

Untersuchung beobachtbaren Verhaltens von Straßenverkehrsteilnehmern am Forschungsbahnübergang Braunschweig-Bienrode

Schnieder, Lars; Gripenkoven, Jan; Wang, Wei; Lackhove,
Christoph

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Institut für
Verkehrssystemtechnik

Lilienthalplatz 7, 38109 Braunschweig, 0531-2950,
vorname.nachname@dlr.de

Abstract

Mit der Anwendungsplattform Intelligente Mobilität verfügt das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. über eine langfristig generisch wiederverwendbare Forschungsinfrastruktur [1]. Dieser Ansatz reduziert in Forschungsprojekten Kosten und Zeiten für den Aufbau der benötigten Infrastruktur. Als mobiler Multisensoraufbau bezeichnet der Forschungsbahnübergang keinen räumlich fixierten Laboraufbau, sondern eine flexible Anlage, die eine detaillierte Beobachtung des Verkehrsverhaltens an verschiedenen Bahnübergängen ermöglicht. Diese semi-stationäre Messeinrichtung kommt in Feldstudien zur Beobachtung des Verhaltens von Fußgängern, Radfahrern und Autofahrern an Bahnübergängen zum praktischen Einsatz.

1. Motivation und Forschungsfragestellung

Bahnübergänge stellen einen wesentlichen Unfallschwerpunkt im System Bahn dar. Trotz des eindeutigen Vorrangs des Schienenverkehrs (vgl. §11 EBO) kommt es immer wieder zu Kollisionen an Kreuzungen von Straße

und Schiene. Lange Bremswege in Folge des hohen Gewichts der Eisenbahnfahrzeuge und der geringen Haftreibung zwischen Stahlrad und Schiene, sowie die Spurführung der Bahn lassen den Triebfahrzeugführer einen Zusammenprall mit Hindernissen im Gefahrenraum kaum vermeiden. Dies führt oftmals zu schwerwiegenden Personen- und Sachschäden sowie psychischem Belastungen der Triebfahrzeugführer. Nach Angaben der Deutschen Bahn AG ist die Zahl der Unfälle an Bahnübergängen 2010 im Vergleich zum Vorjahr angestiegen. Statistisch erfasst wurden in dem betreffenden Jahr 225 Unfälle mit insgesamt 45 Todesopfern (vgl. [2] und [3]). Die genannten Unfallursachen sind menschliches Versagen (ca. 6% aller Unfälle) seitens des Triebfahrzeugführers sowie Fehlverhalten der Straßenverkehrsteilnehmer (94% aller Unfälle). Aus diesem Grund rückt für das DLR die Betrachtung dieser Unfallkategorie und damit der Autofahrer mit seinem individuellen Fahrverhalten in den Mittelpunkt der Forschung. Die grundsätzliche Vorgehensweise der vom DLR verfolgten menschenzentrierten, verkehrspsychologischen Forschung (vgl. [4] und [5]) ist hierbei wie folgt:

Schritt 1: Verstehen der Situation an Bahnübergängen. Hierbei werden Hypothesen über die Gründe straßenverkehrsteilnehmerseitigen Fehlverhaltens aufgestellt. Die entwickelten Hypothesen werden empirisch überprüft.

Schritt 2: Sind die Gründe für das straßenteilnehmerseitige Fehlverhalten offenbar, können Annahmen getroffen werden, über welche fahrzeug- oder infrastrukturseitigen technischen oder organisatorischen Maßnahmen oder Kombination hieraus die Sicherheit an Bahnübergängen verbessert werden kann.

Schritt 3: Das zuvor identifizierte Bündel fahrzeug- oder infrastrukturseitiger technischer und organisatorischer Maßnahmen wird implementiert und in den Realbetrieb überführt.

Schritt 4: Flankierend zum Realbetrieb werden empirische Untersuchungen der Wirksamkeit der getroffenen technischen und organisatorischen Maßnahmen durchgeführt. Das erklärte Ziel ist hierbei

die Wirksamkeit der Assistenzkonzepte durch quantitative Angaben zu untermauern.

