



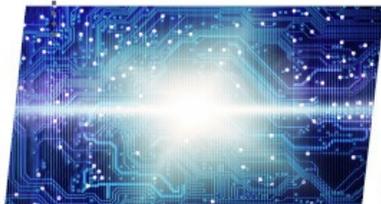
DIH Süd Workshop 13.06.2023

Hands-On Lichtmesstechnik und Visible Light Technologies

JOANNEUM
RESEARCH
MATERIALS 

Smart Connected Lighting

SMART ELECTRONIC BASED SYSTEMS



- Analog/Digital Circuit Design
- Sensor Fusion
- Embedded Software
- Smart System Integration

COMMUNICATION AND CONNECTIVITY



- Wired and Wireless Interfaces
- (Backscattered) Visible Light Communication
- Visible Light Positioning

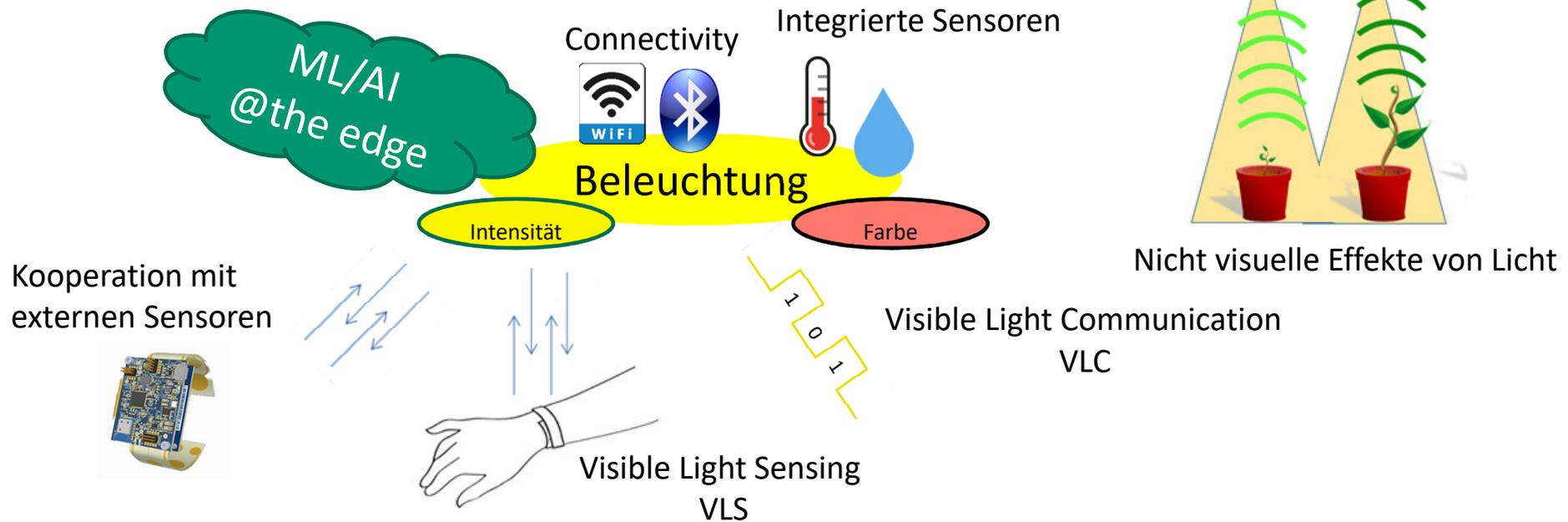
INTEGRATIVE LIGHTING



- Non-visual effects of Light
- Human Centric Lighting
- Horticultural Lighting
- Animal Lighting



Die Evolution des Lichts von der Lichtquelle zu Smart Connected Lighting



Visible Light Technologies

4

- *Visible Light Technologies*
 - kostengünstige, ressourceneffiziente Lösungen zur Funktionserweiterung klassischer LEDs
- Anwendungen wie Visible Light Communication, Positioning und Sensing ermöglichen:
 - Realisierung neuartiger Kommunikations- und Sensing Lösungen auf Basis von sichtbarem Licht
 - Visible Light Positioning führend im Bereich der Indoor Positionsbestimmung
 - Die größten Vorteile liegen dabei sind:
 - Wahrung der Privatsphäre
 - Wiederverwendung bestehender Infrastruktur
 - Geringer Ressourcenaufwand (low-cost/low-complex Lösungen)

Hintergrund

5

- Seit Jahrhunderten verwenden Menschen sichtbares Licht für:



Kommunikation

Source: <https://de-academic.com/dic.nsf/dewiki/976555>

VLC – On/Off Keying



Positioning

Proximity based VLP

Jetzt nennen wir es nur anders 😊



Sensing

Source: <https://www.gruess-gott.eu/essen-und-trinken/cerevisium-ein-bier-wie-ein-champagner/>

Line-of-Sight VLS

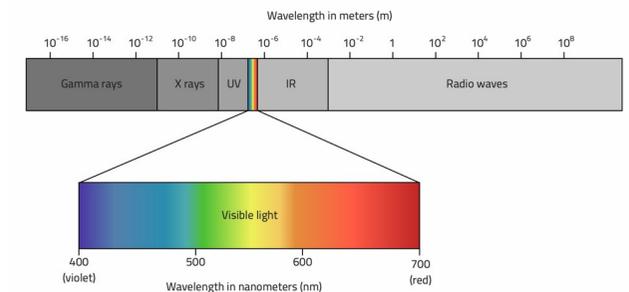
Visible Light Communication (VLC) / LiFi

6

- Drahtlose Kommunikation im Spektrum des sichtbaren Lichts
- Intensität einer Lichtquelle wird moduliert
- Detektion dieser Modulation an einem photosensitiven Element



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



Reference: <https://www.radio2space.com/components-of-electromagnetic-spectrum/>

- Modulationsfrequenz liegt dabei über der Wahrnehmungsschwelle des menschlichen Auges
- (fast) alle bekannten Modulationsverfahren, Codierungen, etc. anwendbar
- Upload wird üblicherweise mittels Kommunikation im Infrarot Bereich realisiert
- Bandbreiten mit mehreren hundert Mbps realisierbar

Visible Light Communication (VLC)

7

- Für VLC wird ein rasantes Wachstum prognostiziert - bis zu 35 Mrd USD in 2028
- Schlüsselmoment wird die Integration von Empfängern in mobile Geräte (Smartphones)
- Kommerziell verfügbare Produkte:
 - Bereits mehrere Hersteller (Lucibel, PureLiFi, Signify) am Markt vertreten
 - Systeme bestehen aus Sender (Beleuchtungskörper) sowie Empfänger (z.B.: USB Dongles)
 - Beginn der Standardisierung von VLC unter IEEE 802.15.7 Norm



Reference: <https://www.lucibel.io/en/>



Reference: <https://www.lucibel.io/en/>



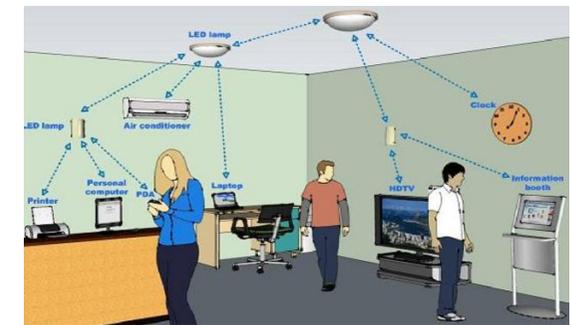
Reference: <https://purelifi.com/lifi-enabled-phone/>
<https://www.elektroniknet.de/kommunikation/wireless/lifi-fuer-smartphones.187020.html>

Visible Light Communication (VLC)

8

■ Vorteile:

- Datensicherheit
- Einsetzbar in Radio Frequenz (RF) sensiblen Bereichen
- Keine Störung durch RF basierte Kommunikation
- Beleuchtung und Kommunikation gleichzeitig
- Hohe Übertragungsgeschwindigkeiten realisierbar
- Beleuchtungskörper können einfach nachgerüstet werden



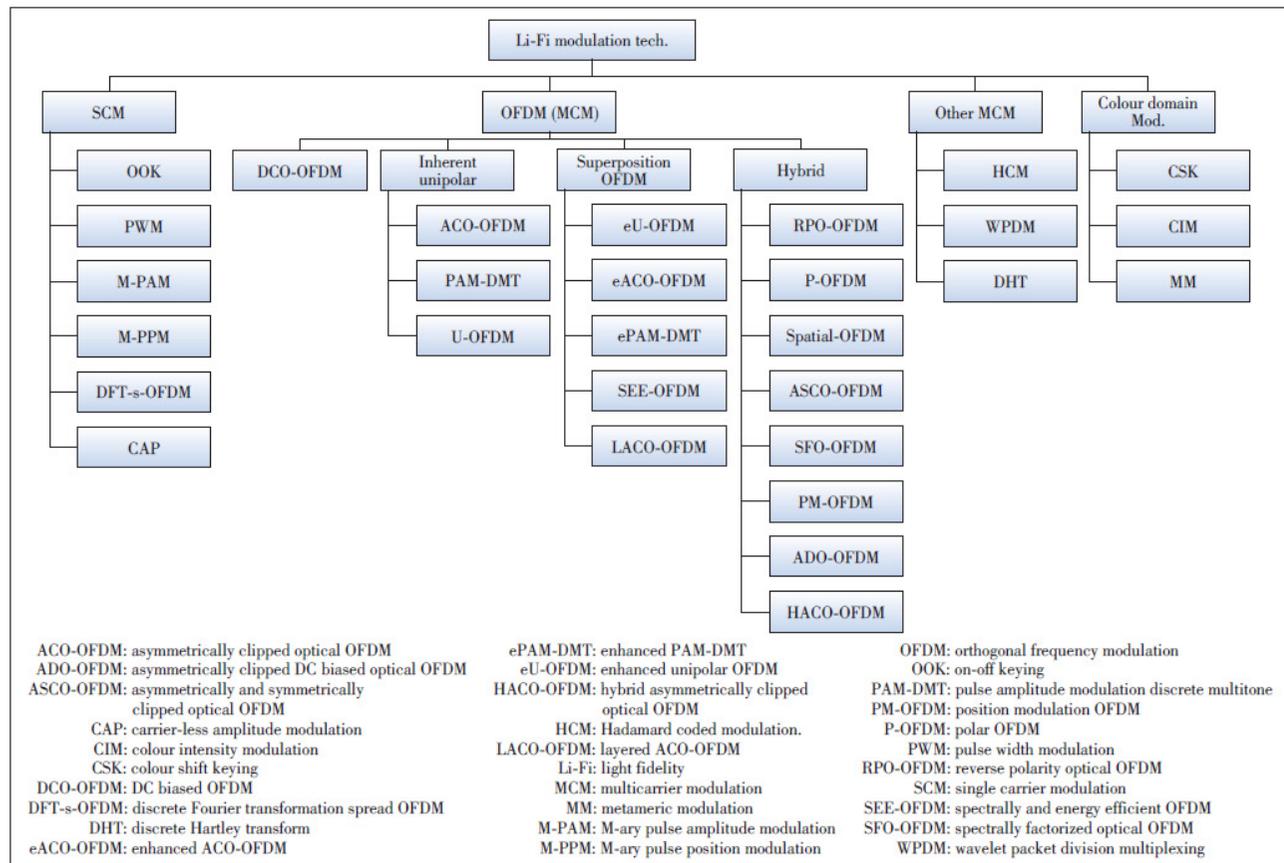
Reference: Gabr M. I. (2016) Data Transmission via Visible Light Communication (VLC) Technique. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 5. 16473-16481. 10.15680/IJRSET.2016.0509133.

