



## Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

das TEMPUS-Projekt wurde ins Leben gerufen, um die Landeshauptstadt München und die Region mit intelligenten Lösungen auf das automatisierte und vernetzte Fahren vorzubereiten. Dabei geht es an erster Stelle darum, die Verkehrssicherheit der neuen Systeme zu verbessern und sie zukunftsfähig zu machen. Als Anerkennung für seine innovativen Ansätze erhielt TEMPUS einen „Innovationspreis Reallabore“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK).

Im TEMPUS-Testfeld wurden neuartige Technologien und intelligente Verkehrssysteme unter realen Bedingungen für den Individual-, aber auch für den Öffentlichen Personennahverkehr getestet. Dadurch soll der Verkehr sicherer, effizienter und umweltfreundlicher werden.

Neben technologischen Aspekten legte das TEMPUS-Projekt großen Wert darauf, die gesellschaftliche Akzeptanz des automatisierten und vernetzten Fahrens zu erhöhen. Die Bürger\*innen wurden aktiv eingebunden und informiert, um Vertrauen in die neue Technologie aufzubauen.

Die enge Zusammenarbeit zwischen Industrie, Forschung und Verwaltung fördert die wirtschaftliche Entwicklung der Region und stärkt Münchens Position als führender Innovationsstandort in der Mobilitätsbranche.

Kommunen spielen eine entscheidende Rolle bei der Gestaltung der Mobilität. Mit diesem Leitfaden möchte ich deshalb die Erfahrungen der Landeshauptstadt München aus dem Projekt TEMPUS aus kommunaler Sicht mit Ihnen teilen und Ihnen einen Überblick über praxisorientierte Anwendungsfälle geben.

Es würde mich freuen, wenn auch Sie sich in die aktuelle Entwicklung einbringen und wir die Zukunft der Mobilität gemeinsam prägen.

Ihr



Dieter Reiter  
Oberbürgermeister  
Landeshauptstadt München



## Sehr geehrte Leser\*innen, liebe Kommunen,

Sie halten die Abschlussbroschüre des Forschungsprojekts TEMPUS in Händen, in der wir die Erkenntnisse aus unserem Testfeld für automatisiertes und vernetztes Fahren zusammengestellt haben. Wir möchten sie mit Interessierten teilen, denn wir sind überzeugt: In einer Zeit, in der nicht nur die Mobilitätslandschaft rasanten Veränderungen unterworfen ist, müssen wir mehr denn je voneinander lernen und profitieren.

Die Bürgerbeteiligung ist für uns im Transformationsprozess „Mobilitätswende“ das A und O. Ich bin überzeugt, dass die Gestaltung der Mobilität von morgen nur gelingen kann, wenn die Bedürfnisse der Bürger\*innen in den Mittelpunkt gerückt werden. Durch einen offenen Dialog haben wir bei der Akzeptanzforschung im Projekt wertvolle Einblicke in die Perspektiven verschiedenster Personengruppen zum automatisierten und vernetzten Fahren erhalten.

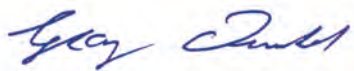
Daneben ist es uns vor allem wichtig, verkehrsteilnehmerübergreifend zu denken. So wurden in TEMPUS sowohl Untersuchungen des öffentlichen Personennahverkehrs als auch des Individualverkehrs sowie der Mobilität vulnerabler Verkehrsteilnehmer\*innen durchgeführt. Diese sollen dazu beitragen, die Mobilitätswende ganzheitlich voranzubringen.

Unsere Mobilitätsstrategie 2035 ist hier mehr als ein Fahrplan – sie ist eine Vision für eine nachhaltige, sichere und zukunftsweisende Mobilität. Die Erkenntnisse aus dem TEMPUS-Testfeld haben uns dabei geholfen, diese Vision in den Themenbereichen Innovation und Digitalisierung zu konkretisieren und Schritte in Richtung ihrer Verwirklichung zu unternehmen.

Ich hoffe, dass wir Ihnen durch den Leitfaden wertvolle Impulse bei der Entwicklung Ihrer Mobilitätsstrategien im Bereich der Automatisierung und digitalen Vernetzung geben können.

Ich lade Sie ein, diese Broschüre zu lesen, von unseren Erkenntnissen zu profitieren und sie in Ihre eigenen Überlegungen einzubeziehen. Gemeinsam können wir die Zukunft der Mobilität gestalten und die Lebensqualität in unseren Kommunen nachhaltig verbessern.

Mit freundlichen Grüßen



Georg Dunkel  
Mobilitätsreferent  
Landeshauptstadt München



Foto: LHM, Hase

### Einleitung

- 7 Automatisiertes und vernetztes Fahren (AVF) – Was ist das?
- 8 Chancen und Herausforderungen für Kommunen
- 10 Was ist ein Testfeld für automatisiertes und vernetztes Fahren? Was bietet ein Testfeld?
- 10 Testfelder in Deutschland

### Testfeld-Komponenten

- 18 Straßeninfrastruktur
- 18 Road Side Unit (RSU)
- 18 Ampelsteuergerät
- 20 Datenanbindung/-übertragung
- 21 KRITIS
- 22 C-ITS Daten
- 22 MAP
- 22 SPaT
- 23 OpenDRIVE (HD-Karten)
- 23 Geodaten-Plattform
- 24 Mobilitäts Daten Marktplatz (MDM) / Mobiltheke
- 24 Service Provider-Ebene
- 25 Anwendungsebene
- 26 Simulation Gesamtsystem
- 27 Bürgerschaft (Akzeptanz)

Weitere Informationen zu TEMPUS finden Sie auf [tempus-muenchen.de](https://tempus-muenchen.de)



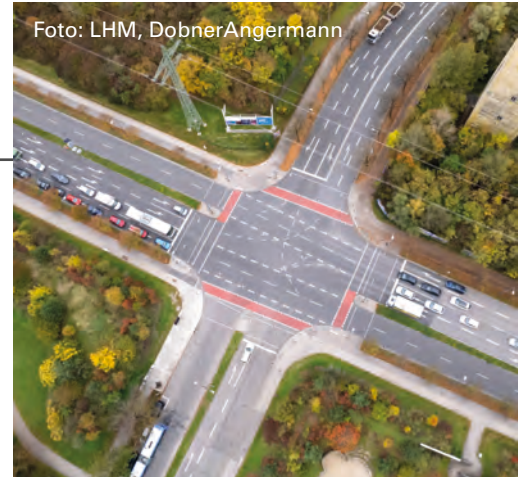
### TEMPUS im Überblick

- 12 Zahlen & Fakten
- 14 Ziele von TEMPUS
- 15 Partner\*innen

Foto: LHM, DobnerAngermann



Foto: LHM, DobnerAngermann



### Fazit und Ausblick

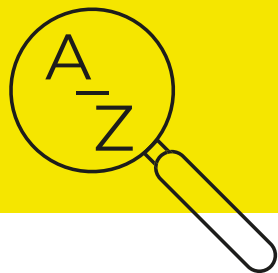
- 29 Erkenntnisse aus TEMPUS: Empfehlungen und Herausforderungen
- 32 Fazit und generelle Empfehlung für Kommunen
- 32 Ausblick
- 33 Weiterer Forschungsbedarf

### Use Cases

- 36 Kommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur
- 38 Ampelphasenassistent
- 40 Abbiegeassistent in ÖPNV-Bussen
- 42 Digitale Priorisierung Rettungsfahrzeuge
- 44 Digitale ÖPNV-Beschleunigung
- 46 Verkehrsmanagementstrategien

### Glossar

- 48 Am Ende des Leitfadens finden Sie ein Wortverzeichnis, in dem wir technische Begrifflichkeiten und Abkürzungen näher erläutern.



# Einleitung

## Rund um das automatisierte und vernetzte Fahren

### Automatisiertes und vernetztes Fahren (AVF) – was ist das?

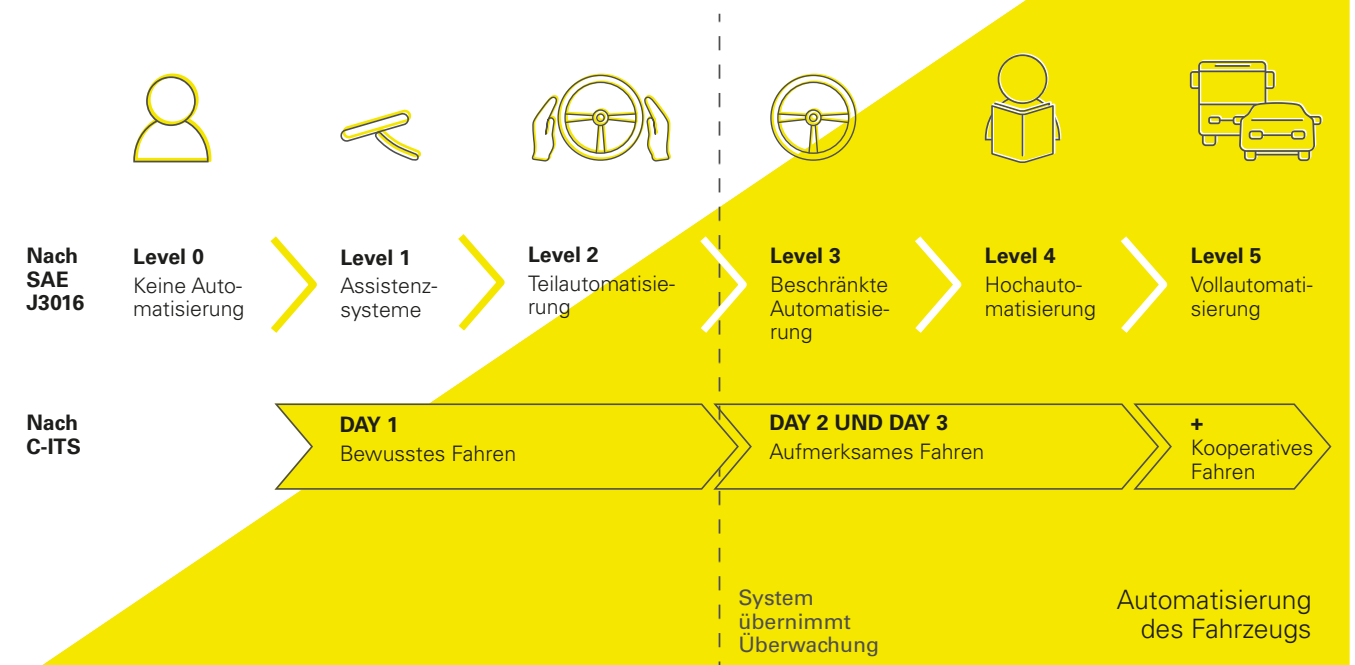
Das automatisierte und vernetzte Fahren ist eine zentrale Zukunftstechnologie im Bereich der Mobilität. Durch diese Technologie können die Verkehrssicherheit und der Fahrkomfort erhöht, der Verkehrsfluss optimiert und der Treibstoffverbrauch reduziert werden. Dies gilt für den individuellen Verkehr, beispielsweise mit dem Auto, aber auch für den öffentlichen Nahverkehr oder den Transport von Gütern auf der Straße. Aber was genau verbirgt sich hinter den Fachbegriffen automatisiertes und vernetztes Fahren?

Der Begriff **automatisiertes Fahren** bezieht sich auf Fahrzeuge, die in der Lage sind, bestimmte Funktionen beim Fahren ohne ständige menschliche Eingriffe auszuführen und so die fahrende Person entlasten. Fahrzeuge, die automatisiert fahren, verwenden verschiedene Sensoren (wie Kameras, Radarsysteme

oder das laserbasierte Lidar), um ihre Umgebung wahrzunehmen. Auf dieser Grundlage treffen sie Entscheidungen in Echtzeit und lassen diese in das Fahrverhalten des Fahrzeugs einfließen. Diese Entscheidungen beinhalten beispielsweise das Beschleunigen, Bremsen, Lenken und das Einhalten von Verkehrsregeln.

Das **vernetzte Fahren** geht einen Schritt weiter und beinhaltet neben den Funktionen des automatisierten Fahrens zusätzlich die Kommunikation zwischen Fahrzeugen (V2V, Vehicle-to-Vehicle) und die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur (V2I, Vehicle-to-Infrastructure). So können Fahrzeuge Informationen über ihre Position, Geschwindigkeit, Fahrtrichtung, Gefahrensituationen und andere relevante Daten senden beziehungsweise austauschen. Durch diese Kommunikation können Staus vermieden, die Verkehrseffizienz verbessert und andere Verkehrsteilnehmende auf potenzielle Gefahrenstellen hingewiesen werden.

### Level des automatisierten und autonomen Fahrens



Darstellung nach SAEJ3016 und CAR 2 CAR Communication Consortium

# Chancen und Herausforderungen für Kommunen

Das automatisierte und vernetzte Fahren bietet für Kommunen sowohl Chancen als auch Herausforderungen. Beides im Blick zu behalten ist die Voraussetzung dafür, bei der Einführung der neuen Technologie ganzheitliche Strategien zu entwickeln. Dabei ist insbesondere eine enge Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Verwaltungsebenen, der Industrie, Forschungseinrichtungen und der Öffentlichkeit wichtig. Testfelder wie TEMPUS eignen sich gut, um konkrete Anwendungsfälle und Kooperationen zu erproben.

