS gewählt:

- Bäume im kritischen Abstand mit und ohne passive Schutzeinrichtung
- Fahrbahnbreite nicht ausreichend für den Regelquerschnitt
- Radius zu gering für den Regelquerschnitt
- Radienrelation nicht ausreichend für den Regelquerschnitt

2.2 Datenfluss und wesentliche Bausteine

Der Datengewinnungsprozess besteht aus mehreren Typen von Convolutional Neural Networks die auf die Frontalkamerabilder trainiert werden und verschiedene physische Objekte und deren grundlegende Geometrien zurückgeben. Die Objekte werden mit 3D-Informationen aus den Tiefenschätzungsnetz „Monodepth2“ [6] angereichert. Aus den verorteten Objekten werden kombiniert und zusammen mit den Stammdaten der Straße aus den Länderstraßendatenbanken, in mehreren Prozessen Indikatorgrößen und aus diesen schließlich Defizite abgeleitet. Diese Defizite werden anschließend zur Validierung auf einer Karte visualisiert. In den Folgekapiteln werden zunächst die zu erkennenden Objekte und darauf basierend die gewählten Netzarchitekturen vorgestellt. Danach wird die prozessuale Verarbeitung zu Indikatoren und schließlich zu Defiziten beschrieben und wie diese gespeichert werden.

3 Faltungsnetze zur Erkennung der Objekte

Die Auswahl der Netze zur Erkennung der physischen Objekte orientiert sich hauptsächlich an der Form in der das Ergebnis vom Netz bereitgestellt werden soll und an der Beschaffenheit des Objektes auf den Bildern. Auch die Einfachheit des Labelings spielt für die Annotation des eigenen Trainingsdatensatzes eine wichtige Rolle. Es wurden vier Arten von grundlegenden Formen festgestellt:

3.1 Polylinien

Die folgenden Objekte werden als Polylinien erkannt:

Fahrbahnmarkierungen kommen in Fahrbahnmitte sowie seitlich als Fahrbahnbegrenzung vor. In ihrer Form unterscheiden sie sich in gestrichelte, durchgezogene Fahrstreifen und bei niedrigen Entwurfsklasse vor allem bei Ortsverbindungen in nicht markierte Fahrbahnbegrenzung. Mittlere Fahrstreifen kommen außerdem bei Querschnitten der Entwurfsklasse 1 und 2 auch mehrfach vor, wenn eine Überholspur angeordnet ist. In den Metadaten der genutzten Straßeninformationsbank (SIB) [7], zeigt sich, dass dies sehr selten der Fall ist. Mehrstreifig sind die Landstraßen im Datensatz meist nur innerorts oder in der Nähe von Knotenpunkten, welche nicht Teil der Betrachtung sind. Die große Mehrheit der Landstraßen gehört zu Entwurfsklasse 3 und 4, so dass diese im Fokus der Analyse stehen.

Baumlinien: Bäume gelten als „nicht verformbare punktuelle Einzelhindernisse“ nach RPS2009 [8] und sollten sofern sie nicht den kritischen Abstand einhalten bei Neubauten entfernt werden. Bäume kommen allerdings auf Grund ihrer Beschaffenheit auf äußerst vielfältige Weise auf den Kameraaufnahmen der Zustandserfassung vor. Gerade bei dichter Vegetation ist es nicht möglich einzelne Bäume auszumachen. Daher werden Bäume zusammen mit dichter Vegetation anhand ihres Aufsatzpunktes am Boden gelabelt. Diese wird in dieser Arbeit als Baumlinie bezeichnet.

