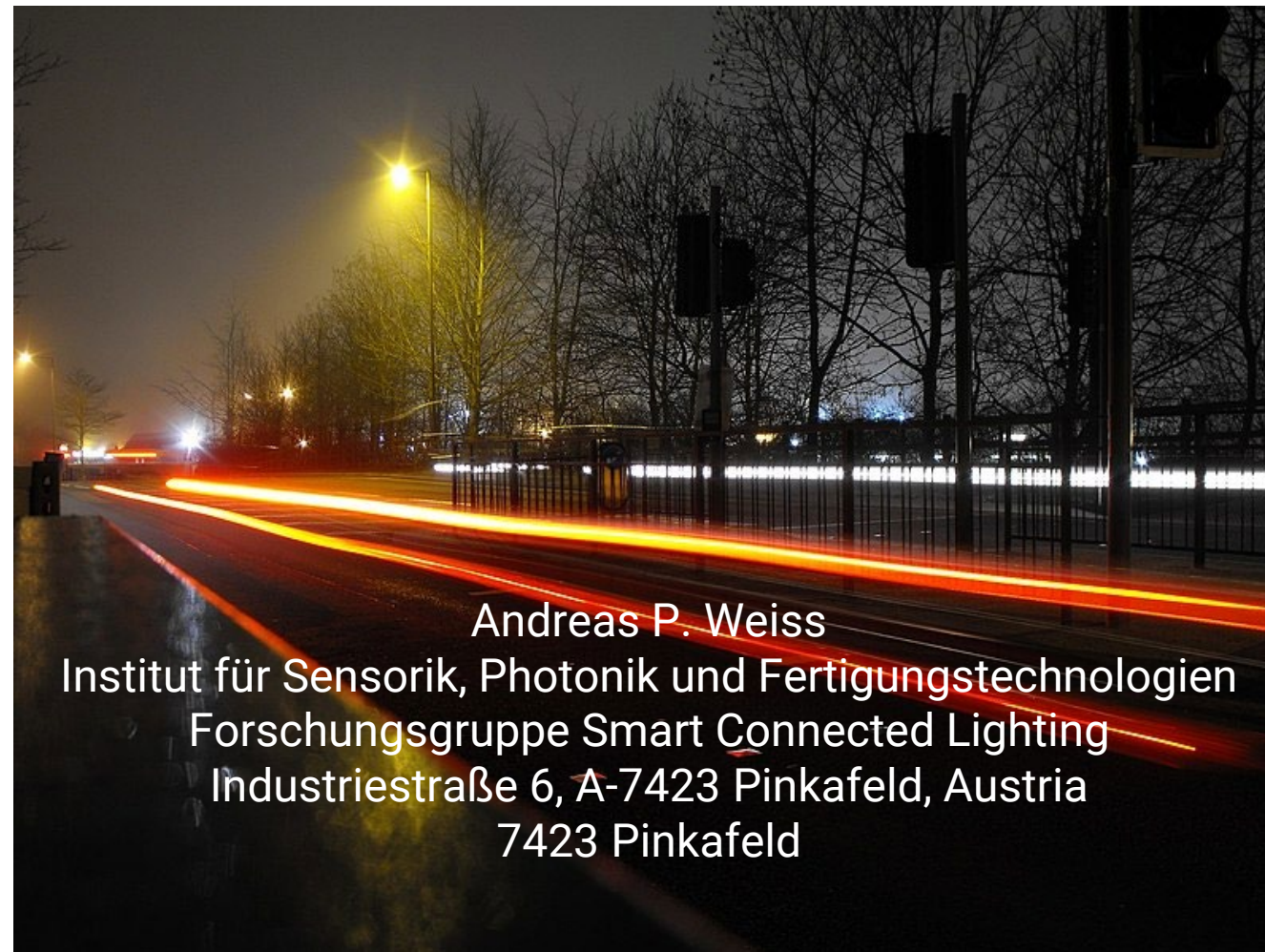


# GREEN <sup>and</sup> DIGITAL TRANSFORMATION

2

# Licht basierte Lösungsansätze für zukünftige Mobilität

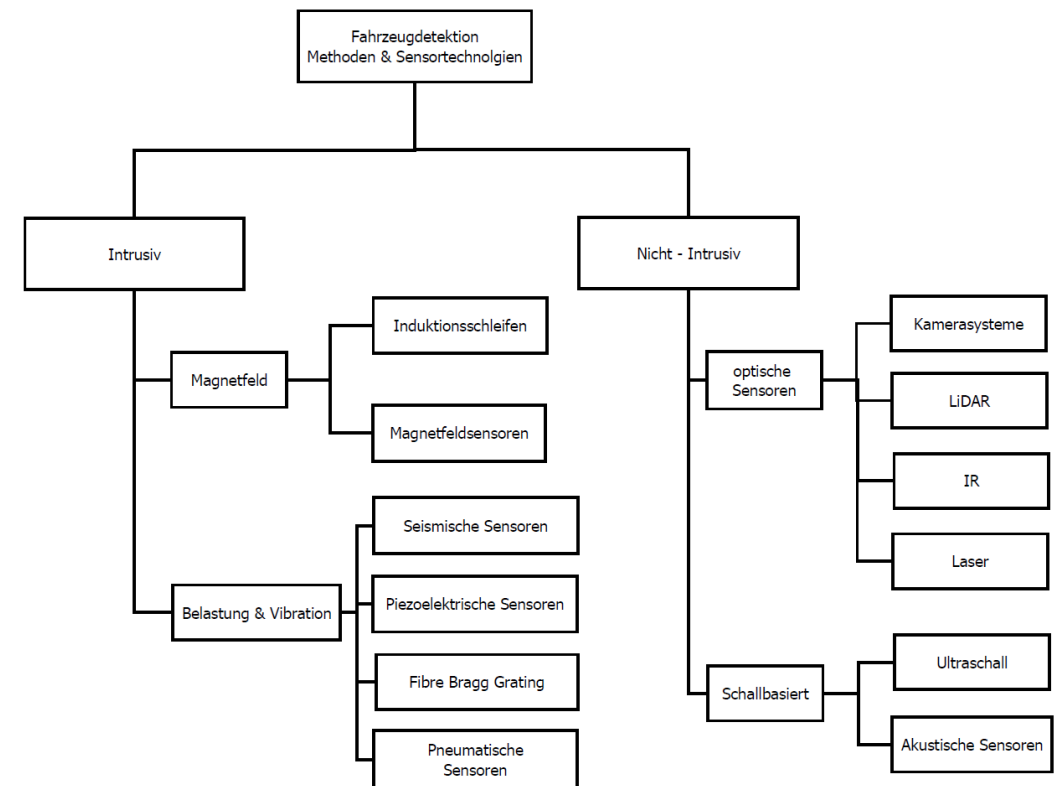
---





# Motivation

- Grundbausteine der zukünftigen Mobilität sind:
  - Durchgehende Vernetzung aller Verkehrsteilnehmer und der Verkehrsinfrastruktur
  - Umfassendes Monitoring zur Verkehrsträgerübergreifenden Kooperation
- Derzeitige Lösungsansätze basierend auf:
  - Radio Frequenz (RF) basierter Kommunikation
  - unterschiedlichsten Sensortechnologien
- Herausforderungen derzeitiger Lösungsansätze:
  - Bandbreitenbedarf (stetig steigende Zahl von Geräten)
  - Energieverbrauch besonders bei flächendeckendem Einsatz



- Was hat das Ganze mit Licht zu tun ?

