

# **Empirische Absicherung innovativer Steuerverfahren für Lichtsignalanlagen im öffentlichen Straßenraum**

Robert Oertel<sup>1</sup>, Lars Schnieder<sup>2</sup>, Tobias Frankiewicz<sup>2</sup>, Jan  
Trumpold<sup>1</sup>, Ralf Krenkel<sup>3</sup>, Sten Ruppe<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für  
Verkehrssystemtechnik, Rutherfordstr. 2, 12489 Berlin, E-Mail:  
vorname.nachname@dlr.de

<sup>2</sup>Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für  
Verkehrssystemtechnik, Lilienthalplatz 7. 38108 Braunschweig,  
E-Mail: vorname.nachname@dlr.de

<sup>3</sup>BELLIS GmbH, Geschäftsbereich Verkehr, Taubenstraße 7, 38106,  
E-Mail: ralf.krenkel@bellis.de

## **Abstract**

Dieser Beitrag stellt den Aufbau einer Feldstudie für zwei neuartige Steuerverfahren für Lichtsignalanlagen (verlustzeitbasiert und kooperativ) im Testfeld Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM) des Instituts für Verkehrssystemtechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) aus dem Projekt VITAL (vgl. [12] und [13]) heraus dar. Um eine verkehrsbehördliche Genehmigung für den Realbetrieb zu erreichen, wurde die Leistungsfähigkeit der beiden Steuerverfahren vorab mit einer Verkehrsflusssimulation bewertet und im DLR-eigenen LSA-Labor Integrationstests mit realen Steuergeräten durchgeführt. In den letzten Monaten wurden an der Kreuzung Tostmannplatz in Braunschweig die baulichen Voraussetzungen für die praktische Erprobung und Validierung

der beiden Steuerverfahren geschaffen. Dies umfasst insbesondere die Montage der für die Verkehrsdatenerfassung erforderlichen Sensorik und Hardware zur Steuerung. Damit sind die Voraussetzungen zur empirischen Absicherung innovativer Steuerverfahren für Lichtsignalanlagen im öffentlichen Straßenraum geschaffen worden.

## **1. Innovative Steuerverfahren zur Optimierung des Verkehrsflusses**

In AIM liegen die Voraussetzungen vor, innovative Steuerverfahren für Lichtsignalanlagen im öffentlichen Straßenraum praktisch zu erproben. Nachfolgend werden zwei vom DLR realisierte Steuerverfahren mit ihren verkehrstechnischen Prinzipien dargestellt.

### **1.1 Verkehrstechnische Grundlagen des verlustzeitbasierten Steuerverfahrens**

Das erste neuartige Steuerverfahren nutzt die Verlustzeiten der Fahrzeuge für eine Anpassung der Grünzeiten an der Lichtsignalanlage. Die Verlustzeit eines Fahrzeugs ist dabei dessen zeitlicher Mehraufwand zum Passieren eines Knotenpunktes gegenüber einer behinderungsfreien Durchfahrt. Der Mehraufwand resultiert aus den durch die Lichtsignalanlage bedingten Verzögerungs-, Warte- und Beschleunigungsvorgänge. Das heißt sobald ein Fahrzeug, aus welchen Gründen auch immer, in einer Knotenzufahrt abbremsen muss, so sammelt es damit automatisch auch Verlustzeit an. Diese wertvolle Information lässt sich nun über alle Fahrzeuge und Zufahrten an einem Knotenpunkt aggregiert nutzen, um dessen Lichtsignalanlage optimiert zu steuern. Dieses sog. verlustzeitbasierte Verfahren sieht dabei vom Grundsatz her vor, eine laufende Grünphase solange zu verlängern, bis alle Fahrzeuge mit angesammelter Verlustzeit in den gerade freigegebenen Zufahrten abgeflossen sind, unter Beachtung einer minimal und maximal zulässigen Phasendauer. Eine genauere Beschreibung dieses neuartigen Steuerungsansatzes kann bspw. [8], [9], [10] entnommen werden.

