

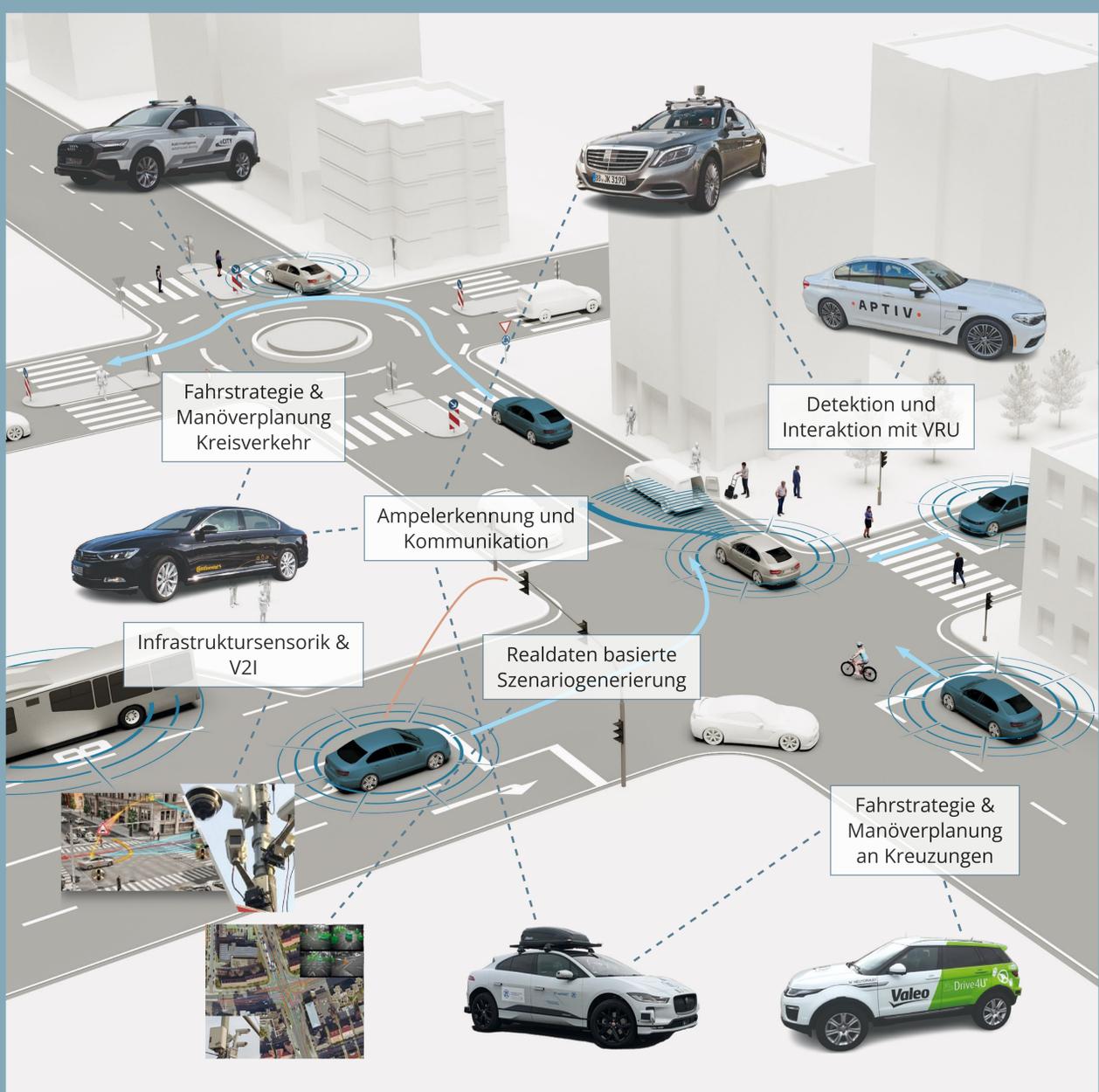
# Automatisiertes Fahren über urbane Knotenpunkte (TP 5)

