

30.09.2021

Traffic Light Assistant

Die ersten Testergebnisse im Rahmen des
Reallabors Hamburg



Inhalt

Das Testszenario im Detail _____	3
Integration der Traffic Light Funktion _____	4
Erste Testergebnisse _____	5
MAP Validierung _____	5
SPAT Phasen Validierung _____	7
SPAT PROGNOSE Validierung _____	10
Was kann man auf dem ITS World Congress sehen? _____	12



Wenn Ampeln Autofahrern Geschwindigkeitsempfehlungen geben und der Fahrer sich daran hält, reduziert das den Kraftstoffverbrauch. Das zeigen Systeme wie Green Light Optimized Speed Advisory (GLOSA). Wie das funktionieren kann, wird im Rahmen der Projekte des „Reallabors Hamburg“ getestet. Dabei liegt der Fokus des Projektes nicht nur auf PKWs, sondern auch auf Rad- und E-Scooter-Fahrern. Analysiert wird, wie die Ampelinformationen sowohl den Fahrkomfort den Verkehrsfluss als auch die Verkehrssicherheit verbessern können.

In der Hamburger Innenstadt wurde eine mehrere Kilometer lange Teststrecke für automatisiertes und vernetztes Fahren (TAVF) aufgebaut. So können Fahrzeughersteller, Technologieunternehmen und Forschungseinrichtungen intelligente Transport Systeme (ITS-Anwendungen), Sicherheits- und Assistenzsysteme automatisiert und vernetzt testen. Und das im realen Verkehrsumfeld auf öffentlichen Straßen. Das Testfeld umfasst etwa 40 Ampeln, die darüber informieren, wann sie auf die nächste Phase umschalten.