## **1.2 Verkehrstechnische Grundlagen des kooperativen Steuerverfahrens**

Ebenso lassen sich die Positionen und Geschwindigkeiten der herannahenden Fahrzeuge für eine optimierte Steuerung der Lichtsignalanlage nutzen, was im sog. kooperativen Verfahren Anwendung findet. Hier besteht der Ansatz darin, die Fahrzeuge frühzeitig in den Zufahrten des Knotenpunktes zu erfassen und deren weitere Fahrtverläufe während der Annäherung zu prognostizieren. Anhand dieser prognostizierten Verläufe lassen sich in den einzelnen Zufahrten die Ankünfte der Fahrzeuge an den Haltelinien vorhersagen und die Grünzeiten in den Phasen entsprechend optimieren. Diesen Schritt nimmt ein spezieller Algorithmus vor. Um dem kooperativen Ansatz gerecht zu werden, wird den herannahenden Fahrzeugen dabei gleichzeitig noch eine Information über die für sie errechnete, optimale Annäherung übermittelt. Damit lassen sich die zuvor prognostizierten Ankünfte der Fahrzeuge durch die Steuerung aktiv beeinflussen und es kommt zur fortlaufenden Iteration zwischen Prognose und Beeinflussung. Durch dieses Zusammenspiel wird ein verkehrsabhängiger Steuerungsansatz mit einer gleichzeitigen GLOSA-Funktionalität (Green Light Optimized Speed Advisory) kombiniert. Genauere Details zu diesem zweiten neuartigen Ansatz finden sich bspw. in [11].

## **2. Systemtechnik innovativer Steuerungsverfahren**

Für die Abbildung der beiden zuvor genannten Steuerungsverfahren wurden die systemtechnischen Voraussetzungen geschaffen. Diese sind spezifisch auf die beiden verkehrstechnischen Anwendungsfälle ausgerichtet. Das Steuergerät wird mit einer Road Side Unit (RSU) ausgerüstet. Die RSU enthält eine Kommunikationseinrichtung und einen Applikationsrechner (Application Unit, AU). Da bisher nur wenige Fahrzeuge bordseitig mit einer entsprechenden Kommunikationseinrichtung als Gegenstück ausgestattet sind, wird der Versuchsknotenpunkt zusätzlich noch mit ortsfester, wenn auch neuartiger Erfassungsinfrastruktur ausgerüstet. So

lassen sich die beiden neuartigen Verfahren prinzipiell sowohl mittels direkter Datenkommunikation zwischen den Fahrzeugen und der Infrastruktur, als auch mit etablierter Erfassungstechnik testen.

## 2.1 Systemtechnik des verlustzeitbasierten Steuerungsverfahrens

Beim verlustzeitbasierten Steuerungsverfahren [1] wird die Steuerungslogik des Verfahrens direkt auf dem vorhandenen Steuergerät umgesetzt.



Abb. 1: Tostmannplatz in Braunschweig

Hierfür wurden in enger Abstimmung zwischen dem DLR und der Bellis GmbH am Knoten Tostmannplatz (vgl. Abbildung 1) die folgenden baulichen und planerischen Maßnahmen umgesetzt:

- Erweiterung der Detektortopographie in der Grundversorgung des Lichtsignalanlagensteuergeräts zum Empfang von WIMAG-Informationen (drahtlose Magnetfelddetektion, vgl. Abbildung 2)
- Integration der Logik-Module in die vorhandene Steuerungsstruktur in das Lichtsignalanlagensteuergerät
- Bereitstellung einer mit der vorhandenen Steuerungsstruktur kompatiblen Merkerstruktur, um das Verlustzeitkriterium im Logikmodul integrieren zu können

- Einbindung der definierten Merker in die Logikentscheidung (Bemessungskriterien) der bestehenden Steuerung
- Aktivierung der Funktionen des verlustzeitbasierten Steuerungsverfahrens über das Bereitstellen eines Sondersignalzeitenplans



Abb. 2: Einbau eines WIMAG-Sensors vor Ort

## 2.2 Systemtechnik des kooperativen Steuerungsverfahrens

Im Gegensatz zu dem zuvor dargestellten verlustzeitbasierten Steuerungsverfahren wird die Steuerungslogik des kooperativen Verfahrens vom Applikationsrechner (Application Unit) ausgeführt, welcher auf einem Industrie-PC basiert. Die Ermittlung der Verlustzeit erfolgt in der RSU durch die Auswertung der Telegramme, die standardmäßig und automatisch von ausgerüsteten Fahrzeugen gesendet werden. Diese übertragen in der standardisierten CAM (Cooperative Awareness Message [7]) mehrmals pro Sekunde ihre aktuelle Fahrzeugposition, Geschwindigkeit und Fahrtrichtung sowie weitere Parameter. Die Auswertung dieser Daten erfolgt zentral am Knoten und ermöglicht somit die individuelle Bestimmung einer optimalen Annäherungsstrategie für jeden Verkehrsteilnehmer, der mit V2X Kommunikation ausgerüstet ist. Somit wird die aufwändige Anpassung der Kommunikationsprotokolle vermieden und eine ungewollte (ggf. böswillige) Beeinflussung der LSA-Steuerung durch falsche Telegramme

weitgehend verhindert. Um auch einen Test auf Basis ortsfester Erfassungstechnik durchführen zu können, kommen hier ebenfalls die zuvor benannten WIMAG-Sensoren zum Einsatz, die für diesen Zweck ebenfalls mit dem Applikationsrechner (Application Unit) verbunden sind.

