



Schlussbericht für das BMBF-Verbundprojekt OLPOMETS

Off-grid low-power measurement platform for traffic solutions

Teilvorhaben: Intelligenter Sensorkopf, Systemintegration und
Feldtest (FKZ: 13N12726)



- Erstellung und Erprobung einer mobilen und autarken Messplattform zur
Verkehrsüberwachung -

Impressum

Jenoptik

Opladener Straße 202

D-40789 Monheim am Rhein

Telefon: +49 2173 3940-0

Fax: +49 2173 3940-131

Info.vs@Jenoptik.com

www.Jenoptik.com/vs

Inhaltsverzeichnis

I.	Kurzdarstellungen zum Projekt OLPOMETS	6
I.1	Aufgabenstellung.....	6
I.2	Voraussetzungen, unter denen das Projekt durchgeführt wurde.....	6
I.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	7
I.4	Kurze Darstellung zum wissenschaftlichen und technischen Stand, an den angeknüpft wurde	8
I.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	8
II.	Eingehende Darstellung des Projektes OLPOMETS.....	10
II.1	Eingehende Darstellung der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele.....	11
II.1.1	Ergebnisse der Konzeptphase	11
II.1.2	Ergebnisse der Labormusterphase	16
II.1.3	Ergebnisse der Demonstratorphase	23
II.1.4	Ergebnisse der Testphase	27
II.2	Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	36
II.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	36
II.4	Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplan.....	36
II.5	Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	36
II.6	Veröffentlichungen des Ergebnisses	37
III.	Glossar	38

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Organisation des deutschen und chinesischen Projektes.....	9
Abb. 2: Plattformübergreifende Forschung. Kooperation mit chinesischen Partnern.....	9
Abb. 3: Projektphasen in OLPOMETS.....	10
Abb. 4: Gliederung des Gesamtsystem OLPOMETS in zwei größere Einheiten / Kernkomponenten: Energieversorgung und Messsystem.....	11
Abb. 5: OLPOMETS-Labormuster.	16
Abb. 6: Semi-mobiler OLPOMETS-Demonstrator-Anhänger zur Aufnahme des Messsystems mit Energieversorgung inkl. Solarzellen zur Erhöhung der Betriebslaufzeit.....	17
Abb. 7: Modell des Stacksystems ohne Sensorboard sowie mit CMOS-Frontend (rechts).	18
Abb. 8: Stacksystem mit CMOS- und Radar-Frontend (rechts).....	18
Abb. 9: Geometrisches Szenario zur Anwendung des OLPOMETS-Demonstrators.	20
Abb. 10: Prozesskette der Bildverarbeitung zur Geschwindigkeitsermittlung: Rohbild, Optischer Fluss, Disparitätenschätzung, kombinierte Ansicht des optischen Flusses mit Disparitätenschätzung, 3D- Tracking.....	21
Abb. 11: OLPOMETS-Benutzerschnittstelle (GUI) mit Statusanzeige der Hardware-Komponenten.....	22
Abb. 12: OLPOMETS-Messsystem im Demonstratorgehäuse mit geschlossener und offener Ausführung.	23
Abb. 13: Semi-mobiler OLPOMETS-Demonstrator-Anhänger zur Aufnahme des Messsystems mit Energieversorgung inkl. Solarzellen zur Erhöhung der Betriebslaufzeit.....	23
Abb. 14: 3D-Vermessung eines Fahrzeuges mit automatischer Hintergrundmaskierung.....	25
Abb. 15: Anzeige der Statusinformationen der OLPOMETS-Energieversorgung.	26
Abb. 16: Anzeige von Statusinformationen und Konfiguration der OLPOMETS-Demonstratorblitze.	26
Abb. 17: Test des OLPOMETS-Demonstrators an einer 4-spurigen Bundesstraße.	27
Abb. 18: Stationärer Testsaufbau am Messplatz Hildesheim-Lerchenkamp. Die OLPOMETS- Demonstratorblitze wurden mittig im vierten Mess-Segment von unten (anstatt des Tracking-Radars) des TT2.0 auf 2,4m Höhe zum Straßenniveau (angrenzende Gosse) verbaut. Der mittlere Abstand der Blitze zur Gosse betrug 2m.....	28
Abb. 19: Mobiler Testsaufbau auf dem Firmenparkplatz der Jenoptik Robot GmbH in Hildesheim.	28
Abb. 20: Messszenario sowohl für den stationären als auch mobilen Test-aufbau.....	29
Abb. 21: Test des OLPOMETS-Demonstrators am Messplatz Hildesheim-Lerchenkamp bei ankommendem Verkehr (links); Vergleichende Messungen zwischen Referenzkomponenten und dem OLPOMETS-Demonstrator auf dem Firmenparkplatz der Jenoptik Robot GmbH in Hildesheim (rechts)	29

Abb. 22: Vergleichende Messungen zwischen dem Referenzblitz und dem OLPOMETS-Demonstratorblitz mit der Referenzkamera (Rohbilder).30

Abb. 23: Vergleichende Messungen zwischen dem Referenzblitz und dem OLPOMETS-Demonstratorblitz mit der Referenzkamera.30

Abb. 24: Vergleichende Messungen zwischen dem Referenzblitz und dem OLPOMETS-Demonstratorblitz mit der Zynq-Kamera.31

Abb. 25: Vergleichende Messungen der Bildqualität zwischen der Referenz-Kamera und der Zynq-Kamera in Hinblick auf Bildfehler.31

Abb. 26: Vergleichende Messungen der Bildqualität zwischen der Referenz-Kamera und der Zynq-Kamera in Hinblick auf Klassifizierung (LKW).....32

Abb. 27: Vergleichende Messungen der Bildqualität zwischen der Referenz-Kamera und der Zynq-Kamera in Hinblick auf Bildhelligkeit.33

Abb. 28: Testaufbau bei der Demonstration des Gesamtsystems auf der Abschlussveranstaltung OLPOMETS am 14.4.2016 in Berlin.34

Abb. 29: Aufnahmen der beiden Stereo-Kameras (oben und unten) bei der Demonstration auf der Abschlussveranstaltung OLPOMETS am 14.4.2016 in Berlin.....34

Abb. 30: 3D-Vermessung des Fahrzeuges als Vorstufe zur Klassifikation35

I. Kurzdarstellungen zum Projekt OLPOMETS

I.1 Aufgabenstellung

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung startete im Jahre 2012 das Förderprogramm „Photonik Forschung – Deutschland“ und förderte das dreijährige F+E-Projekt OLPOMETS als Technologie- und Innovationsförderung im Bereich (Leistungsplansystematik) „Optische Technologien für Beleuchtung und Umweltschutz“. Gegenstand der Fördermaßnahme war, die Innovationsstärke Deutschlands auf dem Gebiet der optischen Technologien auszubauen. Das Projekt OLPOMETS fusionierte photonische Messtechnik mit photonischer Energieversorgung und beinhaltete die Erstellung und Erprobung des Prototyps eines autarken Niedrigenergiemessgerätes zur Verkehrsüberwachung. Das Gerät vereint die Vorteile von stationären und mobilen Systemen. Daneben umfasste das Projekt die Entwicklung eines LED-Blitzes und einer intelligenten Energieversorgung durch die Verbundpartner.

