
Anhang

Detektion von Radfahrern im signalgeregelten Bereich von Knotenpunkten in Verbindung mit Absetzung einer Warn- meldung für Kraftfahrzeuge

Berichte der Bundesanstalt für
Straßen- und Verkehrswesen
Verkehrstechnik Heft V 399

Verbesserung des Radfahrschutzes durch KI-kamerabasierte Abbiegeassistenten für Kraftfahrzeuge an signalgeregelten Knotenpunkten

Leitfaden zur pilothaften Erprobung neuartiger infra-
strukturseitiger Abbiegeassistenten für Kommunen



Einführung

Im Bereich von signalgeregelten Knotenpunkten kommt es oftmals zu Konflikten zwischen dem geradeausfahrenden Radverkehr und dem rechtsabbiegenden Kraftfahrzeugverkehr. Um Kraftfahrzeugführer an Knotenpunkten mit Unfallhäufungen bei ihren Fahraufgaben zu unterstützen und somit Kollisionen mit Radfahrern zu vermeiden, werden auch infrastrukturseitige Systeme erprobt, um kritische Gefahrensituationen automatisch zu erkennen und die betreffenden Verkehrsteilnehmer durch entsprechende Meldungen rechtzeitig zu warnen.

Ein solches System kann von Kommunen an für Radfahrer besonders gefährlichen und durch erhöhte Unfallzahlen auffälligen Knotenpunkten eingerichtet werden. Ein infrastrukturseitiger Abbiegeassistent ist insbesondere dann eine in Betracht zu ziehende Maßnahme, wenn herkömmliche Maßnahmen wie bauliche Veränderungen (z. B. Umbau des Knotenpunkts und der Radverkehrsführung), neue Markierungen oder angepasste LSA-Schaltungen für eine zeitliche Entkopplung der konfliktbehafteten Ströme nicht umsetzbar sind bzw. nach der Umsetzung nicht die erhoffte Wirkung bringen.

Eine Pilotanwendung eines infrastrukturseitigen Abbiegeassistenten wurde 2023 in der Stadt Gießen, am Knotenpunkt Frankfurter Straße – Friedrichstraße, durch Installation und Inbetriebnahme eines KI-unterstützten Kamerasystems realisiert. Dieses erkennt in Echtzeit auf jedem Kamerabild die gesuchten Objekte, das heißt Radfahrende und Kraftfahrzeuge (Kfz), die sich in einer vordefinierten Detektions- und Konfliktzone befinden,

das heißt auf dem Radfahrstreifen und dem angrenzenden Kfz-Fahrstreifen. Bewegen sich mindestens ein Radfahrer und ein Kraftfahrzeug in der Detektionszone, für die sich anhand ihrer Geschwindigkeiten ein wahrscheinlicher Kollisionspunkt in der Konfliktzone errechnet, wird unverzüglich ein optisches Warnsignal für den Kraftfahrzeugführer durch einen Doppelblinker am Fahrbahnrand angezeigt.

Durch die geplante Inbetriebnahme einer Roadside Unit, die Warnnachrichten im Nahbereich per WLANp-basierter Funkkommunikation (ITS-G5) aussendet, kann die Wirksamkeit des Warnsystems perspektivisch erhöht werden, allerdings momentan nur bei Kraftfahrzeugen, die über die entsprechende On-Board Unit zum Empfang der Warnnachrichten (sogenannte DENM: Decentralized Environmental Notification Message) verfügen. Seitens der Stadt Gießen ist vorgesehen, Liniensebusse und andere Dienstfahrzeuge, die den Knoten regelmäßig passieren, mit solchen On-Board Units auszustatten.



Bild 1: Abbiegeassistenzsystem am Knotenpunkt in Gießen im Oktober 2023

Das System eines infrastrukturseitigen Abbiegeassistenten, wie es auch am Knotenpunkt Frankfurter Straße – Friedrichstraße in Gießen vorzufinden ist (Bild 1), besteht im Wesentlichen aus den folgenden drei Komponenten:

- Übersichtskamera zur Erfassung der aktuellen Verkehrslage, das heißt der räumlich-zeitlichen Positionen von Radfahrern und Kfz, in der Detektionszone
- Recheneinheit (Mini-Computer) zur digitalen Bildverarbeitung, insbesondere KI-basierte Objekterkennung und Objekttracking (Fahrrichtung, Geschwindigkeit)
- Warnmeldesystem für Kraftfahrzeuge in Konfliktzonen, wie z. B. Doppelblinker zur optischen Warnung und/oder Roadside Unit zur Funkkommunikation mit Fahrzeugen und Sendung von Warnmeldungen (Infrastructure-To-Vehicle – I2V)