## Chancen

### **Digitalisierung und Modernisierung der Straßeninfrastruktur**

Durch eine Modernisierung und Digitalisierung der Straßeninfrastruktur können Kommunen ihre Zukunftsfähigkeit sichern und gleichzeitig ihre Datenverfügbarkeit und Datenkompetenz steigern.

### **Verbesserter Verkehrsfluss**

Durch automatisiertes und vernetztes Fahren können Kommunen den Verkehrsfluss und Reisezeiten optimieren und Staus verhindern. Davon profitiert auch der öffentliche Nahverkehr.

### **Erhöhte Verkehrssicherheit**

Automatisierte Fahrzeuge können dazu beitragen, menschliche Fehler zu reduzieren. Diese sind bislang eine häufige Ursache für Verkehrsunfälle.

Automatisierte Fahrzeuge erkennen potentielle Gefahren frühzeitig und können präzise und schnell reagieren.

### **Reduzierter Energieverbrauch und Umweltschutz**

Automatisiertes und vernetztes Fahren ermöglicht eine effiziente Fahrweise. Durch optimierte Geschwindigkeiten können Fahrzeuge den Kraftstoff- und Energieverbrauch und somit auch die Emissionen reduzieren.

### **Mehr Mobilität für Alle**

Ältere Menschen oder mobilitätseingeschränkte Personen profitieren potenziell von automatisierten Fahrzeugen – denn diese können ihnen eine individuelle und sichere Mobilität ermöglichen.

## Herausforderungen

### **Infrastruktur- und Anpassungsbedarf**

Kommunen müssen gegebenenfalls ihre Verkehrsinfrastruktur anpassen, um automatisiertes und vernetztes Fahren zu ermöglichen. Dazu gehören beispielsweise die Installation von Kommunikationstechnologien und die Anpassung von Verkehrsleitsystemen.

### **Datenschutz und Sicherheit**

Kommunen erfassen bei der Vernetzung von Fahrzeugen große Datenmengen. Diese Daten müssen effizient vor externem Zugriff und Missbrauch geschützt werden. Außerdem müssen die Systeme ausfallsicher sein.

### **Rechtliche und regulatorische Fragen**

Für den Betrieb und die Haftung von automatisiertem und vernetztem

Fahren müssen klare Regeln und Vorschriften festgelegt werden. Dies geschieht primär auf Bundesebene. Kommunen müssen die Richtlinien allerdings anwenden und umsetzen.

### **Fehlende Standards**

Es ist noch nicht absehbar, welche Technologien sich langfristig durchsetzen werden. Dadurch entsteht möglicherweise ein Kostenrisiko, falls eine Kommune eine Technologie verbaut, die sich dann nicht durchsetzt.

## Was ist ein Testfeld für automatisiertes und vernetztes Fahren?

Ein Testfeld – auch als Versuchsfeld oder Teststrecke bezeichnet – wird dafür genutzt, neue Technologien, Fahrzeugsysteme oder Verkehrskonzepte zu testen, zu erproben und zu validieren. Mit einem Testfeld können Kommunen Innovationen im Verkehrsbereich unter realistischen Bedingungen evaluieren, bevor sie diese in den regulären Verkehr einführen.

Testfelder können unterschiedliche Merkmale und Bestandteile haben – die Auswahl des Testfelds richtet sich danach, welche Arten von Technologien oder Konzepten getestet werden sollen. So können sie entweder nur bestimmte Straßenabschnitte oder ganze Gebiete umfassen und in einem realen, öffentlichen Gebiet oder in einer Simulationsumgebung stattfinden.

Testfelder spielen eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung und Einführung neuer Mobilitätslösungen und sind ein wesentlicher Bestandteil der Innovationsprozesse im Verkehrsbereich.

## Was bietet ein Testfeld?

Testfelder im öffentlichen Raum bieten Kommunen die Chance, die Funktionalität, Sicherheit, Effizienz, Zuverlässigkeit, Leistungsfähigkeit und Akzeptanz des automatisierten und vernetzten Fahrens unter realen Bedingungen zu testen und auszuwerten. So können die Kommunen mögliche Herausforderungen frühzeitig identifizieren. Zudem können sie durch das Testfeld Regelungen und Vorschriften rund um die neue Technologie entwickeln, ausprobieren und verbessern. Darüber hinaus bietet ein Testfeld die Möglichkeit, die Zusammenarbeit mit anderen wichtigen Akteur\*innen wie Unternehmen und Forschungseinrichtungen zu erproben und frühzeitig die Bürger\*innen einzubinden und zu beteiligen.

# TEMPUS im Überblick

---

## Das Münchner Testfeld stellt sich vor

---

## Testfelder in Deutschland

Seit 2015 sind in Deutschland zahlreiche Testfelder für das automatisierte und vernetzte Fahren entstanden. Stand 2021 gab es in Deutschland 26 Testfelder und 142 Projekte, die teilweise bereits abgeschlossen werden konnten. Deutschland zählt für diesen Forschungsbereich zu den internationalen Vorreitern.

Weitere Informationen zu Testfeldern in Deutschland finden sich auf: [testfeldmonitor.de](https://testfeldmonitor.de)

# Zahlen & Fakten

TEMPUS steht für „Testfeld München – Pilotversuch Urbaner automatisierter Straßenverkehr“ im Stadtgebiet München und im Umland. Seit Januar 2021 hat die Landeshauptstadt München mit dem Freistaat Bayern und vielen Partner\*innen das automatisierte und vernetzte Fahren erprobt. In diesem Kapitel stellen wir Ihnen das vielfältige Projekt etwas genauer vor.



## Projektzeitraum

1. Januar 2021 bis  
31. Dezember 2023



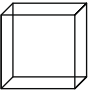
## Fördermittelgeber

Bundesministerium  
für Digitales und  
Verkehr (BMDV)



## Projektträger

Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt  
(DLR)



## Projektvolumen

15,64 Millionen Euro  
(davon 11,47 Millionen  
Euro Förderanteil des  
BMDV)

## Die wesentlichen Bestandteile und Charakteristika von TEMPUS



### Ausstattung von Ampelanlagen

Wir haben im Testfeld rund 65 Ampeln mit Funkmodulen (so genannte Road Side Units, kurz RSU) ausgestattet. Diese ermöglichen eine Kommunikation zwischen Ampel und Fahrzeug, zum Beispiel zum Signalzustand. Rettungsdienste und andere Fahrzeuge können so Einfluss auf die Ampelschaltung nehmen.

### Übertragungstechnologien der Funkmodule

Bei TEMPUS haben wir sowohl WLAN-basierte (ITS-G5) als auch mobilfunkbasierte (C-V2X) Kommunikationstechnologien getestet. So konnten wir flexibel agieren und eine Vielfalt an Anwendungen erproben.

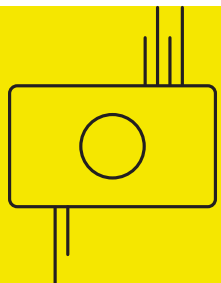
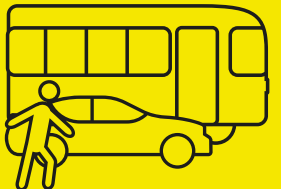


### HD-Karte des Testfelds

Für das komplette Straßennetz unseres Testfelds, das aus städtischen Straßen, Bundesstraßen und Autobahnen besteht, haben wir ein hochpräzises und realistisches 3D-Modell erstellt. Die Daten wurden als digitale Netzgrundlage verwendet, um verschiedene C-ITS Anwendungen zu unterstützen.

### Diversität der Verkehrsteilnehmenden

Wir haben bei TEMPUS möglichst viele unterschiedliche Verkehrsteilnehmende berücksichtigt. Hierzu gehörten neben den öffentlichen Verkehrsmitteln und Autos auch nichtmotorisierte Verkehrsteilnehmende wie Radfahrer\*innen und Fußgänger\*innen.

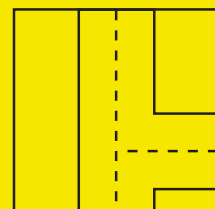


### Daten, die an die Fahrzeuge übermittelt werden

Über die Road Side Units liefern die Ampeln verschiedene Daten an die Fahrzeuge, zum einen Daten zur Straßentopologie, also Informationen zur Kreuzung oder zum Verkehrsknotenpunkt selbst (MAP), zum anderen Daten zum aktuellen Signalbild der Ampel (SPaT).

### Gebietsköperschaftsübergreifendes Testfeld

Eine Besonderheit des Aufbaus von TEMPUS ist, dass unser Testfeld sowohl den urbanen Münchner Stadtbereich als auch das Umland umfasst hat. So konnten verschiedenste Verkehrssituationen und Bedingungen untersucht werden.

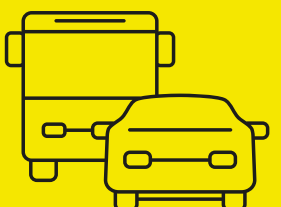


### Datenbereitstellung über MDM

Über den nationalen Zugangspunkt (MDM) haben wir unsere verkehrstechnischen Daten und die entwickelten kommunalen Verkehrsstrategien veröffentlicht. So können unsere Daten für vernetzte Fahrfunktionen und weitere Entwicklungen genutzt werden.

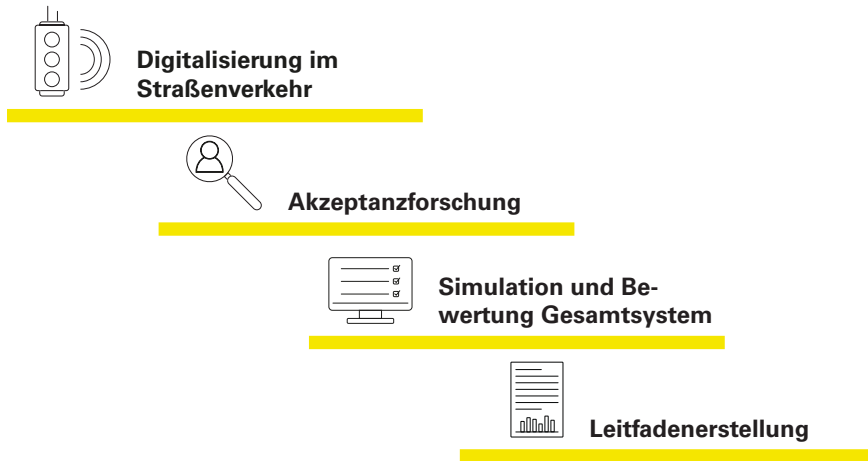
### Erprobung im Realverkehr

Durch die Integration von TEMPUS in den öffentlichen Straßenraum konnten wir unsere verschiedenen Anwendungsfälle unter realen Bedingungen erproben. Damit haben wir die Basis für eine ganzheitliche Technologieverbesserung geschaffen.



# Ziele von TEMPUS

Mit TEMPUS haben wir uns verschiedene Ziele gesetzt. Ein Überblick.



## Digitalisierung Straßenverkehr und Reallabor

Für die praxisnahe Anwendung von automatisiertem und vernetztem Fahren muss die Straßeninfrastruktur digitalisiert und intelligent vernetzt werden. Ein Hauptziel von TEMPUS war es deshalb, automatisierte und vernetzte Fahrfunktionen im realen Verkehrsgeschehen zu erproben – sowohl für den Individualverkehr als auch den öffentlichen Personennahverkehr. Mit unserem Testfeld haben wir innovative Technologien unter realen Bedingungen getestet und zahlreiche Erkenntnisse zur Lösung technischer Herausforderungen gewinnen können. Wichtig war es uns dabei, Bürger\*innen einen Einblick in die fortschreitende Entwicklung des automatisierten und vernetzten Fahrens zu geben und diese zu beteiligen.

## Akzeptanzforschung

Damit automatisierte Fahrzeuge im urbanen Raum von den Verkehrsteilnehmenden und der Bevölkerung akzeptiert werden, gilt es zwei Faktoren zu beachten: die objektive Verkehrssicherheit (eine konfliktfreie Interaktion der automatisierten Fahrzeuge mit anderen Verkehrsteilnehmenden) und die subjektiv wahrgenommene Verkehrssicherheit (die Verkehrsteilnehmenden erleben den Straßenraum als sicher). Deshalb war ein Schwerpunkt von TEMPUS, reale Interaktionsszenarien zwischen automatisierten, vernetzten Fahrzeugen und vulnerablen Verkehrsteilnehmenden (zum Beispiel Fußgänger\*innen oder Radfahrer\*innen) im Stadtverkehr zu untersuchen. Diese Szenarien haben wir mit Personenbefragungen evaluiert. Aus den Ergebnissen konnten wir Empfehlungen für

die Gestaltung eines sicheren, effizienten, automatisierten und vernetzten Fahrens ableiten.

## Simulation und Bewertung Gesamtsystem

Im Bereich Simulation und Bewertung des Gesamtsystems hat TEMPUS zwei Ziele verfolgt: Zum einen wurde die Wirkung des automatisierten und vernetzten Fahrens auf den Verkehr analysiert. Damit konnten wir verschiedene Zukunftsszenarien – bis hin zur vollständigen Marktdurchdringung mit automatisierten Fahrzeugen – erarbeiten. Zum anderen haben wir die entwickelte Simulationsumgebung genutzt, um innovative Konzepte zur Neuordnung des Straßenraums zu simulieren und bestehende Modellierungs- und Verkehrssteuerungsansätze Schritt für Schritt weiterzuentwickeln. Die Ergebnisse der erstellten Simulationsszenarien wurden aufbereitet, interpretiert und in Konzepte überführt. Diese haben wir anschließend einer kritischen Prüfung für die zukünftige praktische Anwendbarkeit unterzogen.