Passive Schutzeinrichtung: Passive Schutzeinrichtung (PSE) kommt in verschiedenen Ausprägungen vor. Laut RPS2009 [8] ist diese je nach Gefährdungsstufe in unterschiedlichen Leistungsklassen anzuordnen. Die Leistungsklasse ist aber nach rein äußeren Kriterien nicht zu unterscheiden, so dass letztlich nur in passive Schutzeinrichtung links und rechts der Fahrbahn unterschieden wird. Als Netzarchitektur wurde für diese Art von Objekten Resa (Recurrent Feature-Shift Aggregator,[9]) verwendet. RESA wendet auf das durch einen Encoder kreierte Feature-Map Merkmalsverschiebungsoperationen in 4 Richtungen an, was es ermöglichen soll auf jeden Punkt Informationen von allen Orten des Feature Maps einzubeziehen. Hierdurch sollen beispielsweise auch verdeckte Fahrspuren erkannt werden können, auf welche in anderen Teilen des Bildes aber Anhaltspunkte zu finden sind. RESA wurde in erster Linie für Fahrstreifenerkennung entwickelt, wobei die Klassifizierung der Ground-Truth-Fahrstreifen bei der Originalimplementierung aufgrund der Struktur der vorhandenen Benchmarkdatensätze anhand der Fahrstreifenwinkel erfolgt. Neben der Segmentierung im Decoder wird außerdem eine zusätzliche Klassifizierung vorgenommen (Exists-Head), der vorhersagt ob ein Fahrstreifentyp auf dem Bild vorhanden ist. Im Rahmen dieser Arbeit wurden andere Klassen, anhand der individuellen Merkmalsausprägungen definiert, die für die Sicherheitsbetrachtung notwendig sind. Diese gliedern sich nach je nach Position (rechts, links, Mitte, Mitte-rechts, Mitte-links) und Form (gestrichelt, durchgezogen, natürliche Begrenzung) in 12 Klassen. Für die Fahrstreifen (12 Klassen),



Abbildung 1: Darstellung der durch die KI erkannten Elemente in der Visualisierungsanwendung

passive Schutzeinrichtung und die Baumlinien (je in zwei Klassen: links und rechts) wurden jeweils eigene Netze trainiert.

3.2 Begrenzungsrechteck mit mit Schlüsselpunkten (Keypoints)

Als Begrenzungsrechteck mit Schlüsselpunkten werden die folgenden Objekte erkannt:

Einzelne Baumstämme: Es werden einzelne Bäume erkannt, welche nicht in einer Vegetation eingebunden sind. Diese sind zum Zwecke der Eindeutigkeit maximal zwei Bäume deren Aufsatzpunkte im unteren Bildbereich liegen. Sind drei Bäume oder mehr Vegetation zu erkennen, werden diese als Baumlinie erfasst. Der Begrenzungsrahmen (Bounding Box) wird um den Baumstamm gezogen und der Aufsatzpunkt auf dem Boden und der oberste Punkt des Stammes als Schlüsselpunkte markiert (siehe Abbildung 1).

Pfosten: Es werden Pfosten von Schildern und Straßenbeleuchtung erkannt, welche laut RPS2009 [8] als unverformbare oder auch verformbare punktuelle Einzelhindernisse gelten. Als Schlüsselpunkte wird wie bei den Baumstämmen der untere Aufsatzpunkt auf den Boden und der oberste erkennbare Punkt des Pfostens definiert.

Für die Ermittlung der Schlüsselpunkte wird ein adaptiertes Mask-RCNN verwendet [10]. Mask-RCNN basiert selbst auf einer Erweiterung des Faster-RCNN [11], welches aus dem Bild zunächst ein Feature Map generiert und aus diesem verschiedene Regions of Interest (Region Proposal Network). Diese werden gepoolt und klassifiziert sowie die zugehörigen Begrenzungsrahmen berechnet. Mask RCNN generiert aus dem gepoolten Layer zusätzlich neben der Klassifizierung noch mit einem FCN Segmentationsmasken. Beim Keypoint-RCNN wird für jeden Schlüsselpunkt (Keypoint) einer dieser Segmentationsmasken erstellt. Das Netz wurde in der ursprünglichen Anwendung zur Schätzung menschlicher Posen verwendet.

3.3 Begrenzungsrechteck (BoundingBox)

Verkehrszeichen werden mit Begrenzungsrechtecken umrandet.

