



Life matters. Das Obstacle Detection Assistance System ODAS für Straßen- & Stadtbahnen

Status quo – Erfahrungen aus dem Passagierbetrieb

VÖV Bustagung Freiburg/Fribourg

Dipl.-Ing. Gerald NEWESLY

BOMBARDIER Transportation LRV

29.5.2018

BOMBARDIER

Agenda

1

Von der Idee in die Test-Tram

2

ODAS Basisfunktionalität

3

Eine stabile Lösung: Beispiele für Verbesserungen

4

Erfahrungen aus dem täglichen Passagierbetrieb

5

Fazit und Ausblick

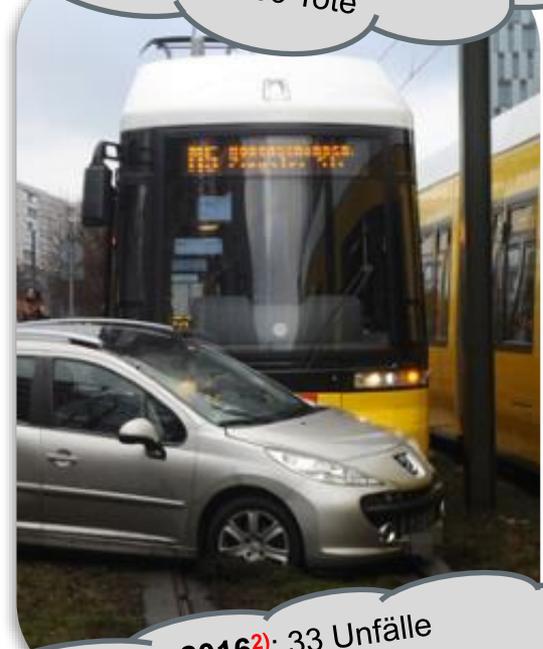
Von der Idee in die Test Tram

„Pain points“ von Betreibern

- **Kollisionen** mit Drittparteien im öffentlichen Verkehr sind die häufigste Ursache für **Außerbetriebnahme** von Fahrzeugen im Straßen- und Stadtbahnbetrieb
- Neue Technologien und verfügbare **Assistenz-** und Sicherheitssysteme zur Kollisionsvermeidung werden zunehmend im **Automobilbereich** eingesetzt
- Aufgrund **schärferer Anforderungen** bei **Bahnanwendungen** entschied sich BOMBARDIER für ein **rein Optik-basiertes** Assistenzsystem, welches auf bestehender Technologie eines Forschungspartners zusammen weiterentwickelt wurde
- Betreiber **VGF Frankfurt/Main** ermöglichte die **Validierung** mittels **Testphasen** in der Praxis und bestellte die Serienausrüstung

Resultat nach 3 Jahren intensiver Forschungstätigkeit³⁾ ist **ODAS**:
das 1. (seit 2016) im Bahnbetrieb nach TAB zugelassene
Objekt-Hinderniserkennungs **D**etektions **A**ssistenz **S**ystem
für Straßen- und Stadtbahnen

Deutschland, 2012-2015¹⁾:
1.082 Unfälle mit
Strassenbahnen führten zu
1.539 verletzten Personen
– davon 39 Tote



Schweiz, 2016²⁾: 33 Unfälle
mit Strassenbahnen verletzten
30 Personen – davon 3 Tote

1) DESTATIS 2017

2) BFS 2016

3) Basistechnologie AIT und Serienausrüstung ME Mission Embedded (Member of Frequentis Group)