Ziel des Teilvorhabens Intelligenter Sensorkopf, Systemintegration und Feldtest im Projekt OLPOMETS war die Entwicklung einer (semi-)mobilen Messplattform für den Verkehrssicherheitsbereich, die sich durch Energieautarkie, Mobilität und einfache Handhabbarkeit auszeichnet. Das System ist auch für den Einsatz zur Verkehrszählung, Analyse und einem innovativen Verkehrsmanagement geeignet und kann so zur Verbesserung des Verkehrsflusses beitragen. Als eigentlicher Messwertgeber wurden ein Stereokamerakopf und ein hochmodernes Radarfrontend integriert. Über die Umsetzung dieser Gesamtlösung wurden Eigenschaften realisiert, die die Möglichkeiten bisheriger Anlagen in folgenden Punkten übertreffen:

- Unbemannter Betrieb rund um die Uhr
- Geringe Unterhaltungs-, Personal- und Überwachungskosten
- Hohe Flexibilität bezüglich Einsatzort
- Nichtinvasive Installation
- Geringe Investitionskosten

I.2 Voraussetzungen, unter denen das Projekt durchgeführt wurde

Das Projekt OLPOMETS lief vom 1.5.2013 bis zum 30.04.2016. Das Vorhaben hatte ein Gesamtfördersumme von 2.015.700,00 €, welche sich auf die verschiedenen Projektpartner wie folgt verteilte:

FKZ: 13N12726

Zuwendungsempfänger: JENOPTIK Robot GmbH (JERO), Monheim am Rhein

Ausführende Stelle: JENOPTIK Robot GmbH (JERO), Monheim am Rhein

Teilvorhaben: Intelligenter Sensorkopf, Systemintegration und Feldtest

Fördersumme: 871.400,00 € (Fördermittelquote 43,00%)

FKZ: 13N12727

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.

Ausführende Stelle: Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM), Berlin

Teilvorhaben: Energieautarker LED Hochleistungs-Blitz

Fördersumme: 591.100,00 € (Fördermittelquote: 100,00%)

FKZ: 13N12728

Zuwendungsempfänger: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.

Ausführende Stelle: Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik (IOF), Jena

Teilvorhaben: Optische Komponenten für einen effizienten LED-Blitz
Fördersumme: 553.200,00 € (Fördermittelquote: 100,00%)

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Der Zuwendungsbescheid durch den Projektträger VDI-Technologiezentrum ging im April 2013 ein; offizieller Projektstart war der folgende Monat, also der 01.05.2013. Im April fand am 12.04.2013 die Auftaktveranstaltung (Kick-Off) beim Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik (IOF) in Jena statt. Zu den Auftaktveranstaltungen, Statusmeetings, Workshops und der Abschlussveranstaltung wurde der Projektträger eingeladen.

Tab. 1: Schlüsselveranstaltungen im Projekt OLPOMETS

Datum	Ort	Kategorie	Bezeichnung
12.04.2013	Jena	Kick-Off	Kick-off Veranstaltung der deutschen Partner
16./17.05.2013	Shenzen, China	Kick-Off	Kick-off Meeting with Chinese partners
24./25.06.2013	Monheim	Statusmeeting	Feststellung des Projektstatus / Austausch / Planung der nächsten Schritte
17./18.10.2013	Hildesheim	Statusmeeting	Vorstellung der Konzepte / Feststellung des Projektstatus / Austausch / Planung der nächsten Schritte
07./08.11.2013	Peking	Workshop	On-topic knowledge transfer of German and Chinese Partners involved in the projects "Off-Grid-Lighting" and "Olpomets"
29./30.01.2014	Berlin	Statusmeeting	Schnittstellen und Konzepte
31.03./01.04.2014	Jena	Workshop	Off-Grid LED Applications
01.04.2016	Jena	Projekttreffen	Abgleich der deutschen Projektpartner
11./12.06.2014	Hildesheim	Statusmeeting	Fortschritt der Arbeiten in der Labormusterphase, Maßnahmen zur Zielerreichung
04.09.2014	Hildesheim	Feldtest	die Inbetriebnahme der Olpomets-Labormuster-Blitze und erste Aussagen über die optische Leistungsfähigkeit des Blitzes
25./26.09.2014	Berlin	Workshop	Off-Grid LED Applications
26.09.2014	Berlin	Projekttreffen	Next steps in OLPOMETS
11./12.2014	Hildesheim	Statusmeeting	Festlegung der zu fertigenden Hardware für den OLPOMETS-Demonstrator
15.04.2015	Jena	Statusmeeting	Ergebnisse der Labormusterphase und Konsequenzen für den Aufbau der Demonstratoren
25.11.2015	Hildesheim	Feldtest	Inbetriebnahme der Olpomets-Demonstrator-Blitze und Aussagen über die optische Leistungsfähigkeit des Blitzes
26.11.2015	Hildesheim	Feldtest	Inbetriebnahme und Test der OLPOMETS-Energieversorgung
14.04.2016	Berlin	Abschlussveranstaltung	Inhaltlicher Projektabschluss – Reflexion und Präsentation der Projektergebnisse –

I.4 Kurze Darstellung zum wissenschaftlichen und technischen Stand, an den angeknüpft wurde

Ziel des Projektes OLPOMETS war die Entwicklung und der Test einer mobilen und autarken Messplattform zur Verkehrsüberwachung, welche die Restriktionen bisheriger Systeme eliminiert. Nachteile bisheriger Systeme waren:

- Möglichkeit und Aufwand zum Versetzen des Systems
- Dauer der ununterbrochenen Messung
- Erfordernis der Systemüberwachung
- Grad der Invasivität

Vorteile des Projektes OLPOMETS gegenüber bisherigen Systemen:

- Reduzierter Energiebedarf
 - Vorteile für Umwelt, da kein Bedarf an teurer Infrastruktur (Strom / Daten)
 - Geringere Verlustwärme
- Robustheit (in Bezug auf Algorithmik)
 - Erhöhung der Messsicherheit durch den Einsatz von 2 Messverfahren
 - Höhere Detektionsquote: Trefferquote (Sensitivität)
 - Reduktion der Fehlerrate: Genauigkeit / Wirksamkeit (Positive Prädiktivität)
 - Reduzierte Unterhaltungs- und Personalkosten

Weitere Vorteile, die sich daraus ergaben, waren eine Erhöhung der Verkehrssicherheit durch einen ausgedehnten Einsatz (Wochen bis Monate) an Unfallschwerpunkten mit eingeschränkter verfügbarer Infrastruktur sowie der Erhöhung der öffentlichen Akzeptanz durch den Einsatz, wenn speziell unfallgefährdete Personen (Verkehrsanfänger) im Verkehr unterwegs sind (Wochenende / Nachts). Des Weiteren führte das in OLPOMETS entwickelte Messsystem zu einer Erhöhung der Arbeitssicherheit durch reduzierten Einrichtungs- und Wartungsaufwand in gefährlichen Verkehrssituationen und bildete die Vorstufe für ein effektiveres Verkehrsmanagement durch die Ausweitung von netzunabhängigen Sensornetzwerken zu Intelligenzen Verkehrssystemen (ITS) und Verkehrsmanagementsystemen.