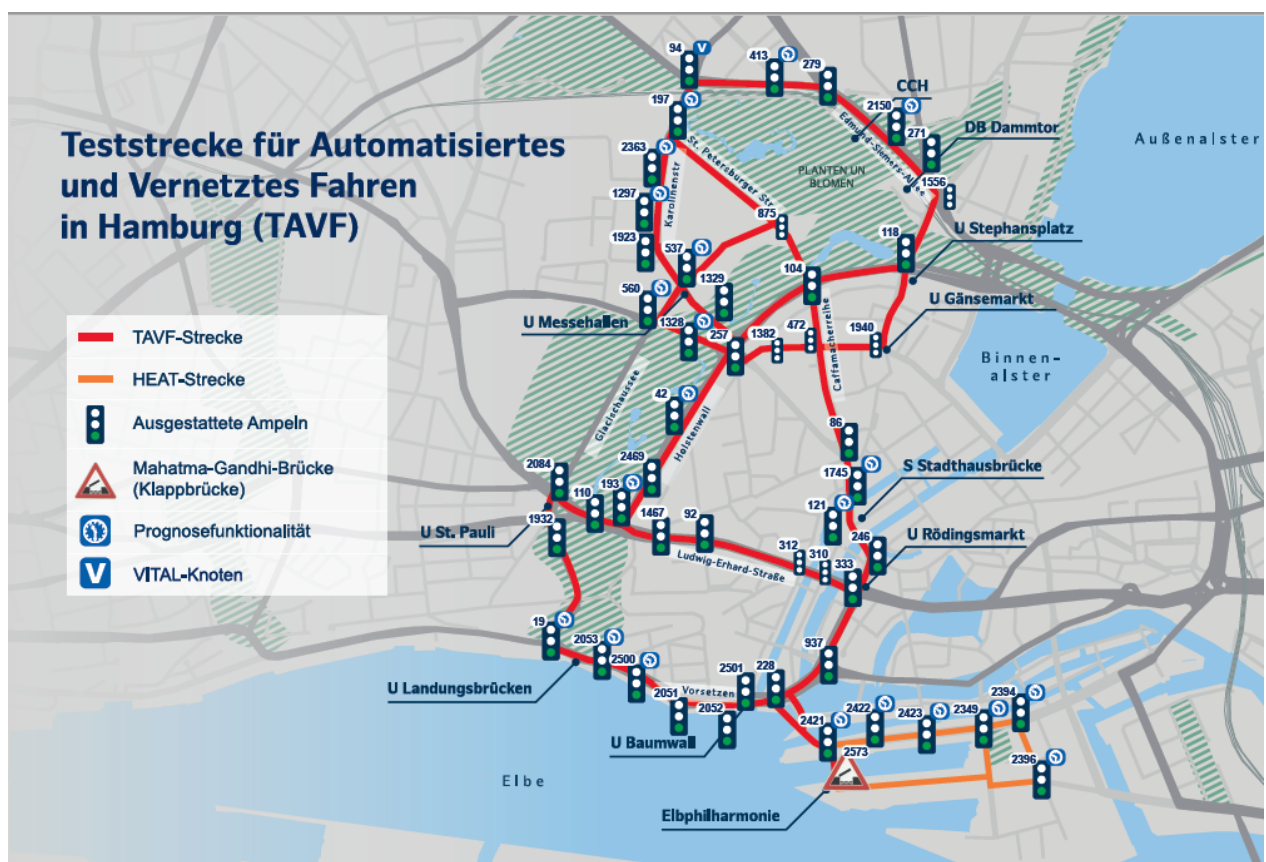


Bild 1: TAVF (Testfeld für vernetztes und automatisiertes Fahren) in Hamburg

Der von T-Systems entwickelte Dienst „Traffic Light Assistant“ richtet sich sowohl an PKW- als auch an Fahrrad-, E-Bike- und E-Scooter-Fahrer. Im Testscenario sorgt eine App durch die Bereitstellung der Ampelraten für stressfreieres Fahren und einen besseren Verkehrsfluss. Der Traffic Light Assistant liefert dafür Phasen- und Prognoseinformationen zu Lichtsignalanlagen in der Hamburger Innenstadt. Der Ampelassistent verarbeitet dazu sowohl standort- als auch kartenbasierte Informationen. Er ermittelt die für den Nutzer relevanten Ampelsysteme anhand seiner Position und seiner Fahrtrichtung. Der Dienst informiert dann über die aktuelle Signalphase der nächsten Ampel, verbunden mit einer Prognose zum nächsten Phasenwechsel.

Das Testscenario im Detail

Die Ampeln im Testumfeld sind mit IEEE 802.11p-basierter Kommunikation und einer latenzarmen Verbindung zu zentralen Servern ausgestattet. Die Daten werden von den zentralen Servern, zum Beispiel der Hersteller-Cloud von Siemens, und von einem Übergabepunkt des Betreibers der Verkehrsanlagen in Hamburg (HHVA) an die 5G-Edge-Server der Deutschen Telekom bereitgestellt. Die Edge-Server sind tief in das Mobilfunknetz integriert, um eine kurze Verbindung zwischen dem mobilen Endgerät (im Auto, am Fahrrad, Benutzertelefon etc.) und den von der Stadt bereitgestellten Daten zu ermöglichen. Mehrere Edge-Server sind über Deutschland verteilt, um kurze Verbindungen zwischen Benutzergeräten und Anwendungen bereitzustellen. Ein Edge-Server steht in Hamburg. Das NPM Teilprojekt TP7 nutzt als eines der ersten Projekte die Edge Infrastruktur für IST-Dienste mit hohen Echtzeitanforderungen.

Das Datenaustauschformat ist der europäische Standard ETSI ITS für Signal Phase and Timing- (SPaT), MAP- (Topology Information of the Intersection) und CAM-Nachrichten.

Bei E2E-Tests wird die Latenz- und die Positionsgenauigkeit getestet und analysiert. Vor und auf dem ITS World Congress ist ein groß angelegter Nutzertest mit der Traffic Light Assistant-App mit dem Fokus auf User Experience geplant. Die App kann auf Android- und iOS-Geräten installiert werden.