## Übersicht

### Motivation und Ziele

- ☉ Unfallschwerpunkte im Stadtverkehr sind vor allem Knotenpunkte wie Kreisverkehre und Kreuzungen
- ☉ Etwa 90 % aller Verkehrsunfälle mit Verletzten werden durch menschliches Fehlverhalten verursacht
- ☉ Verbesserung der Sicherheit an urbanen Knotenpunkten durch automatisiertes Fahren über Kreuzungen und Kreisverkehre unter Berücksichtigung der Verkehrsregeln und anderer Verkehrsteilnehmer

### Arbeitsergebnisse & Versuchsträger



[www.atcity-online.de](http://www.atcity-online.de)

Partner:

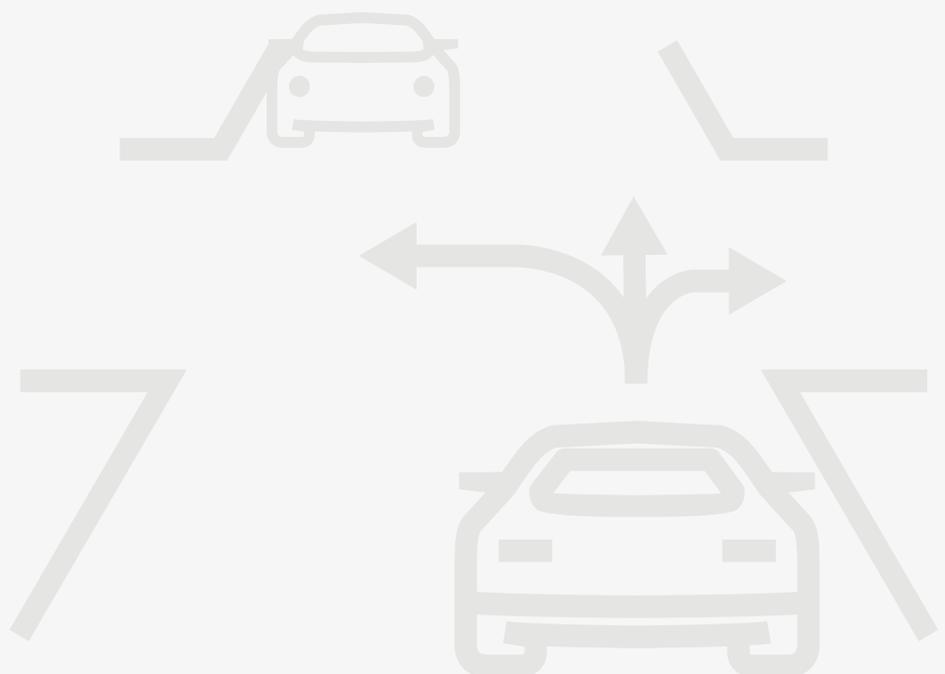
- Aptiv Services Deutschland GmbH
- AUDI AG
- Continental Safety Engineering International GmbH
- Continental Teves AG & Co. oHG
- Deutsches Zentrum f. Luft- u. Raumfahrt e.V.
- Mercedes-Benz AG
- Valeo Schalter und Sensoren GmbH
- ZF Group
- 3D Mapping Solutions GmbH

Gefördert durch:



Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



# Konzepte für ampelregulierte Kreuzungen

Automatisiertes Fahren über urbane Knotenpunkte (TP 5)

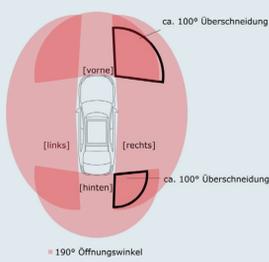
## Herausforderungen

Automatisierte Erkennung von Ampeln an Knotenpunkten stellt besondere Herausforderungen dar ...