ODAS Basisfunktionalität für eine Bahn

Unterschiede zu automobilen Straßen-Anwendungen: das Trolley-Problem

- **Physik** im Systemvergleich Masse vs. # Räder. Dazu Haftreibung Gummi/Asphalt vs. Stahl/Stahl: $8\text{m}^{1)}$ vs. $19,5\text{m}^{2)}$ aus 30km/h (leer!)
 - **Normenlage** im Bahnbereich deutlich strenger: Bremswege, EMV, Brandschutz, Einbauräume elektrischer Komponenten
 - **Transportkapazität** aus Führerschein-Klasse „B“ = 7-Sitzer vs. FLEXITY Straßenbahn: 32m, 210 Pass. → *wie viele davon angeschnallt?*
 - **Fahrspur** ermöglicht ausweichen (eher geradliniger Sichtbereich) vs. Schienenstrang vorgegeben → *kein ausweichen möglich*
- ➔ **Fazit:**
- „Weiter-in-die-Tiefe“-gehender Sichtbereich notwendig → erfordert Kenntnis des Fahrweges auch in Kurven → breiterer Sichtbereich ?!
 - Höhere Sicherheitslevels der Berechnungsroutinen auch im Warnbetrieb
 - Frage der Sinnhaftigkeit einer Bremsung: „Benachrichtigung“ an den Fahrer vs. Sicherheits-Bremsassistent



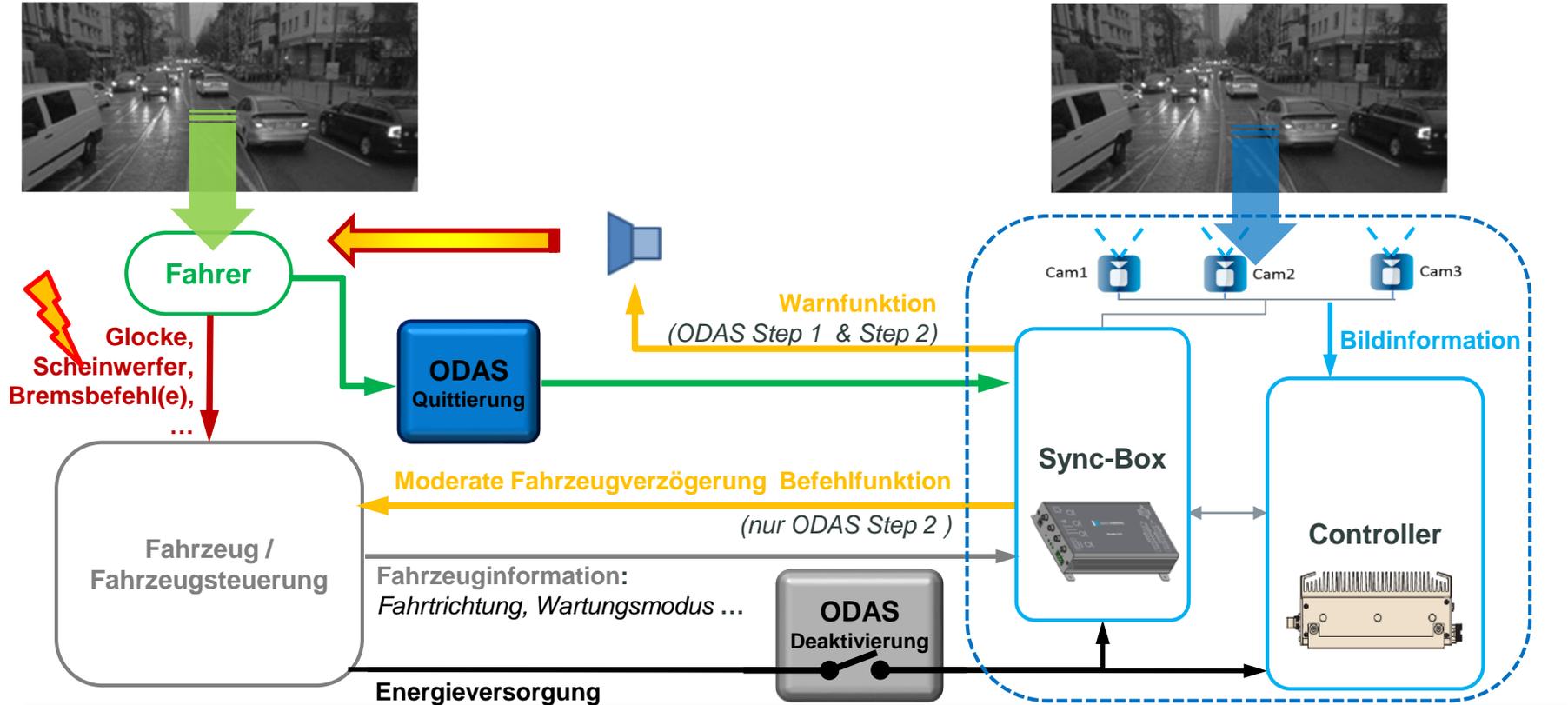
G.Newesely – BT LRV – 2018-05-29
PRIVATE AND CONFIDENTIAL
© Bombardier Inc. or its subsidiaries. All rights reserved.