Angesichts dieser Herangehensweise bietet die flexible Einsatzmöglichkeit des Forschungsbahnübergangs einen besonderen Vorteil. Da die Lageplanfälle von Bahnübergängen teils sehr unterschiedlich sind, lassen sich die entwickelten Maßnahmen zu Erhöhung der Sicherheit durch Untersuchungen an unterschiedlichen Bahnübergängen validieren [6]. Für die Entwicklung von Konzepten zur Erhöhung der Sicherheit an Bahnübergängen verfügt das Institut für Verkehrssystemtechnik in seinen Abteilungen Bahnsysteme und Automotive zudem über korrespondierende mobile und semistationäre Forschungsinfrastrukturen [7]. Diese systemische Kompetenz gestattet für beide beteiligten Verkehrsträger sowohl simulationsbasierte Untersuchungen im Laborkontext, als auch die Durchführung von Feldstudien mit fahrzeug- bzw. infrastrukturseitiger Sensorik. In diesem Beitrag wird mit der semi-stationären Messeinrichtung des Forschungsbahnübergangs der Aspekt der infrastrukturseitigen Erfassung beleuchtet.

2. Technisches Konzept des Forschungsbahnübergangs

Um die zuvor dargestellte Breite der Anwendungsfälle abzudecken kommt hierfür eine semi-stationäre messtechnische Einrichtung zum Einsatz. Hierfür werden im Folgenden die Prinzipien der Sensordatenerfassung (Abschnitt 2.1) und -Fusion (Abschnitte 2.2 und 2.3) sowie das der Messeinrichtung zu Grunde liegende semi-stationäre Gehäusekonzept (Abschnitt 2.4) vorgestellt.

2.1 Sensordatenerfassung

Für die Sensordatenerfassung muss eine adäquate Sensorkonfigurationen ausgewählt werden. Dies erfordert die Betrachtung von insgesamt vier lokalen Perspektiven:

Perspektive 1 betrachtet den in Bezug auf den Stellort des semi-stationären Gehäuses „diesseits“ des Gleises gelegenen zu- und abführenden Straßenabschnitt. Diese Perspektive wird durch einen Radarsensor und einen Mono-Videosensor betrachtet.

Perspektive 2 betrachtet den in Bezug auf den Stellort des semi-stationären Gehäuses „jenseits“ des Gleises gelegenen zu- und abführenden Straßenabschnitt. Die Sensorkonfiguration ist identisch zu Perspektive 1.

Perspektive 3 betrachtet die eigentliche Konfliktfläche zwischen den Verkehrsträgern mit Haltelinie, Schranken und dem dazwischen liegenden Gleisbereich. Diese Perspektive wird durch ein Stereo-Kamerasystem und einen Laserscanner betrachtet.

Perspektive 4 betrachtet die sich durch die gewählte Sensorkonfiguration ergebende Lücke in der sensorischen Ausleuchtung zwischen Perspektive 1 und 3. Diese Perspektive wird durch einen Laserscanner betrachtet.

Für vier genannten lokalen Perspektiven werden Sensordaten verschiedener Modalitäten miteinander kombiniert. Den gesamten Aufbau der Sensorik stellt Abbildung 1 dar. Dies vereint die Vorteile beider Welten miteinander und gleicht die spezifischen Nachteile aus:

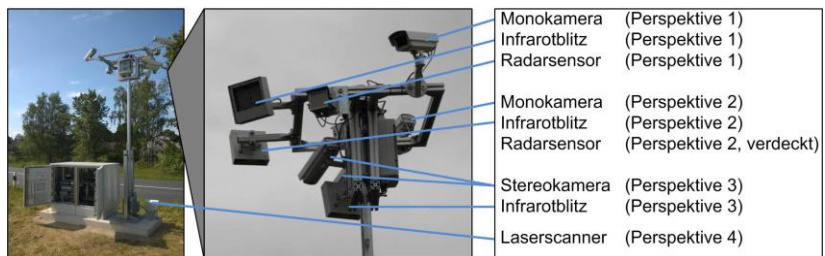


Abbildung 1 : Aufbau der Sensorik am Forschungsbahnübergang

Radarsensoren liefern auch unter widrigen Sichtbedingungen zuverlässig Daten der Trajektorien einzelner Objekte. Aufgrund des

physikalischen Wirkprinzips ist der Radarsensor nur für metallische bzw. radarreflektierende Objekte sensibel, so dass ein Großteil nicht-relevanter Objekte für die weitere Datenverarbeitung frühzeitig ausgeblendet werden kann.