# Motivation

4

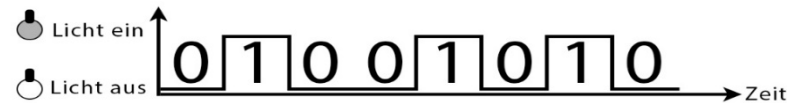
- Beleuchtung ist ein wesentlicher Bestandteil der Verkehrsinfrastruktur sowie der Fahrzeuge



- Visible Light Communication (VLC) - drahtlosen Kommunikation mittels sichtbaren Licht
- Visible Light Sensing (VLS) - Sensorikfunktionen mittels sichtbaren Licht
- Ansatz zur „Wiederverwendung“ vorhandener Infrastruktur zur Realisierung der Kommunikation und des Monitorings

# Visible Light Communication

- Drahtlose Kommunikation mittels des sichtbaren Lichtspektrums
- Modulieren einer Lichtquelle (typischerweise LEDs)

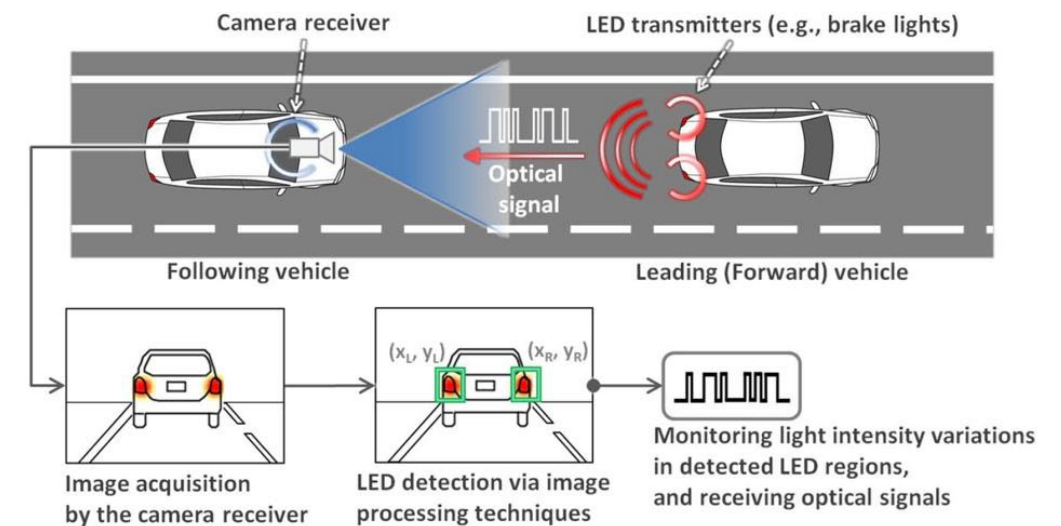


Reference: Johannsson B. (2017) Pulse-Based Modulation for VLC Systems, Master Thesis, TU Delft, Netherlands