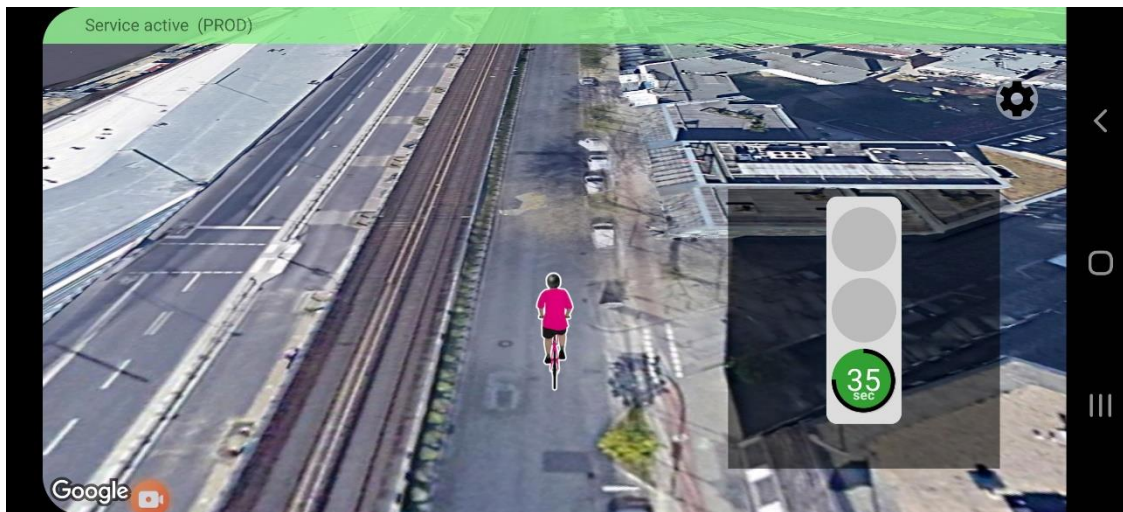


Bild 2: Traffic Light Assistant

In der Traffic Light Assistant-App von T-Systems ist die Kollisionswarnfunktion der Continental AG integriert. Diese berechnet mögliche zukünftige Kollisionen von Verkehrsteilnehmern anhand der Position und Trajektorien mehrerer Nutzer in einem sogenannten Unfall-Hotspot (z.B. an einer Kreuzung). Verkehrsteilnehmer werden rechtzeitig vor der Kollision mit anderen Verkehrsteilnehmern gewarnt oder mit einer Notfallwarnung auf unvermeidbare Kollisionen hingewiesen. Voraussetzung ist, dass eine hohe Prozentzahl der Nutzer die Kollisionswarnfunktion aktiviert hat.

Integration der Traffic Light Funktion

BMW hat die Funktion einer Ampelanzeige als Proof-of-Concept (PoC) in Form einer Fahrzeugapplikation implementiert. Hierzu wurde eine Backend-Verbindung zur Deutschen Telekom/Mobile Edge-Cloud über ein BMW Backend etabliert. Dieses Backend steuert die Verteilung der relevanten Ampelinformationen, die Topologie und den Status, zu den relevanten BMW-Fahrzeugen und wird hier innerhalb einer neu entwickelten Applikation bedarfsgerecht angezeigt, je nach Position. Für Fahrende erscheint exemplarische folgende Darstellung auf dem Display:



Bild 3: Darstellung im BMW-Display

Erste Testergebnisse

Um die Funktionalität des Ampelassistenten zu validieren, hat T-Systems eine Liste von Testfällen erstellt und Simulationen und Feldtests durchgeführt.

MAP Validierung

Im ersten Schritt wurden die MAP-Daten der Kreuzungen im TAVF von T-Systems und BMW validiert. Die MAP-Daten werden von der Stadt Hamburg bereitgestellt und aktualisiert. Unklarheiten oder Fehler wurden besprochen und korrigiert.

Es stellte sich schnell heraus, dass die bisherige Planung der Teststrecke Fahrrad- und e-Scooterfahrer nicht berücksichtigt. Aufgrund von Beschränkungen der zulässigen Datenmenge, die über WLAN802.11p übertragen werden kann, wurden an komplexen Kreuzungspunkten nur die Spuren und Verbindungen für Fahrzeuge übertragen, die auf der Straße fahren.

Für den ITS World Congress wurden in ausgewählten Bereichen die Fahrradspuren und zugehörigen Signalgruppen der Fahrradampeln in die bestehenden MAPs integriert. Da es noch keine Software zur Erstellung dieser MAPs gab, war der Prozess aufwendig und fehleranfällig. Ende August verfügt nur ein Teil der Fahrspuren und Kreuzungen im TAVF über ausgewiesene Fahrradspuren.

Im nächsten Schritt wurde getestet, ob ein Fahrzeug auf der Fahrspur fährt und wie häufig es Abweichungen gibt. Es wurde eine Vielzahl von Algorithmen getestet, um die Fahrzeuge trotz schlechtem GPS-Empfangs und fehlerhafter Positionsdaten auf die entsprechende Fahrspur zu positionieren. Im Rahmen des Projekt TP7 entwickelt Fraunhofer Fokus weitere Algorithmen, um durch Sensorfusion die Positionsgenauigkeit deutlich zu verbessern.