Da es sich um einen der ersten Pilotbetriebe eines solchen Systems außerhalb von Forschungs- und Entwicklungsprojekten in Deutschland handelt, ist es für die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) von Interesse gewesen, dass auch herstellerunabhängige, belastbare Daten zur Leistungsfähigkeit und potenziellen Wirksamkeit des Systems ermittelt wurden. Dies sollte durch eine wissenschaftliche Begleituntersuchung des Pilotbetriebs in Gießen durch das Institut für Automation und Kommunikation e.V. (ifak) im Rahmen des durch die BASt beauftragten Forschungsprojekts „Detektion von Radfahrern im signalgeregelten Bereich von Knotenpunkten in Verbindung mit Absetzung einer Warnmeldung für Kraftfahrzeuge“ (FE-Nr. 77.0602/2022) erreicht werden. Im Schlussbericht dieses Forschungsprojekts können weitere Hintergründe nachgelesen werden.

Während der Projektlaufzeit von Juli 2023 bis Juli 2024, wurde am 10. April 2024 ein Workshop zum Thema „Erarbeitung von Handlungsempfehlungen für Kommunen zur Übertragbarkeit des Pilotsystems in Gießen auf andere Standorte“ mit den Projektbeteiligten (BASt, Forschungsbegleitender Betreuerkreis, Stadt Gießen, Systemhersteller und ifak) durchgeführt.

Auf Basis der Ergebnisse des Workshops ist der vorliegende Leitfaden zur pilothaften Erprobung neuartiger infrastrukturentwicklungsseitiger Abbiegeassistenten entstanden.

Impressum

Inhaltliche Bearbeitung, Layout:

Dr. Alexander Kaiser, Joachim Schade
Institut für Automation und Kommunikation e.V. (ifak e.V.)
Geschäftsfeld Verkehr & Assistenz
Werner-Heisenberg-Str. 1
D-39106 Magdeburg
www.ifak.eu



Herausgeber:

Bundesanstalt für
Straßen- und Verkehrswesen
Brüderstraße 53
D-51427 Bergisch Gladbach
www.bast.de

Im Rahmen des Forschungsprogramms
Stadtverkehr **FoPS**

FoPS | Verbesserung der
Verkehrsverhältnisse
der Gemeinden
FORSCHUNGSPROGRAMM STADTVERKEHR

bast 
Bundesanstalt für
Straßen- und Verkehrswesen

Bildnachweise:

Titelbild (Seite 1): ifak e.V. 2013
Bild 1 (Seite 3): ifak e.V. 2023
Bild 2, Bild 3 (Seite 10): ifak e.V., Stadt
Gießen 2024

Handlungsempfehlungen zur pilothaften Erprobung neuartiger infrastrukturseitiger Abbiegeassistenten

Die Gliederung der Themen, die auf dem Workshop behandelt wurden, orientierte sich an den wesentlichen Phasen, die eine Kommune bis zur Inbetriebnahme eines infrastrukturseitigen Abbiegeassistenten durchläuft. Diese sind folgende acht Schritte:

- (1) Analyse auffälliger Knotenpunkte
- (2) Recherche und Auswahl von Systemanbietern
- (3) Konfiguration des Systems und der Komponenten
- (4) Kosten und Finanzierung des Systems
- (5) Rechtliche Anforderungen und Maßnahmen
- (6) Bürgerinformation und Bürgerbeteiligung
- (7) Implementierung und Inbetriebnahme des Systems
- (8) Evaluation und Optimierung des Systems in der Betriebsphase

Dabei waren die tatsächlichen Abläufe und Erfahrungen der Beteiligten aus dem Projekt in Gießen maßgebend. Obwohl eine Übertragbarkeit der Vorgehensweise auf andere Kommunen grundsätzlich für sinnvoll erachtet wird, können und sollten in einem anderen Anwendungsfall auch alternative oder zusätzliche Aufgaben in Betracht gezogen werden, wenn diese erforderlich und zweckmäßig erscheinen. Der vorliegende Leitfaden ist

daher vor allem als Anregung und Empfehlung zu verstehen und erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

(1) Analyse auffälliger Knotenpunkte

Voraussetzung ist ein signifikantes Unfallgeschehen mit Beteiligung von rechtsabbiegenden Kraftfahrzeugen und in gleicher Richtung geradeausfahrenden Radfahrern. Dies sollte durch die Auswertung von polizeilichen Unfallzahlen und Unfallhergängen, aus Ergebnissen der Unfallkommission oder Unfallsteckkarten ermittelt werden. Als potenzielle Standorte berücksichtigt werden können aber auch die Knoten, an denen eine subjektive Unsicherheit – auch ohne statistisch belegbare Zahlen – wahrgenommen wird.