Die Application Unit ist über Standardschnittstellen mit dem Steuergerät verbunden. Das Steuergerät stellt der Application Unit die für die Ausführung des Verfahrens erforderlichen Informationen bereit:

- Bereitstellung der Informationen über den Freigabezustand von bis zu 24 Signalgruppen vom Lichtsignalanlagen-Steuergerät an die Application Unit (Industrie-PC)
- Bereitstellung der Detektordaten über Parallelausgänge (sekundenfein) vom Lichtsignalanlagen-Steuergerät an die Application Unit (Industrie-PC)
- Bereitstellung der Daten zur aktuell laufenden Phase vom Lichtsignalanlagen-Steuergerät an die Application Unit (Industrie-PC).

Im Umkehrschluss stellt die Application Unit dem Lichtsignalanlagen-Steuergerät die für die Durchführung des Steuerungsverfahrens erforderlichen Informationen bereit:

- Die Steuerungslogik des Lichtsignalanlagen-Steuergeräts ist für den Empfang von der Application Unit bereitgestellter Merker vorbereitet.
- Die von der Application Unit empfangenen Merker werden in die Logikentscheidung der Bestandssteuerung des Lichtsignalanlagen-Steuergeräts (als Bemessungskriterien) eingebunden
- Aktivierung der Funktionen des kooperativen Steuerungsverfahrens über das Bereitstellen eines Sondersignalzeitenplans

Die verwendete Schnittstelle ist ein Port, der normalerweise für die Anbindung von Detektoren an das Steuergerät verwendet wird. Die Steuerungen senden einen Impuls von der RSU bzw. von der Application Unit zum Port des Detektors, um einen Phasenwechsel im Signalprogramm

anzustoßen. Dies sichert eine hohe Übertragbarkeit auf eine Vielzahl von Lichtsignalanlagen auch ohne Fahrzeug-zu-Infrastruktur-Kommunikationseinrichtung. Des Weiteren wird die verkehrstechnisch sichere Umsetzung und Abnahme erleichtert, da durch die Nutzung dieser Standard-Schnittstelle weder eine gesonderte Gefährdungsbeurteilung vorgenommen werden muss, noch eine besondere Zulassung erforderlich ist. In der nachfolgenden Abbildung 3 ist die vollständige, technische Ausrüstung am Knotenpunkt Tostmannplatz schematisch dargestellt.