1) Auto (real): 8-9m bei Vollbremsung → ca. $2,5\text{m/s}^2$ Bremsverzögerung

2) Straßenbahn (EN13452-1) ca.19m „Vollbremsung“ ($2,8\text{m/s}^2$) ABER ca.41,5m bei „Betriebsbremsung“ ($1,2\text{m/s}^2$) für das leere Fahrzeug

Basisfunktionalität Serienstatus

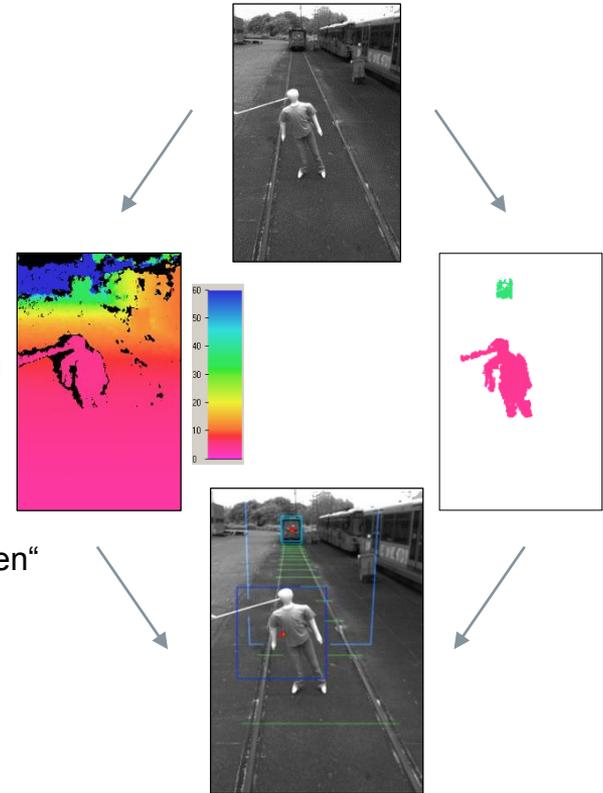
Stufe 1: 2x Warnung / Stufe 2: moderate Bremsung



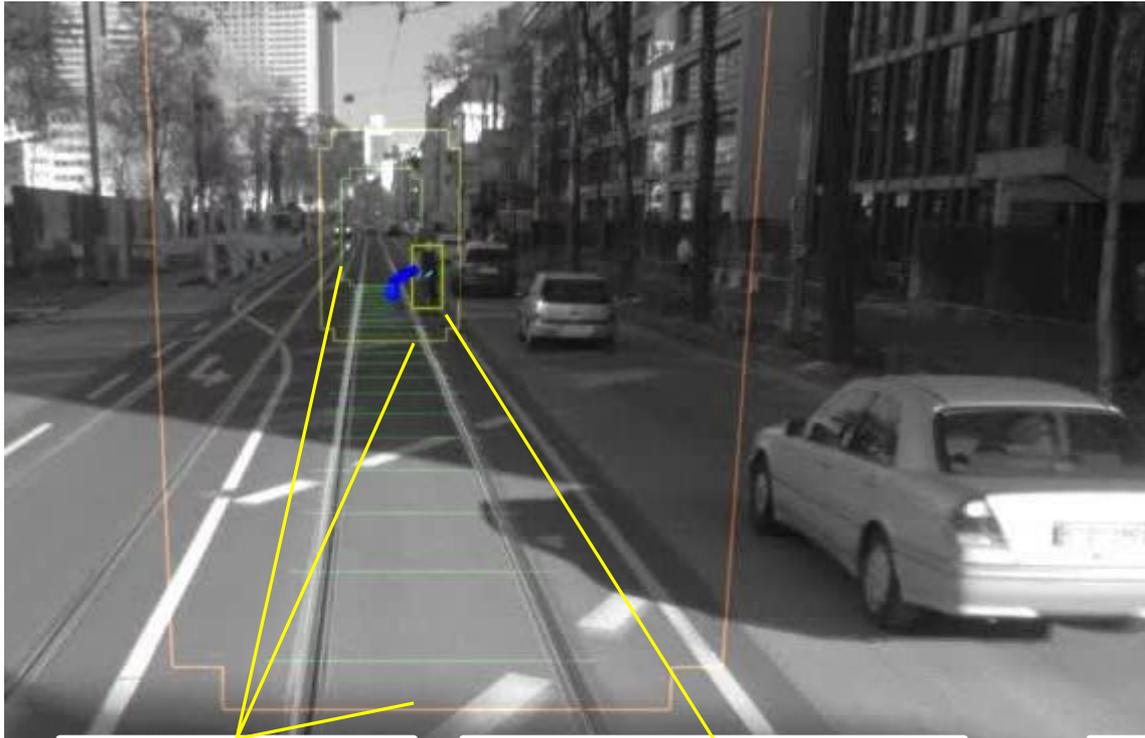
Basisfunktionalität: die Vorteile des optischen Systems