Daneben werden folgenden Kriterien zur Bewertung und Auswahl eines Knotens vorgeschlagen. Für viele dieser Kriterien können belastbare Daten mithilfe einer videobasierten Verkehrsbeobachtung an verkehrsreichen Tagen (z. B. Dienstag, Mittwoch oder Donnerstag) stichprobenartig erfasst werden.

- Anzahl der Gefahrensituationen (Beinahe-Unfälle von Radfahrern mit Kfz)
- Anzahl der Konfliktsituationen (Annäherungen von rechtsabbiegenden Kfz und in gleicher Richtung fahrenden Radfahrern)
- Verkehrsstärke von Kfz und Radfahrern

- Typische Geschwindigkeiten von Kfz und Radfahrern in der Konfliktzone
- Typischer Verlauf der Grünphasen für Radfahrer und Kfz
- Sichtverhältnisse der Kfz-Führer und Radfahrer zueinander
- Kreuzungsgeometrie und -topologie

Es muss auch bedacht und begründet werden, warum der Einsatz eines infrastrukturseitigen Abbiegeassistenten gegenüber herkömmlichen Maßnahmen oder anderer verkehrstechnischer Anwendungen einen Mehrwert hat. Je nach System lassen sich beispielsweise auch Synergien durch weitere Anwendungsmöglichkeiten wie eine verbesserte Verkehrslageerfassung erschließen.

Bei der Knotenauswahl ist auch zu prüfen, ob das technische Unterfangen in Bezug auf die Infrastruktur möglich ist. Das bedeutet beispielsweise das Vorhandensein von Leerrohren für die entsprechenden Daten- und Stromversorgungsleitungen, Masten für das Anbringen der Kameras und RSU (Roadside Unit) mit ausreichender Sicht und entsprechenden Montagemöglichkeiten sowie die Verfügbarkeit von Datenschnittstellen an den Lichtsignalanlagen für die Kopplung mit dem Abbiegeassistenten.

Neben den technischen Aspekten sollten auch die grundsätzliche Offenheit und die zu erwartenden Reaktionen der Anwohner sowie der Bevölkerung und Politik vor Ort zu derartigen, in der Öffentlichkeit häufig kontrovers diskutierten Themen (Künstliche Intelligenz, Kameraeinsatz im öffentlichen Raum etc.) bedacht werden.

(2) Recherche und Auswahl von Systemanbietern

Am Anfang sollte eine gründliche Marktanalyse der verfügbaren Systeme stehen. Ein Anforderungskatalog für den oder die verschiedenen verkehrlichen Anwendungsfälle hilft dabei, die Ziele zu definieren und beispielsweise in Form eines Pflichtenheftes aufzunehmen. Dem vorhandenen oder geplanten Budget sind danach die Angebotskosten der jeweiligen Anbieter entgegenzustellen und so in einem ersten Schritt zu ermitteln, welche Anwendungsfälle mit welchem Budget grundsätzlich abgebildet werden können.

Vor dem Hintergrund der Investitionssicherheit ist bei der Wahl von Systemanbietern auf eine Langzeitverfügbarkeit zu achten, damit sichergestellt wird, dass das System auch über einen längeren Zeitraum kontinuierlich betreut wird. Gleichzeitig können dadurch die Vorteile von kontinuierlichen Updates und Produktverbesserungen genutzt werden. In Betracht kommen sollten daher Produkte und Produkttechnologien mit hinreichender Reife.

Wegen der erforderlichen Anbindung an vorhandene Systeme, insbesondere die Lichtsignalanlage des Knotens, sind in der Regel auch die jeweiligen Hersteller im Projekt zu beteiligen und deren gegebenenfalls angebotenen Lösungen für Abbiegeassistenzsysteme zu berücksichtigen.