Geschwindigkeitsbegrenzende Verkehrszeichen: Geschwindigkeitsgebote und Ortstafeln werden zur Bestimmung der zulässigen Geschwindigkeit erkannt, welche in den Planungsrichtlinien zur Bestimmung von Grenzwerten dienen. Außerdem gilt innerorts die Richtlinie für die Anlage von Stadtstraßen, welche hier nicht geprüft wird. Die betroffenen Abschnitte können so aussortiert werden.

Warnzeichen: Gefahrenzeichen sowie Teile der Verkehrseinrichtung wie Baken und Richtungspfeile werden ebenfalls erkannt, um zu prüfen, ob diese als Hinweis auf mögliche Gefahrenstellen bereits eingesetzt werden.

Dieser Prozess lässt sich grundsätzlich in zwei verschiedene Schritte unterteilen. Zunächst wurde ein Modell trainiert, welches die Schilder in 10 Oberklassen unterteilt. Diese Oberklassen haben ähnliche Eigenschaften, wie zum Beispiel alle runden Verkehrsschilder mit einer roten Umrandung. Als Modell wurde das Faster R-CNN ResNet101 [11] genutzt und mit den eigenen Trainingsdaten trainiert. Im Anschluss wurde das Modell auf die Streckenbilder angewendet und dabei die Bildkoordinaten der Begrenzungsrahmen und die Klassenbezeichnung in der Datenbank gespeichert. Um eine noch bessere

Eingrenzung vornehmen zu können, wurde im Anschluss für einzeln Oberklassen Klassifizierungsmodelle entwickelt. Trotz relativ guter Ergebnisse, wurde ,auch im Hinblick für die spätere Nutzung für andere sicherheitstechnische Anwendungen, zusätzlich eine Applikation entwickelt, welche ermöglicht, die finale Entscheidung von einem Menschen zu verifizieren und die Ergebnisse des Machine Learning Prozesses als Vorschläge zu übernehmen.

4 Datenbank, Softwarearchitektur und Prozessbeschreibung

Zentral ist die Tabelle „Messung“, welche auf den Rasterrohdaten der ZEB basiert. Die Rasterrohdaten beinhalten alle 10 m der Strecke einen Messpunkt relevanten Messdaten, welcher nach ASB (Anweisung Straßeninformationsbank, [7]) sowie zusätzlich mit GPS-Koordinaten positioniert ist. Zusätzlich finden sich in den Rasterrohdaten die Bildpfade der aufgenommenen Bilder der Messfahrzeuge. In der internen Tabelle „Messung“ werden Positionierung sowie die Bildpfade aus den Rohdaten der Messkampagne in 10m-Abschnitten gespeichert. Hinzu kommen außerdem Trassierungselemente, deren Grundtyp (Bogen oder Gerade), Radius und Länge auf Basis des in der ZEB aufgenommenen Krümmungswerte bestimmt wurde. Anschließend wurde die Relationstrassierung der einzelnen Elemente zueinander berechnet und elementweise zugeordnet, ob diese im guten und zu vermeidenden oder brauchbaren Bereich liegt. Nachdem der Erkennungsprozess durchgeführt wurde, werden die erkannten Zusammenhänge in der Datenbank normalisiert gespeichert. Begrenzungsrahmen und Polylinien werden jeweils dem Messpunkt zugeordnet, auf dessen Frontalkamerabild sie erkannt wurden. Die Unterscheidung der einzelnen Objekte erfolgt durch ein Klassenattribut. Die zugehörigen Punkte (Polylinienpunkte, Schlüsselpunkte und Punkte des Begrenzungsrahmens) werden in der Tabelle Punkt gespeichert. Über das Attribut Sequence wird definiert, welche Rolle der jeweilige Punkt für das Objekt spielt. Um die erkannten Zusammenhänge miteinander kombinieren und vergleichen zu können, werden sie als Eigenschaft eines Messpunkts (10-Abschnitts) abgebildet. Dies erfordert in Teilen eine Denormalisierung der erkannten Zusammenhänge. Passive Schutzeinrichtung wird statt als Polylinie in zwei Attributen „passive Schutzeinrichtung rechts vorhanden“ und „links vorhanden“ gespeichert. Außerdem wird jedem Messpunkt, die Eigenschaften des Trassierungselements auf dem sich dieser befindet, zugeordnet.