■ Problemstellungen:

- Starkes Umgebungslicht (Sonne oder künstliches Licht) schränkt die Leistungsfähigkeit ein
- Die derzeit meist gebräuchlichen Farbkonversions-LEDs sind nur bis zu einer gewissen Modulationsfrequenz einsetzbar
- Direkte Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger zur vollen Leistungsfähigkeit notwendig

Konzepte und Ausführungsformen hinter VLC

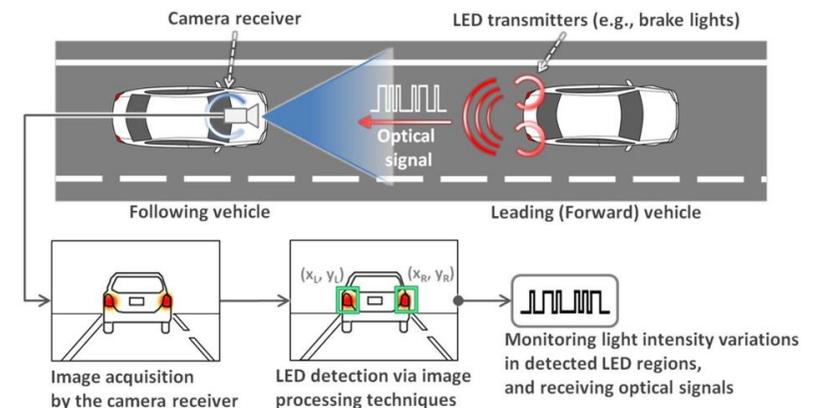
9



Reference: <https://www.lifi.eng.ed.ac.uk/lifi-news/2017-04-01-1855/comprehensive-summary-modulation-techniques-lifi>

VLC Anwendungen im automotiven Kontext

- Vehicle to Vehicle communication (V2V)
 - Transmitter: Front und/oder Rücklichter
 - Receiver: Kamera und/oder Photodioden



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.

- Infrastructure to Vehicle (I2V)
 - LED basierte Ampeln bzw. Verkehrsschilder senden Daten zum Fahrzeug
 - Receiver am Fahrzeug Kamera und/oder Photodiode

Vorteile von VLC im automotiven Kontext

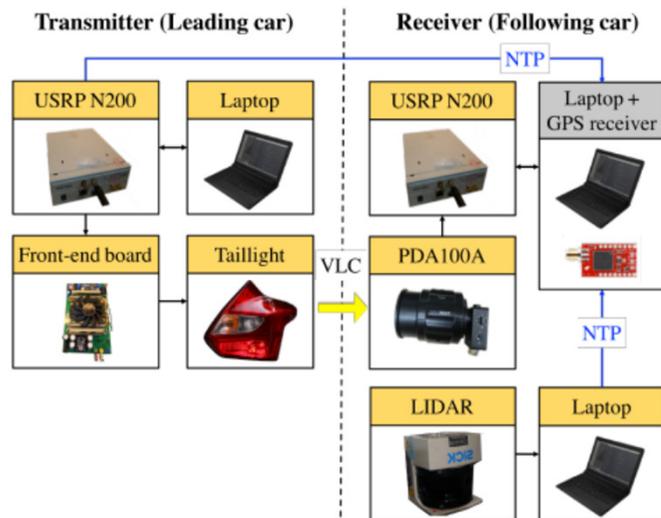
- Keine Interferenzen mit RF-basierter Kommunikation
- Unlizenziertes Kommunikationsband und gebührenfrei
- Hochgradig gerichtete Kommunikation
- Infrastruktur ist vorhanden - Verkehrsschilder, Scheinwerfer, Rücklichter usw.
- Direktes Erkennen - Ad-hoc-Netzwerk
- Geringe Latenzzeit beim Aufbau und während des Betriebs
- Keine Beeinträchtigung der Grundfunktionen (z. B. Bremslicht)

VLC Anwendung

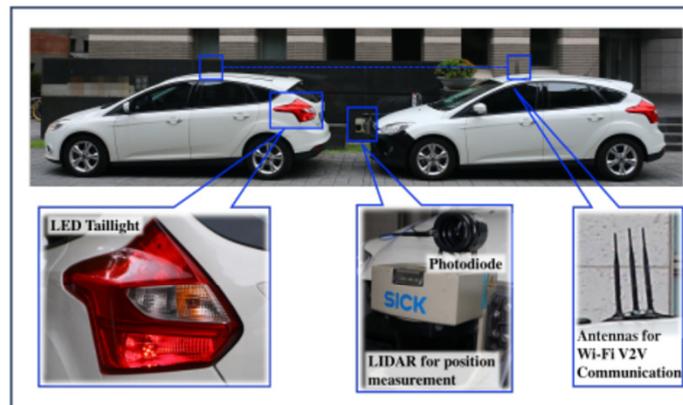
Comparison of OFDM and OOK Modulations for Vehicle-to-Vehicle Visible Light Communication in Real-World Driving Scenarios

Béchéadergue, Bastien & Shen, Wen-Hsuan & Tsai, Hsin-Mu. (2019).

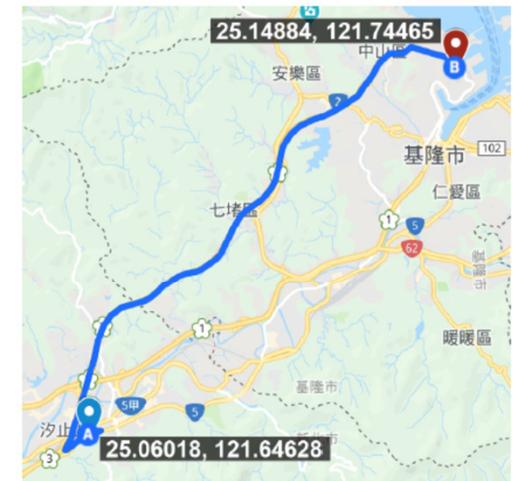
Ad Hoc Networks. 94. 101944. 10.1016/j.adhoc.2019.101944.



(a) Block diagram.



(b) System setup.



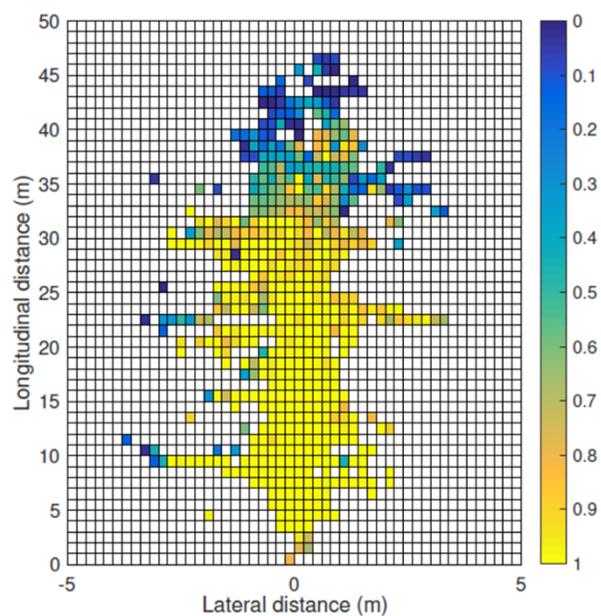
(a) A pre-defined 18 km driving route on Freeway No. 3 in Taiwan.

VLC Anwendung

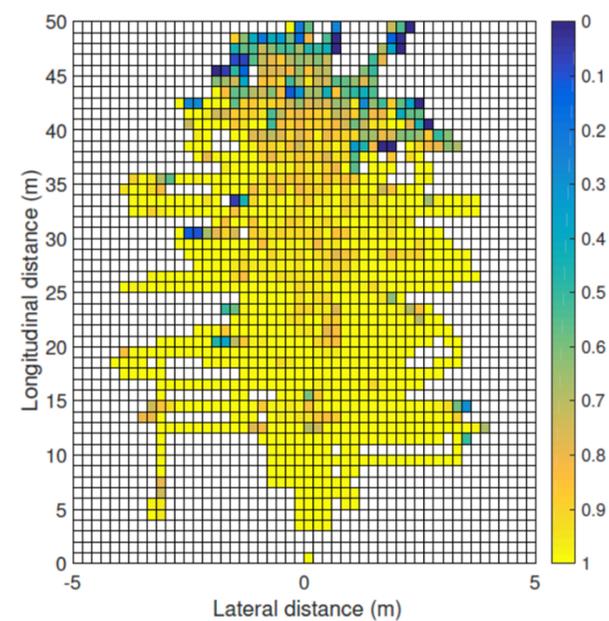
Comparison of OFDM and OOK Modulations for Vehicle-to-Vehicle Visible Light Communication in Real-World Driving Scenarios

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.



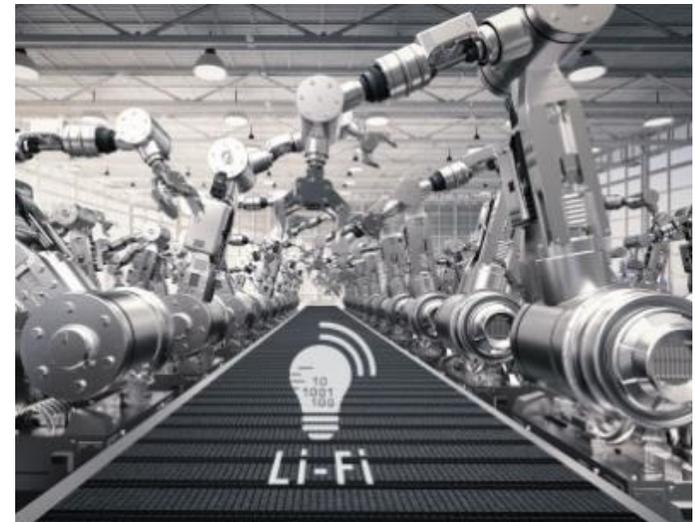
(b) SNR distribution of OFDM at 2 kbps.