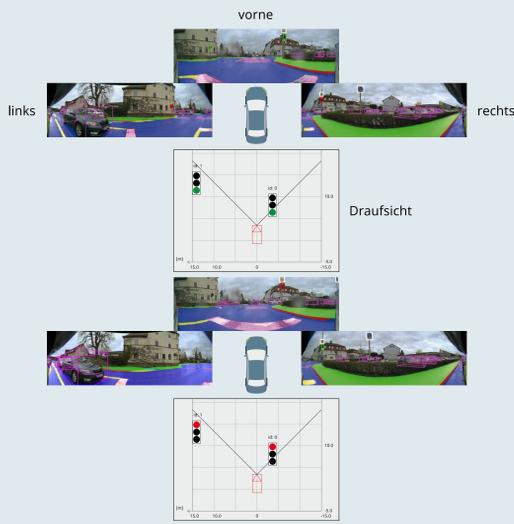
## Sensorbasierte Ampelerkennung

### Sensorik

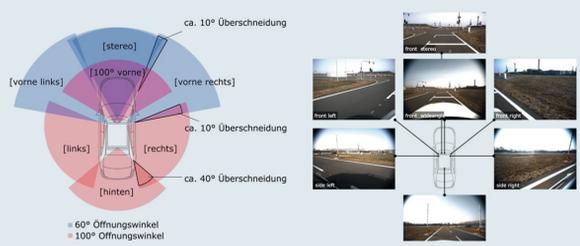


### Ampeldetektion: Phasen & Position

- 360° Ampelerkennung im Nahfeld mittels Weitwinkelkameras
- Basierend auf Neuronalem Netzwerk
- Entfernungsbestimmung für 3D-Position der Ampel



### Sensorik



### Ampeldetektion & Attributklassifikation

- CNN-basierte Ampeldetektion und Attributklassifikation
- Klassifikation von Ausrichtung, Phase und Piktogramm
- Stereo-basierte 3D Bestimmung



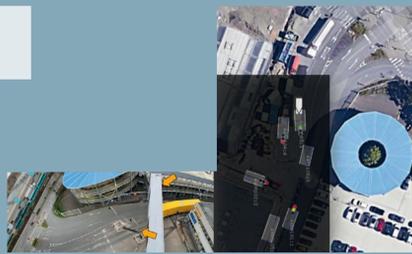
Bildbasierte Ampelerkennung (farbige Boxen: frontale Ampeln mit Phase & Piktogramm, weiße Boxen: nicht-frontale Ampeln) sowie Kartenfusion auf dem Aldenhoven Testing Center



Bildbasierte Ampelerkennung mit Richtungspfeil-Ampeln und Bus-Ampeln in der Stadt

## Ampelphasen über V2X

- Ampeln für Verkehrssteuerung essentiell für AD Fahren
- Fahrsicherheitskritisch – daher **zusätzlicher** Ansatz zur visuellen Perzeption



Installation @CITY Continental Teves Referenzstrecke Guerickestrasse FFM, Werkseinfahrt

## Ausblick

- Nicht kartenbasierte Zuordnung von Ampeln zu Fahrspuren
- Absicherung der Kommunikation von V2X

[www.atcity-online.de](http://www.atcity-online.de)

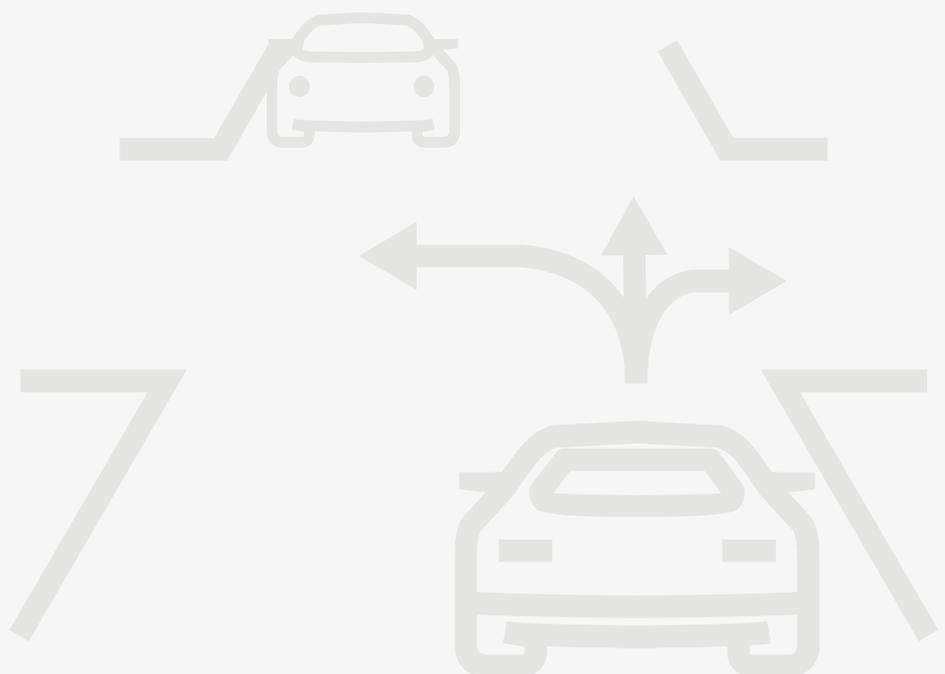
Partner:

- Aptiv Services Deutschland GmbH
- AUDI AG
- Continental Safety Engineering International GmbH
- Continental Teves AG & Co. oHG
- Deutsches Zentrum f. Luft- u. Raumfahrt e.V.
- Mercedes-Benz AG
- Valeo Schalter und Sensoren GmbH
- ZF Group
- 3D Mapping Solutions GmbH

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



# Prädiktion von anderen Verkehrsteilnehmern

## Automatisiertes Fahren über urbane Knotenpunkte (TP 5)

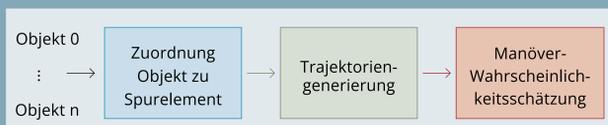
### Herausforderungen

- ⊖ Vorhersage der Bewegung anderer Verkehrsteilnehmer bis ca. acht Sekunden in die Zukunft
- ⊖ Multi-modale Schätzungen möglich bei jedem Verkehrsteilnehmer
- ⊖ Prädiktion von unterschiedlichen Verkehrsteilnehmerklassen (z.B. Fußgänger, PKW, Fahrradfahrer etc.)

### Lösungsansätze



- ⊖ Mögliche Manöver der Verkehrsteilnehmer werden identifiziert
- ⊖ Dynamisches Bayessches Netz schätzt die Wahrscheinlichkeiten der Manöver von Verkehrsteilnehmern unter Berücksichtigung der Gestenerkennung
- ⊖ Für jedes Manöver eines Verkehrsteilnehmers wird eine Trajektorie prädiert

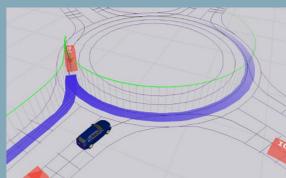


- ⊖ Objekterkennung und Trajektoriengenerierung aus TP 1
- ⊖ Integration der Karteninformationen durch Zuordnung zu Spurelementen
- ⊖ Erste datengetriebene Ansätze zur Trajektoriengenerierung
- ⊖ Unterschied zu linkem Ansatz: erst Trajektoriengenerierung, dann Wahrscheinlichkeitsschätzung

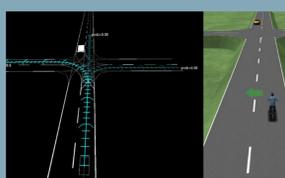
### Anwendungsfälle



- ⊖ Vorhersage der Fahrroute des entgegenkommenden Fahrzeuges anhand kinematischer Modelle
- ⊖ Zuweisung zu möglichen Fahrstreifen, hier wird ein Rechtsabbiegen als am wahrscheinlichsten erachtet



- ⊖ Das automatisierte Fahrzeug (dunkelblau) prädiert die potentiellen Manöver (blau) des Fahrzeugs im Kreisverkehr (rote Box), um zu entscheiden, ob es sicher einfahren kann
- ⊖ Manöver 1: Ausfahren, Manöver 2: im Kreisverkehr bleiben