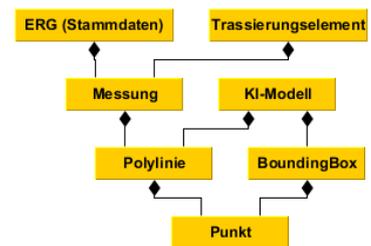


Abbildung 2: Normalisiertes Model zur Speicherung der Eingangsdaten

Die erkannten Schilder werden in Eigenschaften wie „Geschwindigkeitsbeschränkung“ und „Ortsdurchfahrt“ umgewandelt, auf den Messpunkten, auf denen diese gelten. Außerdem werden aus den Baumlinien und einzelnen Bäumen und den äußeren Fahrbahnrändern links und rechts die minimalen Abstände sowie die Fahrbahnbreite mittels der Geometriebibliothek pythonOCC [12] berechnet. Zusätzlich wird der Regelquerschnitt aus den Stammdaten und den vorhandenen Fahrbahnmarkierungen bestimmt und ebenfalls auf den Messpunkt bezogen abgespeichert. Aus den so gespeicherten Messpunkt bezogenen Indikatoren können nun im letzten Schritt mit separaten Routinen Defizite abgeleitet werden. Diese werden je Defizittyp mit etwas anderen Eigenschaften gespeichert. Es wird in Defizite, welche die kritische Distanz nicht einhalten, Defizite, in denen die Trassierung nicht richtlinienkonform ist, und Defizite, in denen die Fahrbahnbreite nicht dem zugordneten Regelquerschnitt entspricht, unterschieden.

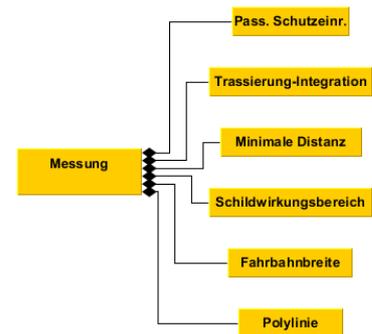


Abbildung 3: Denormalisiertes Indikatorenmodell

5 Visualisierung und demonstrative Analyse

Aus den abgeleiteten Indikatoren werden mit Routinen, welche die Regeln aus der Richtlinie anwenden, automatisiert Defizite abgeleitet. Anhand zugeordneter Regelquerschnitte lassen sich Plangeschwindigkeiten und Richtwerte entnehmen und die Indikatoren mithilfe der HVS [4] und der betreffenden Richtlinien prüfen. Das Verfahren wurde an einer Landesstraße, die weitestgehend ortsverbindenden Charakter hatte, getestet, kann aber auch auf jeden anderen Landstraßenabschnitt der von der ZEB erhoben wurde, angewendet werden. Zur demonstrativen Analyse wird eine Stelle auf der Landstraße betrachtet, an der im Februar 2020 ein Motorradunfall bei Tag und trockener Straße mit tödlichen Ausgang passierte (schwarzes Kreuz auf Abbildung 4).

Fahrbahnbreitenbezogene Defizite: Der zugeordnete Regelquerschnitt für den Abschnitt ist RQ11.5, entspricht also Entwurfsklasse 3. Allerdings ist die Straße vermutlich nicht nach der Richtlinie für die Anlage von Landstraßen (RAL, [13]), sondern nach einem älteren Regelwerk trassiert. Aufgrund des hohen Anteils von Abschnitten zwischen 6.5 bis 6 m Fahrbahnbreite könnte dies RQ 9.5 aus der "Richtlinien für die Anlage von Straßen - Querschnitt"(RAS-Q, [14]) sein. Wie in der vorliegenden Entwurfsversion der HVS vorgesehen, wurde dieser Bestandsquerschnitt mit den Regeln für RQ11.5 geprüft, was zwangsläufig zu einer hohen Anzahl an Defiziten führt, da diese eine 1m größere Fahrbahnbreite vorsieht. Farblich unterschieden sind in der Analyse die Schwere des Defizits in absteigender Sortierung (rot, orange, blau in Abbildung 4). Hierbei zeigt sich, dass in der Kurve in Unfallnähe eine deutliche Verengung der Fahrbahn stattfindet. Etwa knapp unter 6m, was auch unter