- Modulationsfrequenz liegt oberhalb der Wahrnehmungsschwelle des menschlichen Auges
- Erkennung dieser Modulation mittels photosensitiver Komponenten
- (fast) alle Modulations-, Kodierungstechniken anwendbar
- Auch bekannt unter dem Akronym LiFi (analog zu WiFi)
- Keine Störung durch RF basierte Kommunikation
- Beleuchtung und Kommunikation gleichzeitig

# Visible Light Communication in der Mobilität

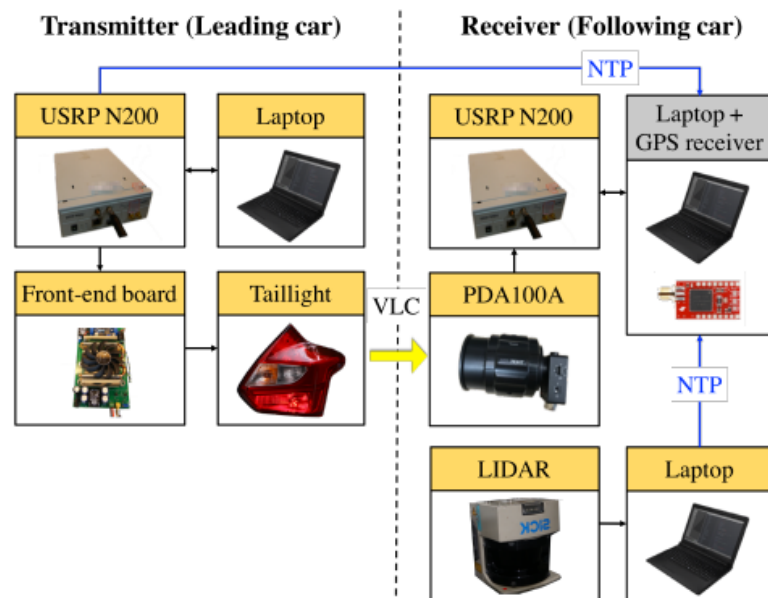
- Vehicle to Vehicle communication (V2V)
  - Transmitter: Front- und/oder Heckleuchten
  - Empfänger: Kameras und/oder Photodioden etc.
- Infrastructure to Vehicle (I2V)
  - LED basierte Infrastruktur (Straßenlampen, Ampeln, Verkehrsschilder etc. )
  - Bidirektional Kommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur
- Vorteile:
  - Keine Interferenz mit RF basierter Kommunikation
  - Unlizenzierte Kommunikation
  - Hochgradig gerichtete Kommunikation
  - Infrastruktur bereits vorhanden – Verkehrsschilder, Front- bzw. Heckleuchten etc.
  - Direct detect – ad hoc network
  - Kurze Latenzen im Aufbau und Betrieb der Kommunikation
  - Basis Funktion bleibt erhalten (z.B. Bremslicht)



TAKAI, Isamu, et al. Optical vehicle-to-vehicle communication system using LED transmitter and camera receiver. *IEEE photonics journal*, 2014, 6. Jg., Nr. 5, S. 1-14.

# Anwendungsbeispiel

- Comparison of OFDM and OOK Modulations for Vehicle-to-Vehicle Visible Light Communication in Real-World Driving Scenarios
  - Béchadergue, Bastien & Shen, Wen-Hsuan & Tsai, Hsin-Mu. (2019). Ad Hoc Networks. 94. 101944. 10.1016/j.adhoc.2019.101944.



(a) Block diagram.



(b) System setup.

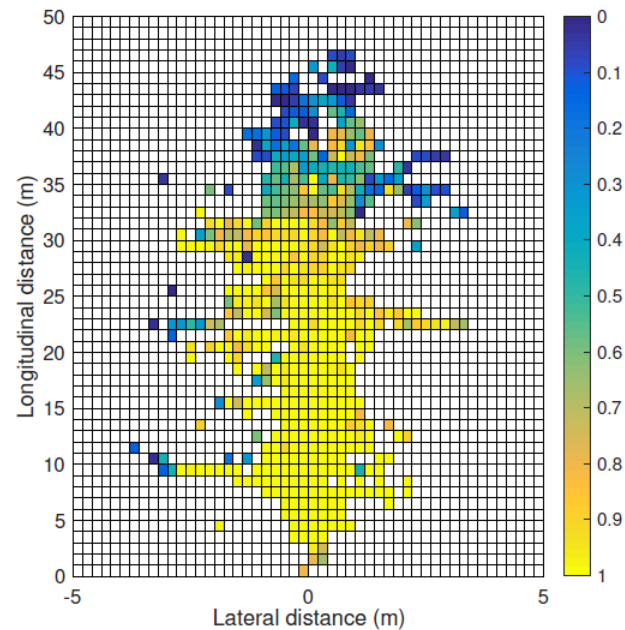


(a) A pre-defined 18 km driving route on Freeway No. 3 in Taiwan.