(3) Konfiguration des Systems und der Komponenten

Um das System optimal auf die Umgebungsbedingungen des Einsatzortes anzupassen, ist eine gute Konfigurierbarkeit der Systemkomponenten auch durch den Betreiber zwingend notwendig.

Die Konfiguration und Parametrisierung kann beispielsweise über eine intuitiv bedienbare grafische Benutzeroberfläche erfolgen. Wichtige Betriebsparameter betreffen z. B. Modularität, Ausfallsicherheit, Redundanz, leichte und austauschbare Installation, Möglichkeiten des Eingriffs (z. B. Trainieren des Systems an sich verändernde Gegebenheiten), die Eigenüberwachung oder die Berücksichtigung unterschiedlicher Straßentopologien.

Eine Grundvoraussetzung für die Funktion des Systems mit einer hohen Konflikterkennungsrate (Genauigkeit) ist die präzise Planung von einem oder mehreren Kamerastandorten. Sowohl unter rechtlichen als auch technischen Gesichtspunkten ist eine erhöhte Kameraposition von etwa 4-5 Metern über der Fahrbahnebene empfehlenswert. Zur Befestigung sind vertikale oder horizontale Masten neben bzw. über der Fahrbahn zweckmäßig, die in der Regel bereits für die Signalgeber bzw. Straßenbeleuchtungen vorhanden und zudem mit Stromleitungen ausgestattet sind.

Abhängig von den sich gegebenenfalls verändernden Konfliktzonen und Konfliktsituationen sollten die Sensorik und Aktorik, wie z. B. die Ausrichtung und Zoomstufe der Kamera, nachjustierbar sein. Die Konfiguration kann in einem ersten Schritt auch teilautomatisiert erfolgen. Für das Bedienpersonal vor Ort

sollte die Logik des Systemverhaltens jederzeit nachvollziehbar sein.

(4) Kosten und Finanzierung des Systems

Das Ziel sollte sein, die anfallenden Kosten – sowohl die Anschaffungskosten als auch die jährlich anfallenden Betriebskosten – im Rahmen der verfügbaren Haushaltsmittel so einzusetzen, dass ein maximaler Nutzen für den Radfahrschutz erreicht werden kann.

Um eine dauerhafte, fehlerfreie Funktion zu gewährleisten, wird die Einplanung von Haushaltsmitteln für wiederholt anfallende Wartungs- und Reparaturkosten oder Lizenzgebühren empfohlen. Diese sollten im Voraus durch den Systemanbieter möglichst genau berechnet und ausgewiesen werden.

Gegebenenfalls können die Investitions- und Betriebskosten über entsprechende öffentliche Förderprogramme teilweise abgedeckt werden, wobei jedoch die zeitliche Befristung zu beachten ist und langfristige Betriebskosten nach Ende der Projektlaufzeit in der Regel nicht über solche Programme finanziert werden können.

(5) Rechtliche Anforderungen und Maßnahmen

Für den Einsatz eines infrastrukturseitigen Abbiegeassistenten im öffentlichen Verkehrsraum ist eine verkehrsrechtliche Anordnung eine grundlegende Voraussetzung.

Da der Einsatz einer Videokamera für infrastruktureitige Abbiegeassistenten bei den meisten Systemanbietern dem aktuellen Stand der Technik entspricht, sind bereits in der frühen Planungsphase auch die rechtlichen Anforderungen diesbezüglich zu berücksichtigen. Dies betrifft insbesondere die Einhaltung des Datenschutzes im öffentlichen Raum, da grundsätzlich mit jeder Videokamera personenbezogene Daten wie Gesichter und Kfz-Kennzeichen – auch wenn es wie in diesem Anwendungsfall nicht notwendig ist – erkannt und gespeichert werden könnten.

Daher sollten nach Möglichkeit nur solche Kamerasysteme zum Einsatz kommen, mit denen keine personenbezogenen Daten, sondern nur die relevanten Konturen von Fahrzeugen und Personen erfasst werden können (z. B. Wärmebildkameras). Sollten dennoch herkömmliche Videokameras verwendet werden, sind vor der Inbetriebnahme folgende Einstellungen zu überprüfen bzw. vorzunehmen: eine möglichst geringe Bildauflösung, die Unterdrückung der Speicherung bzw. internetseitige Übertragung von Bildern, sowie die Maximierung der räumlichen Entfernung zwischen dem Kamerastandort und der Bildebene, auf der sich Personen und Kraftfahrzeuge üblicherweise befinden, das heißt Fußwege, Radwege und Fahrbahnen.