## Gebietskörperschaftsübergreifende Systemarchitektur und Leitfaden

Ein weiteres Ziel vom TEMPUS war es, die Erweiterbarkeit der Testfelder auf umliegende Gebietskörperschaften zu untersuchen und Empfehlungen für eine Umsetzung in anderen Testfeldern zu geben (siehe „Testfeldkomponenten“, Seite 17). Für die räumliche und technische Verknüpfung der beiden Testfeldbereiche haben wir dazu bei der Landesbaudirektion (Land) und der Landeshauptstadt

München (Stadt) eine gebietskörperschaftsübergreifende Systemarchitektur zur Verkehrssteuerung und zum Datenaustausch definiert, eingerichtet und getestet. So konnten wir eine Testumgebung schaffen, mit der die Organisationsstruktur, das Rollenverständnis mit Verantwortlichkeiten und die damit ver-

bundenen Kommunikationsprozesse zwischen zwei Gebietskörperschaften erprobt werden konnten. Unsere Erkenntnisse können für mögliche zukünftige Infrastrukturerweiterungen genutzt werden und sind in diesem Leitfaden dargestellt.

# Partner\*innen

Das Testfeld TEMPUS ist eine erfolgreiche Kooperation von 13 Projektpartner\*innen aus Verwaltung, Wirtschaft und Forschung.

Gebietskörperschaften



Landeshauptstadt München



ÖPNV/Verkehrsunternehmen



Infrastrukturausstattung



OEM



ROLLS-ROYCE MOTOR CARS LTD.



Dienstleistungen



Forschungseinrichtungen





# Testfeld- kompo- nenten

Kommunen sollten zur Einführung von automatisiertem und vernetztem Fahren in verschiedenen Bereichen tätig werden: bei der Infrastruktur und der Datenverfügbarkeit, aber auch bei der gesellschaftlichen Kommunikation. In diesem Kapitel erläutern wir die wichtigsten Komponenten unseres Testfelds.

# Straßen- infrastruktur

## Road Side Unit (RSU)

Eine RSU ist eine Komponente im Bereich des vernetzten Verkehrs und des automatisierten Fahrens. Sie wird, wie der Name sagt, am Straßenrand installiert. Die Hauptfunktion einer RSU besteht darin, standardisierte Informationen zwischen Straßeninfrastruktur und Fahrzeugen auszutauschen. Sie kann Daten wie Verkehrssignale oder verkehrliche Warnungen an Fahrzeuge senden, aber auch Daten von den Fahrzeugen empfangen, um beispielsweise Informationen über die Geschwindigkeit und die Position von Fahrzeugen zu erfassen.

In TEMPUS wurden die RSU primär zur Kommunikation von der Infrastruktur an die Fahrzeuge eingesetzt. Die RSU können mit zwei Kurzstrecken-Kommunikationstechnologien betrieben werden (siehe Kapitel „Datenübertragung“, Seite 20). In TEMPUS versenden die RSU MAP- und SPaT-Daten, die beispielsweise das sichere Überfahren einer Kreuzung für automatisierte Fahrzeuge unterstützen (Seite 22). Außerdem wurden im Testfeld auch mehrere RSU mit Rückkanal installiert, bei denen eine Kommunikation von Fahrzeugen zur Infrastruktur stattfindet. Diese Funktion ermöglicht die Use Cases „Digitale ÖPNV-Beschleunigung“ (Seite 44) und „Priorisierung Rettungsfahrzeuge“ (Seite 42). Beim Use Case „Abbiegeassistent“ (Seite 40) kann die RSU auch eine Warnmeldung versenden.

RSU müssen vom Straßenbaulastträger gekauft und betrieben werden. Die Hardware unterstützt die automatisierten Fahrzeuge bei der Orientierung in unübersichtlichen Kreuzungsbereichen, insbesondere dann, wenn die Fahrzeug-Sensoren die Information nicht erfassen können (durch Sichtbehinderung oder Fehlfunktion).

## Ampelsteuergerät

Das Steuergerät einer Ampel (Lichtsignalanlage, kurz LSA) verarbeitet eingehende Signale von verschiedenen Sensoren und steuert die Verkehrssignalgeber. Der verkehrstechnische Ablauf (Signalprogramm) im Steuergerät bestimmt die Dauer der Ampelphasen unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren wie Verkehrsvolumen, Stoßzeiten, Fußverkehr und Priorisierungen des öffentlichen Nahverkehrs.

Das Steuergerät kann zudem mit anderen Ampeln in der Umgebung oder mit einer zentralen Verkehrsleitstelle kommunizieren, um den Verkehrsfluss zu koordinieren und Verkehrsströme zu optimieren. Durch die Integration von intelligenten Verkehrssystemen kann die Verkehrssicherheit erhöht und die Verkehrseffizienz verbessert werden.

Die Steuergeräte sind je nach existierender Steuerungszentrale im Testfeld entweder durch die OCIT- oder die VnetS-Schnittstelle angeschlossen.

Die RSU in TEMPUS wurden je nach Aufgabe an den Messstecker oder direkt mit dem Steuergerät verbunden. Hier müssen die entsprechenden KRITIS-Anforderungen des Bundesamts für Sicherheit in der Informationstechnik angewendet werden (siehe „KRITIS“, Seite 21).

Bei der Messstecker-Lösung können die Signalzustände des Knotenpunktes ausgelesen werden. Um eine Priorisierung von öffentlichem Nahverkehr oder Rettungsfahrzeugen zu ermöglichen, ist eine RSU direkt an das Steuergerät angeschlossen.



Montage und Inbetriebnahme einer RSU an einer Kreuzung

Foto: LHM, DobnerAngermann



Querung eines Busses nach Priorisierung an einer Ampel

Foto: LHM, DobnerAngermann

# Datenanbindung/ -übertragung

Eine **Datenanbindung** bezeichnet eine Verbindung von Geräten, Systemen oder Netzwerken, um den Austausch von Daten zu ermöglichen.

Bei der Datenanbindung spielt vor allem die Anbindung der Ampel samt RSU an die LSA-Steuerungszentrale eine wichtige Rolle. Hier entstehen große Datenmengen, die in Zukunft via 5G oder per Glasfaseranschluss übertragen werden können.

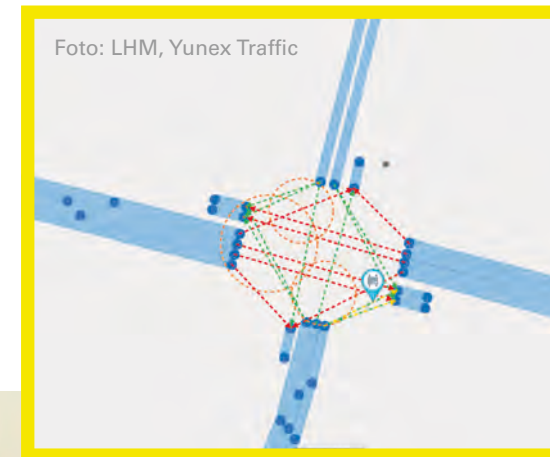
Die **Datenübertragung** bezeichnet hingegen den Prozess des Sendens und Empfangens von Informationen von einem Sender zu einem Empfänger.

In TEMPUS haben die RSU mit zwei verschiedenen Kurzstrecken-Kommunikationstechnologien Daten empfangen: zum einen WLAN-basiert (ITS-G5) und zum anderen mobilfunkbasiert (C-V2X). Bei beiden Technologien handelt es sich um eine Kurzstrecken-Kommunikation, die einen Datenaustausch mit sehr kurzen Verzögerungen ermöglicht. Außerdem können

die Testfahrzeuge über eine Backend-Kommunikation Daten abrufen und so weitere Informationen erhalten, wie beispielsweise städtische Verkehrsstrategien oder Ampel-Schaltdaten für den Ampelphasenassistenten.

Das Umschalten der RSU zwischen den beiden Kurzstrecken-Funktechnologien ermöglicht das Testen verschiedenster Anwendungsfälle. Da das Umschalten im Testfeld nicht über einen Fernzugriff funktionierte, sondern vor Ort erfolgte, war ein ständiges Umschalten arbeitsintensiv und nicht praktikabel.

Grafische Visualisierung einer MAP-Datei mit den verschiedenen Fahrbeziehungen



## KRITIS

KRITIS steht für „Kritische Infrastrukturen“ und bezeichnet generell Infrastrukturbereiche, deren Ausfall oder Beeinträchtigung erhebliche Auswirkungen auf die öffentliche Sicherheit, die öffentliche Ordnung oder das wirtschaftliche und soziale Leben haben können. Im Kontext des vorliegenden Leitfadens beschränkt sich der Begriff auf Infrastruktur im Verkehrs- und Transportsektor. Um die Ausfall- aber auch Einfallsicherheit (wie beispielsweise bei der Vorbeugung und Abwehr von Cyberangriffen) für die kritische Infrastruktur zu gewährleisten, gibt es Informationssicherheitsbeauftragte, die sich um die Anwendung spezieller Gesetze, Richtlinien und Maßnahmen kümmern. Gerade im Bereich Verkehr hat das Thema KRITIS aufgrund der zunehmenden Digitalisierung und Vernetzung mehr und mehr Bedeutung. Die KRITIS-Bestimmungen gelten für Städte mit mehr als 500.000 Einwohner\*innen.

KRITIS spielte in TEMPUS immer dann eine Rolle, wenn es zu einer Kommunikation zwischen der Infrastruktur und anderen Objekten kam. Insbesondere wenn Daten an die Infrastruktur gesendet werden, müssen besondere Vorschriften beachtet werden. Hierzu müssen auch die Hersteller\*innen von Straßeninfrastruktur wie Kameras oder RSU die KRITIS-Anforderungen erfüllen. Erst nach sorgfältiger Prüfung und Freigabe durch die Behörden kann die Hardware verbaut werden. Durch die starke Regulierung wird eine sichere und robuste Kommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur gewährleistet.



Foto: LHM, DobnerAngermann

Darstellung der empfangenen MAP-Datei zur Kreuzungstopologie im Forschungsfahrzeug

# C-ITS Daten

## MAP

MAP-Daten stellen Informationen zur Kreuzungstopologie bereit. Sie ermöglichen es, digitale Straßenkarten in Echtzeit zwischen Fahrzeugen und der Infrastruktur auszutauschen. Die Karten enthalten beispielsweise Informationen zur Nutzungsart der Straße (Fahrzeuge/Rad/Tram/Fußgänger\*innen), zu Geschwindigkeitsbegrenzungen, Fahrstreifeninformationen, zur Anzahl von Zu- und Ausfahrten oder der Fahrspuren. Zusammen mit der SPaT-Datei werden Informationen zu einem komplexen Kreuzungsbereich für das Fahrzeug zur Verfügung gestellt.

Für die MAP-Erstellung im Testfeld wurde primär auf den Leitfaden der OCA zurückgegriffen, da dieser viele deutsche Spezifikationen beinhaltet und bereits deutschlandweit angewendet wird. Die MAP-Datei wird in einem xml-Format vom Verkehrsingenieurarbeitsplatz exportiert und anschließend lokal auf der RSU hinterlegt. Da eine MAP-Datei sicherheitsrelevante Daten enthält, muss diese validiert werden. Damit alle Fahrzeuge, die entsprechend ITS-G5- oder C-V2X-fähig sind, die MAP empfangen können, müssen die Daten verschlüsselt werden.

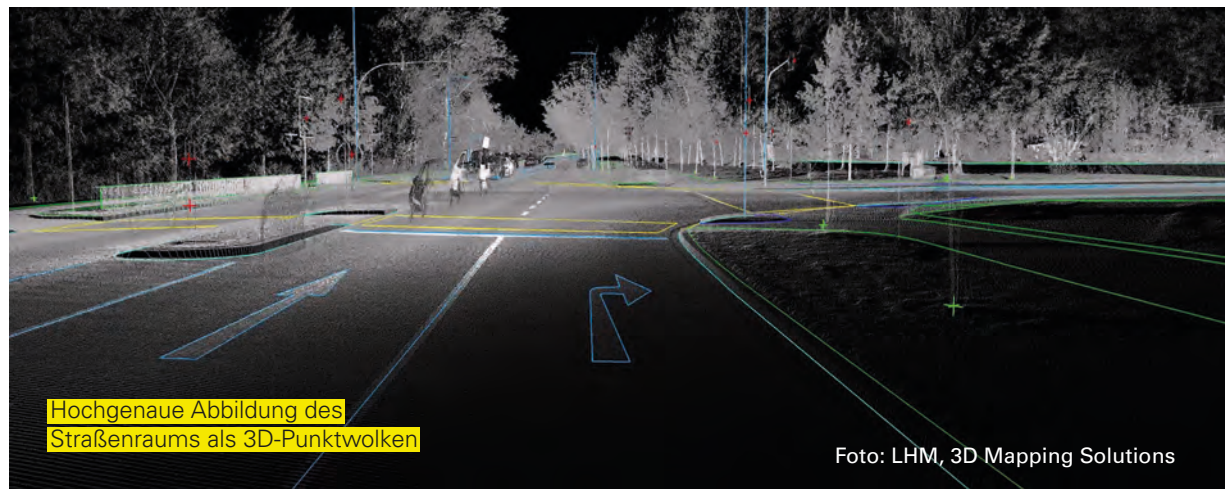
Bei der Erstellung von MAP-Dateien gibt es im realen Umfeld viele Sonderfälle, die eine intensive Absprache und Expertise benötigen.