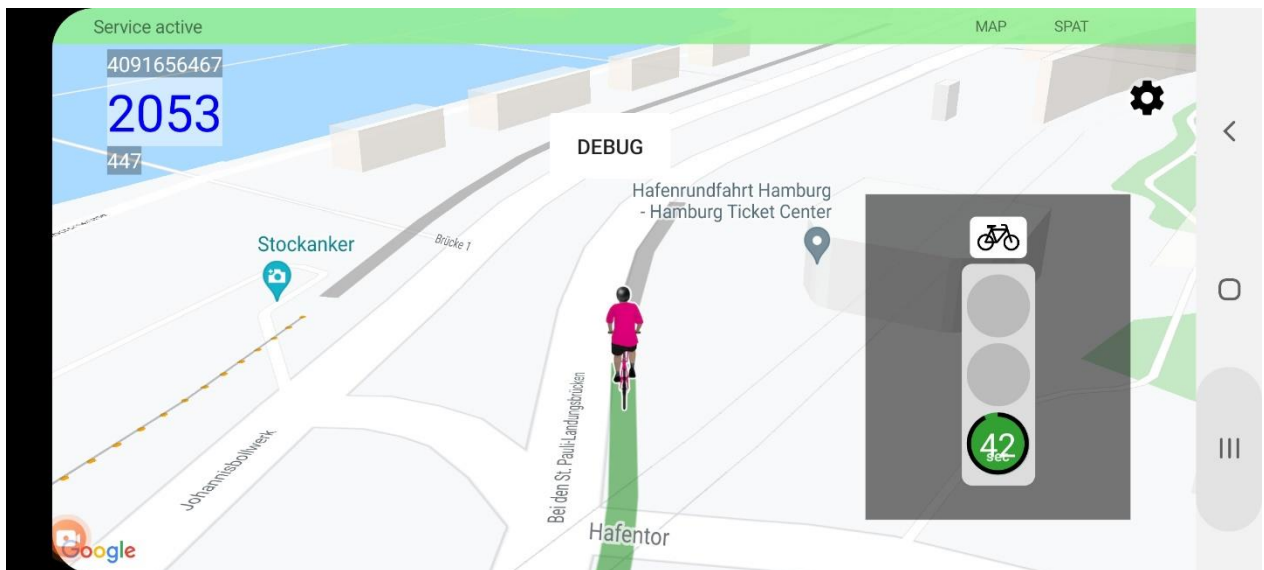


Bild 4: SPAT/MAP an der Lichtsignalanlage 2053

Am 18.-19. August wurde in einem Feldversuch getestet, welche Auswirkungen MAPs mit traffic streams auf die App Darstellung haben. Die traffic streams erlauben die Darstellung von virtuellen Signalgruppen für Links- und Rechtsabbieger und werden korrekt angezeigt.

PROD MAP ohne Traffic Streams



TEST MAP mit Traffic Streams

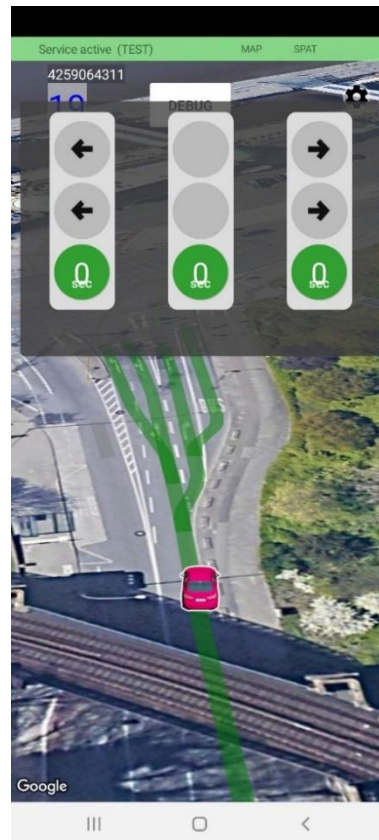


Bild 5: Traffic Light Assistant App mit/ohne Traffic Streams.