3D-Rekonstruktion durch Stereo-Matching eines Bildes*

- Vorteile eines rein optischen Systems:
 - Identifikation des gleichen Punktes in mehreren zeitlich aufeinanderfolgenden Bildern zur Berechnung der 3D-Position gegenüber der Kamera
 - Gute laterale / angulare Auflösung hinsichtlich feinsten Unterscheidung von Objekten nahe am Rand der Fahrzeug-Umgrenzungslinie
 - Ausgezeichnete Erkennung von Hindernis-Typen bzgl. Materialien, Oberflächen und Formen: Metall/Stoff, Person/Baum, Auto/Barriere
 - Bildinformationen erlauben weitere Routinen: Verlauf der Trajektorie, Bewertung der Eigenbewegung, zukünftige Entwicklungsthemen
- ... reichen aus zur:
 - Identifikation Gleisverlauf und Trajektorie incl. Berechnung des „zukünftigen“ Lichtraumes in 3D gemäß der Trajektorie
 - Hinderniserkennung und Berechnung von Position und Bewegung des Hindernisses relativ zur Straßenbahn
 - Berechnung Kollisionsrisiko für jedes erkannte Hindernis



Arbeitsweise Objekterkennung



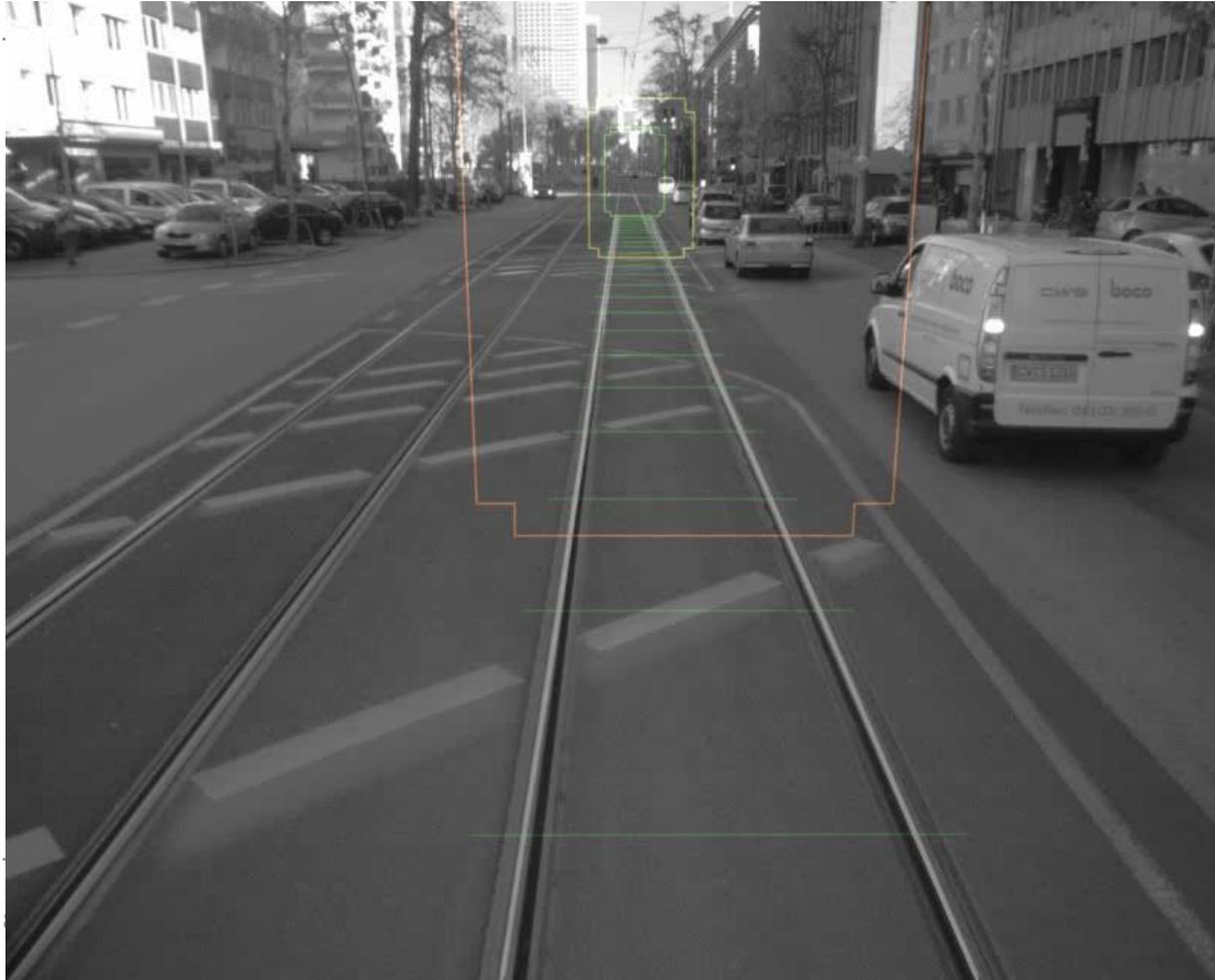
Lichtraumprofil
visualisiert bei
Distanzen von
5, 25, 50 m

Objekt
- in „bounding box“
- mit v-vektor (hellblau)
- Objekttrajektorie (dunkelblau)

$V_{\text{train}} = 8.66 \text{ m/s}$
 A_{actual}
 A_{target}
 $D_{\text{obstacle}} = 37.81 \text{ m}$

V_{train} ...Fzg.-Geschwindigkeit aus Bildinformation
 A_{actual} ...Fahrzeugbeschleunigung / Verzögerung
 A_{target} ...Erforderliche Bremsverzögerung
 D_{obstacle} ...Distanz zum nächsten Objekt

Abfolge von Bildern – nur im Controller verfügbar !

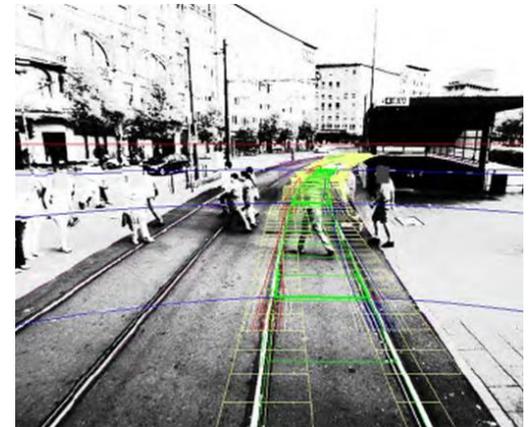
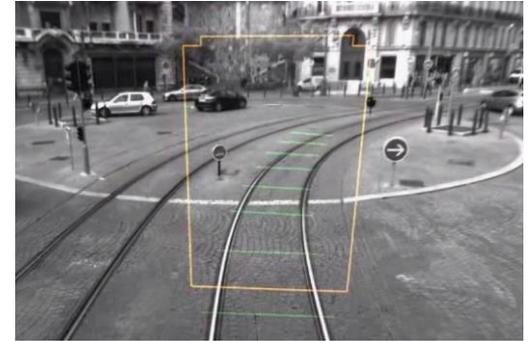