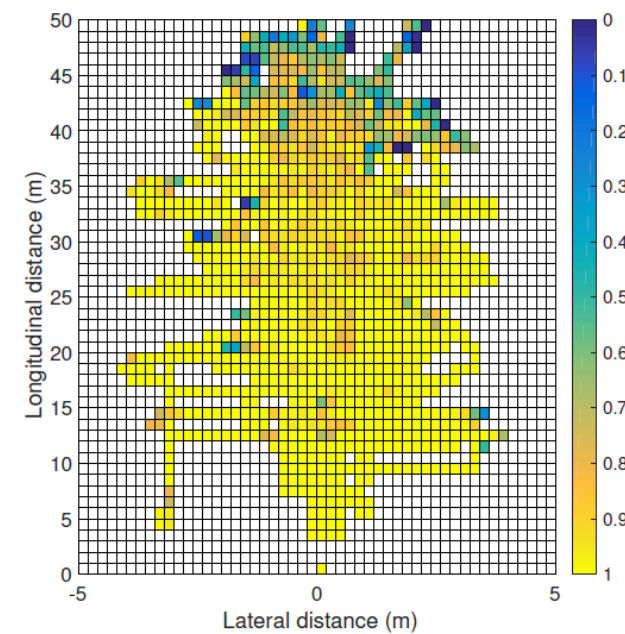


# Anwendungsbeispiel

- Comparison of OFDM and OOK Modulations for Vehicle-to-Vehicle Visible Light Communication in Real-World Driving Scenarios
  - Béchadergue, Bastien & Shen, Wen-Hsuan & Tsai, Hsin-Mu. (2019). Ad Hoc Networks. 94. 101944. 10.1016/j.adhoc.2019.101944.



(a) PRR distribution of OOK at 100 kbps.



(b) SRR distribution of OFDM at 2 kbps.



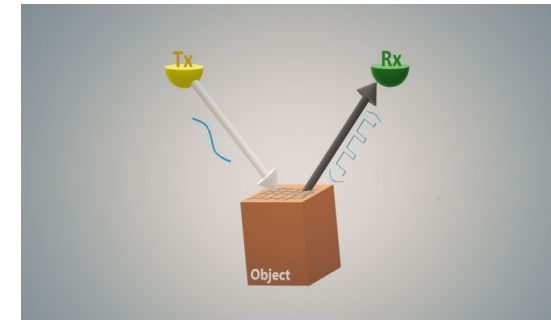
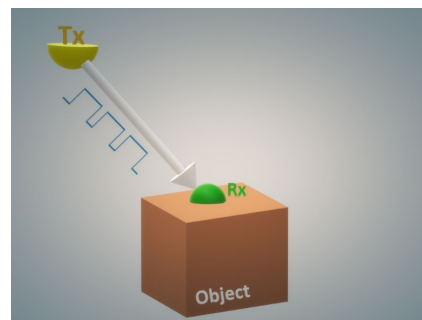
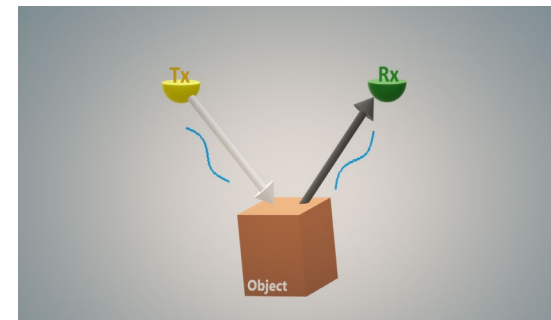
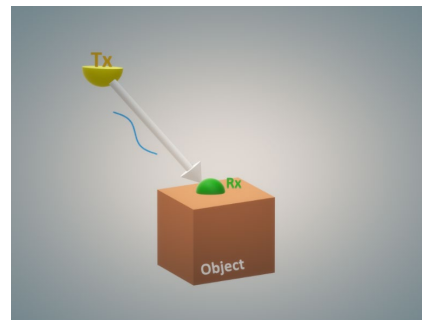
# Herausforderungen

---

- Direkte Sonneneinstrahlung
  - Direkte Sonneneinstrahlung mit ihrer intensiven Kraft kann zur Sättigung der Empfangselemente führen
  - Besonders bei Sonnenaufgang und Sonnenuntergang ist der Einfallswinkel schwierig
- Nebel, Regen, Schnee etc.
  - Bei dichtem Nebel oder anderen kanalbeeinflussenden Wetterbedingungen reduzieren sich die erzielbaren Entfernungen
  - Besonders bei dichtem Nebel ist die Rückreflexion eine Herausforderung
- Platzierung von Empfängern
  - Kompromiss zwischen hoher Richtwirkung - kleines Field of View vs. abgedeckter Kommunikationsbereich
  - Besonders bei I2V VLC-Kommunikation ist die Platzierung von entscheidender Bedeutung