Monoskope Videosensorik berechnet mit Hilfe von Bildverarbeitungsalgorithmen den optischen Fluss aus den Kameradaten. Der Einsatz bildverarbeitender Sensorik ermöglicht eine zuverlässige Klassifikation beweglicher und stehender Verkehrsteilnehmer. Darüber hinaus kann eine Interpretation der Daten und damit eine Klassifikation in verschiedene Fahrzeugkategorien erfolgen. Für einen Dauerbetrieb auch in Nachtstunden werden die Sichtbereiche der Videosensoren mit Infrarotblitzen ausgeleuchtet.

Stereoskope Videosensorik generiert Videodaten aus zwei zueinander um 30cm horizontal parallel verschobenen aber ansonsten gleich orientierten, lokalen Perspektiven. Dies erlaubt die Ableitung von 3D-Objektkandidaten, welche in der nachgelagerten Fusion mit berücksichtigt werden. Auch der Gefahrenraum wird für einen nächtlichen Betrieb mit Infrarotblitzen ausgeleuchtet.

Ein *Laserscanner* scannt horizontal parallel über dem Boden. Er wird als allgemeine Ergänzung für den ganzen Sensorbereich genutzt. Durch den weiten Öffnungswinkel von 190° werden auch von den zuvor genannten Sensoren nicht erfasste Bereiche sensorisch abgedeckt.

2.2 Lokale Sensordatenfusion

Im Rahmen einer lokalen Datenfusion werden die Ergebnisse der Radar- und Videosignalverarbeitung (für Perspektive 1 und Perspektive 2), bzw. der Stereo-Video-Sensorik (für die Perspektiven 3 und 4) zusammengeführt. Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse der lokalen Sensordatenfusion des Stereo-Kamerasystems des Gefahrenbereichs. Dem Bild der Master-Kamera sind die auf der Basis der Stereo-Kamera-Daten ermittelten Partikel (als Quader visualisiert) überlagert. Weiße Partikel (Punkte bzw. Quader) repräsentieren dabei Objekte, welche als unbeweglich erkannt worden sind. Im Gegensatz

dazu deuten farbige Partikel-Darstellungen auf bewegliche Objekte hin. Beispielvisualisierungen von Partikelwolken beweglicher Objekte in den Bildern der Mono-Kameras der beiden Zuläufe sind in Abbildung 2 dargestellt.



Abbildung 2 : Partikelwolken beweglicher Objekte als Ergebnis der lokalen Sensordatenfusion

2.3 Globale Sensordatenfusion

Die von den installierten Sensor-PCs (ein PC für jede der vier Perspektiven) werden durch den zentralen Fusions-PC zu einer Gesamtpartikelwolke zusammengefasst und darauf basierend Objektdaten generiert. Ergebnis der globalen Datenfusion sind in das gemeinsame Weltkoordinatensystem eingepassten lokalen Trajektorien. Die entsprechenden Trajektorien werden zur weiteren statistischen Analyse in die Datenbank eingetragen. Abbildung 3 stellt die erkannten Verkehrsteilnehmer grafisch dar (annotiertes Bild). Die erkannten Verkehrsteilnehmer werden in Bezug auf deren Klassifikation annotiert. Im konkreten Fall werden Fahrzeuge mit dem Buchstaben C annotiert (C=Car, Kraftfahrzeug). Noch nicht näher klassifizierte Verkehrsteilnehmer werden mit dem Buchstaben U annotiert (U=unknown, unbekannt). Ferner ist neben jedem Verkehrsteilnehmer eine zyklisch ansteigende Objekt-ID dargestellt. Anhand dieser wird deutlich, dass das Objekt nicht nur erkannt wurde, sondern auch durch die Einrichtung erfolgreich verfolgt wird. Die oberen beiden Bilder und die

unteren beiden Bilder stellen jeweils eine exemplarische Verkehrsszene dar. In beiden Fällen wird vor dem Befahren des Bahnübergangs durch den Zug ein Verkehrsobjekt erkannt (linke Bildhälfte). Beim Befahren des Bahnübergangs durch den Zug „merkt“ sich das System die erkannten Objekte (rechte Bildhälfte) und verfolgt diese nach Überfahrt des Zuges weiter. Der erhobene Datensatz wird um eine Prädiktion der Trajektorie für die nächsten bis zu 5 Sekunden ergänzt. Hierfür müssen ggf. weitere Kontextinformationen wie beispielsweise das Öffnen und Schließen der Schranken mit einbezogen werden.