Herausforderungen VLC im automotiven Kontext

- Direkte Sonneneinstrahlung
 - Direkte Sonneneinstrahlung mit ihrer intensiven Kraft kann zur Sättigung der Empfangselemente führen
 - Besonders bei Sonnenaufgang und Sonnenuntergang ist der Einfallswinkel kritisch
- Nebel, Regen, Schnee etc.
 - Bei dichtem Nebel oder anderen kanalbeeinflussenden Wetterbedingungen reduzieren sich die erzielbaren Entfernungen
 - Besonders bei starkem 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

VLC im industriellen Kontext

- Stabile umfassende drahtlose Kommunikation
- Wiederverwendung der vorhandenen Lichtinfrastruktur
- Immunität gegen EM Störungen verursacht durch die Maschine
- Condition Monitoring (z.B.: Vibrationen) der Maschine
 - Messung der Änderung im VLC Link
 - Überleitung zu Visible Light Sensing

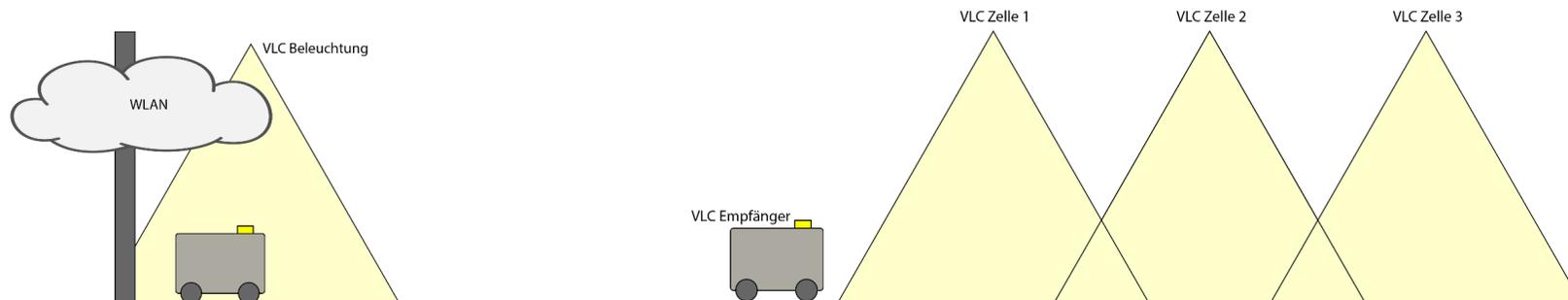


<https://www.elektro-automatisierung-digital.de/produktion/drahtlose-li-fi-high-speed-datenerbertragung-mit-licht-in-echtzeit>

VLC im industriellen Kontext

16

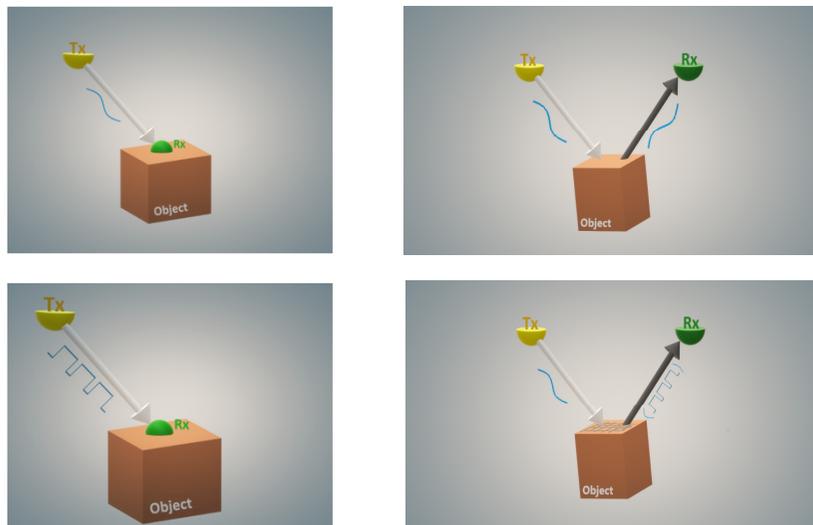
- Entlastung des RF Spektrum mittels VLC:
 - Gerichtete stabile Kommunikation unabhängig von RF Interferenzen
 - Licht dringt nicht durch Wände – Spamming/Spoofing Attacken schwer realisierbar
 - Kommunikationszellengröße skalierbar
 - In sensiblen Bereichen realisierbar
 - Ad Hoc/Direct Detect Netzwerke realisierbar



Visible Light Sensing (VLS)

17

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

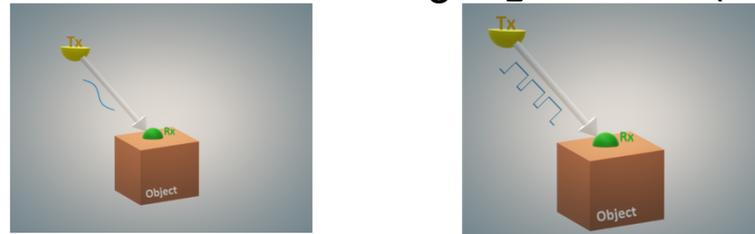


Reference: Wang Q. & Zuniga M. (2017) Passive Sensing and Communication Using Visible Light: Taxonomy, Challenges and Opportunities, <https://arxiv.org/pdf/1704.01331.pdf>

Ausführungsformen Visible Light Sensing (VLS)

18

- Realisierung von Sensorikfunktionen mittels VLS – Line of Sight :
 - Erkennen von Zuständen der Übertragungsstrecke (Rauch, etc.)



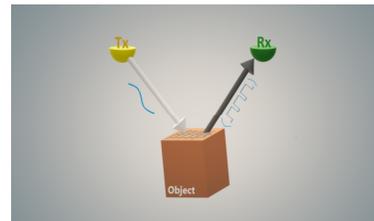
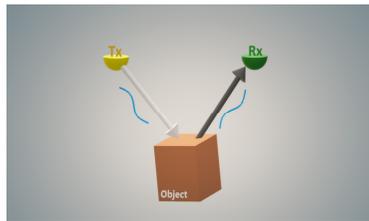
Reference: Wang Q. & Zuniga M. (2017) Passive Sensing and Communication Using Visible Light: Taxonomy, Challenges and Opportunities, <https://arxiv.org/pdf/1704.01331.pdf>

- Determinierung von Änderungen des Objekts (z.b.: Vibration)
- Positionsänderungen des Objekts
 - Überleitung zu Visible Light Positioning
- Wiederverwendung vorhandener (vorgeschriebener) Infrastruktur

Ausführungsformen Visible Light Sensing (VLS)

19

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

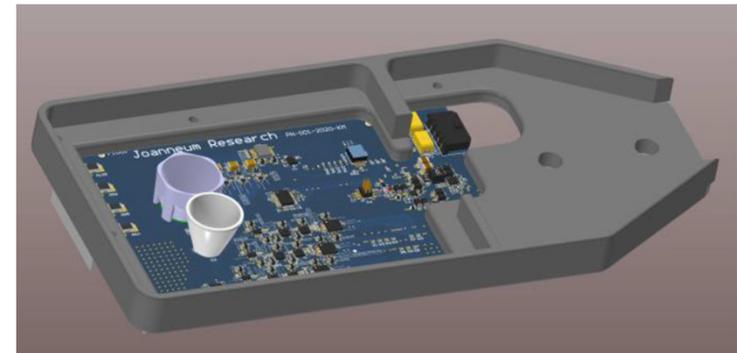
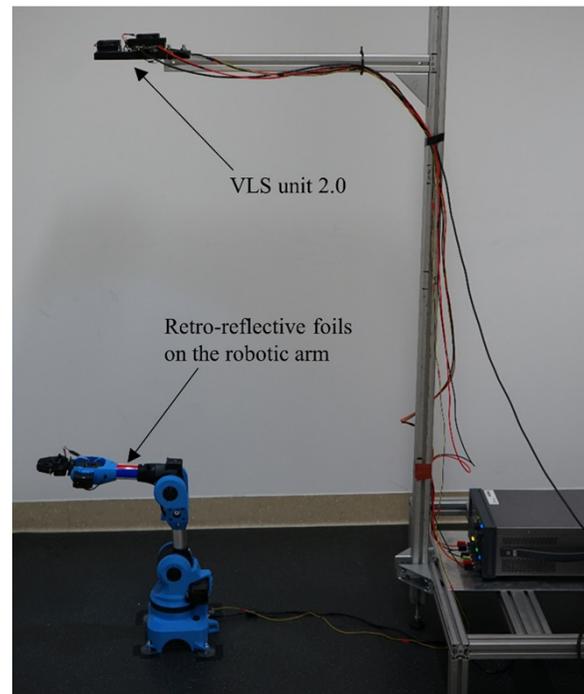
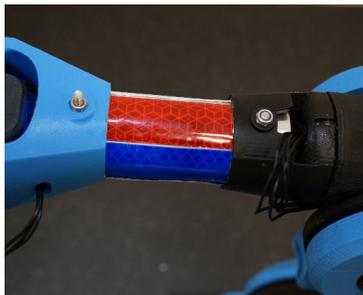
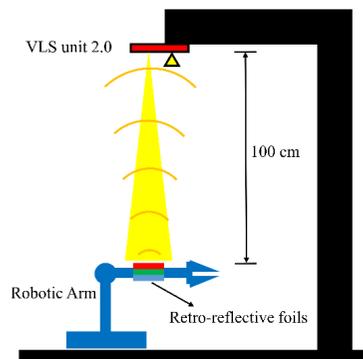


Reference: Wang Q. & Zuniga M. (2017) Passive Sensing and Communication Using Visible Light: Taxonomy, Challenges and Opportunities, <https://arxiv.org/pdf/1704.01331.pdf>

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

Anwendungsbeispiel

Erkennung der Rotationsrichtung (im/gegen Uhrzeigersinn) und bei unterschiedlichen Rotationsgeschwindigkeit eines Roboterarms mittels VLS



MC-E Color

Quelle: Cree Inc.

Machine Learning zur Determinierung der Folien

21

- Die Erkennung der Folien (Klassifikation) erfolgt mittels supervised Learning Algorithmus
- Trainingsphase zur Erstellung des Systemmodells ist dabei von äußerster Wichtigkeit
- In unserem Ansatz wurden die Folien einzeln trainiert zur Minimierung des Training Aufwands
- Welche Merkmale (Features) der Reflektion werden zur Erstellung des Systemmodells eingesetzt