I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen der deutsch-chinesischen Konsultationen im Sommer 2012 vereinbarte das Bundesministerium für Bildung und Forschung mit der chinesischen Gegenseite die Zusammenarbeit in Wissenschaft und Bildung zu stärken. LED-Technik und Photonik wurden als Hauptthemen für die wissenschaftlich-technologische Zusammenarbeit definiert. Das Projekt OLPOMETS sowie das chinesische Partnerprojekt befassten sich mit dem Thema „LED nach der traditionellen Beleuchtung – Anwendungen ohne Netzanschluss“. Das chinesische Projekt „Off-grid Street Lighting“ beinhaltet eine solarpanel-basierte Straßenbeleuchtung mittels LED-Technologie.

Das Projekt war in eine Deutsch-Chinesische Forschungs Kooperation eingebettet (AP I: Plattformübergreifende Forschung). Nach dem erfolgreichen Kick-Off mit den chinesischen Partnern im Mai 2013, wurde ein erfolgreicher Workshop in Peking (November 2013) durchgeführt. Ergebnisse der vereinbarten Kooperationsthemen im Bereich LED-Optikdesign und Planungswerkzeuge für die Auslegung von Solaranlagen wurden auf einem weiteren Workshop im Frühjahr 2014 präsentiert. Die 2013 begonnene Kooperation mit den chinesischen Partnern wurde 2014 mit einem Workshop in Jena (März 2014) fortgesetzt und dem insgesamt dritten Workshop in Berlin (September 2014) erfolg-

reich abgeschlossen. Ergebnisse der Kooperation lagen im Bereich LED-Optikdesign und der Auslegung von Off-Grid Solaranlagen.

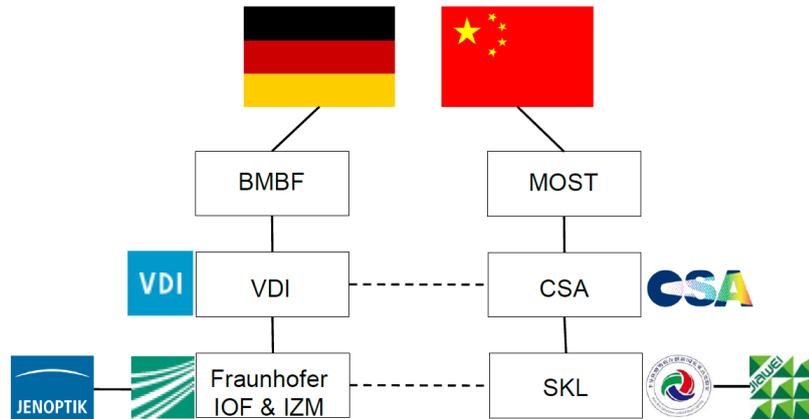


Abb. 1: Organisation des deutschen und chinesischen Projektes.

Die ausführenden Organe des Projektes auf chinesischer Seite waren das State Key Laboratory of Solid State Lighting und die Firma Jiawei.

2 Countries – 2 Applications

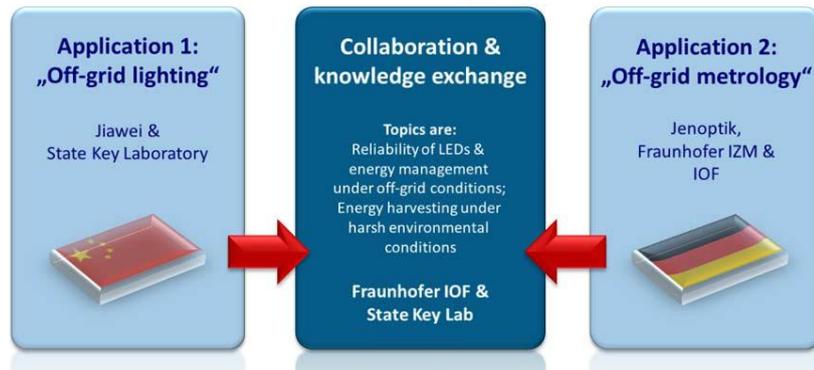


Abb. 2: Plattformübergreifende Forschung. Kooperation mit chinesischen Partnern

II. Eingehende Darstellung des Projektes OLPOMETS

Das Projekt OLPOMETS wurde in vier Projektphasen unterteilt:

- Konzeptphase: 01.05.2013 – 31.10.2013 (plus 2 Monate Review)
- Labormusterphase: 01.11.2013 – 31.07.2014
- Demonstratorphase: 01.08.2014 – 30.04.2015
- Testphase: 01.05.2015 – 30.04.2016

Von den Verbundpartnern wurden im Projekt OLPOMETS folgende Arbeitspakete bearbeitet:

- AP A: Gesamtkonzept, Integration, Demonstrator (Jenoptik)
- AP B: Modulare Niedrigenergie Plattform (Jenoptik)
- AP C: Intelligenter Sensorfusionskopf (Jenoptik)
- AP D: Konzept für LED-Blitzeinheit (Fraunhofer IOF)
- AP E: Niedrigenergie-Hochleistungsblitz (Fraunhofer IZM)
- AP F: Benutzerschnittstelle (Jenoptik)
- AP G: Optimierte netzunabhängige Energieversorgung (Fraunhofer IZM)
- AP H: Umweltkonzept und Feldtest (Jenoptik)
- AP I: Plattformübergreifende Forschung (Fraunhofer IOF)

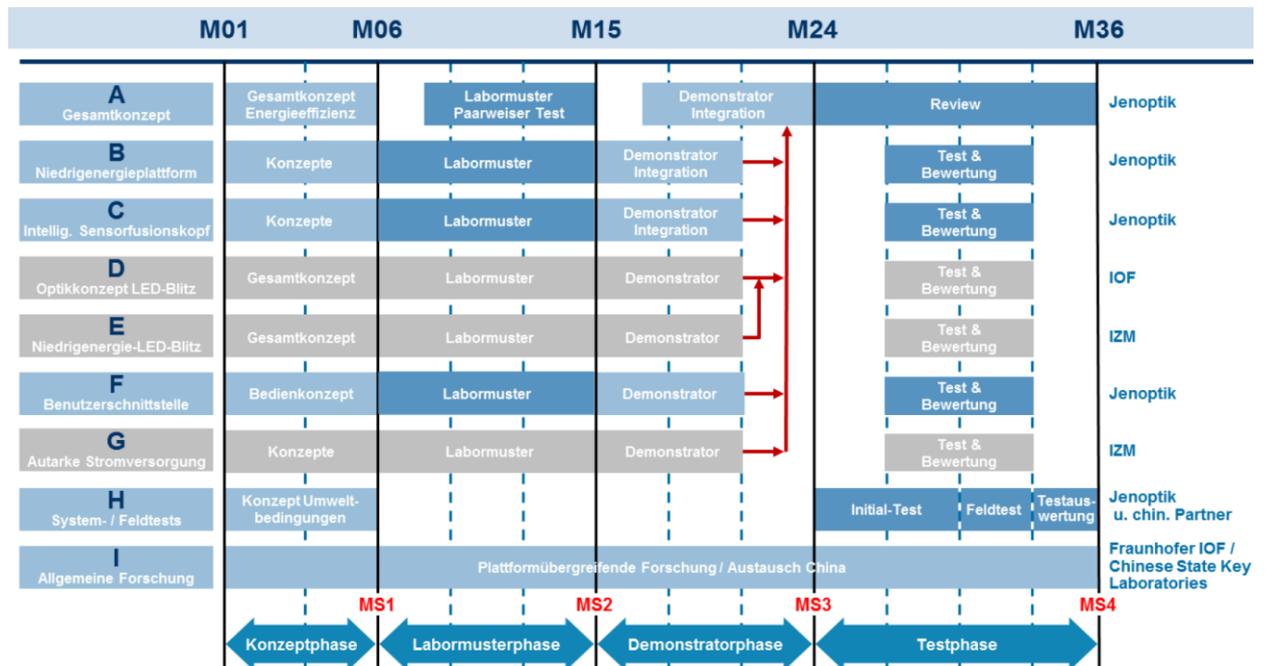


Abb. 3: Projektphasen in OLPOMETS.