Abbildung 3 : annotiertes Bild erkannter Verkehrsobjekte

2.4 Mobiles Gehäusekonzept

Da der Forschungsbahnübergang ein breites Spektrum möglicher Anwendungsfelder abdecken soll, mussten in der Konzeption des Aufbaukonzepts verschiedene Anforderungen berücksichtigt werden:

Die Forschungsinfrastruktur muss möglichst flexibel an verschiedenen Orten zur Untersuchung verschiedener Lageplanfälle und Bahnübergangssicherungskonzepte eingesetzt werden können. Das einzusetzende Gehäuse war daher hinsichtlich seiner räumlichen Abmessungen und des Gewichts zu minimieren, um eine mobile Einrichtung zu ermöglichen. Aus diesem Grund wurde ein modularer Ansatz verfolgt. Auf einer Betonplatte werden ein Kippmast und ein vorkonfigurierter Schaltschrank vor Ort zusammengesetzt. Der Kippmast ermöglicht die situationsgerechte Ausrichtung der einzelnen Sensoren.

Die Mobilität der Einrichtung erfordert eine geeignete Bedienoberfläche zur Kalibrierung der Sensorik in verschiedenen Lageplanfällen. Die Algorithmenik sieht vor, dass auf der Basis von Luftbildern Fahrzeugtrajektorien eingelernt werden. Darüber hinaus wird durch regelmäßige Selbsttests offenbart, wenn eine Rekalibrierung der Sensorik erforderlich ist. Diese erneute Kalibrierung erfolgt selbsttätig und wird von der Messeinrichtung protokolliert.

Die Installation technischer Infrastruktur im Verkehrsraum öffentlicher Straßen muss möglichen Gefährdungen hinsichtlich unbefugten Zugriffs oder mutwilliger Zerstörung durch eine vandalismusgeschützte Gehäusekonstruktion Rechnung tragen. Aus diesem Grund wurde ein Gehäuse gewählt, welches sowohl der Einbruchschutzklasse RC 4, als auch der Feuerfestigkeitsklasse F30 genügt.

Nach dem Herstellen eines Planums wird ein Betonsockel mit einem Lkw an die geplante Einsatzstelle geliefert und mit einem Kran abgesetzt. Anschließend werden die beiden vandalismusgeschützten Schaltschränke auf das Fundament abgesetzt und dort fest verankert. Der Fuß des Kippmasts ist am Betonfundament fest verankert. Der Kippmast selbst wird an Ort und Stelle in den Fuß eingesetzt und dort verankert.

Anschließend wird der vorkonfigurierte Sensorikträger am Kippmasten befestigt und der Mast aufgerichtet. Es erfolgt durch die Anlage eine automatische Bestimmung extrinsischer Parameter (exakte Höhe und Ausrichtung der Sensoren bezogen auf den betreffenden Lageplanfall), so dass der Messaufbau entsprechend kalibriert werden kann. Das Fundament gewährleistet eine ausreichende Stabilität im Falle angreifender Windlasten, so dass die Standfestigkeit des Messaufbaus während einer mehrwöchigen Testkampagne aufrecht erhalten bleibt. Die Stromversorgung erfolgt im ersten Schritt über eine lokal verfügbare Energiequelle (z.B. Baustromverteiler). Eine Hochrüstung des Messaufbaus auf eine autarke Energieversorgung, ggf. mit Brennstoffzellen, ist als zukünftige Option vorgesehen.