SPAT Phasen Validierung

Alle Signalgeber einer Kreuzung sind mit einem Steuergerät fest verdrahtet. Das Steuergerät schaltet die jeweiligen Lichtzeichen und stellt sicher, dass zu keiner Zeit konkurrierende Verkehrsströme gleichzeitig frei sind.

Die SPAT Nachricht enthält die aktuelle Phaseninformation der Lichtsignalanlagen, d.h. die Schaltzeitpunkte der Lichtsignalanlagen. Diese Phaseninformation muss mit einer möglichst hohen Zuverlässigkeit und einer möglichst geringen Verzögerung, bzw. Latenz im Endgerät angezeigt werden.

Es wurden die Latenzen auf der gesamten Strecke zwischen LSA Steuergerät und dem Display des Smartphones gemessen und ausgewertet

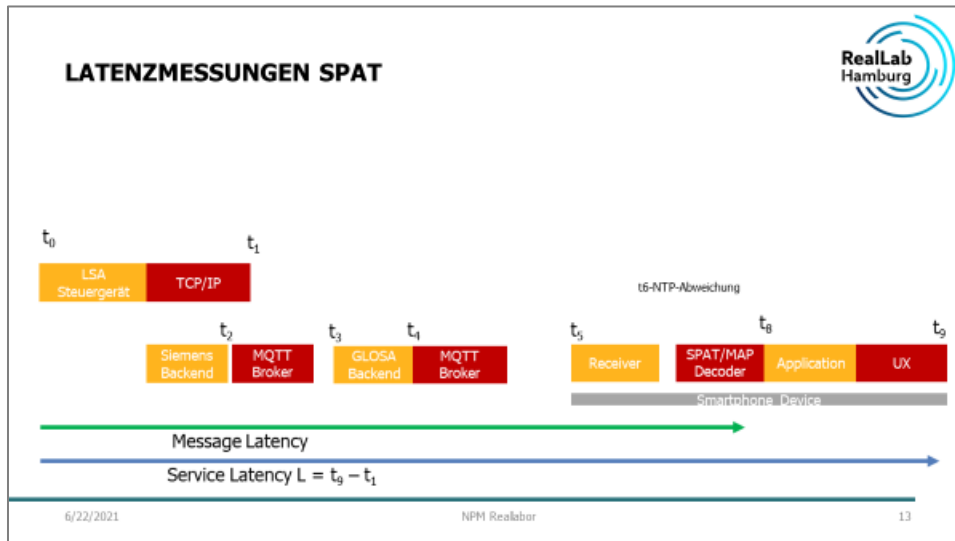


Bild 6: Verzögerungen/Latenzen in der Übertragung der SPAT Nachricht.

- Die Verzögerung zwischen Steuergerät und Siemens Backend ($t_0 - t_1$) wird durch die Latenz der LTE-Verbindung bestimmt und liegt in der Größenordnung von 100ms.
- Die Verzögerung innerhalb des Siemens Backend bis zum MQTT-Broker ($t_2 - t_3$) laut Bild oben wird durch die Berechnung der Prognose bestimmt, sowie die Häufigkeit der SPAT/MAP Nachrichten, die über einen MQTT-Broker abrufbar sind.
- Die Verzögerung innerhalb des GLOSA-Backend ($t_3 - t_4$) wird durch die Konfiguration der Cloud bestimmt.
- Die Verzögerung von der MQTT-Schnittstelle bis zur GLOSA-App (Traffic Light Assistant App) ($t_4 - t_6$) wird durch die Konfiguration der Cloud und durch die LTE-Verbindung bestimmt.
- Die Verzögerung zwischen dem SPAT/MAP-Decoder und der Ausgabe der Nachricht auf dem Display wird durch die Komplexität der Darstellung bestimmt.

Als Messfehler muss berücksichtigt werden, dass die MobileEdgeX, Azure oder AWS Cloud eine Abweichung zur Atomuhrzeit von bis zu 4ms haben.

Der Messfehler im Smartphone wird durch den Offset des Smartphones bestimmt. Hier kann die Abweichung gegenüber der Atomuhrzeit um bis zu 1 Sekunden driften. Vor den Tests wurde diese Abweichung bestimmt. Die folgende Adresse gibt den aktuellen Offset an: <https://ptb.de> aufgerufen. Der Traffic Light Assistant wurde mit einer Debug- und Logging-Funktion ausgestattet, um die Daten abzuspeichern. Geloggt wurden die Systemzeit, die GPS-Koordinaten und die SPAT-Nachrichten mit Zeitstempel in Millisekunden.