VLS Unit 2.0 →

22



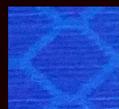
3M Red



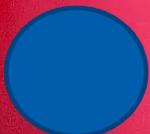
Orafol Red



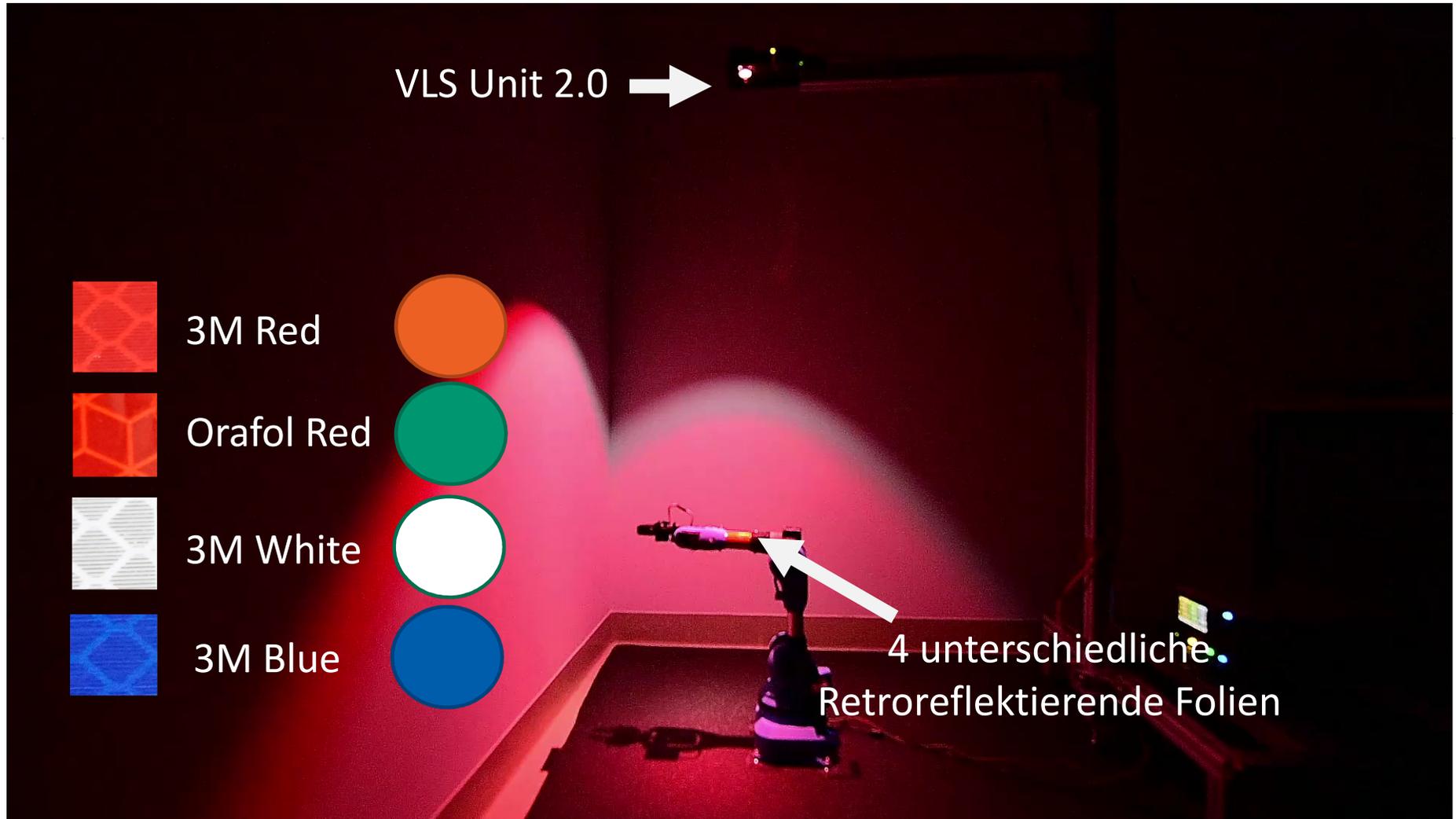
3M White

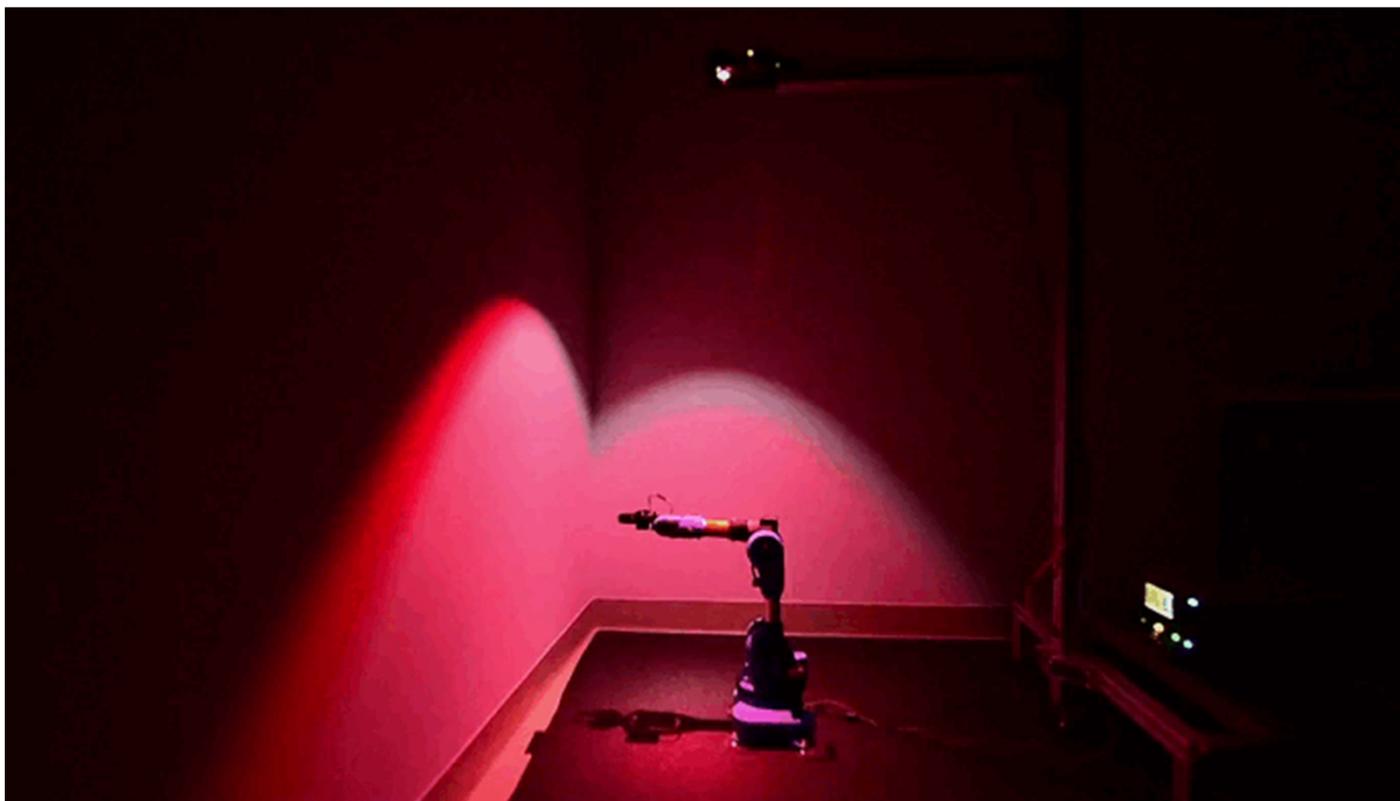


3M Blue



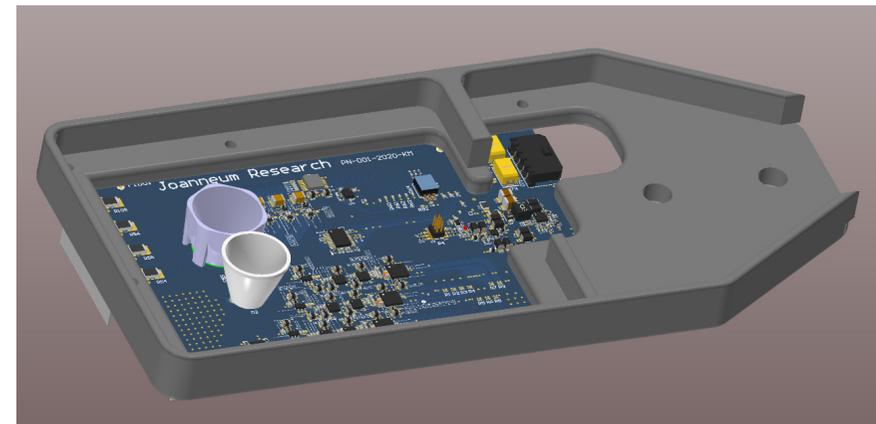
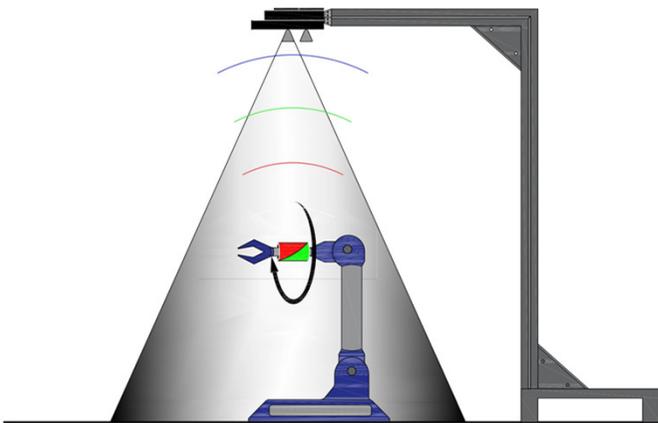
4 unterschiedliche
Retroreflektierende Folien





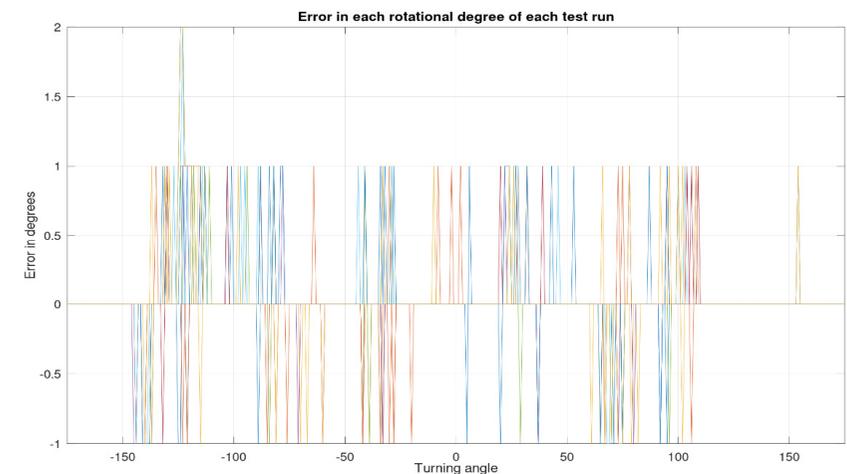
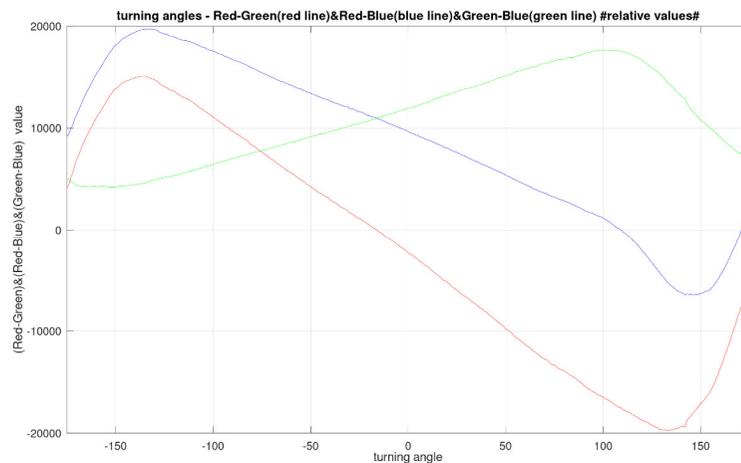
Anwendungsbeispiel