- ⊖ Die erkannte Gestik des Fahrradfahrers erhöht die Wahrscheinlichkeit des Linksabbiegens
- ⊖ Alternative Manöver des Fahrradfahrers werden weiterhin berücksichtigt



- ⊖ Detektion von Fußgängern (rote Box) und Intentionserkennung bei Überquerung von Fahrbahnen
- ⊖ Anhalten vor Fußgängerüberwegen unter Berücksichtigung prädierteter Fußgängerüberquerung

### Ausblick

- ⊖ Verstärkter Einsatz von Ansätzen von maschinellem Lernen bzw. datengetriebener Ansätze
- ⊖ Berücksichtigung der Interaktion verschiedener Verkehrsteilnehmer

### www.atcity-online.de

Partner:

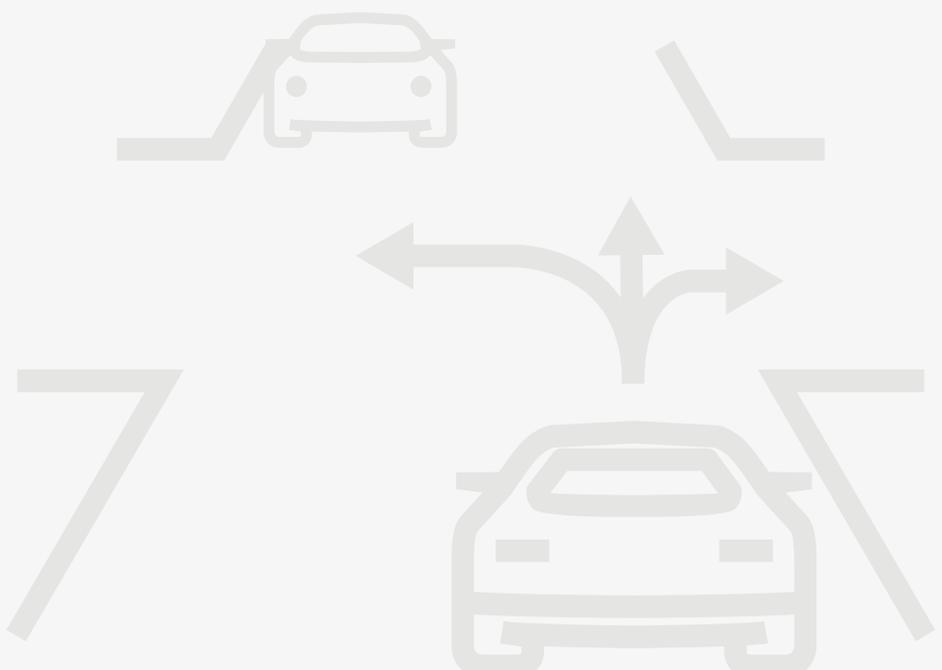
- Aptiv Services Deutschland GmbH
- AUDI AG
- Continental Safety Engineering International GmbH
- Continental Teves AG & Co. oHG
- Deutsches Zentrum f. Luft- u. Raumfahrt e.V.
- Mercedes-Benz AG
- Valeo Schalter und Sensoren GmbH
- ZF Group
- 3D Mapping Solutions GmbH

Gefördert durch:



Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



# Verhaltensgenerierung an Knotenpunkten

## Automatisiertes Fahren über urbane Knotenpunkte (TP 5)

### Herausforderungen

- ⊖ Verhaltensgenerierung für unterschiedliche Vorfahrtsregeln
- ⊖ Umgang mit nicht verkehrsregelkonformem Verhalten
- ⊖ Reaktion auf viele unterschiedliche Verkehrsteilnehmer
- ⊖ Sicheres, vorausschauendes Fahren ohne Behinderung des Verkehrs