Basierend auf den Logdaten im Backend und im Smartphone wurde die Zeitdifferenz zwischen dem Eingang der Daten am MQTT-Broker und dem Auspacken der SPAT/MAP Nachrichten ($t_3 - t_6$) gemessen.

Der Offset zwischen der Systemzeit und der Atomuhrzeit wurde synchronisiert.

Der Mittelwert lag bei 125 ms. Die meisten Nachrichten kamen nach weniger als 90ms an. Die größten Abweichungen lagen in der Größenordnung von 400ms, was mit der Varianz des Datendurchsatzes der LTE-Verbindung erklärt werden kann. Vom LSA-Steuergerät bis zum Übergabepunkt der Siemens Cloud ergibt sich somit eine durchschnittliche Verzögerung von ca. 100 ms. Die gemessene Verzögerung der SPAT-Nachricht liegt damit in der Größenordnung von 225 ms.

Die an den Lichtsignalanlagen beobachtete Verzögerung ist jedoch deutlich geringer. Um diesen Effekt zu messen, wurden Videosequenzen erstellt, in denen die Phasenänderungen in der App und die Ampel gleichzeitig dargestellt werden.

Die Filmsequenzen wurden mit dem Filmbearbeitungsprogramm „shotcut“ ausgewertet. Die maximale Bildgenauigkeit ist 33ms.

Durch Auswertung von 10 Videosequenzen am 15. Juni, 6. Juli und 18. August an den LSAs 537, 197, 2051 konnte gezeigt werden, dass die die Abweichung in keinem Fall, in dem die Ampel von rot auf rot-gelb und weiter auf grün schaltet, größer als 100ms ist. Schaltet die Ampel von grün auf gelb und dann auf rot, ist die Abweichung in den meisten Fällen ebenfalls kleiner als 100ms.

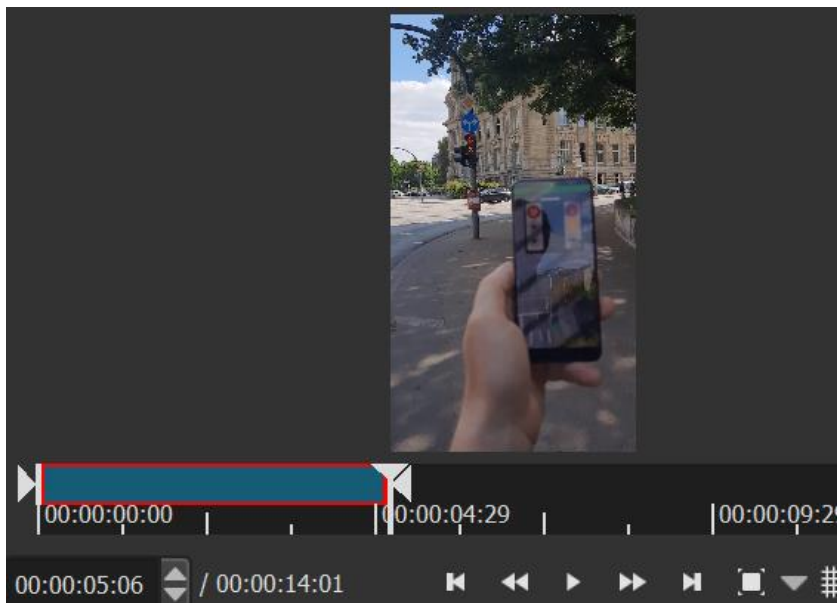


Bild 7: Videoanalyse

In einigen Fällen zeigt die App den Signalwechsel sogar schneller an als die LSA. Die Erklärung liegt in der Schaltzeit der Ampellampen. In den meisten Fällen sind es LED-Lampen. Zwischen Steuergerätimpuls und dem Erleuchten der LED vergehen ca. 250ms. Es handelt sich insofern um eine positive Kompensation der Verzögerungszeiten.

Im Nachgang zu den Testfahrten am 19. Juni, am 6. Juli und am 18.-19. August wurden die Tester nach subjektiven Eindrücken gefragt.