- Erkennung des Rotationswinkel und der „Stellung“ des Roboterarms mittels VLS



Anwendungsbeispiel

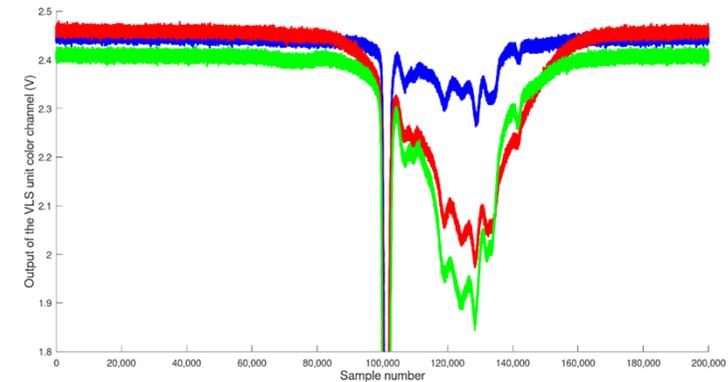
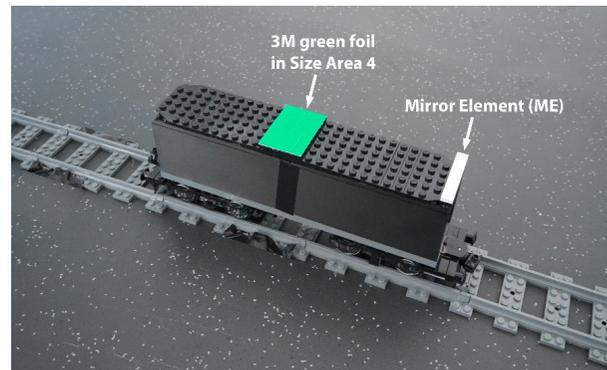
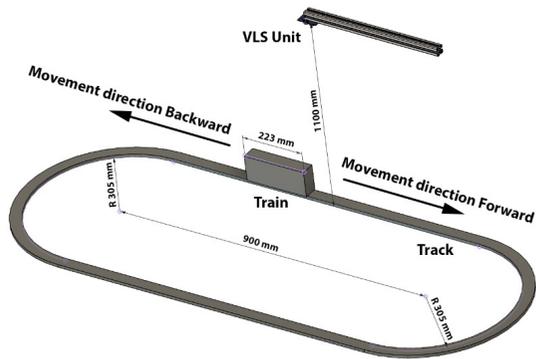
- Training der verschiedenen Drehpositionen des Roboterarms
- Training auf relative Parameter
 - absolute Parameter sind in hohem Maße unwiederholbar
- K-Nearest Neighbor ML-Modell zur Vorhersage der Rotationsposition mit 1° Genauigkeit
- Bewertung der Modellgenauigkeit durch Vergleich mit dem eingebauten Hall-Sensor



Identifikation, Bewegungsrichtung- und Geschwindigkeitserkennung eines bewegten Objekts

27

- Anwendungsbeispiel des Einsatzes von BVLS auf einem horizontal bewegten Objekt
- Keine aktive Sensorik auf dem Objekt notwendig



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%

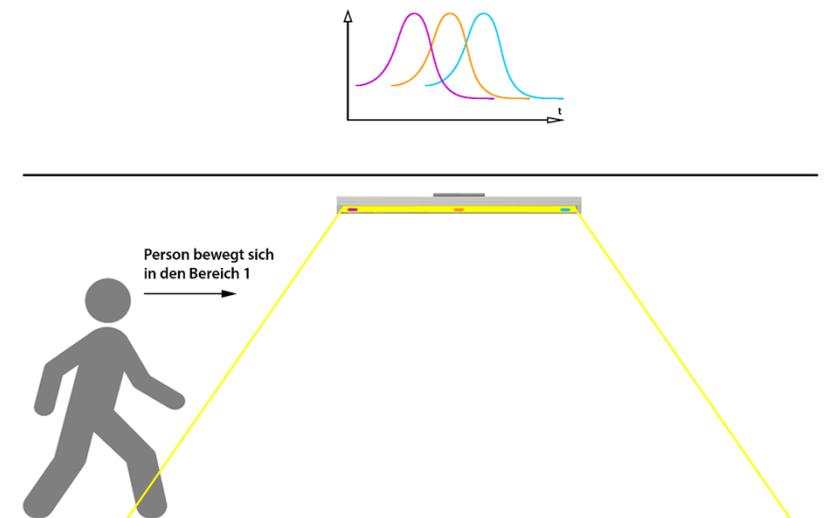
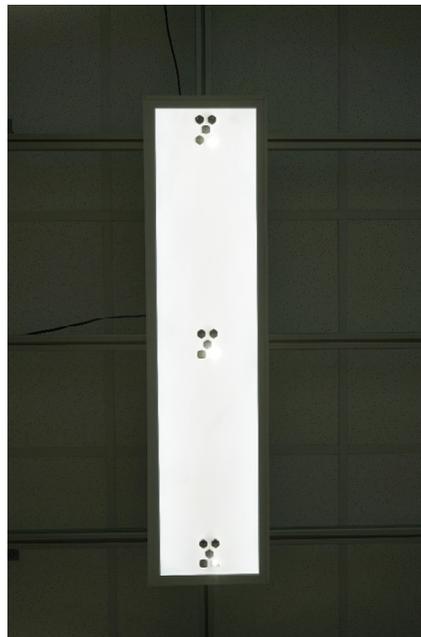
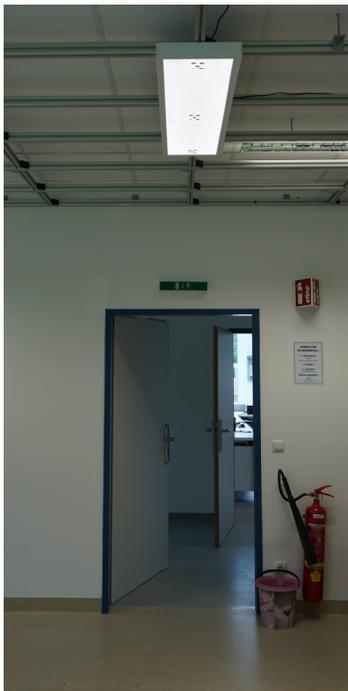
Anwendung BVLS zur Belegungserkennung bzw. Präsenzdetektion

28

- Gebäude sind für einen erheblichen Anteil des Primärenergieverbrauchs in Europa verantwortlich
- Gezielte, bedarfsgerechte Steuerung von Gebäudemanagementsystemen ermöglicht Energieeinsparungen
- Eine auf VLS basierende Belegungserkennung hat mehrere Vorteile:
 - Kostengünstige Komponenten
 - Datenschutz und Privatsphäre
 - Wiederverwendung der bestehenden Infrastruktur
 - Beleuchtungsinfrastruktur ist in Gebäuden allgegenwärtig
 - Anbindung des Belegungserfassungssystems an die Gebäudeleittechnik mit möglichst geringem Aufwand
 - Realisierung eines Low-Cost, Low-Tech Ansatzes speziell für den Einsatz in bestehenden Gebäuden
 - Weiterentwicklung der Leuchte zu einem Akteur im Smart Building neben der reinen Lichtquelle

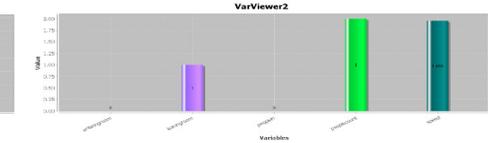
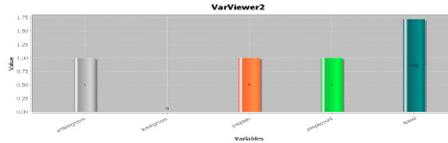
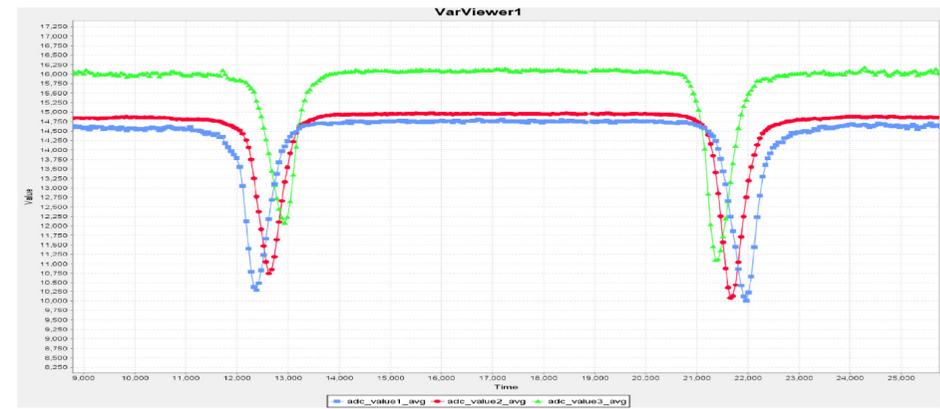
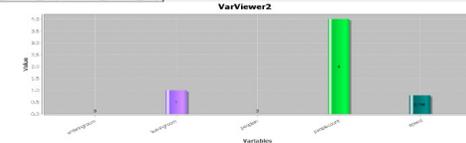
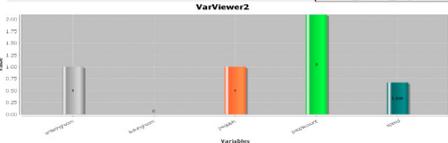
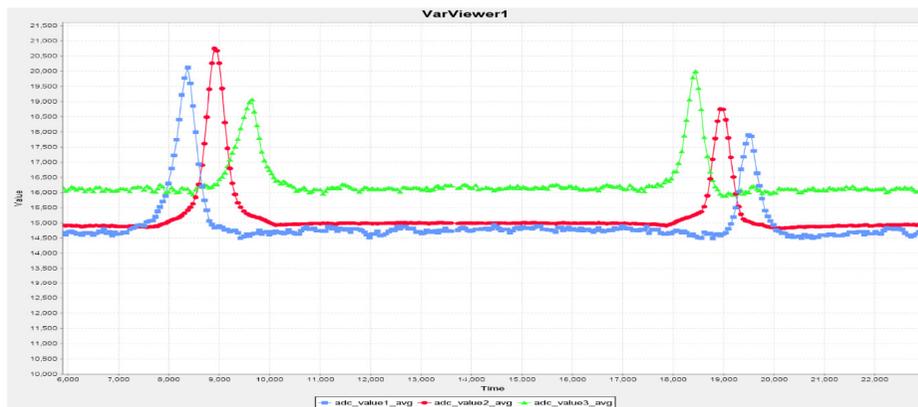
Belegungserkennung bzw. Präsenzdetektion

■ Lösungsansatz:

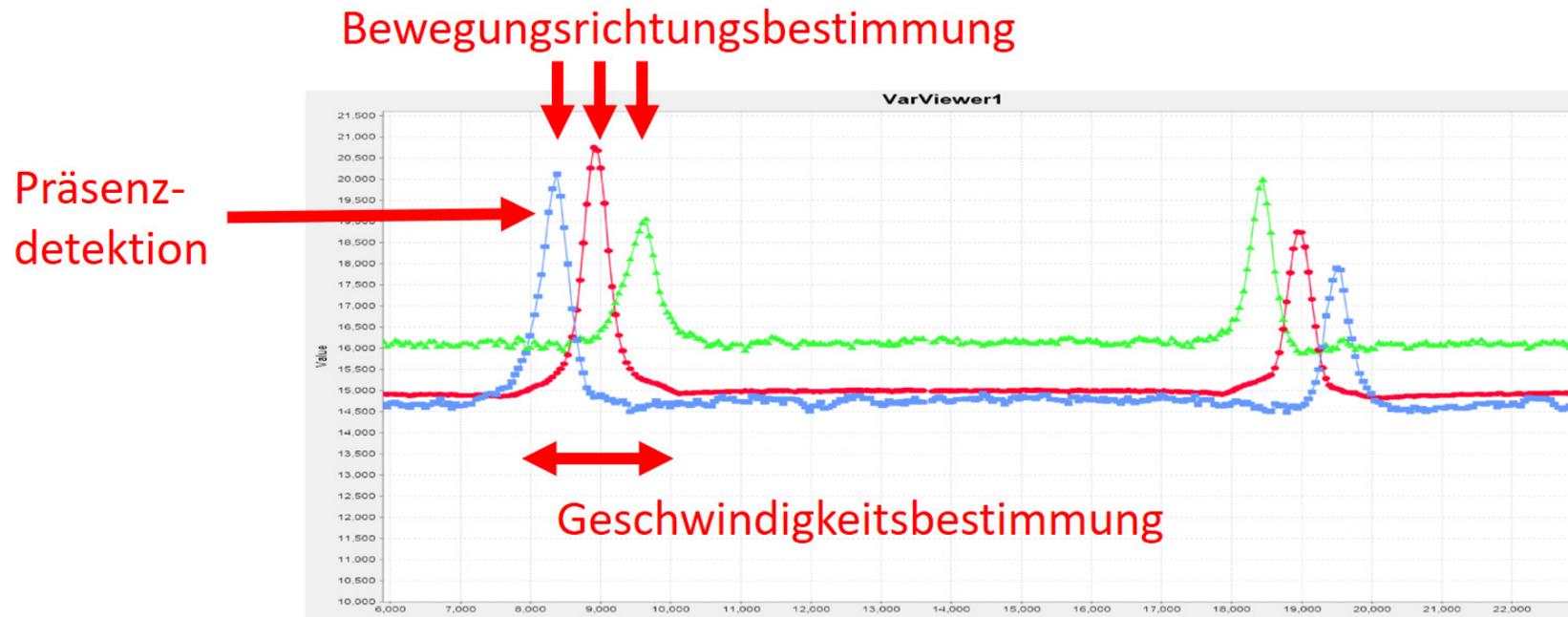


Belegungserkennung bzw. Präsenzdetektion

- Kleidung, Größe, Haare, Boden und Umgebungslicht haben einen erheblichen Einfluss auf das System