### Lösungsansätze

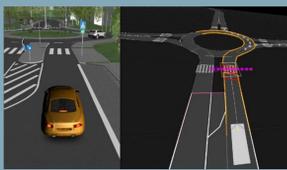


- ⊖ Vorfahrtsanalyse prüft, ob Trajektorien von Verkehrsteilnehmern mit Vorfahrt auf der geplanten Route liegen
- ⊖ Manöverplanung erhält gegebenenfalls Halteanforderungen und fordert eine Trajektorie an, die das Ego-Fahrzeug in den Stillstand bremst

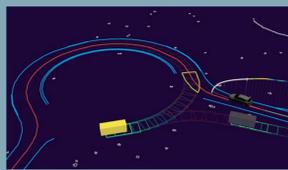


- ⊖ Anhand eines digitalen Straßenmodells aus HD-Kartendaten sowie den Prädiktionen der Verkehrsteilnehmer wird eine Schar von potentiellen Trajektorien geplant, die unterschiedliche Manöver abbilden können
- ⊖ Anschließend wird aus dieser Menge die optimale Trajektorie ausgewählt

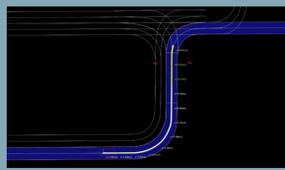
### Anwendungsfälle



- ⊖ Die prädierte Trajektorie des Fußgängers (violett) wird auf das Straßenmodell gemappt und dem Fußgängerüberweg zugeordnet
- ⊖ Eine Haltelinie (rot) wird für die Manöverplanung generiert



- ⊖ Das automatisierte Fahrzeug (graues 3D-Modell) bremst vor dem Kreisverkehr in den Stillstand (Geschwindigkeitsprofil: weiß), um dem Fahrzeug im Kreisverkehr (gelbe Box) Vorfahrt zu gewähren



- ⊖ Auf Basis der Situationsinterpretation von fusioniertem Umfeldmodell aus Karte und Perzeption wird anhand der geplanten Route (blau) eine Trajektorie (weiß/gelb) generiert, die vor dem Stopp-Schild an der Haltelinie in den Stillstand bremst



- ⊖ Die Vorfahrtsanalyse prüft, ob sich die geplante Route und andere Fahrstreifen, die Vorfahrt haben, überschneiden
- ⊖ Ist es situativ notwendig anzuhalten, um Vorfahrt zu gewähren, wird eine virtuelle Haltelinie generiert
- ⊖ Die Manöverplanung erhält Halteanforderungen und fordert eine Trajektorie an, die das Ego-Fahrzeug in den Stillstand bremst

### Ausblick

- ⊖ Verstärkter Einsatz von maschinellem Lernen bzw. datengetriebenen Ansätzen
- ⊖ Berücksichtigung der Interaktion verschiedener Verkehrsteilnehmer
- ⊖ Umgang mit komplexeren Szenarien und unsicheren Informationen

[www.atcity-online.de](http://www.atcity-online.de)

Partner:

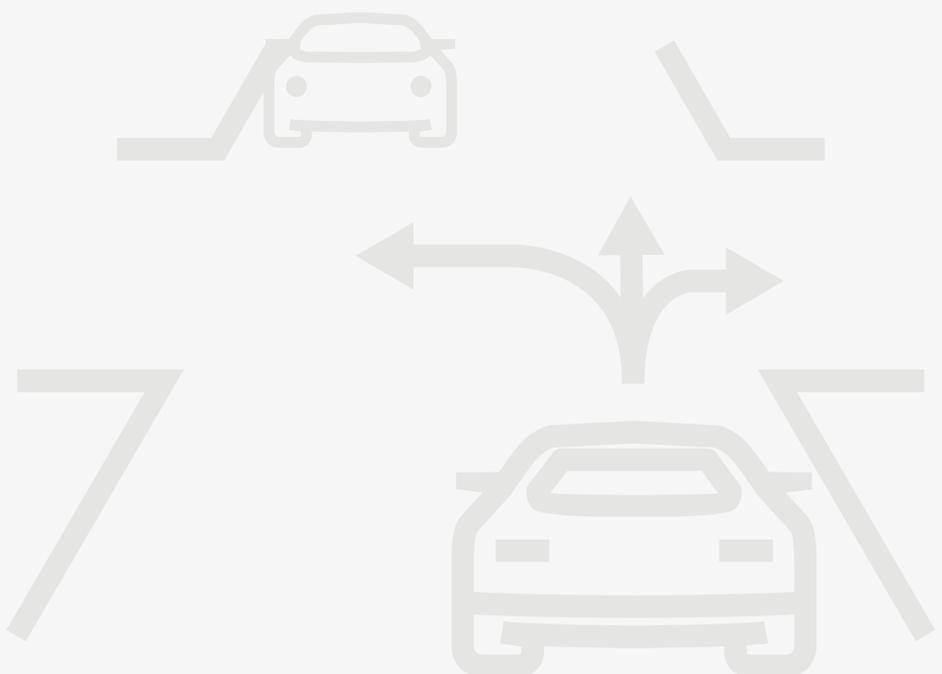
- Aptiv Services Deutschland GmbH
- AUDI AG
- Continental Safety Engineering International GmbH
- Continental Teves AG & Co. oHG
- Deutsches Zentrum f. Luft- u. Raumfahrt e.V.
- Mercedes-Benz AG
- Valeo Schalter und Sensoren GmbH
- ZF Group
- 3D Mapping Solutions GmbH