3 Einsatz in konkreten Messkampagnen

Mit dem Forschungsbahnübergang betreibt das DLR eine semi-stationäre messtechnische Einrichtung, die flexibel an verschiedene Einsatzorte verlegt werden kann. Der Forschungsbahnübergang dient der Untersuchung des Verhaltens der Verkehrsteilnehmer an Bahnübergängen im Rahmen langfristiger Studien und ist dort entsprechend sichtbar. Die aus dem Anlagenbetrieb im öffentlichen Straßenraum resultierenden allgemeine Anforderungen an eine Aufbau- und Ablauforganisation werden in Abschnitt 3.1 dargestellt. Abschnitt 3.2 verdeutlicht exemplarisch die spezifischen Randbedingungen, die für den Einsatz im Rahmen konkreter Messkampagnen zu berücksichtigen sind.

3.1 Allgemeine Randbedingungen

Für den Einsatz der semi-stationären Messeinrichtung im Rahmen konkreter Forschungsvorhaben müssen die örtlichen Gegebenheiten des spezifischen Einsatzortes geprüft werden. Hierfür hat sich ein mehrschrittiges Vorgehen in der Praxis bewährt (vgl. Abbildung 4).

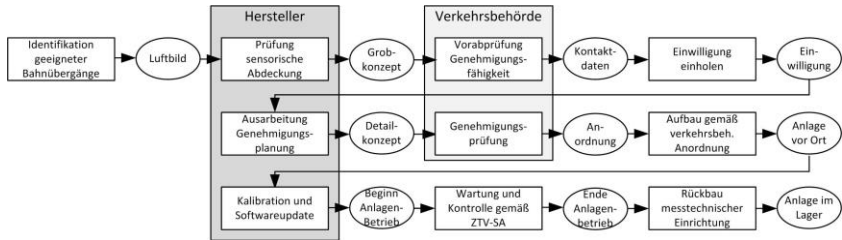


Abbildung 4: Berücksichtigung spezifischer Anforderungen von Messkampagnen

Identifikation geeigneter Bahnübergänge: Für die jeweils im Vordergrund stehende Forschungsfrage muss ein geeigneter Bahnübergang ausgewählt werden. Bahnübergänge unterscheiden sich deutlich hinsichtlich ihrer Sicherungsart (technisch gesichert, nicht technisch gesichert), der Überwachungsart Lokführer-überwachte Anlagen, Überwachungssignal-Anlagen, Überwachungssignal-Anlagen mit optimierter Einschaltung, oder in die Signalabhängigkeit von Hauptsignalen einbezogene Bahnübergangssicherungsanlagen) als auch der Lageplanfälle. Auf der Grundlage einer ersten Ortsbegehung wird die grundsätzliche Eignung für die Messkampagne bestätigt (z.B. umliegende Bebauung, Einsehbarkeit insbesondere bei baumbestandenen Straßen oder in Kurvenbereichen). Für den jeweiligen Bahnübergang werden für die nachfolgende Systemauslegung Luftbilder und maßstäbliche Karten beschafft.

Prüfung sensorische Abdeckung: In dieser Phase wird für jedes Sensorelement des Multisensorsystems in Bezug auf den betreffenden Standort die vor Ort erreichbare sensorische Abdeckung geprüft (vgl. Abbildung 5). Dies umfasst sowohl die Radar- und Videosensorik für den Zu- und Ablauf des Bahnübergangs als auch die Stereokamerasysteme und die Laserscanner für die Detektion des Gefahrenraums. Ergebnis dieses Schrittes sind möglicherweise verschiedene Aufbauvarianten. Ergebnis ist ein stimmiges und realisierbares Messkonzept, welches alle projektspezifischen Problemstellungen berücksichtigt (Entwurfsplanung).

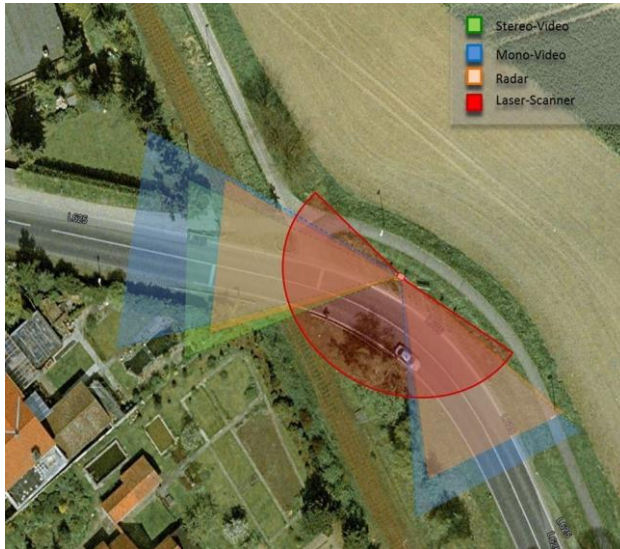


Abbildung 5: Überprüfung der sensorischen Abdeckung anhand eines Luftbildes (Beispiel Bahnübergang im Ortsteil Bienrode, Stadt Braunschweig)