# Visible Light Sensing

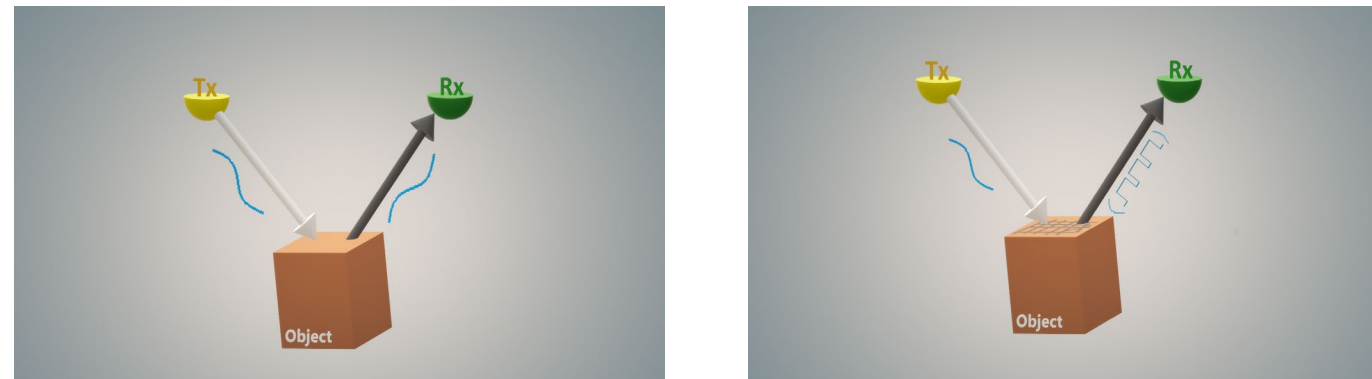
- VLS bedeutet die Generierung von Information auf Basis des empfangenen Lichts an einem photosensitiven Element
- VLS Anwendungen können in 4 Hauptkategorien unterteilt werden



Reference: Wang Q. & Zuniga M. (2017) Passive Sensing and Communication Using Visible Light: Taxonomy, Challenges and Opportunities, <https://arxiv.org/pdf/1704.01331.pdf>

# Backscattered Visible Light Sensing

- Realisierung von Sensorikfunktionen mittels VLS – Backscattered VLS:
- Backscattered VLS – keine aktiven Komponenten auf dem Objekt notwendig



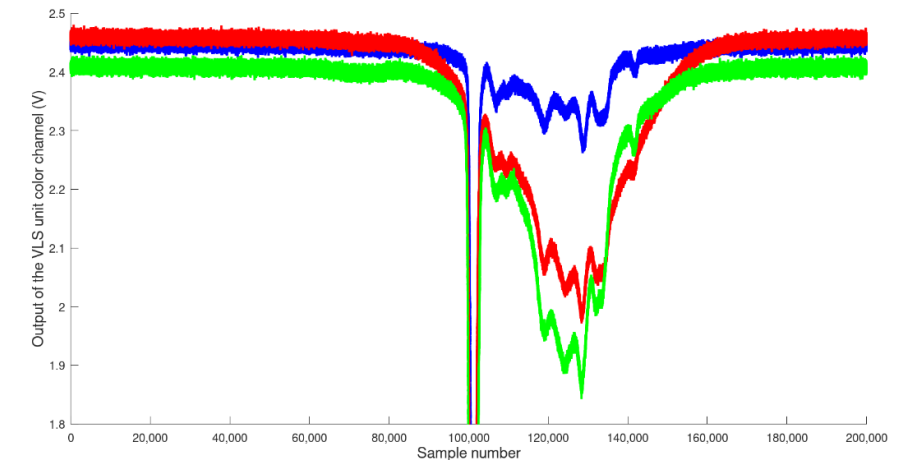
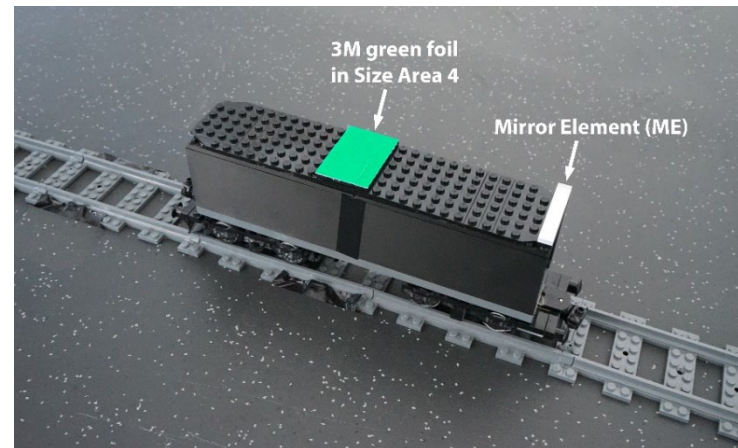
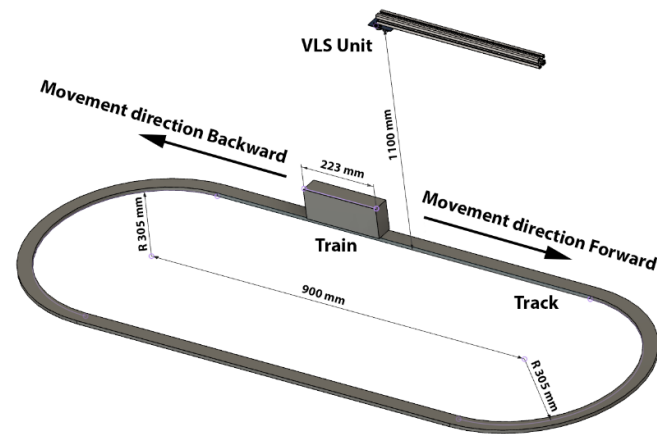
Reference: Wang Q. & Zuniga M. (2017) Passive Sensing and Communication Using Visible Light: Taxonomy, Challenges and Opportunities, <https://arxiv.org/pdf/1704.01331.pdf>