Belegungserkennung bzw. Präsenzdetektion

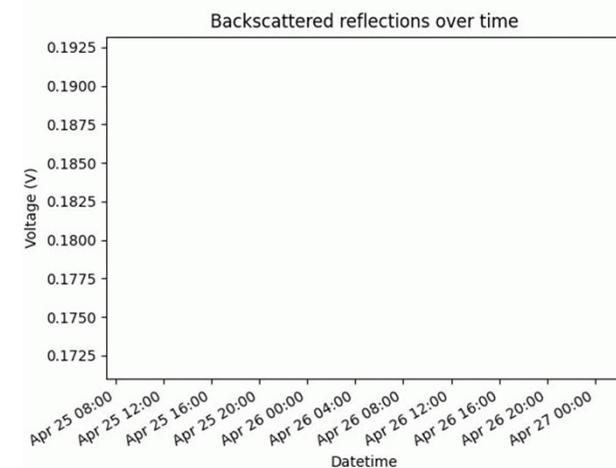
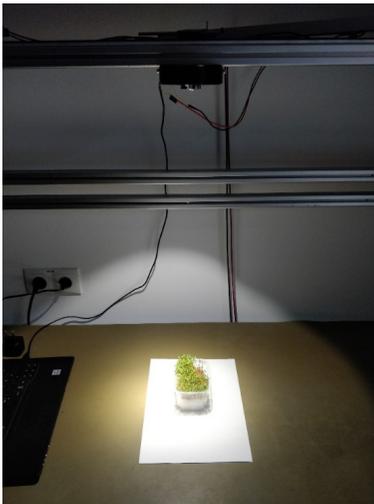


Belegungserkennung bzw. Präsenzdetektion

- Ergebnisse:
 - Anwesenheitserkennung mit fast 100%, unabhängig von Größe, Kleidung, Haaren etc.
 - Richtungsbestimmung → die Belegung bestimmter Bereiche kann überwacht (geschätzt) werden
 - Schätzung und Überwachung von Gehgeschwindigkeiten → abnormales Verhalten erkennen
 - Umgebungslicht (Sonne und oder anderes Kunstlicht) kann kompensiert werden
- Herausforderungen
 - Schnell wechselndes Umgebungslicht (z.B. bewölkter Tag)
 - Mehrere Personen eng aneinander (~50 cm)

Anwendungsbeispiel - Horticultural Lighting

- BVLS zur Überwachung des Pflanzenwachstums im Horticultural Bereich
- Die Automatisierung im Horticultural Bereich ist derzeit ein heißes Thema:
 - Verringerung der arbeitsintensiven manuellen Inspektion
 - Kostengünstige/low-complex Ansätze sind gefragt



VLC und VLS ein Widerspruch ?

34

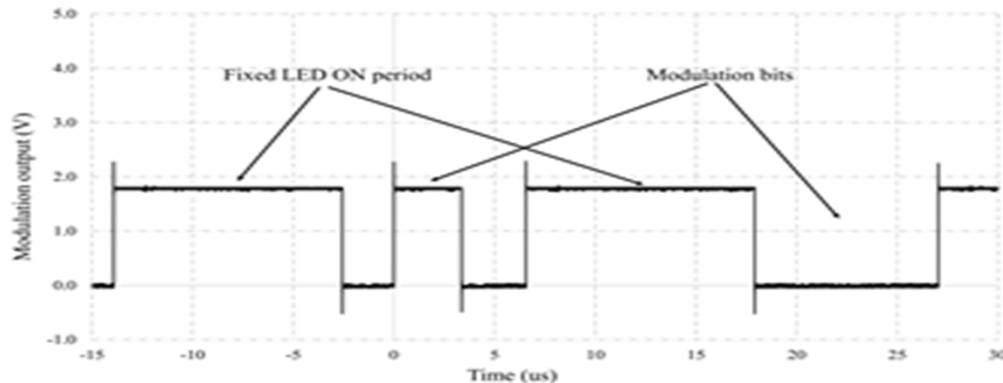
- VLC moduliert die Intensität des ausgesendeten Lichts um Daten zu übertragen
- VLS wertet die Intensität und spektrale Zusammensetzung der Reflektion aus
- Lösung durch strikte zeitliche Trennung von VLC und VLS durch direkte Kontrolle der LED sowie des ADC

Sensing

ILLU.

Sensing

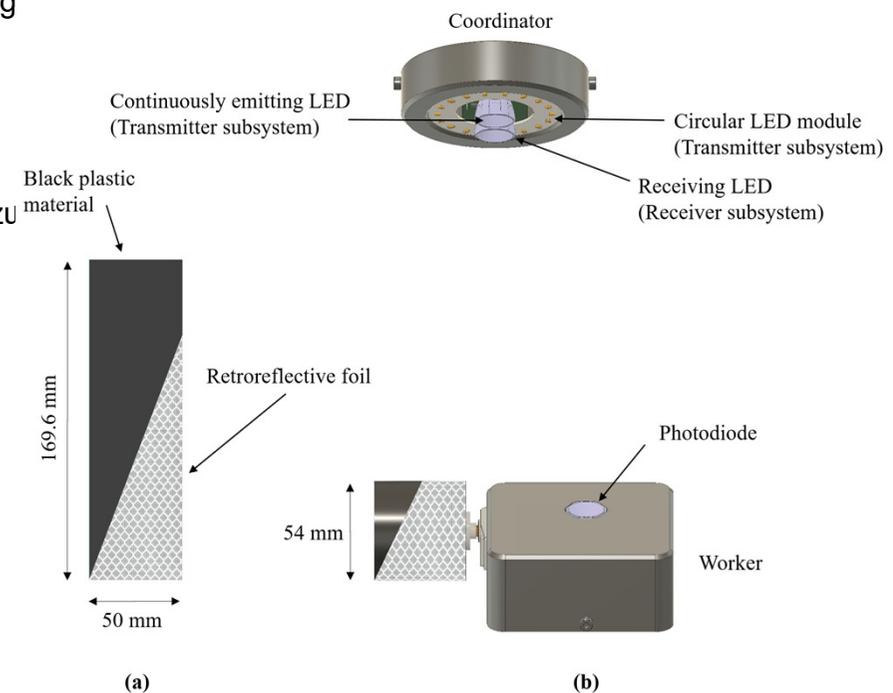
ILLU.



Rotationsgeschwindigkeit	Korrekte Resultate ohne VLC Kommunikation	Korrekte Resultate mit VLC Kommunikation
0.625 rad/s	98,33 %	96,66 %
1.25 rad/s	98,33 %	100 %
1.875 rad/s	91,66 %	100 %
2.5 rad/s	96,66 %	100 %

Joint communication and sensing (JCS) - VLC + VLS

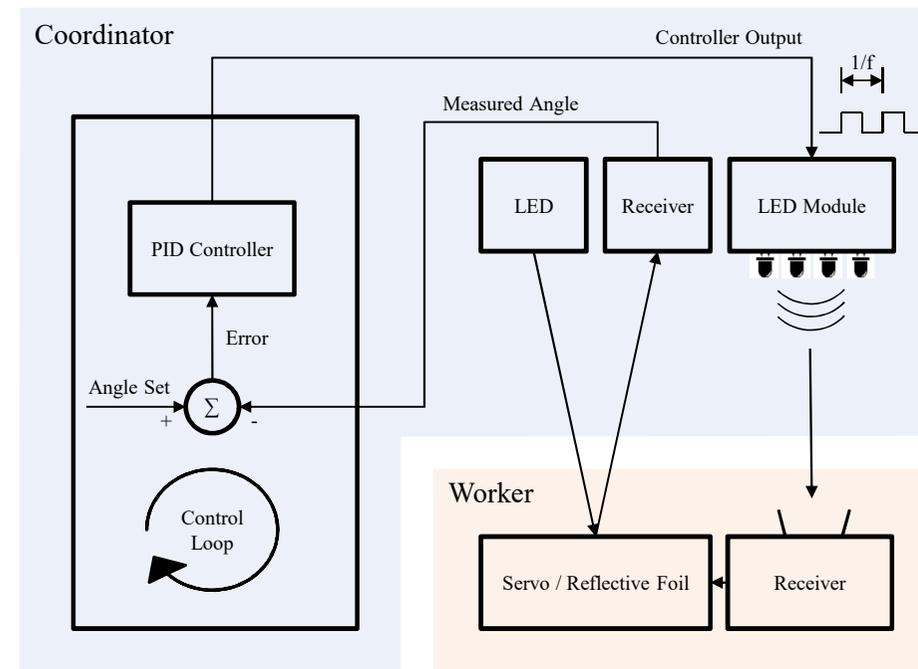
- Eines der Hauptkonzepte des zukünftigen 6G-Standards ist die Parallelisierung von Kommunikation und Sensorik unter Verwendung der gleichen Wellenformen und der gleichen Hardware
- Die Forschungsaktivitäten im Bereich der so genannten Joint Communication and Sensing (JCS) Systeme ermöglichen Anwendungen wie Funckerkennung und -entfernungsmessung in Kombination mit der Kommunikation von Daten zu Empfängern.
- Licht basierendes JCS-System
 - **Koordinator:**
 - LED-Modul für die Kommunikation
 - LED für konstante Beleuchtung
 - Optischer Empfänger
 - Mikrocontroller
 - **Arbeiter:**
 - Optischer Empfänger
 - Servomotor mit rotierendem Zylinder
 - Mikrocontroller



"Unrolled" 2D representation of the rotating cylinder showing the attached retroreflective foil on the 3D printed rotating cylinder (black plastic material). (b) 3D models of the Coordinator and the Worker

Control Loop

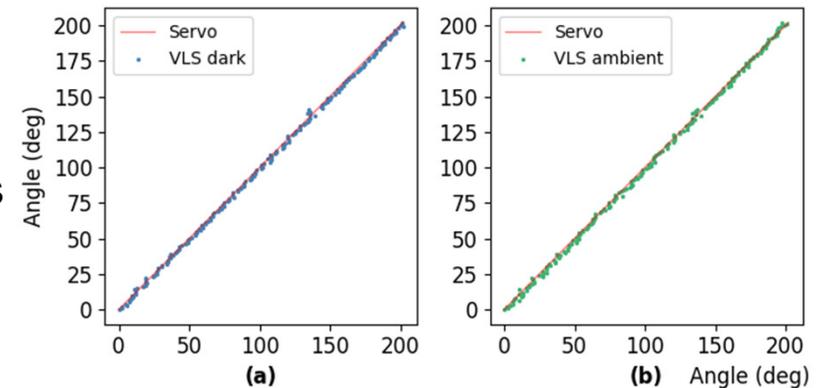
- 1. Der Koordinator erfasst die Intensität des von der retroreflektierenden Folie reflektierten Lichts und damit die Winkelposition des Zylinders mit Hilfe des VLS
- 2. Berechnung des Offsets (Fehlers) zwischen gewünschtem Winkel und gemessenem Winkel
- 3. Auf der Grundlage des Fehlers regelt ein PID-Regelalgorithmus die Kommunikation mit Hilfe des VLC Befehle werden durch frequenzmoduliertes Licht übertragen (600 Hz Stoppbefehl, 500 Hz Rechtsdrehung max. Geschwindigkeit und 700 Hz Linksdrehung max. Geschwindigkeit, linear abgebildet)
- 4. Der Arbeiter empfängt die frequenzmodulierten Befehle und der Servomotor wird entsprechend angesteuert (Stopp, Rechts- oder Linksdrehung)



Overview of the implemented control loop in the proposed VLC-VLS ISAC system.