Falls eine betriebsinterne Speicherung und Übertragung von Bildern während der Konfigurationsphase des Systems notwendig ist, sind Personen und Kfz-Kennzeichen auf jedem Bild im Voraus zu verpixeln. Da eine Echtzeiterkennung von Personen und Kraftfahrzeugen von einem KI-Kamerasystem ohnehin geleistet wird, kann diese Möglichkeit auch für eine automatische Verpixelung der sensiblen Bildbereiche mitgenutzt werden.

Da es sich je nach Bedeutung des Knotenpunkts um sogenannte kritische Infrastruktur (KRITIS) handeln kann, sind die entsprechenden IT-Sicherheitsmaßnahmen zur Vermeidung von Datenlecks oder unberechtigten Zugriffen, insbesondere eine mögliche Manipulation der LSA-Steuerung, zu beachten.

Darüber hinaus sind weitere rechtliche Fragestellungen (z. B. Haftung bei Fehlfunktionen) mit dem Systemanbieter zu klären.

(6) Bürgerinformation und Bürgerbeteiligung

Hilfreich für die Akzeptanz des Systems in der Bevölkerung ist eine angemessene Informationspolitik. Sie hilft, mögliche Barrieren und Vorbehalte abzubauen und schafft Transparenz. Zu den Aufgaben gehören vor allem Basisinformationen zur Wirkungsweise des Systems und Erläuterungen zur Datenschutzkonformität.

Die Verkehrsteilnehmenden sollten außerdem ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass nicht nur noch dann mit Radfahrern zu rechnen ist, wenn die Warnblinker aktiv sind.

Für die Bürgerbeteiligung ist auch das Einholen von Feedback sinnvoll. So kann beispielsweise ermittelt werden, ob die Verkehrsteilnehmer die Warnfunktion auch verstanden haben.

Frühzeitig, das heißt während der Planungsphase und noch vor der eigentlichen Inbetriebnahme, sollten mehrere Informationsveranstaltungen und Bekanntmachungen z. B. mit Unterstützung der lokalen Medien (Presse

etc.) erfolgen, um die Bürger für den eigentlichen Grund der Maßnahme, den Radfahrerschutz, also die Vermeidung von schweren oder gar tödlichen Unfällen, zu sensibilisieren und somit die Akzeptanz zu erhöhen.

(7) Implementierung und Inbetriebnahme des Systems

Vor der endgültigen Inbetriebnahme des Systems ist stichprobenartig die plausible Funktionalität des Systems zu überprüfen und über einen gewissen Betrachtungszeitraum auch dessen Detektionsqualität abzuschätzen. Wenngleich eine „Null-Fehler-Quote“ praktisch unmöglich ist und fehlerhafte Objekterkennungen oder fehlerhafte Warnsignale auftreten können, muss die Zuverlässigkeit der Systeme dem aktuellen Stand der Technik entsprechen, bevor das System in Betrieb genommen wird.

Spätestens bei der Inbetriebnahme des Systems muss auch die Einhaltung von allen rechtlichen Vorgaben (DSGVO-Konformität etc.) durch entsprechende offizielle Dokumente belegbar sein.

Die Durchführung der Arbeiten zur Implementierung und Inbetriebnahme der Komponenten sollte nur durch zuverlässiges, fachkundiges Personal erfolgen.

Seitens der Kommune sind technische Mitarbeiter mit Unterstützung des Systemanbieters zu schulen und einzuweisen, um im Notfall unverzüglich in das System vor Ort auch ohne den Systemanbieter eingreifen zu können.

(8) Evaluation und Optimierung des Systems in der Betriebsphase

Um ein nahezu fehlerfrei funktionierendes System mit hohem Mehrwert dauerhaft zu gewährleisten, sind regelmäßige Evaluations- und Optimierungsmaßnahmen auch während der Betriebsphase erforderlich. Dies kann zum Beispiel in Form einer wissenschaftlichen Untersuchung durch eine vom Systemanbieter unabhängige und für diese Aufgabe spezialisierte Organisation (z. B. ein Forschungsinstitut oder Ingenieurdienstleister) erfolgen.