- Lichtquelle und Empfänger können in ein Modul integriert werden
- Anwendungen in der Präsenzdetektion
- Identifikation
- Bewegungsbestimmung (Richtung/Geschwindigkeit)



# Anwendungsbeispiel

- Identifikation, Bewegungsrichtung- und Geschwindigkeitserkennung eines bewegten Objekts



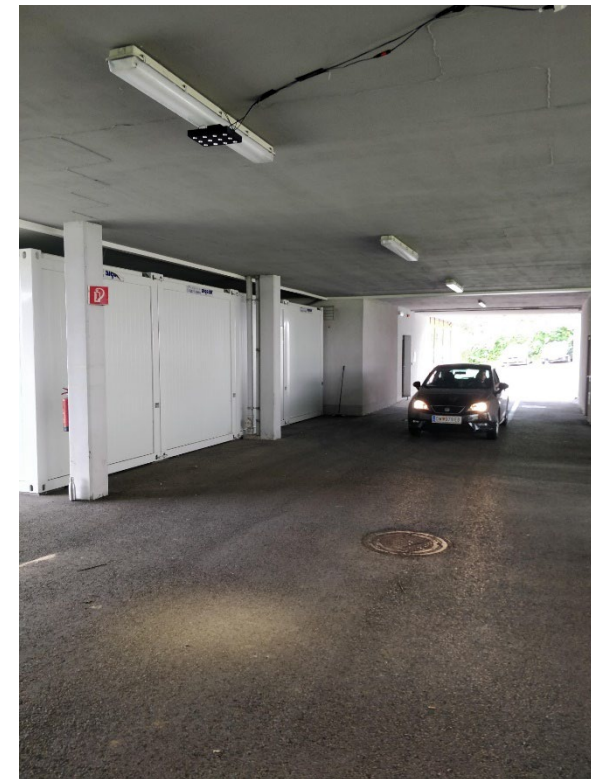
Total Number of Test Scenarios	Number of Correct Classifications	Number of Misclassifications	Correct Classifications
2560	2559	1	99.96%

Total Number of Test Scenarios	Number of Correct Classifications	Number of Misclassifications	Correct Classifications
2560	2545	15	99.41%

Reference: A. P. Weiss and F. P. Wenzl, "Identification and Speed Estimation of a Moving Object in an Indoor Application Based on Visible Light Sensing of Retroreflective Foils," *Micromachines*, vol. 12, no. 4, p. 439, Apr. 2021, doi: 10.3390/mi12040439.

## Anwendungsbeispiel

- Beleuchtungskörper mit 12 LEDs und 12 photosensitiven Elementen
- Tiefgarage TZ Pinkafeld
  - Installationshöhe: 3 m
  - Geschwindigkeit: 5 – 20 km/h
  - 3 unterschiedliche Fahrzeuge