VLC + VLS

- Ermittelter Drehwinkel durch VLS stimmt gut mit dem internen Hall-Sensor überein
- Problematisch sind Drehpositionen, bei denen bereits die Kalibrierkurve gewisse Nichtlinearitäten aufweist ($\sim 165^\circ$)
- Gemittelter absoluter Fehler bei der Drehwinkelbestimmung von $1,2^\circ$ und $1,3^\circ$
- Die Genauigkeit des vorgeschlagenen Systems kann durch Kalibrierung der Hardware optimiert werden



Measurement results of the comparison between VLS and internal Hall sensor in (a) dark conditions and (b) ambient light conditions.

Ambient Room Lighting	Measurement Results	
	Average absolute deviation in degree	Maximum absolute deviation in degree
OFF	1.2	5
ON	1.3	5

Visible Light Positioning

38

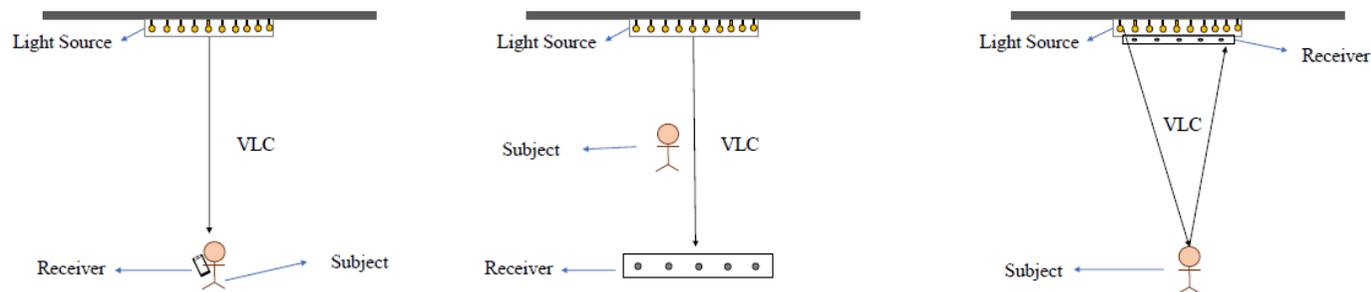
- VLP nutzt das im sichtbaren Lichtspektrum empfangene Licht eines lichtempfindlichen Geräts (Photodiode(n), Kameras), um die Aufgabe des Positioning zu erfüllen
- VLP steht in engem Zusammenhang mit der Kommunikation durch sichtbares Licht, auch Visible Light Communication (VLC) genannt
- Mit der Kombination von VLC und VLP ist es möglich, wesentliche Daten zur Durchführung der Positionierungsaufgabe zu übertragen



Visible Light Positioning

39

- Im Vergleich zu anderen Indoor Positioning Systemen (z.B.: WiFi basiert, Kamera basiert, etc.) ist VLP führend bei der Positionierungsgenauigkeit
- Anwendungsszenario sowie Komplexität des Systems (Lichtquelle(n) bzw. Receiver) haben entscheidenden Einfluss auf die erzielbaren Genauigkeiten
- Möglichen Kategorisierung von VLP sind:
 - „Szenario“ basiert
 - Device-Free oder Device-based



Reference: Rahman, A.B.M.M.; Li, T.; Wang, Y. Recent Advances in Indoor Localization via Visible Lights: A Survey. *Sensors* 2020, 20, 1382. <https://doi.org/10.3390/s20051382>

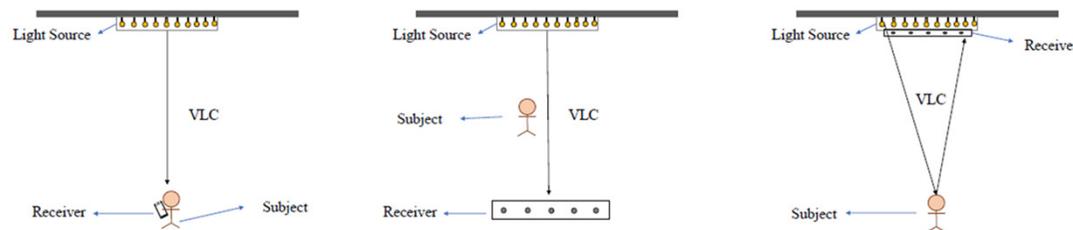
Visible Light Positioning

40

- In Bezug auf VLP muss immer die übergeordnete Funktion mitbetrachtet werden
- Hochgenaue Anwendungen:
 - Sturzerkennung: kontinuierliche hochgenaue 3D Positionierung notwendig
 - Hohe Anforderungen an Beleuchtungskörper und Receiver → komplexes Gesamtsystem
 - Parameter des Raums müssen genauestens bekannt sein
- Anwendungen mit niedrigeren Anforderungen:
 - Raumerkennung - Befinde ich mich im richtigen Raum ?
 - Position innerhalb des Raums unerheblich
 - Realisierung mit low-complex Ansätzen möglich

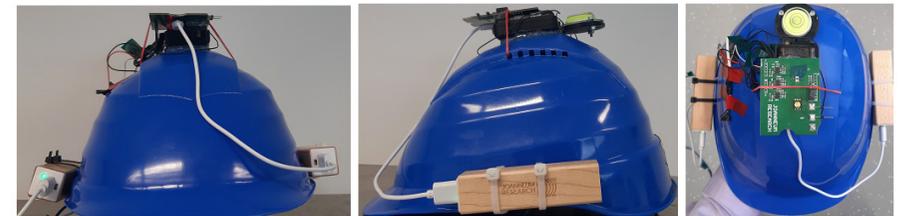
Methoden - Visible Light Positioning

- Die Methoden zur Positionierung mit VLP sind fast identisch mit den Methoden in RF-basierten Systemen
- Insgesamt können die Ansätze in drei Hauptmethoden unterteilt werden:
- Geometriebasierte Methoden nutzen Signaleigenschaften wie Empfangsstärke (RSS), Ankunftszeit (ToA), Ankunfswinkel (AoA) oder Ankunftszeitdifferenz (TDoA), um die Position durch Triangulation oder Trilateration mit den bekannten Positionen der Quelle zu berechnen.
- Proximity basierte Systeme erhalten die ID der Quelle und können durch die Suche nach der Position der Quelle in einer bekannten Karte auf die Position schließen.
- Fingerprinting beruht auf dem Abgleich eines aktuellen Wertes mit einer bekannten Offline-Karte zur Schätzung der Position



Visible Light Positioning

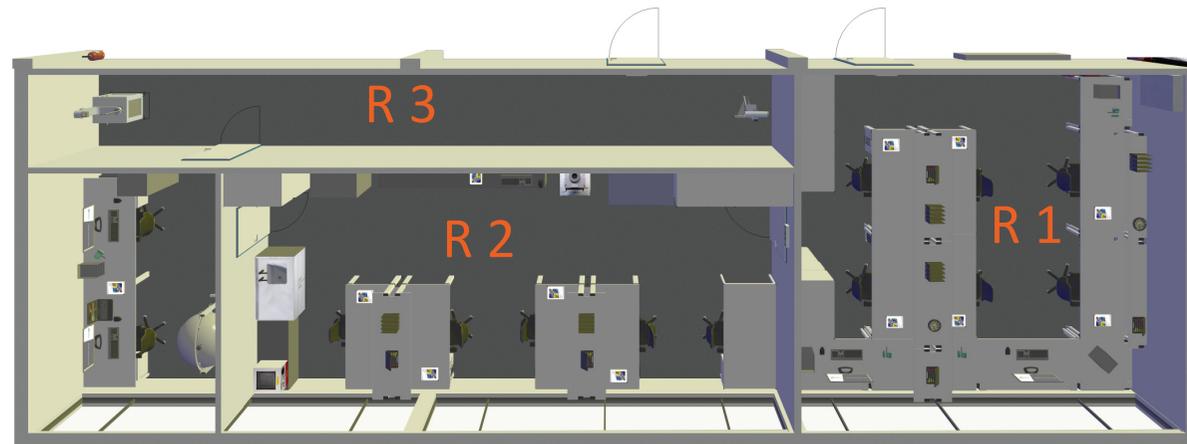
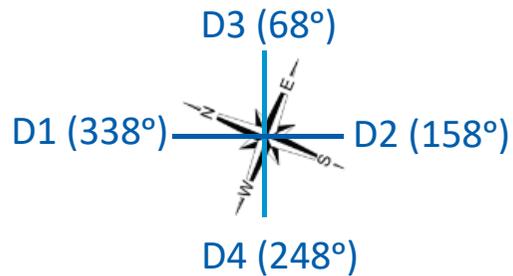
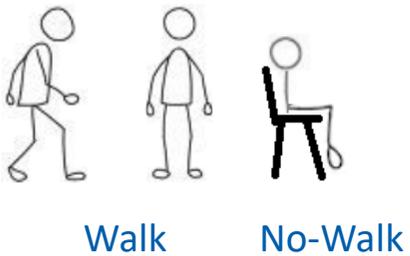
Task	Sensors	Outcome
Activity		Walk, No-Walk
Direction		D1, D2, D3, und D4
Location		R1, R2 und R3



Raum

Activität

Richtung



Visible Light Positioning

43

- Die Leuchten in jedem der drei verschiedenen Räume, in denen die Studien durchgeführt wurden, wurden unverändert verwendet



OSRAM LuxiLED 1200x300 4000k 32W (Room 1)



Philips CorePro LED Spot 4.6 W,
355 Lumen (Room 3)