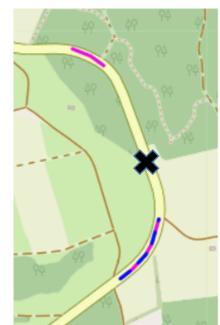


Abbildung 4: Visualisierung der Defizite

der Regelbreite von 6 m des RQ9.5 aus der alten Richtlinie liegt. Der Unfall findet in einem Bereich statt in der sich die Fahrbahn wieder etwas aufweitet.

Kritischer-Abstandsbezogene Defizite: Der Unfall findet am Anfang eines Waldabschnitts statt. Der Mindestabstand sollte in Ortsverbindungsstraßen mindestens 4.5 m betragen. Mit der zulässigen Geschwindigkeit von 80 - 100 km / h eigentlich sogar 7.5 m. Der kritische Abstand rechts der Fahrbahn ist durch eine Baumreihe nicht eingehalten. Aufgrund dessen ist passive Schutzeinrichtung verbaut. Hier wird das Defizit „Gefahrenstelle am äußeren Fahrbahnrand innerhalb des kritischen Abstands mit Schutzeinrichtung“ über einen längeren Abschnitt klassifiziert (dunkelgrüne Baum-Icons). Stahlschutzplanken sind für gewöhnlich auf PKW-Fahrer optimiert, was zur Folge hat, dass die Verletzungsschwere bei verunfallten Motorradfahrer häufig sehr hoch ist [15].

Trassierungselementbezogene Defizite; Der Mindestradius der Kurve vor der Unfallstelle ist für den angesetzten Regelquerschnitt deutlich unterschritten (rosa eingezeichnetes Trassierungselement in Abbildung 4) und liegt bei etwa 136 m. Auch die Relationstrassierung zum vorherigen Geradenabschnitt liegt entsprechend im zu vermeidenden Bereich (blau gestrichelt eingezeichnet).

Eine Geschwindigkeitsbegrenzung liegt nicht vor, auch Gefahrenzeichenschilder sind nicht vorhanden. Diese könnten, falls es zu einer Häufung kommt, eine relativ günstige Maßnahme sein, um die Gefährlichkeit der Unfallstelle zu senken.

6 Fazit

In der vorgestellten Arbeit wurde ein Ansatz gezeigt, mit welchem Defizite anhand der bestehenden Daten der ZEB automatisiert abgeleitet werden können. Hierfür wurden Netzarchitekturen zur Erfassung von Fahrstreifentyp und -position, passiver Schutzeinrichtung, des Baumbestands sowie relevanter Verkehrsschilder trainiert. In einem zweiten Schritt wurden Routinen kreiert um aus den mittels der Netze erfassten Zusammenhänge und Stammdaten der ZEB Indikatoren wie den Regelquerschnitt, den Minimalabstand eines Baums zur Fahrbahn und die Fahrbahnbreite abzuleiten. Für diese Indikatoren wurden außerdem Klassifizierungsroutinen geschrieben um aus ihrer Kombination Verstöße zur geltenden Richtlinie abzuleiten. Zu beachten ist, dass bei der Schätzung der Tiefenkoordinate vortrainierte Netze (monodepth2, [6]) eingesetzt wurden, da bei der ZEB weder Lidarscans noch stereoskopische Aufnahmen angefertigt werden. Ein systematischer Fehler kann daher nicht ausgeschlossen werden, mit passender Skalierung können jedoch für bestimmte Aufgabenstellungen zumindest im Nahbereich plausible Ergebnisse generiert werden. Würden in Zukunft einige Messfahrzeuge mit der notwendigen Technik ausgerüstet werden, könnte das Netz auch auf die ZEB antrainiert werden und die Genauigkeit voraussichtlich nochmal deutlich verbessern. Auch andere Defizite, die sich auf Halt-sichtweiten oder die Länge von Überholabschnitten beziehen sind denkbar. So könnte langfristig ein Werkzeug geschaffen werden, welches die Verkehrssicherheitsarbeit in Deutschland sowohl präventiv als auch reaktiv unterstützen kann.