Basis für die Evaluation sind Daten, insbesondere zu den erkannten Konflikten und den Warnmeldungen (Signale, Nachrichten), die das System möglichst in Form von durch Dritte interpretierbaren Logdateien speichern und bereitstellen sollte.

Im Rahmen einer Untersuchung zur Evaluierung sollten zum Beispiel die Videobilder der vom KI-Kamerasystem erkannten Konfliktsituationen mit unabhängigen Videoaufnahmen von anderen Kameras stichprobenartig verglichen werden. Dafür sind zum Beispiel die von den Kommunen häufig verwendeten Kameras zur Verkehrszählung geeignet, die in der Regel zeitlich befristet am Knotenpunkt aufgestellt werden können. Mithilfe von Methoden der digitalen Bildverarbeitung und künstlichen Intelligenz können Experten diese Bilder analog zum KI-Kamerasystem automatisiert auswerten (siehe z. B. [Bild 2](#) und [Bild 3](#)).

Es ist weiterhin zu empfehlen, die langfristige Wirksamkeit des Systems anhand der Entwicklung der Unfallzahlen festzustellen.



Bild 2: Beispiel für eine Geschwindigkeits- und Abstandsmessung in einer Videoanalyse

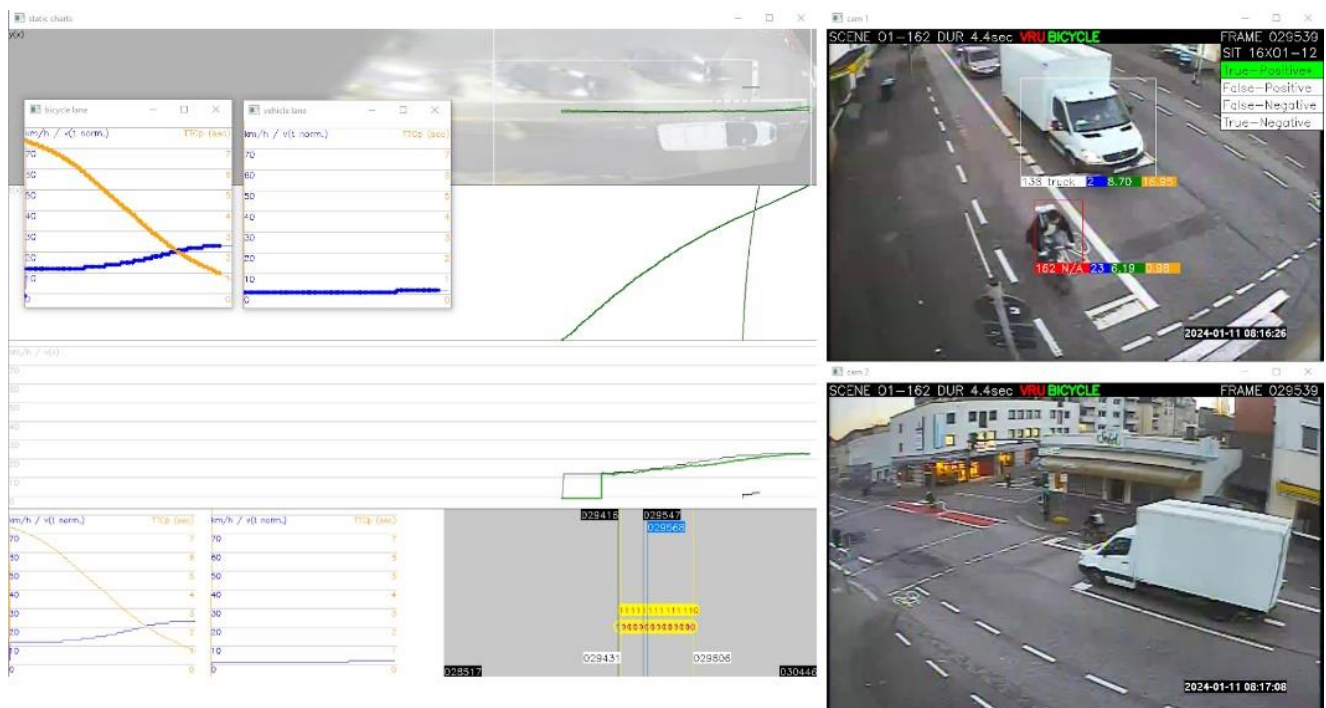


Bild 3: Beispiel für ein Dashboard zur Analyse und Bewertung einer möglichen Konfliktsituation