# Anwendungsbeispiel

## VW Golf Variant Silber



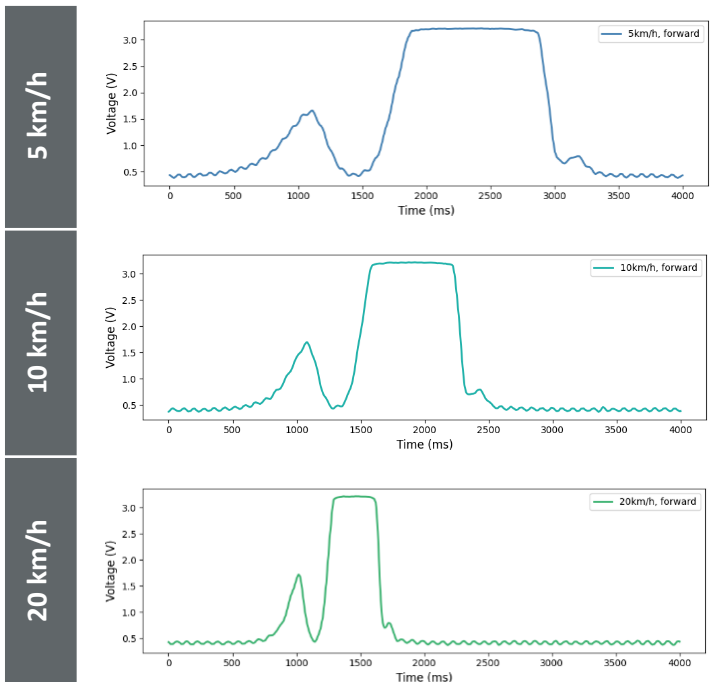
## BMW 3er Grau



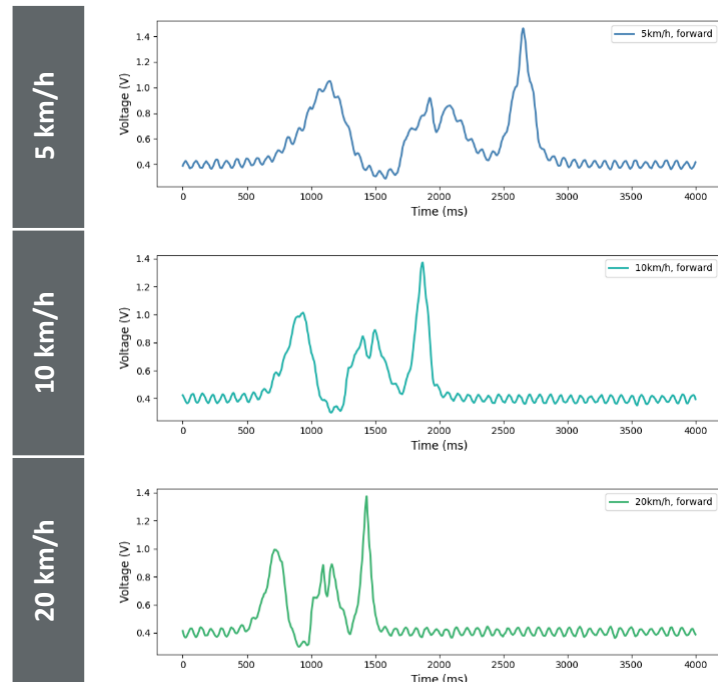
## Seat Ibiza Schwarz



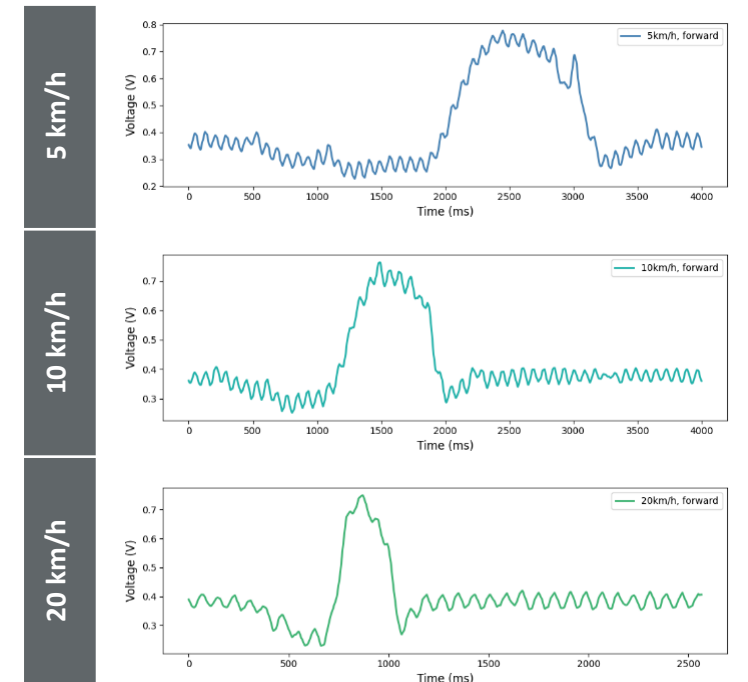
Fahrt-Vorwärts



Fahrt-Vorwärts



Fahrt-Vorwärts





# Anwendungsbeispiel

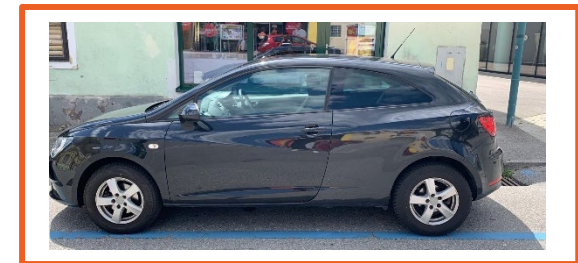
■ VW Golf Variant Silber



■ BMW 3er Grau

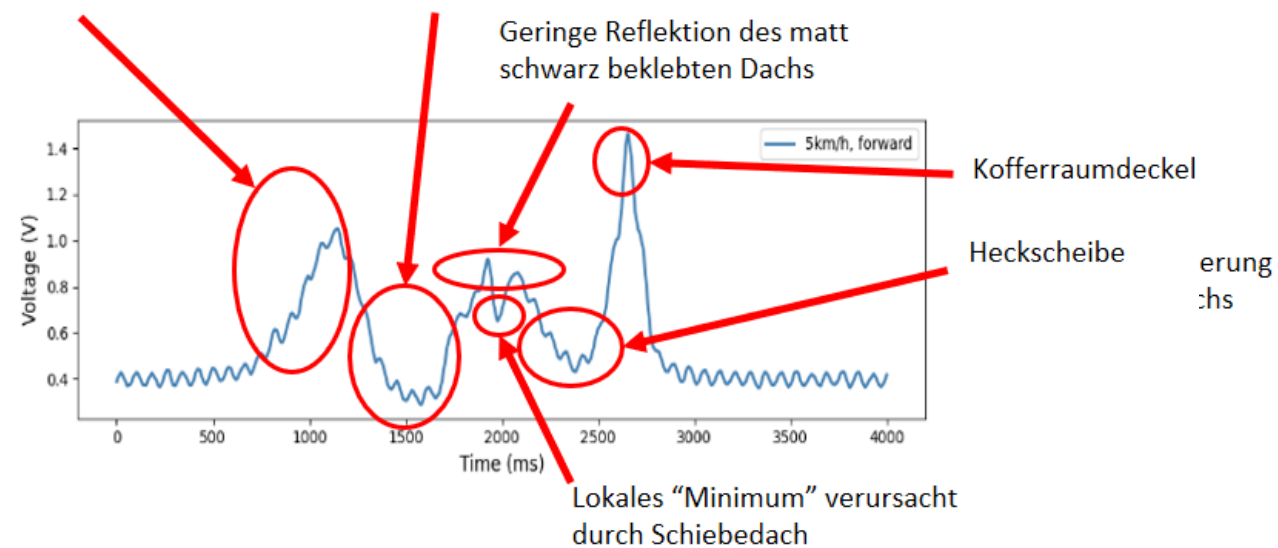


■ Seat Ibiza Schwarz



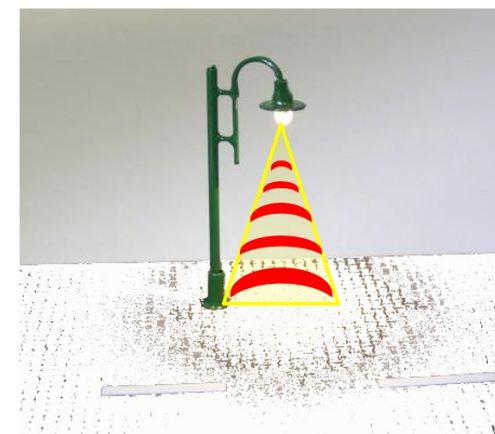
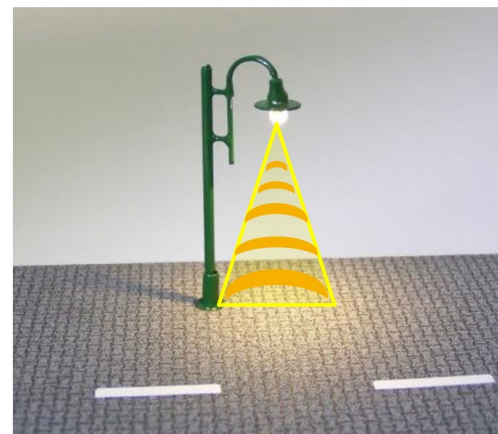
Langsam steigende Reflektionswerte von leicht "schräger" Motorhaube  
 Windschutzscheibe → Sehr geringe Lichtreflektion

Langsam  
von



# Anwendungsbeispiel

- Beleuchtung wird zum Sensor mit Licht als Medium
- Keine zusätzliche Sensorik
- Erkennen von Ereignissen in Echtzeit
- Präsenzdetektion, Klassifikation und Nachverfolgen des Fahrzeugs auch bei Umgebungslicht
- Beleuchtung bleibt uneingeschränkt bestehen
- Weitere Anwendungsmöglichkeiten:
  - Erkennen von Fahrbahnzuständen (z.B.: nass/trocken) auf Basis des reflektierten Lichts



# Zusammenfassung

---

- VLC als zweite unabhängigen Informationsquelle und Kommunikationsmöglichkeit
- Grundlegende Infrastruktur bereits vorhanden
- Basisfunktionalität bleibt uneingeschränkt erhalten