## SPaT

SPaT steht für „Signal Phase and Timing“ (Signalphase und Schaltzeiten). Die SPaT-Daten geben Auskunft über das aktuelle Signalbild einer Ampel. Sie informieren die Fahrzeuge über die Dauer der aktuellen Ampelphasen sowie über den Zeitpunkt des Übergangs zwischen den Phasen, falls eine Prognosefunktion für diese Anlage verfügbar ist (siehe „Ampelphasen-assistent“, Seite 38). Diese Informationen werden verwendet, um automatisierten Fahrzeugen zusätzlich zu den eigenen Kamerainformationen eine bestätigende Information der Ampel zukommen zu lassen. Dadurch wird die Sicherheit im Hinblick auf fahrerlose Fahrzeuge erhöht.

Wenn die Ampel eine Prognosefunktion hat, kann das Fahrzeug über die nächsten Schaltungen informiert und so der Verkehrsfluss optimiert werden, zum Beispiel indem frühzeitig verzögert oder beschleunigt wird. Zusammen mit der MAP-Datei wird dadurch ein komplexer Kreuzungsbereich für das Fahrzeug verständlich aufbereitet.

In TEMPUS wurden SPaT zusammen mit den MAP-Daten über die RSU an Testfahrzeuge versendet. Sofern alle Parameter zwischen beiden Datentypen abgestimmt sind, funktioniert dies zuverlässig. Vor allem die Verfügbarkeit und Genauigkeit der SPaT-Daten ist entscheidend, um eine effektive Integration in die Fahrzeugsysteme zu ermöglichen. Wie die MAP-Daten sind auch SPaT-Daten sicherheitskritisch, deren Übertragungssystem muss deshalb besondere Anforderungen erfüllen.



Hochgenaue Abbildung des Straßenraums als 3D-Punktwolken

Foto: LHM, 3D Mapping Solutions

## OpenDRIVE (HD-Karten)

HD-Karten sind hochauflösende digitale Karten, die detaillierte Informationen über Straßen, Verkehrszeichen, Spuren, Gebäude und andere geografische Merkmale enthalten.

Für die Erstellung einer HD-Karte des Testfelds wurde in TEMPUS OpenDRIVE genutzt, ein offenes, standardisiertes Datenformat für den Austausch von Straßen-geometrie- und Fahrbahndaten. OpenDRIVE ermöglicht die detaillierte Modellierung von Straßen, Fahrbahnen, Spuren, Verkehrszeichen und anderen Elementen. Es bietet eine einheitliche Methode, um Straßendaten zu beschreiben und auszutauschen, unabhängig von der verwendeten Software oder Plattform.

## Geodaten-Plattform

Eine GeoSaaS-Plattform ist eine Software-as-a-Service (SaaS)-Lösung, die geografische Daten und Funktionen bereitstellt. GeoSaaS steht für „Geospatial Software as a Service“. Diese Plattformen bieten Entwickler\*innen und Unternehmen die Möglichkeit, geografische Daten und Analysewerkzeuge über das Internet zu nutzen. GeoSaaS-Plattformen stellen typischerweise eine Vielzahl von geografischen Diensten zur Verfügung, darunter beispielsweise die Geodatenverwaltung, Geokodierung, Kartendarstellung, Routing (Bestimmung von Wegbeschreibungen) oder auch die räumliche Analyse. Die Plattformen bieten APIs (Application Programming Interfaces), mit denen Entwickler\*innen geografische Daten in ihre eigenen Anwendungen integrieren können. Durch die Verwendung einer GeoSaaS-Plattform können Unternehmen Zeit und Ressourcen sparen, da sie nicht in die Entwicklung und Wartung einer eigenen geografischen IT-Infrastruktur investieren müssen.

Einer der primären Anwendungszwecke einer GeoSaaS-Plattform ist das Datenmanagement, mit dem sich in der Regel Funktionen zum Speichern, Verwalten und Organisieren von diversen geografischen Daten bieten. Die Plattform gewährleistet, dass die Daten sicher gespeichert und einfach zugänglich sind.

Durch TEMPUS sind veröffentlichungswürdige Geodaten über die GeoSaaS-Plattform mit Standardschnittstellen entstanden, die durch das Projekt bereitgestellt werden können – darunter beispielsweise straßenraumbezogene 2D-Daten wie Fahrbahnmarkierungen,

Für das gesamte TEMPUS-Testfeld wurde eine hochgenaue digitale Referenzkarte im OpenDRIVE-Format erstellt. Diese konnte nicht nur in den Fahrzeugen für die Feldversuche und die Erprobung automatisierter Fahrfunktionen genutzt werden, sondern war gleichzeitig auch kompatibel zu den meisten Simulationsanwendungen. Die Größe und Genauigkeit der digitalen HD-Karte in TEMPUS ist einmalig und kann interessierten Akteur\*innen auf Anfrage zur Verfügung gestellt werden.

HD-Karten sind sehr detailliert und aufwendig in der Erstellung. Zu beachten ist, dass diese im Praxiseinsatz regelmäßig aktualisiert werden müssen.

Verkehrszeichen und Signalgeber sowie 3D-Daten wie 3D-Punktwolken.

Ein weiterer Anwendungszweck ist die Kartenerstellung und Visualisierung mit der GeoSaaS-Plattform. Diese beinhaltet Funktionen zum Anzeigen von geografischen Daten auf Karten, zum Überlagern mehrerer Informationsebenen und zur Interaktion innerhalb der Kartenanwendung. In TEMPUS haben wir diese Kartendarstellung verwendet, um das Testgebiet, die Buslinien und die verortbaren Punkte darzustellen. Darüber hinaus bietet die GeoSaaS-Plattform die Möglichkeit, räumliche Analysen wie beispielsweise Näherungsanalysen, Clusterbildungen oder Routenoptimierungen, anzuzeigen. Auf dieser Grundlage können Nutzer\*innen fundierte Entscheidungen treffen und wertvolle Informationen aus geografischen Daten extrahieren.

Einer der Hauptvorteile einer GeoSaaS-Plattform ist ihre Skalierbarkeit und Flexibilität. Die Plattform ist in der Cloud gehostet, sodass Benutzer\*innen ihre Ressourcen je nach Bedarf problemlos skalieren können. Sie können ortsunabhängig mit einer Internetverbindung darauf zugreifen.

Im Rahmen von TEMPUS wurden die Daten vor allem als Informationsgrundlage verwendet. Für die technische Umsetzung von automatisiertem und vernetztem Fahren ist die SaaS-Plattform kein essenzieller Bestandteil.

## Mobilitäts Daten Markt- platz (MDM)/ Mobiltheke

Mit der SaaS-Lösung und dem MDM beschreiben wir in diesem Leitfaden zwei Plattformen, die für Daten zum Thema Mobilität genutzt werden können. Die SaaS-Plattform eignet sich für statische Geoinformationen. Der MDM ist zusätzlich auf dynamische Verkehrsdaten ausgelegt.

Der MDM ist eine Mobilitätsdatenplattform und gleichzeitig der nationale Zugangspunkt für Mobilitätsdaten in Deutschland. Der MDM stellt eine neutrale Plattform für den Austausch bereit, auf der sichere Daten- und Kommunikationsstandards gelten. Vor allem öffentliche Verwaltungen und Infrastrukturbetreiber\*innen laden hier Daten hoch. Er ermöglicht verschiedenen Parteien wie Unternehmen, Forschungseinrichtungen, Behörden oder Start-ups, auf anonymisierte und aggregierte Mobilitätsdaten zuzugreifen. Der MDM spielt dadurch eine wichtige Rolle bei der Förderung von Innovationen im Mobilitätsbereich und der Verbesserung der Verkehrsplanung. Ende 2023 wird der MDM von der Mobiltheke abgelöst.

Der Vorteil der zentralen Plattform liegt darin, dass Datenbereitsteller\*innen die Daten nur noch an eine Stelle übermitteln müssen und nicht mit jedem Datenabnehmenden eine eigene Schnittstelle aufsetzen müssen. Für bestimmte Daten gibt es „Sammel-Publikationen“ der Länder oder des Bundes, in denen Daten von allen Gebietskörperschaften einer Region zusammengeführt werden. Für die Datenabnehmenden hat dies den Vorteil, dass sie nicht eine Vielzahl an Publikationen abrufen müssen, um flächendeckende Daten zu erhalten.

In TEMPUS wurden über den MDM verschiedene Verkehrsdaten bereitgestellt, wie beispielsweise Ampel-Schaltdaten und Zählschleifendaten. Diese Daten können als Grundlage für Simulationen dienen. Auch der Prognoseservice, der den Ampelphasenassistent mit SPaT-Daten versorgt, greift auf die Ampel-Schaltdaten im MDM zurück. Außerdem wurden über den Nationalen Zugangspunkt auch die kommunalen Verkehrsmanagementstrategien aus TEMPUS veröffentlicht, die nun von OEM oder Service Providern abgerufen werden können.

Da die Datenübertragung von der Ampel beziehungsweise RSU über die LSA-Steuerungszentrale zum MDM noch nicht echtzeitfähig ist, war die Berechnung zuverlässiger Prognosen im Projekt erschwert. Bestimmte Use Cases konnten so momentan noch nicht zielführend durchgeführt werden.

## Service Provider- Ebene

Im Bereich der Mobilität bezieht sich der Begriff „Service Provider“ auf Mobilitätsdienstleistende. Deren Dienstleistungen können verschiedene Bereiche abdecken und reichen von der Bereitstellung von Verkehrsdaten und -planungsdaten bis hin zur direkten Beförderung von Personen oder Gütern.

Service Provider verwenden häufig fortschrittliche Technologien und Algorithmen, um die Verkehrsdaten zu analysieren und daraus Informationen abzuleiten. Mit diesen können Benutzer\*innen vorab über Verkehrsbehinderungen oder Ampelzustände informiert werden, um ihre Reise effizienter zu gestalten. Die Verkehrsdaten werden dabei in Echtzeit aktualisiert. So tragen die Service Provider dazu bei, Verkehrsstaus zu vermeiden, Reisezeiten zu optimieren, den Kraftstoffverbrauch zu reduzieren und eine effizientere und stressfreiere Mobilität zu ermöglichen.

In TEMPUS wurde beispielsweise der Ampelphasendienst von einem Service Provider bereitgestellt. Hierzu wurden die Ampel-Schaltdaten und weitere verkehrstechnische Unterlagen von der Kommune zur Verfügung gestellt. Auf Basis dieser Daten gab der Service Provider eine Prognose, wie lange bestimmte Schaltphasen der Ampel noch dauern. Eine anspruchsvolle Aufgabe, weil die Ampeln oftmals kurzfristig von Anmeldungen durch Busse des ÖPNV beeinflusst werden – auf diese Veränderungen musste der Service Provider in seiner Prognose in Sekunden reagieren können.

## Anwendungs- ebene

Als Endnutzer\*innen profitieren Fahrzeuge beziehungsweise deren Insassen von den Informationen der Service Provider. Sie können die Informationen nutzen, um ihre Routenplanung und Fahrstrategie zu optimieren, beispielsweise um eine alternative Route zu wählen und so Staus oder Engstellen zu umfahren (siehe „Verkehrsmanagementstrategien“, Seite 46).

Informationen an Fahrzeuge können aber auch sicherheitsrelevante Informationen enthalten – wie zum Beispiel Baustellen oder andere potenzielle Gefahren wie die kreuzende aktive Mobilität oder Unfälle. Fahrzeuge können diese Informationen nutzen, um Warnungen oder Hinweise an die Fahrenden zu geben und deren Sicherheit zu erhöhen (siehe „Abbiegeassistent in ÖPNV-Bussen“, Seite 40).

Außerdem können Fahrzeuge Echtzeitinformationen von Ampeln empfangen, mit deren Hilfe sie eine Kreuzung sicher und zuverlässig queren können (siehe „Kommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur“, Seite 36). Mit den Prognosen der Ampelzustände kann auch der Verkehrsfluss verbessert werden. Dies gilt sowohl für den motorisierten Individualverkehr als auch für den Radverkehr (siehe „Ampelphasenassistent“, Seite 38).

Auch der öffentliche Personennahverkehr kann die Daten nutzen. Die Verkehrsunternehmen können mit Verkehrsinformationen in Echtzeit einen Überblick über den Verkehrsfluss erhalten und die Buspriorisierung an Ampeln anfordern. Durch die Kommunikation zwischen den Bussen und der Infrastruktur kann der Verkehrsfluss für Busse verbessert werden (siehe „Digitale ÖPNV-Beschleunigung“, Seite 44).