Ziel der Forschungsarbeiten der Jenoptik Robot GmbH war die Erstellung und Erprobung eines mobilen und autarken Niedrigenergiemessgerätes zur Verkehrsüberwachung.

II.1 Eingehende Darstellung der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

II.1.1 Ergebnisse der Konzeptphase

Das Ergebnis der Konzeptphase war ein dokumentiertes Gesamtkonzept für das in OLPOMETS entwickelte Gesamtsystem. Bestandteil des Dokumentes waren die Konzeptionen der Teilprojekte / -systeme. Das Gesamtkonzept wurde durch alle Projektpartner Ende Januar 2014 verabschiedet.

II.1.1.1 Konzept AP A: Gesamtkonzept, Integration, Demonstrator

Das Ergebnis dieses Arbeitspaktes stellte ein dokumentiertes Gerätegesamtkonzept dar, welches die Teilkonzepte, inklusive die der Projektpartner, beinhaltete. Das Gerätegesamtsystem ließ sich in zwei Kernkomponenten gliedern: Die Energieversorgungseinheit (AP G) mit den Komponenten zur Energiegewinnung, -speicherung und -management, sowie einer Messeinheit (AP B, AP C, AP D, AP E), welche Beleuchtung, Sensorik, Kommunikation, analoge und digitale Signal-/Datenverarbeitung umfasste. Die Schnittstellen der zwei Einheiten (Spannungsversorgung, Datenübertragung) wurden spezifiziert, so dass für diese zwei Komponenten eine parallele Entwicklung betrieben werden konnte.

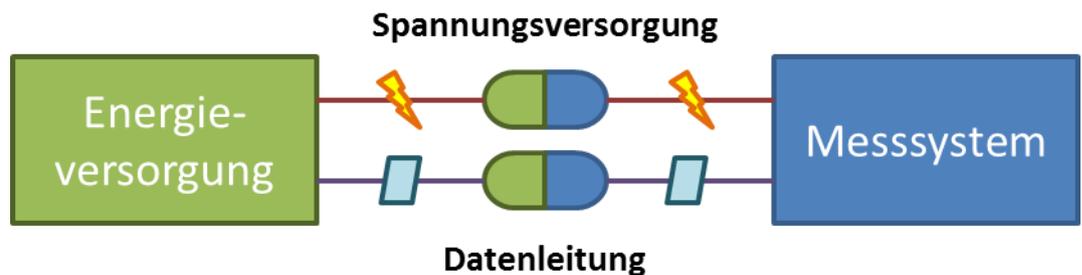


Abb. 4: Gliederung des Gesamtsystem OLPOMETS in zwei größere Einheiten / Kernkomponenten: Energieversorgung und Messsystem.

Zur Abdeckung möglichst vieler potenzieller Anwendungen im semi-mobilen Einsatzbereich wurden folgende Szenarien für das Gerätegesamtsystem definiert:

- One Pole (Montage der Anlage an einem Mast)
- Tripod (mobile Stativvariante)
- Gantry (Montage der Anlage an einer vorhandenen Brücke)

Als eine weitere sog. semi-mobile Variante wurde eine Ausführung auf einem Anhänger (Trailer) als Derivat des Szenarios One Pole definiert. Die Bezeichnung semi-mobil sollte in diesem Zusammenhang bedeuten, dass es sich zwar um ein mobiles System handelt, dieses jedoch auch für einen längerfristigen (autarken) Einsatz an einem bestimmten Ort geeignet ist.

Das Arbeitspaket A beinhaltete neben dem Gesamtkonzept das Teilkonzept für das Gehäuse. Beim Konzept des Gehäusedesigns für die Messeinheit wurde ein zweiteiliger Ansatz verfolgt. Für den Aufbau des Systems in der Labormusterphase (01.11.2013 – 31.07.2014) ist ein modulares Gehäuse entworfen und gefertigt worden, welches die einzelnen Komponenten variabel aufnimmt, um Standardkomponenten während der verbleibenden Projektlaufzeit durch die entstehenden Niedrigenergiekomponenten (AP B) austauschen zu können.

Dadurch wurde es möglich, Soft- und Hardwareentwicklung voneinander zu entkoppeln und Algorithmen auf ausgewählter Hardware zu testen. Das so entstandene Labormuster wurde mit bereits entwickelten Komponenten (Radar-Sensor) und mit Standardbauteilen (Videokamera, Recheneinheit, Router mit drahtloser Datenübertragung (LTE, WLAN), LED-Blitze) bestückt. Komponenten wurden nach und nach durch energie- und platzsparende Varianten ersetzt, um Stück für Stück ein Labormuster aus den Ergebnissen der verschiedenen Arbeitspakete aufzubauen. Am Gehäuse wurden während der Labormusterphase keine weiteren Arbeiten geplant. Die Modularität wurde durch ein Aluminium-Profileschienensystem realisiert. In der Demonstratorphase (01.08.2014 – 30.04.2015) wurde ein weiteres Gehäuse entworfen, das für den Einsatz im Feld ausgelegt und für die Zielhardware optimiert wurde.

II.1.1.2 Konzept AP B: Modulare Niedrigenergie Plattform

Das übergeordnete Ziel des Arbeitspakets B, deren Umsetzung sich im entstandenen Konzeptpapier widerspiegelte, war die Reduktion der durchschnittlichen Leistungsaufnahme der Einzelkomponenten auf 25% gegenüber dem Stand der Technik (Reduktion von 60W auf 15W). Die dabei zu entwickelnden Niedrigenergiekomponenten ermöglichten damit erst einen mobilen und autarken Einsatz, da das aus der Umgebung zu generierende Energiebudget begrenzt war. Einhergehend mit der Reduktion des Energiebedarfs erfolgte eine Reduzierung der Baugröße und des -gewichts. Eingebettet in einem kompakten Gehäuse (siehe AP A), wurde eine passive Kühlung angestrebt, um die Energiebilanz weiter zu verbessern.