Literatur

- [1] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen Arbeitsgruppe Sonderaufgaben, *Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien zur Zustandserfassung und -bewertung von Straßen ZTV ZEB-StB*, Ausg. 2006. Köln: FGSV-Verl., 2007, ISBN: 9783939715030.
- [2] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen - Arbeitsgruppe Verkehrsführung und Verkehrssicherheit, *Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen : ESN*, Köln, 2003.
- [3] National Research Council (U.S.) and American Association of State Highway and Transportation Officials and National Cooperative Highway Research Program, Hrsg., *Highway safety manual*, 1st ed. Washington, D.C: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2010, OCLC: ocn645094631, ISBN: 9781560514770.
- [4] Arbeitsgruppe Straßenentwurf - Arbeitsausschuss: Verkehrssicherheitsbewertung von Straßen, »Entwurfsversion: HVS - Handbuch für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen«, 4. Nov. 2019.
- [5] The International Road Assessment Programme (iRAP), »iRAP Methodology fact sheets«. Adresse: <https://irap.org/methodology/> (besucht am 17. 05. 2022).
- [6] C. Godard, O. M. Aodha und G. J. Brostow, »Digging Into Self-Supervised Monocular Depth Estimation«, *CoRR*, Jg. abs/1806.01260, 2018. arXiv: 1806.01260. Adresse: <http://arxiv.org/abs/1806.01260>.
- [7] Projektgruppe „ASB“ der Dienstbesprechung „IT-Koordinierung im Straßenwesen“, »ASB - Anweisung Straßeninformationsbank Teilsystem Netzdaten«, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung - Abteilung Straßenbau, Straßenverkehr, Anweisung Straßeninformationsbank, 9. März 2011. Adresse: <https://itzeb.heller-ig.de/files/asb-netzdaten.pdf>.
- [8] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Hrsg., *Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch Fahrzeug-Rückhaltesysteme: RPS* (FGSV R1 343), ger, Ausg. März 2009. Köln: FGSV, 2009, ISBN: 978-3-939715-74-0.
- [9] T. Zheng, H. Fang, Y. Zhang u. a., »RESA: Recurrent Feature-Shift Aggregator for Lane Detection«, *CoRR*, Jg. abs/2008.13719, 2020. arXiv: 2008.13719. Adresse: <https://arxiv.org/abs/2008.13719>.
- [10] K. He, G. Gkioxari, P. Dollár und R. B. Girshick, »Mask R-CNN«, *CoRR*, Jg. abs/1703.06870, 2017. arXiv: 1703.06870. Adresse: <http://arxiv.org/abs/1703.06870>.
- [11] S. Ren, K. He, R. B. Girshick und J. Sun, »Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks«, *CoRR*, Jg. abs/1506.01497, 2015. arXiv: 1506.01497. Adresse: <http://arxiv.org/abs/1506.01497>.
- [12] T. Paviot, *pythonOCC, 3D CAD/CAE/PLM development framework for the Python programming language, PythonOCC – 3D CAD Python*. Adresse: <https://github.com/tpaviot/pythonocc> (besucht am 17. 05. 2022).

- [13] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, *Richtlinien für die Anlage von Landstraßen RAL* (FGSV 201), G. Hartkopf, Hrsg. Köln: FGVS-Verl, 2013, ISBN: 978-3-86446-039-5.
- [14] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen - Arbeitsgruppe Straßenentwurf, *Richtlinien für die Anlage von Straßen. Teil: Querschnitte ; RAS-Q 96*. 1996, ISBN: 978-3-7812-1470-5.
- [15] R. Klöckner, *Anprallversuche an motorradfahrerfreundlichen Schutzeinrichtungen: Bericht zum Forschungsprojekt F 1100.6406008* (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen V, Verkehrstechnik 193), ger. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW, Verl. für Neue Wiss, 2010, ISBN: 978-3-86918-002-1.