Vorab-Prüfung der Genehmigungsfähigkeit: Die semistationäre Messeinrichtung des Forschungsbahnübergangs wird im öffentlichen Straßenraum aufgebaut. Hierfür ist in erster Linie die Straßenbaulastträgerschaft (Bund, Land, Kommune) zu klären. Auf der Grundlage einer zeichnerischen Darstellung der Messeinrichtung im Lageplan werden erste Verhandlungen mit Behörden und anderen an der Planung der Messkampagne Beteiligten über die grundsätzliche Genehmigungsfähigkeit geführt. Dies umfasst in der Regel auch die Klärung der Eigentumsverhältnisse (öffentliche Hand, privat, Deutsche Bahn AG) der Grundstücke in der unmittelbaren Umgebung des Bahnübergangs. Die Anrainer müssen dann in diesen Prüfschritt mit einbezogen werden.

Einwilligung der Anrainer einholen: Auf der Grundlage der identifizierten Anrainer sind von diesen Einwilligungserklärungen zum

Aufbau und Betrieb der semi-stationären Messeinrichtung einzuholen. Möglicherweise kann über die Anrainer auch weitere Infrastruktur (Stromversorgung) bereitgestellt werden.

Ausarbeitung der Genehmigungsplanung: Liegen die Einwilligungserklärungen der Anrainer vor und ist damit – im Falle mehrerer Varianten – der konkrete Aufbauort der semistationären Messeinrichtung bekannt, können detaillierte Unterlagen für die Genehmigung der Messkampagne erstellt werden.

Genehmigungsprüfung: Da ein Betrieb der semistationären Messeinrichtung im öffentlichen Straßenraum für einen längeren Zeitraum beabsichtigt ist, bestehen – auch wenn es für die Forschungsfrage nicht beabsichtigt ist – grundsätzlich Rückwirkungen auf den Straßenverkehr. Vor Aufbau und Inbetriebnahme der Messeinrichtung muss die zuständige Verkehrsbehörde daher mögliche Auswirkungen auf den Straßenverkehr prüfen (vgl. §45 StVO). Ggf. resultieren aus dieser Prüfung zusätzliche Anordnungen, wie der Aufstellort der Messeinrichtung abzusperren und zu kennzeichnen ist. Da die Messeinrichtung außerhalb des Lichtraums befahrener Straßen aufgebaut wird, ist hiervon in der Regel der nicht-motorisierte Individualverkehr (Fußgänger und Radfahrer) betroffen. Zu diesem Zeitpunkt wird auch die Häufigkeit der Kontrollen der getroffenen Sicherungsmaßnahmen mit der Verkehrsbehörde abgestimmt (siehe unten).

Aufbau gemäß verkehrsbehördlicher Anordnung: Auf der Grundlage der erhaltenen verkehrsbehördlichen Anordnung wird die semi-stationäre Messeinrichtung im Straßenraum platziert. Gleichzeitig müssen gemäß den Vorgaben der verkehrsbehördlichen Anordnung Sicherungsmaßnahmen ergriffen werden (Sicherung von den Radweg kreuzenden Stromleitungen durch Schlauchbrücken mit rot-weißer Sicherheitskennzeichnung sowie Anbringen der Verkehrszeichen 101 StVO (Gefahrstelle) und 112 StVO (Unebene Fahrbahn) in ausreichender Entfernung vor der Schlauchbrücke.

Kalibration der Messeinrichtung: Gemäß der vorab geprüften Sichtbereiche werden die Sensoren vor Ort ausgerichtet. Es schließt sich

eine Kalibrierung der Sensoren an, damit die angestrebte hohe Messgenauigkeit im Betrieb sichergestellt werden kann. Über die Möglichkeit einer Selbstkalibration werden später im laufenden Betrieb Abweichungen offenbart und die erforderlichen Sensorparameter selbst nachjustiert.