Foto: LBD, Landesbaudirektion Bayern

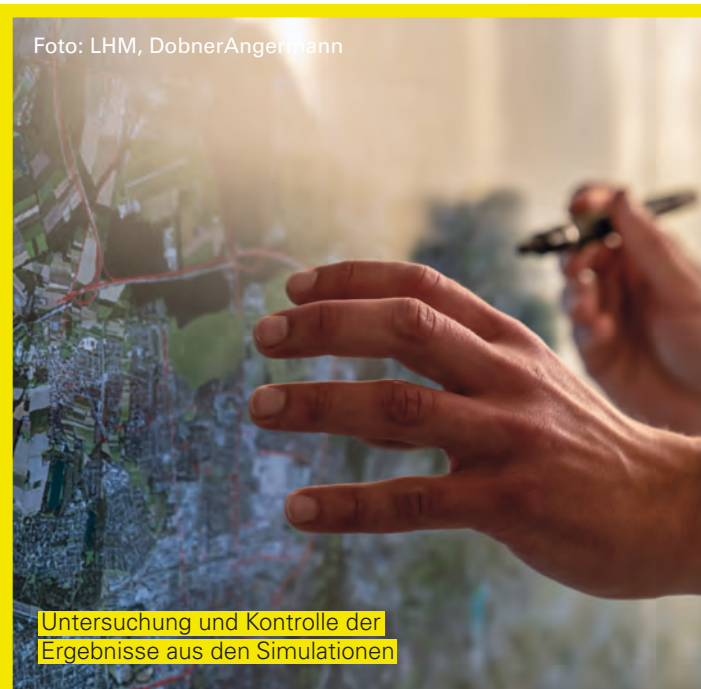


Anzeige der Ampelprognose für Radfahrer\*innen in einer Applikation

Anwendung des Ampelprognosedienstes fürs Fahrrad

# Simulation Gesamt- system

In TEMPUS wurde eine Abschätzung erstellt, wie sich automatisiertes und vernetztes Fahren auf den Verkehrsfluss insgesamt auswirkt. Dazu wurden in großflächigen Simulationen Veränderungen im Fahrverhalten im Vergleich zu menschlichen Fahrer\*innen abgebildet. Zusätzlich wurden mithilfe von Drohnen Daten erhoben, um die Interaktionen zwischen Fußgänger\*innen und Radfahrer\*innen mit automatisierten Fahrzeugen zu untersuchen. Dieses Wissen ist beispielsweise für die Entwicklung neuer Verkehrssteuerungen oder die Planung zukünftiger Infrastruktur relevant.



# Bürgerschaft (Akzeptanz)

Damit die neuen Technologien auch zu mehr Sicherheit, Effizienz und Gerechtigkeit beitragen, müssen diese genutzt werden. Die Akzeptanz durch nutzende Menschen (zum Beispiel Passagiere eines automatisierten und vernetzten Fahrzeuges) als auch durch interagierende Personen (zum Beispiel Fußgänger\*innen und Radfahrer\*innen) ist deshalb wichtige Voraussetzung, um die Technologien zu etablieren. Befürchtungen und Wünsche, insbesondere der vulnerablen Verkehrsteilnehmenden (beispielsweise Kinder, ältere Menschen, Mobilitätseingeschränkte aber auch generell Fußgänger\*innen und Radfahrer\*innen) und der Anwohnenden müssen berücksichtigt werden.

TEMPUS hat verschiedene Methoden angewendet, um sowohl qualitative als auch quantitative Daten zur Akzeptanz zu erhalten. Dabei lag der Fokus auf den interagierenden Personen:

- Eine groß angelegte Personenbefragung mit Anwohnenden des Testfelds und Menschen in München lieferte Erkenntnisse über die allgemeine Akzeptanz gegenüber automatisierten und vernetzten Fahrzeugen. Rund zwei Drittel aller Befragten bewerteten die Fahrzeuge grundsätzlich positiv, jede vierte Person würde allerdings nicht vor diesen die Straße überqueren. Insgesamt existierten vor allem Befürchtungen bezüglich der Datensicherheit.
- In Fokusgruppen wurde mit vulnerablen Verkehrsteilnehmenden über deren Befürchtungen und Wünsche diskutiert. Vor allem mobilitätseingeschränkte und ältere Personen erhofften sich von der neuen Technologie eine Verbesserung der eigenen Mobilität. Erfahrungen zu sammeln wurde als wichtiger Faktor bei der Bewertung der Fahrzeuge im Einsatz gesehen.
- Eine begleitende, quantitative Feldstudie in München lieferte Erkenntnisse über die tatsächliche Interaktion und Kommunikation zwischen einem (scheinbar) autonomen Fahrzeug und Fußgänger\*innen und Radfahrer\*innen. Obwohl ein Teil der befragten Personen auch Bedenken gegenüber dem Einsatz von autonomen Fahrzeugen äußerten, verhielten sie sich in der tatsächlichen Interaktion mit dem autonomen Fahrzeug nicht anders als mit konventionellen Fahrzeugen. Für das wahrgenommene Sicherheitsgefühl war vor allem die Fahrtdynamik des Fahrzeugs relevant.
- In partizipativen Bürgerveranstaltungen wurde zudem über das Projekt informiert und diskutiert, um Vorbehalte zu identifizieren und abzubauen.

Bei der Durchführung solcher begleitenden wissenschaftlichen Untersuchungen muss ausreichend Zeit für die Organisation und Überwindung bürokratischer Hürden eingeplant werden. Dennoch ist eine Begleitung unverzichtbar, um die notwendige gesellschaftliche Akzeptanz für die Einführung neuer Technologien zu erreichen.



# Fazit und Ausblick

Mit TEMPUS konnten zahlreiche innovative Lösungen getestet werden – unsere wichtigsten Erkenntnisse haben wir auf den folgenden Seiten zusammengestellt.



„Im Testfeld konnten wir an rund 65 Ampeln die Nahfeld-Kommunikation zwischen Infrastruktur und Forschungsfahrzeugen erfolgreich erproben.“

Claudine Mayer  
Baureferat  
Verkehrsleittechnik

## Erkenntnisse aus TEMPUS: Empfehlungen und Herausforderungen

Ab Seite 16 haben wir verschiedene Testfeldkomponenten vorgestellt. Welche Empfehlungen können wir aus dem praktischen Einsatz ableiten und welche Herausforderungen sehen wir als besonders bedeutsam?

### Welche Sendetechnologie wird sich durchsetzen?

Zu Projektbeginn und auch heute noch sind zwei Sendetechnologien für die V2X-Kommunikation im Einsatz: ITS-G5 und C-V2X (LTE-V2X). Die beiden Systeme sind nicht interoperabel, sofern sie im gleichen Frequenzband betrieben werden. Aus diesem Grund wurde für einen störungsfreien Testbetrieb im TEMPUS-Projekt seitens der Gebietskörperschaft eine eindeutige Vorgabe zur Frequenznutzung an die Projektpartner\*innen ausgegeben. Aufgrund der vorgegebenen Technologieneutralität von Kommunen lässt sich dieser Sachverhalt vermutlich nur durch eine Frequenzregulierung mit definierter Kanalzuteilung auflösen. Momentan ist in Klärung, wie die unterschiedlichen Kommunikationsstandards koexistieren können oder welche Funktechnologie sich am Markt durchsetzen wird.

### Werden RSU für das automatisierte und vernetzte Fahren benötigt?

Derzeit dient eine Road Side Unit (RSU) bei der Übertragung von SPaT- und MAP-Daten hauptsächlich als zusätzliche Information zur Erkennung von Ampelsignalen. Die Forschungsfahrzeuge empfangen Daten von der Infrastruktur und verifizieren die Daten ihrer eigenen Sensoren. Die Fahrzeug-sensorik kann die Daten nicht weiter verarbeiten. Nur durch die mögliche Übertragung einer Prognose kann das Fahrverhalten optimiert werden.

Ob diese Prognose des Signalbildes direkt über die RSU oder über ein Backend/eine Cloud kommen sollte, wird unterschiedlich bewertet.

Es ist hinsichtlich des autonomen Fahrens noch unklar, ob Fahrzeuge langfristig in der Lage sein werden, alle Situationen selbstständig zu bewältigen. Vorstellbar ist die Unterstützung automatisierter Fahrzeuge durch V2X-Kommunikation an sehr komplexen Knotenpunkten oder die Einführung einer solchen Technologie auf zunächst ausgewählten Strecken für Flottenfahrzeuge mit einer fortlaufenden Ausdehnung in die Fläche. Auch Mischformen sind denkbar, so könnten etwa Flottenfahrzeuge, die das „Bediengebiet“ verlassen, im Zweifelsfall durch „Remote-Operatoren“ in schwierigen Situationen ferngesteuert werden.

Mehr Potenzial für einen möglichen Flächenbetrieb gibt es bei der Nutzung von RSU mit Rückkanal, bei der Anwendung der digitalen Beschleunigung des öffentlichen Nahverkehrs oder der Priorisierung von Rettungsfahrzeugen. Diese Aspekte werden in dem neuen Forschungsprojekt MINGA (siehe Seite 32) genauer untersucht.

Bei vielen C2X-Anwendungsfällen werden jeweils die gleichen Standardkomponenten (RSU und OBU) eingesetzt. Somit besteht ein hohes Potential

von Synergien, weil die Hardware nicht jeweils für einzelne Use Cases beschafft werden muss.

Was TEMPUS gezeigt hat: Bei der Installierung von RSU ist es stets wichtig, den richtigen Standort zu finden. Nur so können die geforderten Reichweiten der Funksignale von mehreren hundert Metern erreicht werden. Eine flächendeckende Ausweitung erzeugt viel Arbeit und Kosten, da in einigen Fällen auch eine Aktualisierung der Steuergeräte erforderlich ist.

Zu beachten ist auch, dass im Falle einer ÖPNV-Priorisierung die Reichweiten der RSU zu kurz sein können. Hierzu forscht das MINGA-Projekt (Seite 32) zu einer verkehrstechnischen Konzepterstellung der ÖPNV-Priorisierung durch einen zentralenbasierten Ansatz und einer digitalen ÖPNV-Beschleunigung mit Praxistest in realer Umgebung.

### Wie können MAP-Daten aktualisiert werden?

In TEMPUS wurden die MAP-Daten sowohl intern erstellt als auch von externen Ingenieurbüros bezogen. Eine einmalige Erstellung reicht allerdings oft nicht aus, da bei Änderungen des Straßenraums im Kreuzungsbereich auch meist eine Aktualisierung der MAP erforderlich wird. Eine Aktualisierung der MAP-Daten wird ohne automatisierte Prozesse deshalb nur schwer durchgeführt werden können, da manuelle Erfassungen zeitaufwändig sind. Ein möglicher Lösungsansatz besteht darin, eine zentrale Stelle (Clearingstelle) einzurichten, die die Gültigkeit der MAP-Daten überprüft und entsprechende Rückmeldungen gibt.

### Wie können PKI-Dienste breiter genutzt werden?

In TEMPUS wurden die ausgesendeten Daten nur von den Forschungsfahrzeugen verarbeitet. Kommerzielle Fahrzeuge, die diese Daten bereits empfangen können, verwerfen diese direkt wieder, da die Projekt-RSU den zugehörigen PKI-Schlüssel nicht mit übergeben. Um die Nutzung der Daten künftig zu ermöglichen, ist es erforderlich, die Daten mittels PKI-Verschlüsselung zu zertifizieren. Dafür wird ein eigenes PKI-System aufgebaut und jede RSU angebunden.

### Welche Erkenntnisse gibt es zur Datenanbindung?

In TEMPUS wurden zwei externe Machbarkeitsstudien in Auftrag gegeben.

Die erste Studie befasste sich mit der OCIT-Migration, also die Umstellung der Schnittstelle zwischen der Verkehrszentrale und der Feldebene von VnetS (Bestand) auf OCIT (zukünftig). VnetS kann nur einmal pro Umlauf die Ampelprozessdaten zur Zentrale übertragen. Für viele kooperative Dienste ist dies zu spät und die Daten sind somit nicht für Echtzeitanwendungen verfügbar. Die Standard-Schnittstelle ermöglicht die sekundliche Übertragung.

Die zweite Studie untersuchte das Konzept und den Aufbau alternativer Übertragungstechniken für die Echtzeitübertragung von Verkehrsdaten aus der Feldebene (Ampel) an die Zentrale. Das vorhandene Datennetz, das die Ampeln an die Zentrale anbindet, kann die zu erwartenden Datenmengen voraussichtlich nicht übertragen. Aus diesem Grund wurde ein Konzept erarbeitet, das der Landeshauptstadt München die Möglichkeiten alternativer Übertragungstechniken aufzeigt.



Foto: LHM, Weber

„Eine zentrale Geodaten-grundlage und Aktualisierungsprozesse sind für Planung, Visualisierung und Simulation von entscheidender Bedeutung – diese konnten wir in TEMPUS aufbauen.“

Johannes Weber  
Kommunalreferat  
GeodatenService

### Wie können Daten für Verkehrsmanagementstrategien genutzt werden?

Mit dem Einsatz von C-ITS-Diensten können in Zukunft verkehrssteuernde Maßnahmen gewinnbringend eingesetzt werden. Dazu werden digitale verkehrsrelevante Informationen via RSU oder Mobilfunk an die Fahrzeuge übermittelt – diese reichen über digitale Schilder, dynamische Tempolimits, Baustellen und Großveranstaltungen bis hin zu Warnmeldungen über Einsatzfahrzeuge, Umweltzonen oder Informationen zur Parkraumsuche.

Im Bereich der Autobahnen ist in Bayern die Weitergabe von Umleitungsstrategien und dynamischen Inhalten von Verkehrsbeeinflussungsanlagen bereits im Regelbetrieb. Die Daten liegen auf dem MDM beziehungsweise künftig der Mobiltheke und können von Diensteanbieter\*innen der Automobilindustrie genutzt werden. Es gab zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Leitfadens Diskussionen zu den Themen Aktivierung der Strategie, Rolle der Navigationsdienstleister\*innen und Integration in die Fahrzeuge. Hierzu finden derzeit regelmäßig Gespräche mit Service Providern (beispielsweise Navigationsdienstleister\*innen oder OEM) statt. Zu welcher Nutzung diese Diskussionen führen, ist momentan noch nicht absehbar.