$V_{\text{train}} = 8.88 \text{ m/s}$
 A_{actual}
 A_{target}
 $D_{\text{obstacle}} = 0 \text{ m}$

Eine stabile Lösung enthält Detailverbesserungen

Reduktion der „False Positives“

- Ursache: ODAS informiert Fahrer, wo *diese* aber nichts erkennen
 - Bei bestimmten Umwelteinflüssen (Lichtverhältnisse – Bodenbeschaffenheit – Gleislage ...) meldet das System „nicht existente“ Kollisionsgefahr: „False Positives“
 - „False Positives“ stellen per se *keine Gefahr* dar – sind aber hinsichtlich Fahrer-Akzeptanz nicht zuträglich
 - Analyse zeigt „Drift“ in der Fahrwegserkennung → Potential für Systemverbesserung
 - Verbesserungsmaßnahme **Positionserkennung** als manifeste Stärke von ODAS: Lichtraum in Kurven & Distanz
 - Einbettung Strecken- bzw. Netzkenntnis
 - Determinierung per Odometrieverfahren (visuell, Anbindung Fahrzeugsteuerung, GPS, ...) korrigiert den durch Sensor erkannten Gleisverlauf → Ortskenntnis
 - Validierung durch „offline vs. online“-Auswertungen
- ➔ **FAZIT nach Validierung:**
- Signifikante Reduktion der False Positives
 - 9 von 10 Warnungen sind berechtigte Warnungen (wahres Kollisionspotential)



Erfahrungen aus dem täglichen Passagierbetrieb

ODAS bleibt ein FahrerInnenASSISTENZsystem !

- Das menschliche Gehirn und die Erfahrung des Fahrpersonals sind (noch) nicht ersetzbar
 - Mitigierung von unkorrektem Verhalten anderer Straßenbenutzer
- ODAS löst „erste Alarme“ aus, die das Fahrpersonal wissentlich zulassen würde
 - Fahrpersonal unterliegt „Macht der Gewohnheit“ → „Zielbremsung“ vor einem Hindernis oder nicht?
- Andere Straßenbenutzer unterschätzen die Gefahr, die von einer Straßenbahn ausgeht
 - Fahrpersonal muss instinktive Entscheidungen treffen → außerhalb Scope eines Computers
- ODAS hat eine akzeptable FP-Rate* mit erstaunlicher Nebenwirkung
 - False Positives lassen das Fahrpersonal das „Vorhandensein“ von ODAS wissen
 - False Positives erhöhen Aufmerksamkeits-Status des Fahrpersonals
- Ein Straßenbahn-Assistenzsystem hat im Vergleich zum Automobil-System eine andere Zielsetzung
 - Notbremsassistent gefährdet 210 Passagiere vs. 6 Passagiere
- ODAS soll ein **Assistenz**system bleiben, welches von Fahrpersonal in jeder Lage overrule-bar ist. Geschwindigkeitsreduktion à la „Stufe 2“ verringert in Falle einer Kollision jedenfalls Aufprallenergie