Um die im Antrag definierten Ziele zu erreichen, wurde das Konzept einer sensornahen Datenverarbeitung verfolgt. Durch die (örtlich) enge Kopplung der Sensoren mit der nachgelagerten Signal-/Datenverarbeitung wurde der Aufwand für die interne Kommunikation reduziert und es wurden Ressourcen geschont. Eine stapel- und somit erweiterbare Rechnerplattform, im folgenden Stacksystem genannt, sorgte für die Einbindung der Sensorik-, Rechen- (Processing-Modul) und Kommunikationseinheit. Je nach Rechenbedarf der Sensorsignalverarbeitung ermöglichte das variable Konzept, ein Processing-Modul mit einem Sensor, ein Processing-Modul mit zwei Sensoren (mittels Adapter-Board) oder mehrere Processing-Module mit einem Sensor einzusetzen. Weiterhin ließ sich durch den modularen Ansatz im Laufe des Projektes die eingesetzte Hardware Schritt für Schritt ersetzen. Darüber hinaus ermöglichte der Aufbau des Stacksystems die einfache Integration weiterer Hardwarekomponenten (z.B. für den Datenfernzugriff), da alle Komponenten über einen gemeinsamen Datenbus einfach und stromsparend Daten austauschen konnten.

Im Rahmen des Konzepts wurden verschiedene Ansätze bewertet und die folgenden Sensor-Frontends ausgewählt:

- 12MP-CMOS-Sensorboard (CMOS-Frontend). Das Modul besitzt eine horizontale Auflösung von 4000 Pixeln und ermöglicht die Überwachung von bis zu drei Fahrspuren. Die Integration des Chips konnte ohne großen Aufwand erfolgen, da der Chip direkt digital angesteuert wurde.
- Digitized IVQ959 (Radar-Frontend). Das Digitized IVQ959-Radar-Frontend arbeitet im Frequenzbereich von 24GHz und ist in der Lage, in einem Winkelbereich von 36° Entfernung, Dopplergeschwindigkeit und Richtung zu den angemessenen Fahrzeugen zu ermitteln.

Eine Herausforderung im Projekt war die ressourceneffiziente Implementierung der in Hochsprache entwickelten (Mess-)Algorithmen auf der eigentlichen Re-

cheneinheit (Processing-Modul). Das Konzept des Processing-Moduls sah eine Low-Power-CPU auf ARM-Basis (Dual core Cortex-A9, 733MHz) gekoppelt mit einer programmierbaren Logik (FPGA - 106k FlipFlops) vor. Dies ermöglichte die hardwareseitige Implementierung wichtiger Standard-Algorithmen, um die geforderten Verarbeitungszeiten und energetischen Ziele des Projektes zu erreichen (z.B. Vorverarbeitung in der Videoprozesskette oder diskrete Fourier-Transformation in der Signalverarbeitungskette des Radarsensors). Komplexe Algorithmen, welche sich nicht parallelisieren ließen, sowie HMI (Human Machine Interface) wurden auf der CPU umgesetzt. Das Connectivity-Modul sorgte für die Schnittstelleneinbindung (LAN, WLAN, GPS, µSD-Card), ein separates Mobile-Modul enthält eine Mobilfunkanbindung für den Remote-Zugang zum System (GSM, UMTS oder LTE). Optionaler Bestandteil des Stacksystems war ein sogenanntes Display-Board zur grafischen Statusanzeige - hilfreich in der Entwicklung sowie im Servicefall. Zur Entkopplung der verschiedenen Datenverarbeitungsalgorithmen wurde ein Interprozesskommunikationsnetzwerk entwickelt und eingesetzt. Dieses Interprozesskommunikationsnetzwerk (im Folgenden DORA genannt) ermöglichte den zeitgestempelten Austausch von Datenpaketen zwischen den eigentlichen Datenverarbeitungsprozessen. Über Netzwerk wurde zudem die räumliche Entkopplung der verschiedenen Komponenten unterstützt. Über DORA ließen sich die Datenströme aufzeichnen und wiedergeben. Die Entkopplung der Systeme durch diese standardisierte Schnittstelle ermöglichte die effiziente Entwicklung der Systeme und erleichterte den Aufbau eines Test- und Simulationssystems. Die Wiedergabe der aufgezeichneten Daten ermöglichte zudem die Reproduzierbarkeit von Straßentests im Labor, was auf diese Weise hardwarenahe Tests unterstützte. Über diese Methodiken waren sogenannten Hardware-in-the-Loop-Tests einfach in die Entwicklung zu integrieren, was bereits zu einem frühen Zeitpunkt die Tauglichkeit der verwendeten Hard- und Software für das angestrebte Zielszenario überprüfte. Engpässe in der Datenverarbeitung und Stabilität der Software ließen sich somit bereits im Labor gegen die Zielhardware unter möglichst realistischen Bedingungen testen.

II.1.1.3 Konzept AP C: Intelligenter Sensorfusionskopf

Das Arbeitspaket des Sensorkopfes setzte auf der parallel entwickelten Niedrigenergieplattform (AP B) auf. Das Konzept des Sensorfusionskopfes beruhte darauf, Vorteile von stationären und mobilen Systemen zu vereinen und somit Nachteile bestehender Sensorsysteme zu reduzieren bzw. zu eliminieren.

Nachteile bestehender Sensorsysteme, die zumeist auf einem Messprinzip beruhten, sind zum einen die starke Einschränkung des Anwendungsbereiches zum anderen sind die Sensoren in hohem Maße von der korrekten Aufstellung und Kalibrierung abhängig (und damit nicht semi-mobil), was Fehlmessungen begünstigen kann. Das erarbeitete Konzept wirkte diesen Nachteilen entgegen, indem es die Vorteile verschiedener Sensoren intelligent kombinierte mit dem Ziel, die Messrate und Messgenauigkeit zu erhöhen, die erfassten Fahrzeuge exakt zu lokalisieren und robuster gegenüber Fehlbedienungen zu sein.

Die Ausgangslage des Konzeptes zum intelligenten Sensorkopfes bildete die Radartechnologie als Standardsensor zur Geschwindigkeitsüberwachung. Die Vorteile dieses Sensors lagen neben dem niedrigen Energieverbrauch im Vergleich zu alternativen Technologien (z.B. Laserscanner) in der sehr genauen Geschwindigkeitsmessung in longitudinaler Richtung und einer guten Abstandsmessung, sowie einer großen Reichweite und einer hohen Messrate. Schwächen hatten Radarsensoren besonders in der aufgrund des Dopplermessprinzips nicht messbaren lateralen Geschwindigkeitskomponente sowie der genauen Lokalisierung und Zuordnung der Einzelmessungen. Da die Höhe

der Objekte nicht messbar war, hatten Radarsensoren auch mit der Fahrzeugklassifikation Probleme; diese war jedoch bei unterschiedlichen Geschwindigkeitsbegrenzungen für verschiedene Fahrzeugtypen (PKW, LKW) erforderlich.

Um autarke Messungen zu ermöglichen, ergänzte ein kamerabasierter Sensor (Stereokamera) den Radarsensor bestmöglich, da seine Stärken besonders in der Messung der lateralen Querbewegung (Optischer Fluss), sowie in der zeitlichen und räumlichen Zuordnung der Messpunkte lagen. Longitudinale Bewegung und ein exakter Objektstand waren dagegen nur schwer messbar. Durch die Fusion von Radar- und Bildinformation ließen sich die jeweiligen Nachteile der Sensoren mit den Vorteilen der jeweils anderen kompensieren, so dass Messunsicherheiten beseitigt werden konnten und ein unbeaufsichtigter, autarker Betrieb ermöglicht wurde. Des Weiteren existierte durch die zusätzliche Nutzung eines Bildsensors zur Geschwindigkeitsmessung eine zweite unabhängige Messung („zweiter Beweis“), welche die Ergebnisse des ersten Standardmessverfahrens aufgrund der Redundanz der Messungen verifizierte und die Messgenauigkeit des Messverfahrens erhöhte.