Foto: LHM, DobnerAngermann

„Vernetztes und automatisiertes Fahren erfordert eine umfangreiche Zusammenarbeit im Hintergrund, insbesondere zwischen benachbarten Gebietskörperschaften.“

Dr. Penny Deligianni  
Landesbaudirektion Bayern  
Zentralstelle Verkehrsmanagement (ZVM)



## Fazit und generelle Empfehlung für Kommunen

Das Themen- und Forschungsfeld des automatisierten und vernetzten Fahrens ist äußerst dynamisch und derzeit noch mit vielen Unsicherheiten für eine künftige Umsetzung behaftet. Dennoch sollten Kommunen sich frühzeitig mit der Thematik auseinandersetzen und eine Wissensbasis für kommende Technologien aufbauen.

Kommunen sollten dabei künftig mindestens die Potenziale für die Verkehrssicherheit nutzen und ihre Verkehrsinfrastruktur anpassen. Dazu gehört die Integration von intelligenten Verkehrssystemen, die Erfassung und Verarbeitung von Daten aus Fahrzeugen und anderen Verkehrsquellen sowie die Schaffung einer Infrastruktur zur Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Verkehrsinfrastruktur.

## Ausblick



**TEMPUS** war nach dem Projekt **EASYRIDE** das zweite Projekt, das sich mit dem automatisierten und vernetzten Fahren in München beschäftigte.

Mit dem Folgeprojekt **MINGA** (Start: 30. März 2023) geht die Forschung in München weiter. Das Projekt konzentriert sich auf drei große Anwendungsfälle: den Einsatz eines automatisierten Solo-Busses, eines Bus-Platoons sowie die Erprobung eines autonomen OnDemand-Systems. Diese innovativen Ansätze werden es ermöglichen, die Potentiale des automatisierten Fahrens im öffentlichen Nahverkehr weiter auszuloten und praktische Lösungen zu entwickeln. Zudem soll die Fortschreibung der digitalen ÖPNV-Beschleunigung im Rahmen von MINGA weitere Erkenntnisse für die Nutzung neuer Technologien im öffentlichen Nahverkehr erbringen.



Foto: LHM, DobnerAngermann

„Dank TEMPUS haben wir wertvolle Erkenntnisse erlangt, um allen Verkehrsteilnehmenden in Zukunft eine sichere, nachhaltige und vernetzte Mobilität zu ermöglichen.“

Christian Freimoser  
Mobilitätsreferat  
Verkehrssteuerung

## Weiterer Forschungsbedarf

Welche drängenden Fragen müssen die Forschung und der Gesetzgeber rund um automatisiertes und vernetztes Fahren in den kommenden Jahren beantworten?

Ein wichtiger Bereich sind die **rechtlichen und regulatorischen Aspekte** des automatisierten Fahrens. Die öffentliche Hand muss Gesetze und Vorschriften rund um Haftung und Datenschutz entwickeln, die den sicheren Betrieb von automatisierten Fahrzeugen ermöglichen. Es müssen rechtliche Rahmenbedingungen geschaffen werden, die eine sichere Integration des automatisierten Fahrens in den städtischen Verkehr erlauben. Mit dem „Gesetz zum autonomen Fahren“ wurde hier bereits der erste Schritt gemacht.

Ein wichtiger Forschungsbereich, insbesondere für Kommunen, ist die **Analyse und Nutzung von Verkehrsdaten**. Durch die Integration von automatisierten Fahrzeugen und intelligenten Verkehrssystemen entstehen große Mengen an Verkehrsdaten, die zur Optimierung der Verkehrssteuerung und -planung genutzt werden können. Für die Erfassung, Verarbeitung und Analyse dieser Daten bedarf es der Entwicklung von effizienten Methoden. Hier könnte auch der Einsatz künstlicher Intelligenz eine große Rolle spielen.

Darüber hinaus ist es wichtig, dass Kommunen auch **soziale und gesellschaftliche Auswirkungen** des automatisierten und vernetzten Fahrens berücksichtigen. Die Forschung kann dabei helfen, die Auswirkungen auf die Mobilität von Menschen mit unterschiedlichen Bedürfnissen, die soziale Integration und den Umweltschutz zu verstehen. Kommunen müssen sicherstellen, dass das automatisierte und vernetzte Fahren allen Bürger\*innen zugutekommt und eine gerechte und nachhaltige Mobilität gewährleistet.

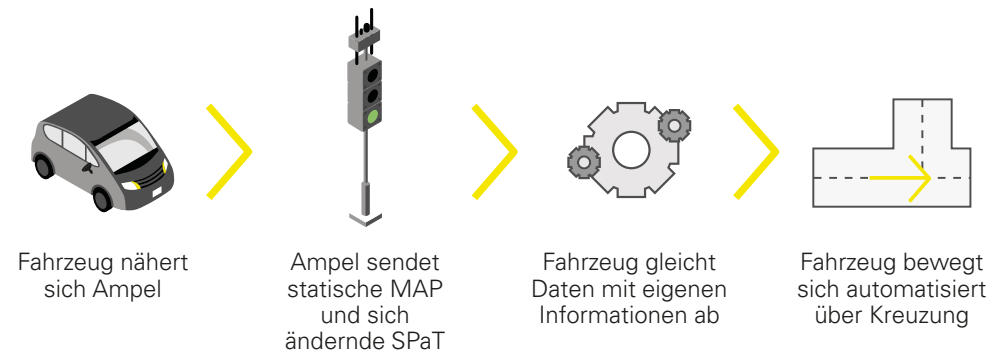
# Use

# Cases

Auf unserem Testfeld haben wir viele verschiedene Technologien getestet – eine Auswahl an besonders interessanten Anwendungsfällen haben wir auf den folgenden Seiten zusammengestellt.

# Kommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur

Übertragung des Echtzeitschaltzustands einer Ampel an ein Fahrzeug per Road Site Unit (RSU)



## Vorbedingung/Auslöser

Ein Fahrzeug bewegt sich auf eine Ampel zu. Dabei erhält es über die an der Ampel installierte RSU Informationen zum aktuell gültigen Ampelsignal. Die Ampeln können dabei je nach Ausstattung auch Informationen zu zukünftigen Ampelschaltungen an das Fahrzeug senden.

## Testanordnung

An Ampeln werden RSU installiert, die mit einem entsprechend ausgestatteten Fahrzeug kommunizieren und Ampel- und Kreuzungsinformationen (SPaT/MAP-Daten) austauschen. Je nach Konfiguration können Fahrzeuge auch Daten an die Ampeln senden. Dafür wurden im Rahmen von TEMPUS zwei verschiedene Funktechnologien (ITS-G5 und C-V2X) verwendet.

## Ergebnis

Durch die Kommunikation zwischen Ampel und Fahrzeug wird die komplexe Situation einer Kreuzung für das automatisierte Fahrzeug verständlich. Neben einer sicheren Fahrt über die Kreuzung können zusätzlich unnötige Beschleunigungs- und Bremsvorgänge reduziert werden. Die digitale Übertragung dient als Redundanz zur Fahrzeugsensorik.

Foto: LHM, DobnerAngermann



Installierte RSU an einem Mast am Straßenrand



Foto: LHM, DobnerAngermann

Übermittlung der Kreuzungstopologie und Signalphasen ins Fahrzeug

<p><b>Akteur*innen im TEMPUS-Testfeld</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Gebietskörperschaft</li> <li>— Ampelhersteller</li> <li>— OEM</li> </ul>	<p><b>Rolle der Kommune</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Verkehrstechnische Anordnung</li> <li>— Standortwahl</li> <li>— Vergabe der Lieferung und Montage der RSU</li> <li>— Veranlassung MAP-Erstellung</li> <li>— Bautechnische und funktionale Abnahme der RSU (Abnahmeprotokoll)</li> <li>— Anbindung PKI-Infrastruktur</li> </ul>	<p><b>Benötigte Daten für eine Umsetzung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Verkehrstechnische Unterlagen (VTU)</li> </ul>
<p><b>Generierte Daten durch Umsetzung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— MAP-Daten (Ingenieurarbeitsplatz)</li> <li>— SPaT-Daten (Steuergerät)</li> </ul>	<p><b>Herausforderungen und Anforderungen für die Kommune</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Erhöhter Personalbedarf und intensive Schulung</li> <li>— Hardware- und Wartungskosten</li> <li>— Erstellung und Haftung MAP-Daten (Aktualisierungen)</li> <li>— Unsicherheiten bei Marktdurchdringung</li> <li>— Einhaltung der KRITIS-Anforderungen</li> <li>— Anzahl Nutzer*innen steht zu Beginn noch nicht fest (Vorleistung)</li> <li>— Sicherstellung funktionale Sicherheit (gesicherte Informationsübergabe)</li> </ul>	<p><b>Erfahrungen aus TEMPUS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Die Wahl des Montagestandorts ist wichtig für die Reichweite der Signale</li> <li>— Aktualisierungen MAP-Dateien erforderlich (zum Beispiel Baustellen und Sonderfälle)</li> <li>— Die MAP-Standards werden unterschiedlich interpretiert (&gt;&gt; Verwendung des DiMAP-Leitfadens der OCA)</li> <li>— Richtiges Einstellen der Funktechnologien (Frequenzbänder in TEMPUS: ITS-G5 in 5895 - 5905 MHz und C-V2X in 5875 - 5885 MHz) ist erforderlich</li> <li>— Eine PKI-Verschlüsselung ist Voraussetzung für den Versand der Daten an kommerzielle Fahrzeuge</li> </ul>

# Ampelphasen-assistent

Der Ampelprognosedienst soll eine adaptive Fahrweise und damit eine effizientere Fortbewegung ermöglichen

## Vorbedingung/Auslöser

Ein Fahrzeug fährt auf eine Ampel zu und erhält Informationen über das aktuelle und zukünftige Signalbild und damit über einen bevorstehenden Signalbildwechsel.

## Ablauf

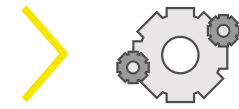
Eine Lichtsignalzentrale, ein Schaltzeitprognosedienst oder ein spezielles SPaT-Modul an der Ampel berechnet sekundlich eine Prognose des Schaltzustandes der Ampel und gibt diese via Mobilfunk oder per RSU direkt an das Fahrzeug oder eine App-Anwendung weiter. Die Übermittlung erfolgt in Form von SPaT- und MAP-Nachrichten.

## Ergebnis

Das Fahrzeug passt seine Fahrweise auf Grundlage der Prognose an und passiert die Kreuzung. Unnötige Beschleunigungs- und Bremsvorgänge können reduziert werden.



Fahrzeugsanmeldung beim Service-Provider



Übertragung Prozessdaten aus Ampelsteuergerät an LSA-Zentrale oder über SPaT-Modul



Übermittlung Daten via MDM oder direkte OCIT-Schnittstelle



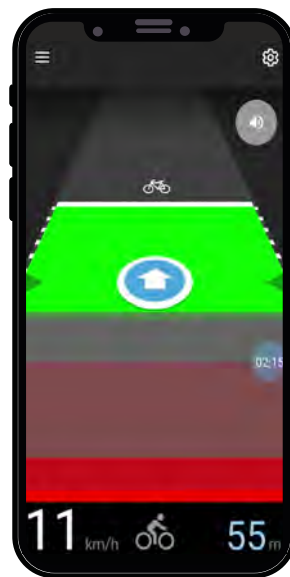
Prognose der Ampelschaltzustände



Bereitstellung Prognose-SPaT und MAP an Fahrzeug/App



Interpretation durch Fahrzeug und Anpassung Fahrweise



Ampelprognosedienst für das Fahrrad in einer Applikation

Foto: LBD, Landesbaudirektion Bayern



Foto: LHM, DobnerAngermann

Anzeige Countdown Ampelprognose bis zur Umschaltung auf grün



Foto: LHM, DobnerAngermann

### Akteur\*innen im TEMPUS-Testfeld

- Gebietskörperschaft
- Ampelhersteller (wenn der Service durch einen Service Provider ermöglicht wird, ist der Ampelhersteller nicht involviert)
- Echtzeitfähige LSA-Zentrale oder lokales SPaT-Modul
- Service Provider/App-Provider/Schaltzeitprognose-dienstleister
- OEM

### Rolle der Kommune

- Bereitstellung Ampelprozessdaten (über MDM falls notwendig), möglichst in Echtzeit oder Ausstattung der Ampeln mit SPaT-Modulen

### Benötigte Daten für eine Umsetzung

- Verkehrstechnische Unterlagen
- Ampelsignalpläne
- Ampelsteuerungs- und Versorgungsdatei
- nach Möglichkeit Ampelplanungsdatei (VIAP-Datei)
- Ampelprozessdaten

### Herausforderungen und Anforderungen für die Kommune

- Kosten Hardware (SPaT-Modul und RSU, ggf. zentraler Verkehrsrechner)
- Priorisierung der Ausführung auf strategischem Netz
- Bereitstellung aller LSA-Prozess- und eventuell MAP-Daten
- Abstimmung mit Service Provider hinsichtlich Bereitstellung Versorgungsdaten
- Sicherstellung Interoperabilität
- Echtzeitanbindung aller Ampeln in eine LSA-Zentrale (nicht bei lokaler SPaT-Modul-Lösung)
- Ausstattung der Ampeln mit RSU und Update Steuergerät (bei lokaler SPaT-Modul-Lösung)

### Erfahrungen aus TEMPUS

- Anforderungen an Latenzzeiten und Mobilfunk-Vorbedingungen müssen bestimmt werden
- Große Latenzzeiten wirken sich nachteilig auf die Ampelprognosen aus. Es besteht die Möglichkeit, eine cloudbasierte LSA-Zentrale zu nutzen, die sehr niedrige Latenzzeiten aufweist (alternativ: Ausstattung der Ampel mit einem SPaT-Modul, das auch sehr geringe Latenzen aufweist, aber herstellerabhängig ist).
- Use Case kann auch für einen Ampelprognosedienst für Radfahrende und ÖV-Fahrzeuge übernommen werden

### Generierte Daten durch Umsetzung

- Prognose SPaT-Daten und MAP-Daten mit zusammenpassender Versionierung

### Vorteile für die Kommune

- Verbesserung des Verkehrsflusses (weniger Emissionen durch verminderte Beschleunigungs- und Bremsvorgänge)

# Abbiegeassistent in ÖPNV-Bussen

C2X-Technik: Abbiegeassistent in Bussen für mehr Verkehrssicherheit

## Vorbedingung/Auslöser

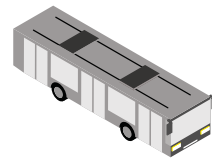
Ein Bus bewegt sich auf eine Kreuzung zu und will nach rechts abbiegen. Die aktive Mobilität, beispielsweise eine Fahrradfahrerin, würde beim Abbiegen dessen Fahrweg kreuzen, ein potenzieller Konfliktpunkt mit dem Bus entsteht.