- Direct Detect - Ad-hoc-Kommunikation und Sensing
- Entlastung des RF-Bandes sowohl mit VLC als auch mit VLS
- Backscattered VLS – keine aktiven Sensoren auf dem Objekt (Fahrzeug) notwendig
- Herausforderungen bestehen, aber Gegenmaßnahmen sind auf dem Weg



# Ausblick

---

- Kooperation statt Konfrontation – Hybride Systeme unterschiedlichster Technologien (RF, Visible Light, etc.)
- Joint Communication and Sensing (JCS)
  - JCS ist derzeit eines der „Hot Topics“ in der Definition des 6G Standards
  - JCS – Verwenden derselben Hardware und Wellenlängen zur Realisierung der Kommunikation und des Sensings
  - Im Bereich des sichtbaren Lichts entspricht das der Kombination von VLC und VLS
  - Backscattered Ansätze gewinnen auch im RF Bereich immer mehr an Bedeutung
- Visible Light Ansätzen können zur Lösung von bestehenden und absehbaren Problemen beitragen:
  - Ressourcenverbrauch
  - Bandbreitenbedarf
  - Energieverbrauch
  - Datenschutz und Privatsphäre

***Danke für Ihre Aufmerksamkeit!***

JOANNEUM RESEARCH  
Forschungsgesellschaft mbH

Leonhardstraße 59  
8010 Graz

Tel. +43 316 876-0  
prm@joanneum.at

[www.joanneum.at](http://www.joanneum.at)



MITEINANDER ZUKUNFTSRELEVANT



[www.joanneum.at](http://www.joanneum.at)