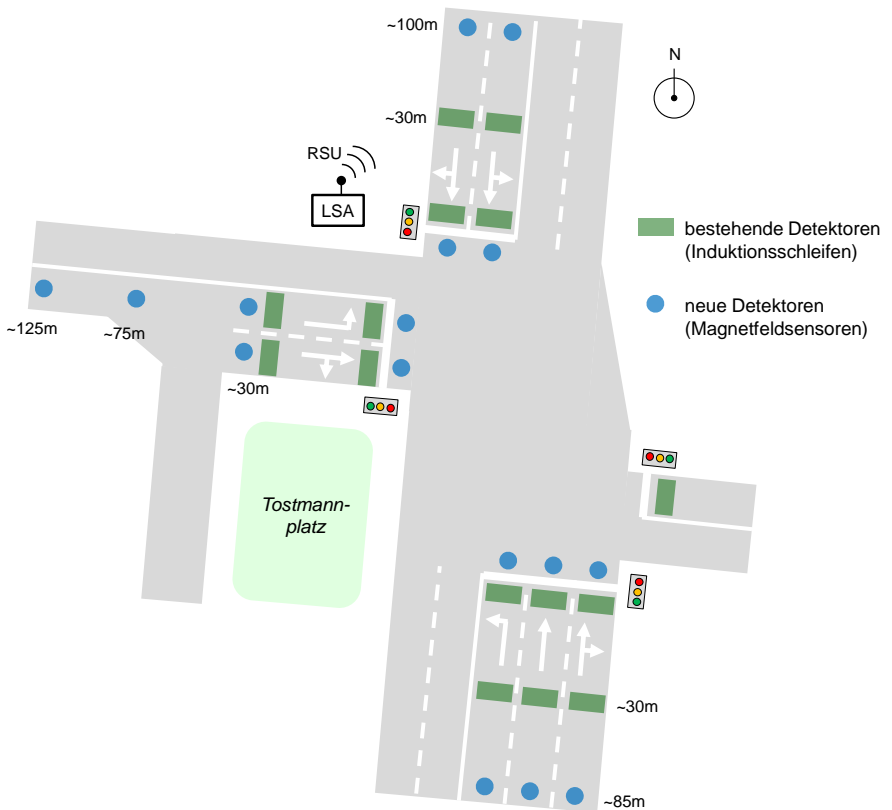


Abb. 3: Technische Ausstattung am Tostmannplatz zum Test der beiden Steuerungsverfahren

### **3. Feldintegration in AIM - Knoten Tostmannplatz**

Für die praktische Erprobung der Steuerungsverfahren im Feld wird auf die bestehenden AIM-Komponenten zurückgegriffen. Hierdurch stehen die erforderlichen technischen Einrichtungen (vgl. [2] und [6]) sowie die betrieblichen und organisatorischen Rahmenbedingungen (vgl. [3], [4]) für die erfolgreiche Durchführung von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im öffentlichen Straßenraum bereit. Es wurden Testfälle definiert, um in der Praxis zu überprüfen, ob sich die Signallogiken der beiden Verfahren so verhalten, wie spezifiziert. Die übergeordnete Zielstellung der Feldtests ist es, die technische Machbarkeit der verlustzeitbasierten und der kooperativen Steuerung im Rahmen des von der Helmholtz-Gemeinschaft und dem DLR Technologiemarketing geförderten Projekts VITAL – Verkehrsabhängig intelligente Steuerung von Lichtsignalanlagen (vgl. [5], [13]) auf der Grundlage der in Braunschweig standardmäßig verbauten verkehrstechnischen Komponenten zu zeigen. Der erfolgreiche Nachweis an der Innovationskreuzung ist eine Voraussetzung für einen darüber hinausgehenden Transfer auf weitere Lageplanfälle in der Stadt Braunschweig.

### **4. Zwischenergebnisse simulationsbasierter Studien**

Mit dem Abschluss aller Umrüstungs- und Updatemaßnahmen werden die benannten Feldtests unter realem Verkehr durchgeführt. Vorab wurden bereits umfangreiche Simulationsstudien für die Bestandssteuerung und die neuartigen Steuerungsverfahren durchgeführt. Als Auszug aus diesen Studien seien an dieser Stelle einige Simulationsergebnisse für den Vergleich zwischen Bestandssteuerung und verlustzeitbasierter Steuerung in der nachfolgenden Abbildung 4 dargestellt. Ersichtlich wird dabei, dass die Bestandssteuerung bereits sehr gut funktioniert. Im Vergleich kann die verlustzeitbasierte Steuerung allerdings im untersuchten Normal- und Starklastszenario Gewinne bei der mittleren Verlustzeit je Fahrzeug erzielen, was auf die veränderte Grünzeitvergabe zurückzuführen ist. Das Ziel der Feldstudie ist es nun, diese theoretischen Ergebnisse mit



entsprechenden empirischen Daten zu unterlegen, die im Idealfall zu gleichen Resultaten führen.

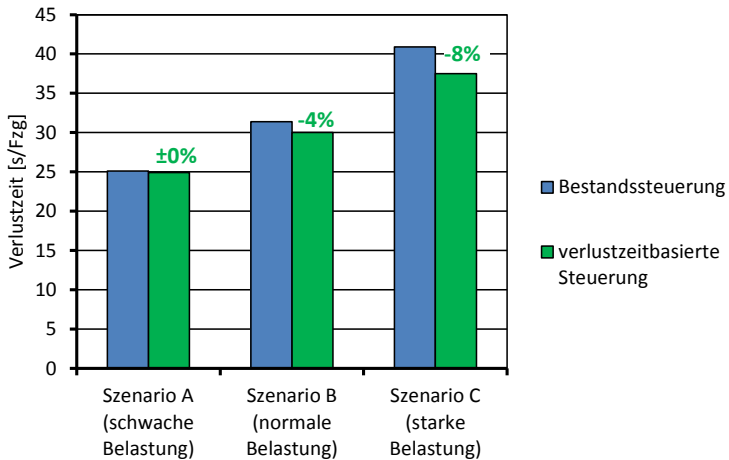


Abb. 4: Simulationsvergleich der Bestandssteuerung und der verlustzeitbasierten Steuerung am Tostmannplatz