## Ablauf

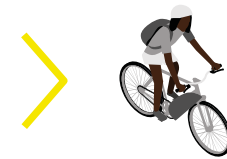
Im Kreuzungsbereich wird erweiterte Sensorik (Kameras, Rechner, RSU) angebracht. Diese kann die Verkehrsteilnehmenden erkennen. Eine künstliche Intelligenz berechnet, ob es einen möglichen Konfliktpunkt zwischen dem nach rechts abbiegendem Bus und der kreuzenden aktiven Mobilität gibt. Wenn das der Fall ist, wird über eine RSU eine Warnmeldung an den Bus gesendet. Dort ist ein Empfangsgerät (OBU) angebracht, welches die Warnmeldung akustisch und optisch anzeigt.

## Ergebnis

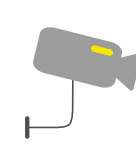
Durch die Warnmeldung erhält der/die Busfahrer\*in frühzeitig eine Hilfestellung, durch die potenzielle Unfälle vermieden werden können.



Bus nähert sich Kreuzungsbereich



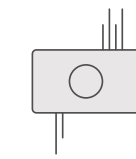
Objekt nähert sich Kreuzungsbereich



Objekte im Kreuzungsbereich werden von Sensorik erkannt



Fahrzeug und VRU besitzen potenziellen Konfliktpunkt



RSU übergibt Gefahreninformation an OBU im Bus



OBU erhält Information und gibt Warnung an Busfahrer\*in



Benötigte Kameras für die Durchführung des Abbiegeassistenten

Foto: LHM, DobnerAngermann

Foto: LHM, DobnerAngermann



Anzeige von Warnhinweis vor Konflikt auf OBU in Bus

### Akteur\*innen im TEMPUS-Testfeld

- Gebietskörperschaft / Straßenbaulastträger
- OEM
- Ampelhersteller (Projekt des Industriepartners)

### Generierte Daten durch Umsetzung

- Objektklassifizierungen
- Warnmeldung im DENM-Format

### Vorteile für die Kommune

- Potenzielle Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Erweiterung des Detektionsbereichs beim Abbiegevorgang
- Keine Umbaumaßnahmen notwendig
- Ampelunabhängig (Abbiegeassistent kann auch an nicht signalisierten Kreuzungen aufgebaut werden)

### Rolle der Kommune

- Bereitstellung Kreuzung
- Genehmigung der Sondernutzung bei externer Bereitstellung
- Erlaubniserteilung zur Befestigung der Sensorik an der Straßeninfrastruktur (Mast)
- Prüfung Datenschutzstellungnahme

### Herausforderungen und Anforderungen für die Kommune

- Verkehrssicherungspflicht muss erfüllt werden (Überwachungskonzept)
- Kosten Sensorik-Einheit
- Stromkosten für Sensorik-Einheit
- Wartungskosten Hardware
- Installation an Masten
- Prüfung Haftungsfragen
- Prüfung Datenschutzstellungnahme (Kameras)
- Sicherstellung funktionale Sicherheit (gesicherte Informationsübergabe)

### Benötigte Daten für eine Umsetzung

- Position und Bewegungsdaten der aktiven Mobilität
- Objektklassifizierungen
- Position und Bewegungsdaten des Fahrzeugs
- Kreuzungsgeometrie (Furt)

### Erfahrungen aus TEMPUS

- Die Wahl des Standorts der Sensorik ist wichtig für die Qualität der Warnmeldungen
- Warnmeldungen im DENM-Format können aktuell noch nicht gezielt an das abbiegende Fahrzeug gesendet werden, sondern werden per Broadcast an alle Fahrzeuge im Bereich der Kreuzung gesendet
- Beachtung Datenschutz wegen kamerabasierter Detektion
- Integration in die Fahrzeuge muss eng mit OEM abgestimmt werden
- Fahrzeuge, die noch nicht über einen fahrzeugseitigen Abbiegeassistenten verfügen, können mit einer OBU ausgestattet werden

# Digitale Priorisierung Rettungsfahrzeuge

Automatische Grün-Schaltung für Blaulichtfahrzeuge zur Vermeidung von Unfällen

## Vorbedingung/Auslöser

Ein Rettungsfahrzeug nähert sich einer Ampel, die mit einer RSU samt Rückkanal ausgestattet ist und meldet sich automatisch an dieser an.

## Ablauf

Die Ampel muss zunächst mit einem Empfangsgerät, also einer RSU, ausgestattet und entsprechend konfiguriert werden. Eine Sendeeinheit im Fahrzeug (OBU) kann dann mit der Ampel kommunizieren (ITS-G5) und eine Grün-Schaltung anfordern.

## Ergebnis

Das LSA-Steuergerät schaltet die Ampel dann, sobald wie technisch möglich, auf Grün. Gleichzeitig werden alle anderen Verkehrsströme – inklusive Fußgänger\*innen und Radfahrer\*innen – gesperrt, sprich diese erhalten eine rote Ampel.



Rettungsfahrzeug mit OBU nähert sich Kreuzung mit Ampel



Rettungsfahrzeug teilt RSU Anmeldewunsch mit



Fahrzeug erhält grün, alle anderen Verkehrsströme rot



Fahrzeug überfährt Kreuzung konfliktfrei



Abmeldung Fahrzeug von Ampel



Normalbetrieb Ampel geht weiter

Foto: LBD, Landesbaudirektion Bayern



Nach digitaler Anmeldung passiert ein Einsatzfahrzeug sicher die Kreuzung

### Akteur\*innen im TEMPUS-Testfeld

- Gebietskörperschaft / Straßenbaulastträger
- Ampelhersteller
- Rettungsfahrzeuge (Polizei, Feuerwehr, Rettungswagen)

### Generierte Daten durch Umsetzung

- Anmeldungen von Einsatzfahrzeugen
- CAM mit optionalem Container des Einsatzfahrzeugs
- Log-Daten Einsatzfahrzeug (OBU)
- Telegramme (R09 in CAM)

### Vorteile für die Kommune

- Verringerung des Unfallrisikos mit anderen Verkehrsteilnehmenden (speziell Gehörlose) bei Querung Einsatzfahrzeug über Kreuzung
- Priorisierung der Einsatzfahrzeuge

### Rolle der Kommune

- Verkehrstechnische Anordnung
- Standortwahl
- Beschaffung RSU mit Rückkanal
- Montage und Installation RSU
- Bautechnische und funktionale Abnahme der RSU (Abnahmeprotokoll)
- Beschaffung OBU
- Auswertung Meldepunkte und Qualitätskontrolle

### Herausforderungen und Anforderungen für die Kommune

- Fortlaufende Datenhaltung
- Kosten Hardware (RSU, OBU)
- Standardisierung der Schnittstellen
- Zulassungsbetriebsrecht muss beachtet werden
- Genehmigung nach KRITIS Richtlinien

### Benötigte Daten für eine Umsetzung

- Verkehrstechnische Unterlagen (VTU)
- MAP-Nachrichten
- Verkehrsingenieurarbeitsplatz Meldepunkte

### Erfahrungen aus TEMPUS

- Einfache Integration der OBU in Fahrzeuge beispielsweise durch Einstecken in Zigarettanzünder
- Für Datenversorgung und Konfiguration von OBU, RSU und Ampel müssen Schnittstellen abgestimmt und erstellt werden
- MAP und SPaT müssen in der RSU korrekt zusammengeführt werden
- Richtiges Einstellen der Funktechnologien (Frequenzbänder, ITSG5 in 5895 - 5905 MHz) ist erforderlich
- Priorisierung der Einsatzfahrzeuge hat in den Tests sehr gut funktioniert; die Technologie sollte künftig an Ampeln verschiedener Hersteller untersucht werden

# Digitale ÖPNV-Beschleunigung

Überführung analoger ÖPNV-Beschleunigung ins digitale Zeitalter

## Vorbedingung/Auslöser

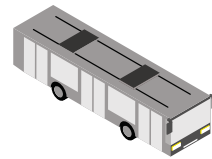
Ein Bus nähert sich einer Ampel (samt RSU mit Rückkanal) und meldet sich an dieser an, um in der Ampelschaltung priorisiert zu werden.

## Ablauf

Es wird eine RSU mit Rückkanal am Steuergerät der Ampel benötigt, die Informationen von Tram und Bus empfangen, verarbeiten und darauf reagieren kann. Beim gesamten Vorgang werden verschiedene Meldepunkte vom ÖPNV-Fahrzeug ausgesendet. Dabei erfolgen die Anmeldungen auf digitalem Weg, indem über CAM-Nachrichten R09-Telegramme an die RSU beziehungsweise die Ampel gesendet werden.

## Ergebnis

Der Bus kann Einfluss auf die jeweiligen Ampelschaltungen nehmen und Grünphasen verlängern oder anfordern. Eine Wartezeit an der Kreuzung kann dadurch oftmals vermieden und die Fahrtzeit des Busses verkürzt werden.



Bus nähert sich signalisierter Kreuzung



Anmeldung Bus über digitale Meldepunkte



Vorbereitung ÖPNV-Priorisierung in der Ampelsteuerung



Bus erhält grün und passiert Ampel, ohne anzuhalten



Abmeldung Bus von Ampel



Normalbetrieb Ampel geht weiter

Foto: LHM, DobnerAngermann



Digitale Anmeldung eines Busses an einer Kreuzung zur Priorisierung

### Akteur\*innen im TEMPUS-Testfeld

- Straßenverkehrsbehörde/ Straßenbaulastträger
- Ampelhersteller
- Mobilitätsdienstleister/ Verkehrsunternehmen

### Generierte Daten durch Umsetzung

- Telegramme (R09 in CAM)
- Log-Daten Fahrzeug (OBU2X)
- KPM-Daten (Meldepunkte)

### Vorteile für die Kommune

- Steigerung Attraktivität des ÖPNV
- Verbesserung Pünktlichkeit, Fahrplanstabilität und Zuverlässigkeit des ÖPNV
- Reduzierung der Reisezeit beziehungsweise Erhöhung der Beförderungsgeschwindigkeit des ÖPNV

### Rolle der Kommune

- Anpassung der Verkehrstechnik
- Verkehrsrechtliche Anordnung
- Beschaffung RSU mit Rückkanal
- Montage und Installation RSU
- Bautechnische und funktionale Abnahme der RSU (Abnahmeprotokoll)
- Qualitätsmanagement

### Herausforderungen und Anforderungen für die Kommune

- Wartungs- und Betriebskosten
- Anschaffungskosten (OBU2X und RSU)
- Genehmigung nach KRITIS Richtlinien wegen Rückkanal
- PKI-Infrastruktur für Skalierung notwendig
- Entscheidung notwendig: lokale ÖPNV-Priorisierung oder Priorisierung über ÖPNV-Zentrale (Mischformen sind denkbar)

### Benötigte Daten für eine Umsetzung

- Verkehrstechnische Unterlagen
- Datenblätter zur OBU2X und RSU
- Schnittstellendefinitionen zwischen OBU2X, RSU und Ampel
- R09-Telegramme in digitalen CAM-Nachrichten

### Erfahrungen aus TEMPUS

- Zusätzlich zum Bordrechner muss OBU2X in Fahrzeug integriert werden
- Abstimmung Schnittstellen für Datenversorgung und Konfiguration von RSU und Ampel muss vorgenommen werden
- Mischbetrieb analoger und digitaler ÖPNV-Beschleunigung in Übergangszeit notwendig
- Reichweite digitaler Anmeldung von örtlichen Gegebenheiten begrenzt
- An Ampeln sollten herstellerübergreifende Tests durchgeführt werden

# Verkehrsmanagementstrategien

Bereitstellung stadtverträglicher, kommunaler Verkehrsmanagementstrategien in Fahrzeugen

## Vorbedingung/Auslöser

Ein bekanntes, planbares Ereignis (zum Beispiel eine Veranstaltung) oder ein nicht planbares Ereignis (zum Beispiel ein Unfall) findet statt. Dieses Ereignis löst eine vorab festgelegte Verkehrsmanagementstrategie mit dazugehörigen Maßnahmen aus.