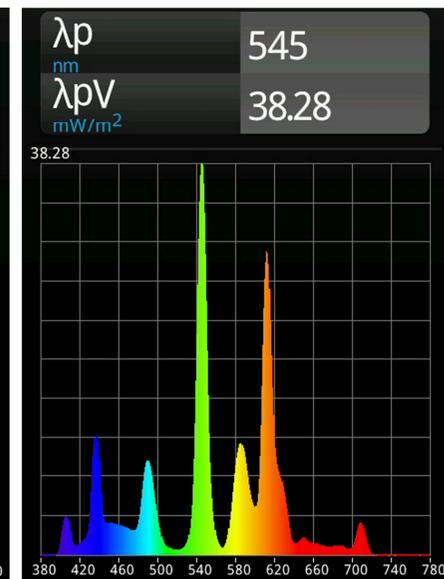
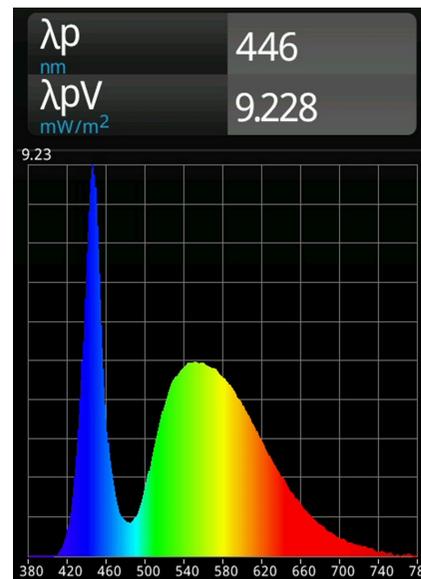
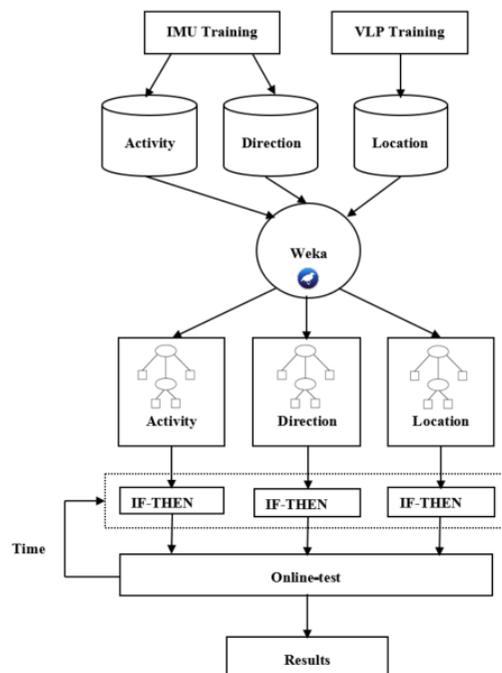


OSRAM LUMILUX cool white FQ 54 watt 840 (Room 2)

Visible Light Positioning

44

- Durch die Trennung der Aktivitätserkennung von der Standortbestimmung (Raum) wurde ein flexibler und leicht erweiterbarer Ansatz entwickelt



Visible Light Positioning

45

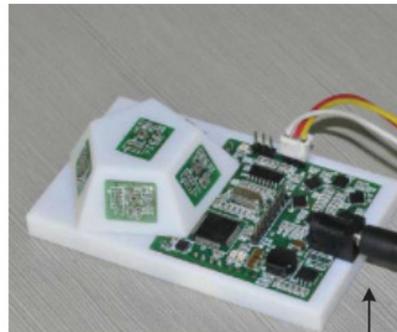
- Ergebnisse (15 Durchläufe pro Aktivität und Richtung und Raum) :

Task	Walk	No-Walk
Location	94,34%	99,75%
Direction	94,07%	98,99%
Activity	98,42%	95,83%

- Die Ergebnisse zeigen die Skalierbarkeit der VLP-Ansätze
- Keine Adaption der vorinstallierten Leuchten notwendig
- Bestimmung des Raums und der Aktivität

Aktuelle Trends in VLP Systemen

- Spatial Beamforming
- Angle diverse Receiver - Versuch einer hohen Auflösung des Einfallswinkel in Bezug auf die Lichtquelle

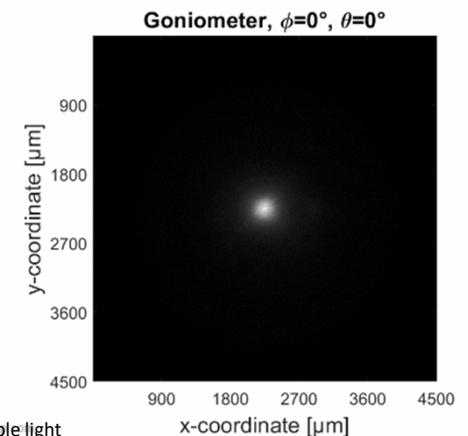
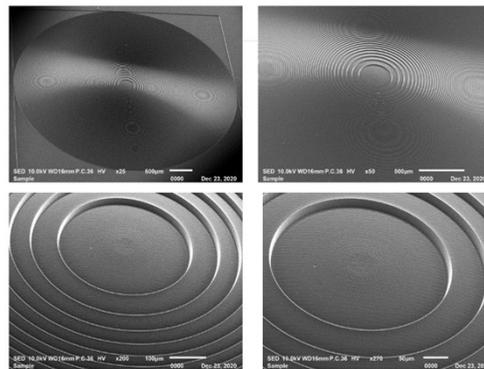
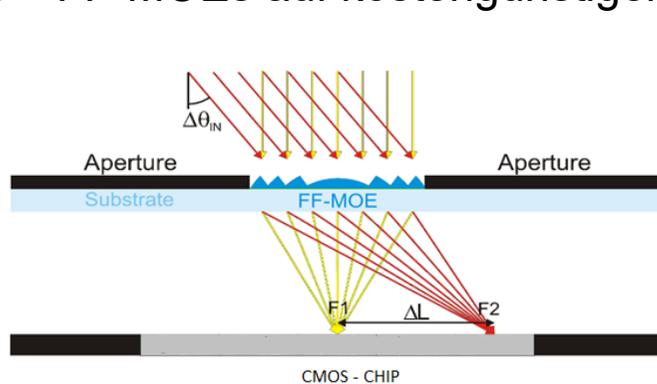


Source: B. Xie, G. Tan, Y. Liu, M. Lu, K. Chen, T. He, "LIPS: A Light Intensity--Based Positioning System for Indoor Environments".
ACM Transactions on Sensor Networks, vol. 12, 2016, doi:10.1145/2953880

- VLP Empfänger gekoppelt mit IMU Sensoren zur Ermittlung der Verkippung bzw. Aktivitätserkennung

Ansatz der Freiform Mikrooptiken FF-Moe

- Räumliche Auflösung des einfallenden Lichts sowohl in Azimuth- als auch in Elevationseinfallswinkel durch Weiterentwicklung von Freiform-Mikrooptik Elementen (FF-MOEs)
- Dieser neuartige, auf ultraflachen (einige Mikrometer Höhe) optischen Elementen aufbauende Lösungsansatz bedarf eines innovativen auf VLP Funktionen abgestimmten Designprozesses
- FF-MOEs auf kostengünstiger Folienbasis

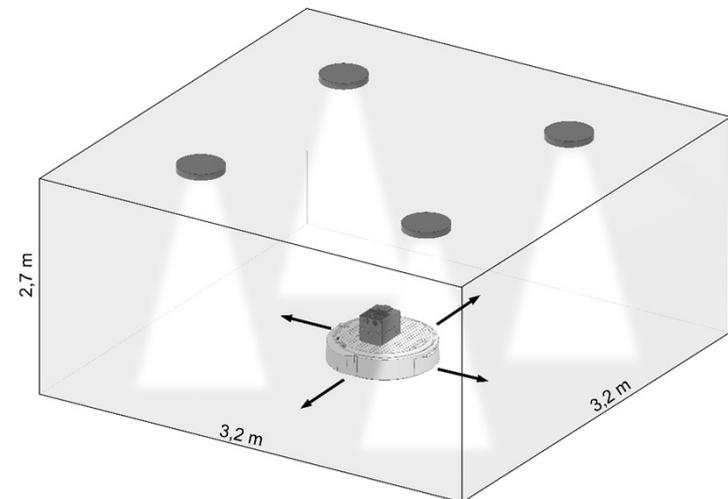


Reference: Felix Lichtenegger, Claude Leiner, Christian Sommer, Andreas Weiss, Andreas Kröpfel, and Saman Zahiri-Rad "Compact angle diversity receiver concept for visible light positioning", Proc. SPIE 12138, Optics, Photonics and Digital Technologies for Imaging Applications VII, 121380J (17 May 2022); <https://doi.org/10.1117/12.2621579>

FF-Moe basiertes VLP

Haushaltsroboter bewegt sich am Boden, wobei das Receiver-System laufend seine Position ermittelt, die mit der bekannten Position verglichen werden kann.

- Erste Testergebnisse liefern Positionsgenauigkeiten im Bereich weniger Zentimeter
- Durch weitere Optimierung der Auswertelgorithmen werden noch höhere Genauigkeiten erwartet
- Insbesondere hinsichtlich der Realisierung von Location-based Services ein zukunftssträchtiger Ansatz



Zusammenfassung und Ausblick

49

- Visible Light Communication
 - VLC wird WiFi nicht verdrängen oder ersetzen
 - Naheliegend sind Hybridlösungen, die nahtloses Umschalten zwischen RF Kommunikation und VLC ermöglichen
 - Entlastung der RF Kommunikation durch „Auslagern“ von Teilen in VLC basierte Kommunikation
 - Anwendungsszenarien z.B.: VLC bei stationären Tätigkeiten (z.B.: Arbeitsplatz), WiFi in Bereichen mit hoher Mobilität (z.B.: Gänge)
 - Durchbruch bei Integration in Endgeräte (z.B.: Smartphones)
 - Einsatz in RF sensiblen Bereichen

Zusammenfassung und Ausblick

50

- Visible Light Sensing
 - Besonders im Hinblick auf Privatsphäre, Energieeffizienz und Installationsaufwand sind Lichtbasierte Technologien ideale Lösungsansätze für bestehende Probleme
 - Backscattered VLS – keine aktive Sensorik am Objekt notwendig (kein e-waste)
 - Kostengünstige Komponenten
 - Beleuchtung bleibt uneingeschränkt erhalten
 - VLC und VLS kombinierbar ohne negative Wechselwirkung
 - Ambientes Licht kompensierbar

Zusammenfassung und Ausblick

51

- Visible Light Positioning
 - Sehr gute Skalierbarkeit der Komplexität des Systems vs. Verlangte Genauigkeiten
 - Keine Bedenken hinsichtlich Privatsphäre
 - Kostengünstige Komponenten
 - Beleuchtung bleibt uneingeschränkt erhalten
 - Sowohl Device-free als auch Device-based Ansätze realisierbar

Ausblick

- „Wo geht die Reise hin“
 - Kooperation statt Konfrontation – Hybride Systeme unterschiedlichster Technologien (RF, Visible Light, etc.)
 - Jede Technologie soll bzw. muss mehr bieten als ihre Basisfunktionalität
- 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
 - Backscatter Ansätze gewinnen auch im RF Bereich immer mehr an Bedeutung
- Visible Light Ansätzen können zur Lösung von bestehenden und absehbaren Problemen beitragen:
 - E-Waste
 - Ressourcenverbrauch
 - Green Deal
 - Datenschutz und Privatsphäre

Kontakt

MATERIALS

Smart Connected Lighting

Telefon: +43 316 876-3601

andreas-peter.weiss@joanneum.at

Industriestraße 6

7423 Pinkafeld



Danke für Ihre Aufmerksamkeit