Aus energetischer Sicht war sowohl ein kontinuierlicher Messbetrieb aller Sensoren, als auch ein Zuschalten der Bildsensorik bei einem durch das Radar getriggerten Ereignisses vorstellbar. Zielszenario war ein autonomer Messbetrieb über einen Zeitraum von mind. 7 Tagen. Die finale Sensorkonfiguration war in einem hohen Maß von der Echtzeit-Integrierbarkeit der Bildverarbeitungs-Algorithmen abhängig.

Das Konzept wurde so ausgelegt, dass Vorfälle sowohl in Echtzeit, als auch offline anhand der nach Auslösung eines Radarereignisses aufgenommenen Radar- und Bilddaten prozessiert werden konnten, so dass bezüglich des Messbetriebes volle Flexibilität gewährleistet wurde.

II.1.1.4 Konzept AP F: Benutzerschnittstelle

Im Rahmen der Konzeptarbeiten für die Benutzerschnittstelle des OLPOMETS-Systems wurden für die Entwicklung folgende drei Hauptschritte identifiziert:

- Trennung von Systemsoftware und Bedienprogramm / Definition geeigneter Schnittstellen
- Implementierung eines aufgabenangepassten HMI
- Auswahl geeigneter Bediengeräte

Die Anbindung an die Systemsoftware erfolgte über das neu entwickelte Kommunikations-Framework DORA (Distributed Objects Realtime Architecture). Das Framework war in seinen wesentlichen Teilen bereits spezifiziert und für den initialen Einsatz implementiert. Die Anbindung des OLPOMETS-HMI an das DORA-Framework erfolgte serverseitig.

Im Rahmen des Entwurfs der Softwarearchitektur für das OLPOMETS-Bedienprogramm wurden folgende Modelle analysiert und die entsprechend verwendeten Technologien beleuchtet:

- Thin Client mit Bedienung im Web-Browser: Start über URL, Logik auf Server
- Rich Thin Client: Browser + Plugin (z.B. Flash, Silverlight), Start über URL, Logik auf Server
- Rich Fat Client: Client läuft lokal (z.B. WinForms, WPF), Logik verteilt (Client und Server)

Die Umsetzung des HMI als Server + Rich Fat Client versprach deutliche Vorteile hinsichtlich Softwarewartung, Interaktion, Performance und GUI-Konsistenz. Daher wurde sich für diesen Ansatz entschieden.

Bei der Umsetzung des Clients war die Wahl bezüglich des zu verwendenden Frameworks auf WPF (Windows Presentation Framework) gefallen, da es hinsichtlich der Verwendung der GUI auf unterschiedlichen Endgeräten eine hohe Flexibilität ermöglichte und weitreichende Möglichkeiten bei der Gestaltung der Oberfläche bot.

Ein wichtiges Ziel bei der Konzeption des neuen HMI war die Trennung von Applikationslogik und Design der Oberfläche. Aufgrund seines Konzeptes bot WPF beste Voraussetzungen, um Applikationslogik und Design zu trennen. Eine Initialversion der Oberfläche war bereits umgesetzt worden und lag zur Integration weiterer Funktionen vor.

Für die Umsetzung des Servers (Linux-Rechner) wurden mehrere Optionen evaluiert:

- Portierung einer Microsoft .NET Server-Anwendung unter Verwendung des Mono-Frameworks
- Implementierung der Server-Applikation in JavaScript unter Verwendung von Node.js und socket.io.
- Implementierung einer C++ Serveranwendung mit direkter Anbindung an die DORA-Schnittstelle unter Verwendung von socket.io

Im Fehlerfall erzeugten die einzelnen Komponenten Statusmeldungen innerhalb des DORA-Frameworks, die vom Server empfangen, ausgewertet und als Nachrichten an die verbundenen Clients weitergeleitet wurden. Des Weiteren bestand die Möglichkeit, ausgewählte Parameter fortlaufend zu überwachen (z.B. Batteriespannung).

II.1.1.5 Konzept AP H: Umweltkonzept und Feldtest

Für das Arbeitspaket H wurde ein funktionales Testkonzept erarbeitet. Dabei erforderten die für Jenoptik Robot neuartigen Ansätze der Sensorfusion, LED Beleuchtung, Benutzerschnittstelle und Energieversorgung eine verstärkte Berücksichtigung.

Ausgehend von der Berücksichtigung der Umwelteinflüsse und Umweltbedingungen, wurde zum Nachweis der Einsatzfähigkeit des Demonstrators im Feld ein Testkonzept für funktionale Tests beschrieben. Punkte sind hierbei unter anderem:

- Beweiskraft (Bildqualität des Kennzeichen und der Person)
- Klassifizierung

II.1.2 Ergebnisse der Labormusterphase

Das Ergebnis der Labormusterphase war die Erstellung der Labormusterprototypen. Weiterhin wurde das Labormuster umfassenden Tests unterzogen und Konsequenzen für den zu fertigenden finalen Demonstrator abgeleitet. Die Fertigstellung des finalen Demonstrators war Ende April 2015 (Ende der Demonstratorphase). Der komplette Labormusterprototyp mit den dazugehörigen Komponenten der Projektpartner (LED-Infrarotblitz) wurde Anfang September 2014 gemeinsam in Betrieb genommen.

II.1.2.1 Labormuster AP A: Gesamtkonzept, Integration, Demonstrator

Während der Konzeptphase (01.05.2013 – 30.10.2013) entstand der Entwurf für ein modulares Gehäuse, wobei die Modularität durch ein Aluminium-Profilschienensystem realisiert wurde. Bereits zu Beginn der Labormusterphase (01.11.2013 – 31.07.2014) lag ein entsprechendes Gehäuse vor, welches die einzelnen Sensoren variabel aufnimmt, um Standardkomponenten während der verbleibenden Projektlaufzeit durch die entstehenden Niedrigenergiekomponenten (AP B) auszutauschen. Um Algorithmen entkoppelt ohne die zu entwickelnden Niedrigenergiekomponenten testen zu können, wurden folgende Standardkomponenten im Labormuster verbaut:

- Radar-Sensor (je ein horizontal und ein vertikal in die Szenerie ausgerichteter Sensor)
- Stereo-Kerasystem (2x Referenz-Kamera)
- LED-Blitze (2x Referenz-Blitz)
- Recheneinheit (2x Industrie-PC mit Dual Core i7)
- Router mit drahtloser Datenübertragung (LTE, WLAN)



Abb. 5: OLPOMETS-Labormuster.

Die Sensorik, Beleuchtung und Datenverarbeitung diente primär als Entwicklungsplattform für die Algorithmik; des Weiteren konnten diese Komponenten, welche sich bereits im langjährigem Einsatz in kommerziellen Systemen der Verkehrssicherheit befinden, als Referenz für die zu entwickelnden Niedrigenergiekomponenten angesehen werden.