## Ablauf

Zur Verhinderung von Staus werden Umleitungsstrategien geschaltet und über den MDM veröffentlicht. Basis sind zuvor definierte verkehrliche Schwellenwerte, die zur automatisierten Strategieauslösung führen. Die Empfänger (Navigationsdienstleister\*innen, OEM) können diese Strategien über den MDM abrufen und bereitstellen. Die Information und Lenkung kann über VBA entlang der Strecke oder über Anzeige im Fahrzeug erfolgen.

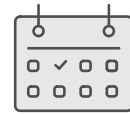
## Ergebnis

Die Verkehrsstrategien und die damit einhergehende Verkehrslenkung und -information kann zur Verringerung oder Vermeidung von verkehrlichen Problemsituationen führen. Zur Erreichung eines hohen Befolgungsgrades ist die Angabe des Grundes der Strategie und der geänderten Verkehrslenkung zwingend erforderlich.

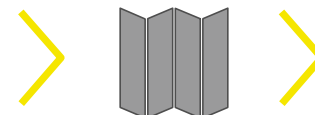


Anzeige von kommunaler Route im Navigationssystem eines Fahrzeugs

Foto: LHM, DobnerAngermann



Ereignis ist bekannt



Kommune entwickelt spezielle Strategie für ein Ereignis



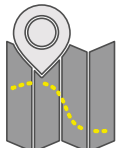
Strategie wird georeferenziert eingepflegt und publiziert



Strategie wird abgerufen



Bereitstellung Informationen im Fahrzeug/durch die Infrastruktur



Mögliche Verkehrslenkung setzt ein



Foto: LHM, DobnerAngermann

Planung von kommunalen Verkehrsmanagementstrategien

### Akteur\*innen im TEMPUS-Testfeld

- Gebietskörperschaft/ Straßenbausträger
- Endnutzer (OEM, Navigationsdienstleister)
- Service Provider
- BASt (MDM-Plattform)

### Generierte Daten durch Umsetzung

- Verkehrsstrategien auf Seiten der öffentlichen Hand sowie Hintergrundinformationen (DATEX II)
- DATEX II Version 3 mit Syntax XML über den MDM abrufbar bzw. bereitgestellt
- Stellzustand SBA/VBA

### Vorteile für die Kommune

- Verminderung Staus, besserer Verkehrsfluss
- Empfehlung einer stadtverträglichen Umfahrung
- Verhinderung von Ausweichverkehr durch bestimmte Zonen (Vorrangnetz)

### Rolle der Kommune

- Entwicklung Strategien
- Software-Beschaffung
- Georeferenzierte Bereitstellung
- Strategiebereitstellung über MDM/Mobilithek
- Ausarbeitung Datenweg
- Definition Schwellenwert zur Strategieschaltung
- Ergebnisanalyse

### Herausforderungen und Anforderungen für die Kommune

- Kenntnisse über und Analyse von Verkehr erforderlich
- Planbare Ereignisse müssen konsequent eingepflegt werden
- Absprache mit Anrainerkommunen notwendig
- Software- und FCD-Kosten
- Ausweichverkehr darf nicht durch sensible Zonen geführt werden (Tempo 30, Kindergärten, Stichwort „Widerstandszonen“)

### Benötigte Daten für eine Umsetzung

- Echtzeitverkehrsdaten (FCD)
- Baustellen- und Veranstaltungsdaten
- Standortdaten Ampeln
- Weitere Verkehrsinformationen
- SBA und VBA Konfiguration/Verortung

### Erfahrungen aus TEMPUS

- Gekaufte FCD müssen auf Netzgrundlage der Kommune referenziert werden
- MDM-Upload benötigt definierten Datenweg
- Integration der Strategien in Fahrzeuge momentan nicht vertretbar, da zu geringe Durchdringungsrate
- Verkehrlicher Nutzen noch nicht bestätigt



# Glossar

## AVF

Abkürzung für **a**utomatisiertes und **v**ernetztes **F**ahren.

## BASt

BASt steht für die **B**undes**a**nstalt für **S**traßenwesen und ist eine deutsche Forschungseinrichtung, die sich mit verschiedenen Bereichen des Straßenverkehrs, der Verkehrssicherheit, der Verkehrsinfrastruktur und der Straßenbautechnologie befasst.

## DENM

DENM steht für **D**ecentralized **E**nvironmental **N**otification Messages und bezieht sich auf standardisierte Nachrichtenformate, die für die drahtlose Kommunikation zwischen Fahrzeugen und der Verkehrsinfrastruktur verwendet werden, um Informationen über Umweltbedingungen und Ereignisse auszutauschen.

## dWiSta

Als **d**ynamischer **W**egweiser mit **i**ntegrierten **S**tai**i**nformationen (dWiSta) wird ein Anzeigesystem bezeichnet, das Verkehrsinformationen an die Verkehrsteilnehmenden weitergibt.

## FG4

In der **F**unktions**g**ruppe **4** Verkehrsdaten wird die Steuerung von Streckenbeeinflussungsanlagen (SBA) und Wechselwegweisern (dWiSta) durch Datenausgabegeräte (DAG) beschrieben.

## Gebietskörperschaftsübergreifend

Gebietskörperschaftsübergreifend bedeutet, dass mehrere Hoheitsgebiete/Verwaltungsebenen eingebunden sind.

## ITS-G5 und C-V2X

Kurzstreckenkommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur.

ITS-G5: WLAN-basierte Lösung für V2X nach ETSI-Standard IEEE 802.11p

C-V2X (LTE-V2X): mobilfunkbasierte Lösung für V2X nach 3GPP-Standards

## KPM

Das KPM-System wertet die **k**omprimierten **M**eldungen aus, die bei jedem Umlauf vom LSA-Steuergerät zusammengestellt werden und kann darüber hinaus sogenannte Kursverfolgungen erzeugen. Auf diesen Kursverfolgungen beruhen weitere Auswertungen, beispielsweise über Fahrzeiten, Ankunftszeitverteilungen an einer Anlage oder die Qualität von Meldepunktdateien.

## KRITIS

Die Road Side Units (RSU) sind Teil der kritischen Infrastrukturen (KRITIS). Sowohl die eingesetzten Produkte, als auch die Planungs- und Errichtungsprozesse, müssen daher besonderen Anforderungen, insbesondere zur Ausfallsicherheit, Verfügbarkeit und dem Schutz gegen äußere Angriffe, genügen. Diese Anforderungen werden durch den UP-KRITIS und das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) dokumentiert.

## LSA

Lichtsignalanlage, der Fachbegriff für eine Ampel

## MAP und SPaT

MAP und SPaT sind Datentypen. Sie werden über die RSU an Fahrzeuge im Kreuzungsbereich ausgesendet. Eine MAP-Datei enthält die Straßentopologie, eine SPaT-Datei das Signalbild der Ampel (**S**ignal **P**hase **a**nd **T**iming).

## MDM

Der Mobilitäts Daten Marktplatz (MDM) ist ein zentrales Online-Portal, das Verkehrsdaten bereitstellt. Dadurch wird ein vereinfachter Datenaustausch mit Dritten ermöglicht. Der MDM (in Zukunft die Mobilithek) wird auch als Nationaler Zugangspunkt bezeichnet.

## Messstecker

Vorrichtung zum automatisierten Abgreifen der elektrischen Schaltsignale im Steuergerät.

## OCA

Die **O**pen Traffic Systems **C**ity **A**ssociation e. V. ist ein Verband öffentlicher Baulastträger und Betreiber in der Straßenverkehrstechnik. Er vertritt die Belange aller öffentlichen Verwaltungen bei der Entwicklung offener Standards für Ampeln, Verkehrsrechner und Verkehrsleitzentralen.

## OCIT

**O**pen **C**ommunication **I**nterface for **T**raffic signal controllers ist ein offener Kommunikationsschnittstellenstandard für Ampelsteuerungen, der den Austausch von Verkehrsdaten und -steuerungsinformationen zwischen verschiedenen Verkehrssignalsteuersystemen ermöglicht.

## OEM

Ein **O**riginal **E**quipment **M**anufacturer ist ein Unternehmen, das Komponenten, Teile oder Geräte herstellt, die in andere Produkte integriert werden. Im Kontext des Leitfadens sind damit Automobilhersteller\*innen gemeint.

## OBU / OBU2X

Eine **O**n **B**oard **U**nit ist das Gegenstück zur Road Side Unit. Diese wird im Fahrzeug verbaut und kann Daten versenden, empfangen und verarbeiten.

## PKI

Eine **P**ublic **K**ey **I**nfrastructure dient dazu, die Sicherheit und Vertraulichkeit von digitalen Kommunikationen zu gewährleisten, indem sie digitale Zertifikate zur Authentifizierung und Verschlüsselung verwendet. Zertifikate werden verwendet, um die Identität von Teilnehmenden zu überprüfen und die Integrität von Daten zu gewährleisten.

## R09

Ein R09-Telegramm wird im öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) eingesetzt und bezeichnet eine normierte Nachricht, die im Rahmen der Verkehrstelematik zur Übertragung von Informationen verwendet wird. Es kann Angaben über Zuglänge, Melde-, Linien-, Kurs- und Routennummer enthalten.

## RSU

Eine **R**oad **S**ide **U**nit ist ein Funkmodul, das an Ampelanlagen montiert wird und Daten/Informationen je nach Konfiguration empfangen und versenden kann. Die RSU kann beispielsweise Informationen über die Straßentopologie und den Signalzustand der Ampel an das automatisierte Fahrzeug senden (SPaT und MAP) oder ÖPNV-Telegramme empfangen. Für die Priorisierung von ÖPNV- oder Einsatzfahrzeugen werden RSU mit Rückkanal benötigt.

## SaaS

**S**oftware **a**s **a** **S**ervice bezeichnet die cloudbasierte Bereitstellung von Software und Daten.

## SBA

Eine **S**trecken**b**eeinflussungs**a**nlage ist ein Anlagentyp einer VBA, die durch dynamische Verkehrszeichen den Verkehr bedarfsgerecht steuert, wie beispielsweise Geschwindigkeitsbeschränkungen bei Stau oder schlechter Witterung.

## Service Provider

Ein Service Provider ist ein Unternehmen oder eine Organisation, die Dienstleistungen oder Services für andere Unternehmen oder Endnutzer\*innen bereitstellt.

## VBA

**V**erkehrsb**e**influssungs**a**nlagen werden eingesetzt, um die Verkehrssicherheit zu erhöhen und den Verkehrsfluss zu optimieren. Je nach Standort und Bedarf gibt es verschiedene Anlagentypen.

## VIAP

Ein **V**erkehrsb**i**ngenieur**a**rbeits**p**latz beschreibt eine Software-Umgebung, in welcher die Ampelplanung durchgeführt wird.

## VnetS

Das **V**erkehrsb**n**etz**S**teuerungssystem wird aktuell bei der Landeshauptstadt München zur Anbindung von Feldgeräten (Ampeln, Detektoren, Wechselwegweiser und Freitextanzeigen) an die Gebietszentralen eingesetzt.

## VRU

VRU ist die Abkürzung für vulnerable Verkehrsteilnehmende, die besonders verletzlich sind und deren Belange deshalb besonders berücksichtigt werden müssen. VRU sind Fußgänger\*innen, Radfahrer\*innen oder E-Tretrollerfahrer\*innen, ebenso wie Kinder, ältere und mobilitätseingeschränkte Personen. Diese VRU werden auch als aktive Mobilität bezeichnet.

## V2X oder C2X

V2X steht für Vehicle-to-X (beziehungsweise C2X für Car-to-X) und bezieht sich auf die drahtlose Kommunikation zwischen Fahrzeugen (Vehicle) und anderen Verkehrsteilnehmenden oder der Verkehrsinfrastruktur (X), um Informationen auszutauschen und die Verkehrssicherheit sowie Effizienz zu verbessern.

## WWW

Ein **W**echsel**w**eg**w**eiser ist ein Verkehrszeichen, das auf Autobahnen und Schnellstraßen verwendet wird und seine Anzeige je nach Verkehrssituation oder Reisebedingungen ändert, um den Verkehrsteilnehmenden aktuelle Informationen über Ausfahrten, Umleitungen oder die Verkehrsführung zu geben.



# Impressum

Landeshauptstadt München  
Mobilitätsreferat  
Marienplatz 8  
80331 München

[tempus@muenchen.de](mailto:tempus@muenchen.de)  
[tempus-muenchen.de](http://tempus-muenchen.de)

**Gesamtgestaltung:**  
Ramona Pielenhofer

**Grafiken:**  
Founders Reserve Media GmbH

**Fotos:**  
siehe Fotocredits

**Text:**  
Falko Müller

**Fördermittelgeber:**  
Bundesministerium  
für Digitales und Verkehr

**Projekträger:**  
Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt

**Druck:**  
druckwerk Druckerei GmbH  
Gedruckt auf Papier  
aus 100 % Recyclingpapier

**Stand:**  
November 2023

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