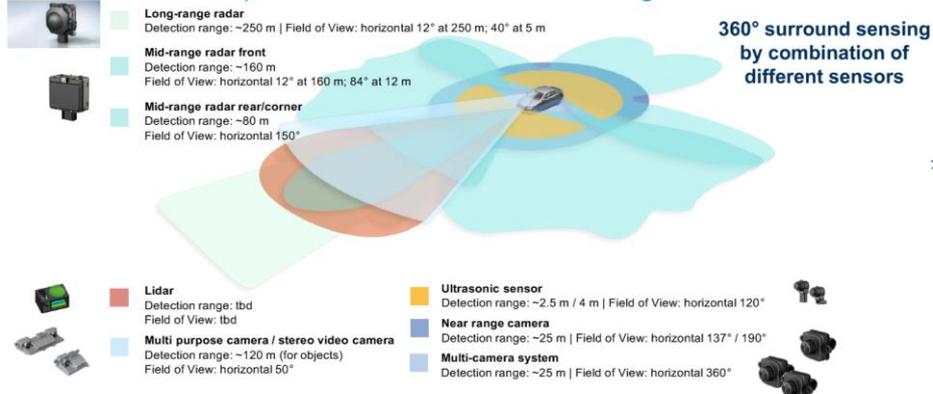
Erfahrungen aus automobilen Anwendungen

Richtige Wahl der Technologie für das Basisprodukt einer Strassenbahn

- **FAKT:** Automobilanwendungen nutzen Sensor Fusion für Assistenzsysteme – Beispiel Bosch
 - Integration der jeweiligen Kernaufgaben pro Sensor ist **KEY**
 - Weltweiter Markt für Automobilanwendung lässt die Entwicklung in den kommenden Jahren boosten
 - Nächster Schritt: „C2X“¹⁾
- **TREND:** Passagieranwendungen für mehr als 6 Personen in ersten Bus-Pilotanwendungen²⁾
 - Beispiele: Sion (CH); Rotterdam (NL); Wien, Salzburg (AUT); Helsinki (FIN); Berlin, Bad Birnbach (DE); London (UK), u.v.m
 - Gemeinsamkeit: „totale“ Überwachung, Fahrpersonal (inaktiv)
- **GEFAHR:** bei Fehlern in der Integration können die Vorteile der besten Sensorsysteme nicht realisiert werden
 - Gegenteil: fataler Unfall 03/2018 in Tempe, Arizona. Sensortechnologien Optik/LIDAR/Radar konnten Kollision nicht verhindern
- **AWARENESS:** bei steigendem Automobil-Automatisierungsgrad steigt die Unfallhäufigkeit mit Verschulden von menschlichen Fahrern → die Antwort kann und wird C2X sein

Bosch Sensor Portfolio

Automotive Components for Automated Driving



1) C2X ... „Communication-to-everything“: jeder kommuniziert mit jedem

2) Marktführer bei 8-12 Sitz Bussen: Navya und Easy Mile. Mercedes mit erster Pilotanwendung für 18m Bus

Fazit und Ausblick

Ein neues BOMBARDIER Produkt mit weiteren Ausbaustufen

- Mitgestaltung der VDV-Schrift 191 für den Strassenbahnsektor¹⁾ nach VDV-Mitteilung 1520 „Aktueller Stand der Technik von Fahrerassistenzsystemen zur Kollisionsvermeidung für Straßen- und Stadtbahnfahrzeuge“
- Nach erfolgreicher Markteinführung (Frankfurt, 148 Systeme) verfügt ODAS bereits über weitere 284 Bestellungen:
 - Zürich (Variation Order), Duisburg, Brüssel – dazu Nachfrage in fast allen laufenden Ausschreibungen
 - Teil der Basisfunktionalität: Kartographie und Positionserkennung
- Weitere Zusatzmodule auf die Basisfunktionalität sind in Entwicklung
 - „Overspeed Monitoring“: Automatisch eingeleiteter & wieder aufgelöster Abbremsvorgang vor bekannter Geschwindigkeitsbeschränkung. Evaluierung notwendig hinsichtlich höherer SIL-Einstufung
 - „Kartographie Light“: Overspeed monitoring OHNE Hinderniserkennungs-Assistent
- Erweiterung des Anwendungsbereiches
 - Höhere Geschwindigkeit – höhere Sichtweite
 - Anwendungen in anderen Schienenfahrzeug-Bereichen – zusätzliche Sensorik – zusätzliche „Hindernisse“
- „Deep learning“-Ansätze
 - Höhere Sichtweiten erfordern smartere Algorithmen: Trajektorienprädiktion
 - Erweiterte Hindernisklassifizierung und Antizipierung von Hindernisverhalten (z.B. Linksabbieger, Fußgänger die momentan außerhalb des Lichtraumes sind aber sich darauf zubewegen, ...)

1) VDV Verband Deutscher Verkehrsunternehmen, Bereich SFA Schienenfahrzeugausschuss „FAST-AG“. VDV-Schrift 191 gibt einen Überblick über aktuelle Kollisionswarnsysteme

Herzlichen Dank!



BOMBARDIER