In der zweiten Hälfte der Labormusterphase begann die Ausarbeitung der Spezifikationen für den finalen Demonstrator. Neben dem in Eigenleistung zu entwerfenden Gehäuse für das Messsystem betraf dies eine Anhänger-Realisierung (Trailer) zur Montage des Messsystems an einem Mast. Die Hauptaufgabe des semi-mobilen Systems (Anhängerslösung) ist die Bereitstellung der Energieversorgung für das Messsystem, um einen längerfristigen autarken Einsatz (≥ 7 Tage) zu gewährleisten. Da die Spezifikationen der Energieversorgung sich stark auf die Umsetzungen auswirkten, fand eine enge Abstimmung bezüglich der Energieversorgungskomponenten zwischen den externen Lieferanten, dem im Projekt kooperierenden Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM) und JENOPTIK Robot statt. Die Eckdaten der Energieversorgung sind folgende:

- Akkus: 16x 75Ah (24kg je Akku)
- Solarfläche: 4m² (8x 0,5m² mit je 100W)
- Laderegler: 8x 200W

- Netzteile: 8x 480W

Für weitergehende Informationen zur Energieversorgung wird auf den Abschlussbericht des Fraunhofer-IZM verwiesen.



Abb. 6: Semi-mobiler OLPOMETS-Demonstrator-Anhänger zur Aufnahme des Messsystems mit Energieversorgung inkl. Solarzellen zur Erhöhung der Betriebslaufzeit.

Eine weitere Funktion des Anhängers war die Bereitstellung eines elektrisch steuerbaren Schwenk-/ Neigekopfes. Die Kombination aus der mechanischen Nivellierung des Anhängers (mittels Stützen) sowie der elektrisch steuerbaren Schwenk-/ Neigeeinheit ermöglichte eine Verstellung des Messsystems in allen drei Achsen. Zusätzlich verfügte der Anhänger über einen um ein Meter ausfahrbaren Teleskopmasten, so dass das Messsystem aus etwa vier Meter Höhe in die Szene gerichtet werden konnte. Somit wurden die Anforderungen der Algorithmik aus Arbeitspaket C umgesetzt.

Der OLPOMETS-Demonstrator-Anhänger steht seit September 2014 einsatzbereit zur Verfügung. Das finale Demonstratorgehäuse, welches für den Einsatz im Feld ausgelegt und für die Zielhardware optimiert wurde, wurde Anfang 2015 fertig gestellt, nachdem alle Spezifikationen der Einzelkomponenten der Zielhardware vorlagen.

II.1.2.2 Labormuster AP B: Modulare Niedrigenergie Plattform

Das übergeordnete Ziel des Arbeitspakets B war die Reduktion der durchschnittlichen Leistungsaufnahme der Einzelkomponenten auf 25% gegenüber dem Stand der Technik (Reduktion von 60W auf 15W). Um dieses Ziel zu erreichen, wurde ausgehend vom Konzept der sensornahen Datenverarbeitung eine stapel- und erweiterbare Rechnerplattform (Stacksystem) entworfen. Die einzelnen Module des Stacksystems:

- Sensorboard (CMOS-Frontend bzw. Radar-Frontend)
- Processing-Modul aus Low-Power-CPU auf ARM-Basis (Dual core Cortex-A9, 733MHz) gekoppelt mit einer programmierbaren Logik (FPGA - 106k FlipFlops)
- Connectivity-Modul für die Schnittstelleneinbindung (LAN, WLAN, GPS, μ SD-Card)
- Mobile-Modul für den Remote-Zugang zum System (LTE)
- Display-Board zur grafischen Statusanzeige - hilfreich in der Entwicklung sowie im Servicefall (optional)



Abb. 7: Modell des Stacksystems ohne Sensorboard sowie mit CMOS-Frontend (rechts).

Abstand genommen wurde von dem ursprünglichen Konzept, ein Processing-Modul mit zwei Sensoren (mittels Adapter-Board) oder mehrere Processing-Module mit einem Sensor einzusetzen, um den Kommunikationsaufwand zu begrenzen. Folglich erhielt jedes Sensorboard ein eigenes Processing-Modul. Bei den eigentlichen Sensoren handelte es sich um Kaufkomponenten (CMOS-Sensor) bzw. eine externe Entwicklungsdienstleistung (Radar-Sensor) im Rahmen dieses Forschungsprojektes. Beim CMOS-Sensor handelte es sich um einen 12MP-Sensor (KAC-12040) von OnSemi/Truesense mit einer Auflösung von 4000 x 3000 Pixeln. Die Bildwiederholfrequenz wurde durch die Gigabit-Ethernet-Schnittstelle begrenzt. Mittels Binning erhielt man größere und somit lichtempfindlichere Pixel und erreichte Bildraten von 20 Hertz und mehr. Der Radar-Sensor (Digitized IVQ959-Radar-Frontend) arbeitete im Frequenzbereich von 24GHz und war in der Lage, in einem Winkelbereich von 36° Entfernung, Dopplergeschwindigkeit und Richtung zu den angemessenen Fahrzeugen zu ermitteln.

Die Fertigstellung der Hardware der Prototypen erfolgte zu Beginn der Demonstratorphase (September 2014); erste Bilder des CMOS-Imagers konnten Ende November von dem System erstellt und über Netzwerk mittels DORA-IPC übertragen werden.



Abb. 8: Stacksystem mit CMOS- und Radar-Frontend (rechts).

Beim Übergang von der Labormuster- zur Demonstratorphase musste eine neue Revision der Leiterplatten erstellt werden. Bei den Tests der ersten Version stellte sich heraus, dass bei der Umsetzung Schwächen im Bereich der Netzwerkanbindung sowie bei der Ansteuerung des Hauptspeichers bestanden. Im Rahmen des (ungeplanten) Redesigns wurden diese Schwächen dann abgestellt und gleichzeitig noch in der Zwischenzeit vom FPGA-Hersteller gemeldete Probleme des FPGA-Bausteins mit den vorgeschlagenen Workarounds umgangen.

Für den finalen Einsatz des Systems im Demonstrator standen nun noch folgende Punkte aus:

- 1) Umstellung des bisherigen Betriebssystemstandes auf den aktuellen Stand (inkl. der notwendigen Bauumgebung)

- 2) Erweiterung der Ansteuerungselektronik um die Verarbeitung von Bildern mit zusammengefassten Bildpunkten (Binning) (Treiber und FPGA-Erweiterung)
- 3) Erweiterung der Interprozess-Schnittstelle um effizientes Streaming (DORA-Streaming)
- 4) Stabilisierung des Software-Systems sowie Integration in die Gesamt-Software
- 5) Integration der Ansteuerungsfirmware für die Objektivsteuerung

Umgesetzt wurde für das Kamerasystem eine Kommunikation über das DORA-IPC, wobei zu Beginn nur Vollformat-Einzelbilder abgerufen werden konnten.

Für die Synchronisation zweier Kameras und die angebotenen Blitze wurde eine eigene, dedizierte Schnittstelle eingefügt. Eine Synchronisation der Systeme allein über Netzwerk hätte zu einer großen Unsicherheit führen können, was im seinerzeitigen Stand der Projektumsetzung nicht als sinnvoll erachtet wurde. Da die Einheiten aus Kameras und Blitze lokal eng beieinander lagen, ergab sich hieraus auch kein Nachteil für das Gesamtsystem.