Kontrolle und Wartung: Der Betrieb semi-stationärer messtechnischer Einrichtungen im öffentlichen Straßenraum erfolgt in Anlehnung an die Absicherung von Arbeitsstellen [8]. Demnach wird 2x täglich und an arbeitsfreien Tagen 1x täglich die richtige Lage der Kabelbrücken sowie das Vorhandensein und die korrekte Ausrichtung der Beschilderung geprüft. Nach Absprache mit der Verkehrsbehörde wird gegebenenfalls auch ein anderer Kontrollrhythmus zugelassen. Hierfür ausgebildetes Personal wird für Testkampagnen in Stadt und Region Braunschweig vom Betreiber des städtischen Verkehrsmanagements gestellt.



Abbildung 6: Langfristuntersuchung des Verkehrsablaufs am Bahnübergang Bienrode (Stadt Braunschweig) im Juli 2014

4. Fazit und Ausblick

Das DLR baut im Rahmen der flexiblen „Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM)“ eine Forschungsinfrastruktur für Bahnübergänge auf. Diese Infrastruktur kann grundsätzlich an beliebigen Bahnübergängen installiert werden. Im Sommer 2013 wurde ein erster Prototyp des Multi-Sensor-Systems am Bahnübergang an der Tappenbecker Landstraße in Wolfsburg erprobt. Seit Sommer 2014 ist die Anlage in der dauerhaften Erprobung. Abbildung 6 zeigt den Aufbau der semistationären Messeinrichtung am Bahnübergang Bienroder Weg in Braunschweig. Die Ergebnisse der laufenden Tests fließen in eine weitergehende Entwicklung der Algorithmen und eine weitere Ausdifferenzierung des Sensorikkonzepts mit ein. Anhand der Untersuchungen können Erkenntnisse über das natürliche Verhalten aller beteiligten Verkehrsteilnehmer am Bahnübergang auf der Grundlage einer großen Stichprobe gewonnen werden. Dieses Wissen kann zukünftig dazu beitragen, Assistenzsysteme zur Unterstützung der verschiedenen Verkehre zu entwickeln und ihre Wirksamkeit mithilfe der Forschungsinfrastruktur des DLR zu untersuchen.

Literatur

- [1] Schnieder, L.; Lemmer, K.: *Anwendungsplattform Intelligente Mobilität – eine Plattform für die verkehrswissenschaftliche Forschung und die Entwicklung intelligenter Mobilitätsdienste*. Internationales Verkehrswesen (64) 4/2012, S. 62-63.
- [2] DB Netz AG. (2011). *Anteil der Straßenverkehrsteilnehmer an den Unfällen an Bahnübergängen*. Frankfurt am Main: DB Netz AG.
- [3] Deutscher Bundestag (PuK 2 - Parlamentskorrespondenz). (2012). *Im Bundestag notiert: Unfälle am Bahnübergang*. Berlin.
- [4] Grippenkoven, J., Giesemann, S., & Dietsch, S. (2012). *Contributing Human Factors in German Level Crossing Accidents*. 30th European Annual Conference on Human Decision-Making and Manual Control Proceedings (pp. 97-107). Braunschweig: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

- [5] Dietsch, Sandra; Gripenkoven, Jan: *Fahrverhalten – Nicht Sehen oder nicht Verstehen?* In: Eisenbahningenieurkalender 2014, S. 289 – 300.
- [6] Schnieder, L.; Gripenkoven, J.; Lemmer, K.; Wang, W.; Lackhove, C.: *Aufbau eines Forschungsbahnübergangs im Rahmen der Anwendungsplattform Intelligente Mobilität.* Signal und Draht 105 (2013) Ausgabe 6, 2013, S. 25-28.
- [7] Schnieder, L.; Gripenkoven, J.; Wang, W.; Lemmer, K.; Lackhove, C.: *Untersuchung des Verkehrsablaufs am Forschungsbahnübergang – Perspektiven der Erhöhung der Sicherheit.* In: Eisenbahntechnische Rundschau Jahrgang (2014) Ausgabe 6,
- [8] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Sicherungsarbeiten an Arbeitsstellen an Straßen