## 5. Zusammenfassung und Fazit

Die am Tostmannplatz als integraler Bestandteil von AIM geschaffene Forschungsinfrastruktur ermöglicht die Untersuchung innovativer Steuerungsverfahren für Lichtsignalanlagen im öffentlichen Straßenraum. Mit der Ausrüstung am Tostmannplatz steht für verkehrstechnische Forschungsfragestellungen eine geschlossene Werkzeugkette zur Verfügung, die sich von der Erhebung empirischer Daten über simulationsgestützte Untersuchungen in der Verkehrsflussimulation und Integrationstests im Labor bis hin zur praktischen Erprobung der Steuerungsverfahren im Feld erstreckt. Diese Werkzeugkette wurde für verlustzeitbasierte Steuerungsverfahren und kooperative Steuerungsverfahren erprobt. Die relative Vorteilhaftigkeit der Steuerungsverfahren konnte in simulationsbasierten Studien nachgewiesen werden. Nach Abschluss der Integrationsarbeiten erfolgt eine Validierung der Verfahren im Feld.

## Literatur

- [1] Oertel, Robert; Möckel, Meike; Frankiewicz, Tobias; Schnieder, Lars; Wagner, Peter: *Field Operational Test of a new Delay-Based Traffic Signal Control Using C2I Communication Technology*. mobil.TUM 2013 - International Scientific Conference on Mobility and Transport "ITS for Connected Mobility", München, 18./19.06.2013.
- [2] Schnieder, Lars; Lemmer, Karsten: *Anwendungsplattform Intelligente Mobilität – eine Plattform für die verkehrswissenschaftliche Forschung und die Entwicklung intelligenter Mobilitätsdienste*. Internationales Verkehrswesen (64) 4/2012, S. 62-63.
- [3] Schnieder, Lars; Krenkel, Ralf: *Betreibermodell einer Forschungsinfrastruktur für die Entwicklung intelligenter Mobilitätsdienste im realen Verkehrsumfeld*. 16. Symposium Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel (AAET), Braunschweig, 12.-13. Februar 2015, S. 108 – 116.
- [4] Schnieder, Lars; Lemmer, Karsten: *Entwicklung intelligenter Mobilitätsdienste im realen Verkehrsumfeld in der Anwendungsplattform Intelligenter Mobilität*. Internationales Verkehrswesen 66 (2014) 2, S. 2-4.
- [5] Oertel, Robert; Erdmann, Jakob; Mann, Anja; Wagner, Peter: *VITAL - Vehicle-Actuated Intelligent Traffic Signal Control*. Helmholtz Innovation Days 2013 - Partnering Research and Business, Berlin, 09.-10. Dez. 2013.
- [6] Frankiewicz, Tobias and Schnieder, Lars and Köster, Frank: *Application Platform for Intelligent Mobility - Test Site Architecture and Vehicle2X Communication Setup*, ITS World Congress, Vienna, 2012.
- [7] European Telecommunications Standards Institute (ETSI): *Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications;*

*Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service*, ETSI EN 302 637-2, 09/2014

- [8] Wagner, Peter (2009) *Verfahren und Vorrichtung zur Steuerung einer Signalanlage*. Deutsches Patent- und Markenamt, erteiltes Patent DE10200903343184.
- [9] Oertel, Robert und Wagner, Peter (2010) *Verfahren und Vorrichtung zur Steuerung einer Signalanlage*. Deutsches Patent- und Markenamt, erteiltes Patent DE102010027327B3.
- [10] Oertel, Robert und Wagner, Peter und Lämmer, Stefan (2012) *Verfahren zur Bestimmung einer Verlustzeit, Verfahren zur dynamischen Steuerung einer Signalanlage und Vorrichtung zur Bestimmung einer Verlustzeit*. Deutsches Patent- und Markenamt, erteiltes Patent DE102012220094B3.
- [11] Erdmann, Jakob (2012) *Verfahren und Vorrichtung zur dynamischen Steuerung mindestens einer Lichtsignalanlage*. Deutsches Patent- und Markenamt, erteiltes Patent DE10201221416483.
- [12] Erdmann, Jakob und Oertel, Robert und Wagner, Peter (2015) *VITAL: a simulation-based assessment of new traffic light controls*. IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2015), 15.-18. Sep. 2015, Las Palmas de Gran Canaria, Spanien.
- [13] Projekt VITAL – Verkehrsabhängig intelligente Steuerung von Lichtsignalanlagen, [www.projekt-vital.de](http://www.projekt-vital.de)