Gefördert durch:



Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



# Infrastrukturbasierte Erfassung an Knotenpunkten

Automatisiertes Fahren über urbane Knotenpunkte (TP 5)

## Motivation und Ziele

- Objekterkennung auf Knotenpunkten
- Test und Bewertung von Automatisierten Fahrzeugen im Realverkehr  
→ Erhöhung von Sicherheit + Komfort



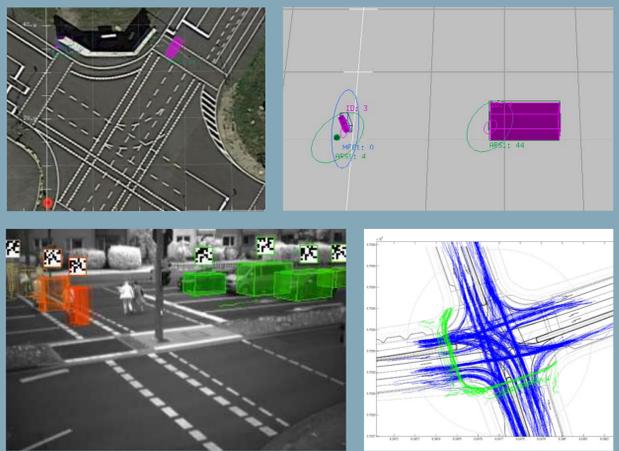
## Infrastruktur

- Erfassungssystem zur Live-Objekterkennung
- 2 unterschiedliche Ausführungen:
  - Automotive Kamera + Radar mit integrierter Objekterkennung
  - High-end Mono- und Stereokameras + Radar + Wetter- und Emissionsdaten
    - 14 Masten mit sich teilweise überschneidenden Sichtkegeln
    - 25 Hz Datenrate



## Anwendungen/Ergebnisse

- Optimierung der Sensorfusion in Objekt-Orientierung und -Ausdehnung
- Objekt-Filterung nach sicherheits- und verkehrsrelevanten Merkmalen
- Kommunikation von Verkehrsobjekten via I2X
- Integration der via I2X gesendeten Verkehrsobjekte in Fahrfunktionen
- Analyse der Trajektoriendaten



## Live Demo

- Live-Demo an Kreuzung Testgelände
- Livebild Erfassungsmast



[www.atcity-online.de](http://www.atcity-online.de)

Partner:

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Aptiv Services Deutschland GmbH</li> <li>AUDI AG</li> <li>Continental Safety Engineering International GmbH</li> <li>Continental Teves AG &amp; Co. oHG</li> <li>Deutsches Zentrum f. Luft- u. Raumfahrt e.V.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mercedes-Benz AG</li> <li>Valeo Schalter und Sensoren GmbH</li> <li>ZF Group</li> <li>3D Mapping Solutions GmbH</li> </ul> |
|---|---|

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