Alle befragten Teilnehmer haben keine Abweichungen zwischen den Statusänderungen der Signalphase an der Lichtsignalanlage und der App festgestellt. Subjektiv lassen sich Abweichungen von bis zu 200ms nicht erkennen. Als Fazit kann festgestellt werden, dass die Latenzzeiten für die Einführung des Dienstes unkritisch sind. Subjektiv als negativ empfunden wurde jedoch die Ungenauigkeit der Prognoseinformation.

SPAT PROGNOSE Validierung

Im Steuergerät können verschiedene Programme oder Schaltstrategien hinterlegt sein. Man unterscheidet zwischen Signalprogrammen mit einer festen Dauer (z.B. 90 Sekunden) und Verkehrs-adaptiven Lichtsignalanlagen, die nicht an die starre Zeitabfolge eines Signalprogramms gebunden sind.

Die Anpassung der Phasenlänge erfolgt in der Regel über Detektoren (z.B. Induktionsschleifen), um sich an das aktuelle Verkehrsaufkommen anzupassen.

Die Berechnung der Prognose berücksichtigt die verschiedenen Signalprogramme und basiert auf „Machine Learning Prozessen“ in der realen Verkehrssituation.

Die SPAT-Prognose sendet den aktuellen Bewegungszustand jeder aktiven Phase im System und Vorhersagen, zu welchem Zeitpunkt ein Zustand am wahrscheinlichsten beginnen und spätestens enden wird. Die Prognose wird für jede Verbindung von Eintritts- zu Austrittsspuren berechnet, d.h. für jede Signalgruppe einer Kreuzung.

In der „Traffic Light Assistant“ App wurde in den bisherigen Tests nur die „likelyTime“ ausgewertet, d.h. die wahrscheinlichste Zeit bis zum Phasenwechsel. Dieser Wert wird in der App in einem Countdown bis zum nächsten Phasenwechsel angezeigt. Die Werte für die „MinEndTime“, „MaxEndTime“ und die „confidence“ wurden geloggt und es wird analysiert, welche Werte zusätzlich ausgewertet werden sollen.



✔ 20210819_1352
22.mp4

Video: Video SPAT Prognose an LSA197

Es wurden Videosequenzen am 15. Juni, 6. Juli und 18. August an den LSAs 537, 197, 2051 aufgenommen und ausgewertet. Als Beispiel ist der Phasenwechsel an der LSA2051, SG1 dargestellt.

LSA2051, SG (19.8.21)	01:22	02:22	03:23	04:23	05:23		08:10	11:04	12:08		15:24	16:23	17:25	18:24	19:24	20:24		
Sekunden bis zum Phasenwechsel																		
Phase (nächste Phasenänderung)	16	16	10	10	9	9	9	8	7	3	3	3	2	2	60	59	54	29
Abweichung	4	5	1	0	0	1	2	2	2	1	0	1	1					

Für diese Signalgruppe ergibt sich eine mittlere Abweichung von 1 Sekunde im Bereich der letzten 10 Sekunden vor dem Phasenwechsel für die Signalgruppe. Die Abweichung liegt im Mittel auch bei den übrigen Signalgruppen bei unter einer Sekunde.

Bei der LSA 2051 handelt es sich um eine Fußgängerschutzanlage. Sobald der Fußgänger oder Radfahrer einen Taster betätigt, läuft ein Programm ab, in dem die Fahrspuren für PKWs nach 30 Sekunden „rot“ bekommen. Entsprechend ändert sich die Prognose von 60 Sekunden auf 30 Sekunden, wie in dem Beispiel gezeigt wird. In diesem Spezialfall ist eine Vorhersage der nächsten Phasenänderung auf den Bereich bis 30 Sekunden beschränkt.

Die Prognosequalität verschlechtert sich an dynamischen Ampeln mit zunehmender Vorhersagedauer. Ab einer Vorhersagedauer von > 10 Sekunden treten zum Teil große Sprünge auf. Diese Sprünge werden von den Nutzern als besonders störend empfunden. Sofern sich die Prognose auf Basis von Machine Learning nicht weiter verbessern lässt, sollte für den Nutzer eine Glättung eingeführt werden.

Was kann man auf dem ITS World Congress sehen?

Das Teilprojekt NPM TP7 ist auf dem Stand des Reallabors Hamburg in der Demohalle B2 und auf den Messeständen von T-Systems und Continental vertreten.

Über einen QR-Code kann der Konferenz- und Messebesucher die App herunterladen und während des ITS Kongresses im TAVF nutzen.