Die bisher gemessene Leistungsaufnahme für das Stacksystem mit einem 12MP-Imager lag bei ca. 6-7W, bei intensiver Belastung der CPU-Cores und Verarbeitung im FPGA kamen noch geschätzt 3-4W hinzu. Somit lag die geschätzte Leistungsaufnahme eines 12MP-Stacksystems bei ca. 10W.

Durch die veränderte Integrations- und Optimierungsstrategie war es notwendig geworden, mehrere unabhängige Stacksysteme einzusetzen (zwei für die beiden 12MP Sensoren plus zwei für die Radarfrontends). Die algorithmische Verarbeitung fand auch noch extern statt, so dass das Gesamtsystem nicht ganz die ursprünglich veranschlagte Verlustleistungsreduzierung erreichen konnte.

Konkret wurden folgende Punkte in der Labormusterphase umgesetzt:

- a) Neudesign der Zynq-Processingplattform (Instabilitäten beseitigt, Speicher auf eMMC umgestellt, Workarounds integriert, Netzteile effizienter umgesetzt)
- b) Neudesign der Connectivity Baugruppe (in Kombination mit der Processingplattform)
- c) Inbetriebnahme des 12MP Sensorboards
- d) Umsetzung des 12MP Interfacing (SerDes, Framing, Descrambling, Control) als FPGA-IP-Core
- e) Setup eines Gesamt-FPGA unter Verwendung der Xilinx-Vivado-IDE, dabei Integration von DMA-, UART, Connection-IP-Cores
- f) Aufsetzen einer kompletten Systemlevel-Simulation unter Einbindung von lizenzierten „Bus functional model“-IP-Cores (Firma: Cadence)
- g) Erstellung eines Treibers unter Linux zur Ansteuerung des 12MP-IP-Cores
- h) Erstellung einer Zugriffs-Library für den erstellten Treiber, dabei insbesondere Inbetriebnahme des 12MP-Sensors von OnSemi/Truesense
- i) Integration der DORA-IPC-Mechanismen
- j) Erstellung eines DORA-12M-Gateways zum Übertragen von Einzel-Vollbildern

II.1.2.3 Labormuster AP C: Intelligenter Sensorfusionskopf

Die Arbeitspakete A und B bildeten die Grundlage zur Nutzung einer intelligenten Algorithmik des Sensorfusionskopfes. Um Anwendungen in der Verkehrssicherheit wie die Geschwindigkeitsüberwachung, Fahrzeugklassifikation oder Kennzeichenerkennung bedienen zu können, wurde sich für ein Sensorfusionskonzept aus einem Stereo-Kamerasystem gekoppelt mit Radartechnologie entschieden. Durch die Fusion von Radar- und Bildinformation ließen sich die jeweiligen Nachteile der Sensoren mit den Vorteilen der jeweils anderen kompensieren, so dass Messunsicherheiten beseitigt werden konnten und ein unbeaufsichtigter, autarker Betrieb ermöglicht wurde. Die Erreichung der Ziele stand unter der Einhaltung der energetischen Restriktionen des Projektes. Dies wurde erreicht durch ein intelligentes Anwendungsszenario sowie die Nutzung effizienter Betriebsmodi und deren schneller Wechsel.

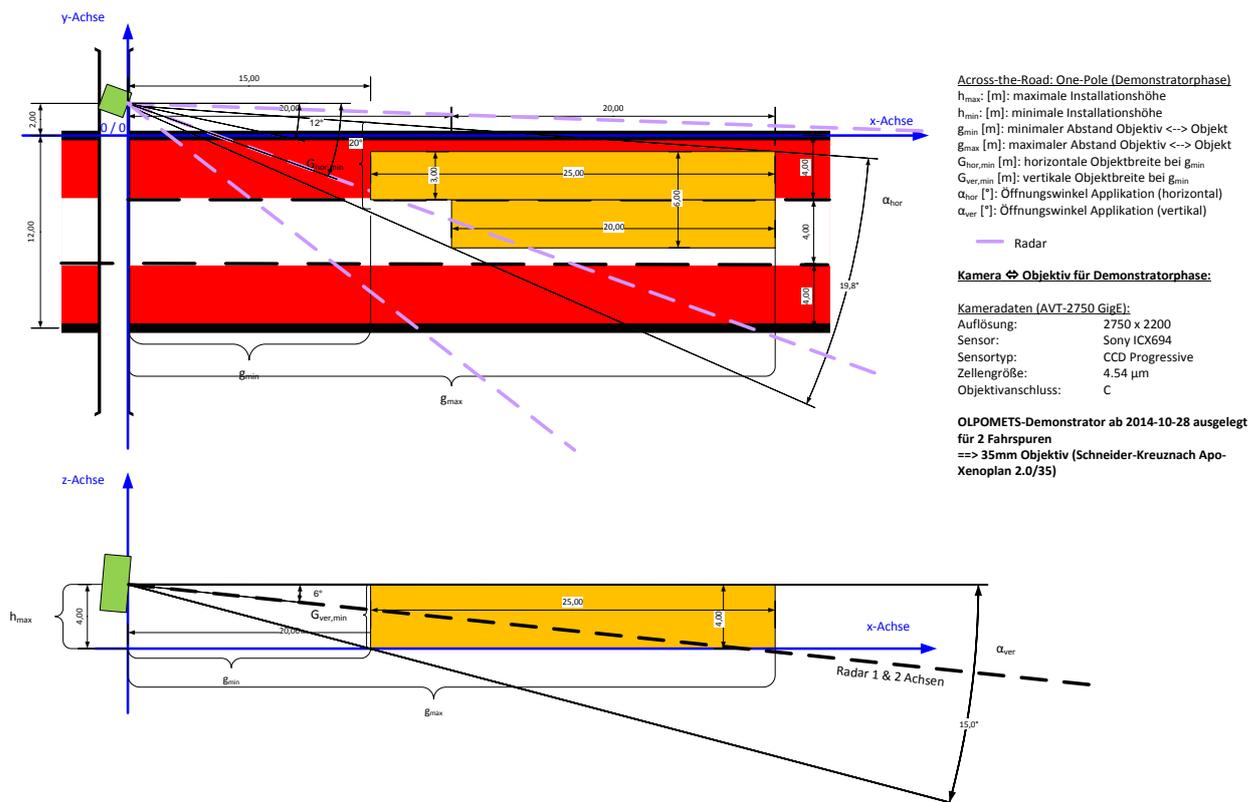


Abb. 9: Geometrisches Szenario zur Anwendung des OLPOMETS-Demonstrators.

Das Radar als Standardsensor zur Geschwindigkeitsüberwachung stellt eine Niedrigenergiekomponente dar und fungiert im Dauerbetrieb über die komplette Messstrecke als Trackingradar zur Messung von Fahrzeuggeschwindigkeit und -position sowie als Trigger für das nachgelagerte Stereo-Kamerasystem. Durch diese intelligente Nutzung wurde die nachgelagerte Prozessierung der Videodaten sowie die synchrone Beleuchtung durch die LED-Infrarotblitze nur im Bedarfsfall (Vorfall) aktiviert und es wurde möglich, die energetischen Ziele (autarker Messbetrieb ≥ 7 Tage) zu erreichen.

Sobald das Radar im Fernfeld ($> 40m$, siehe vorherige Abbildung) ein bewegtes Objekt detektiert, triggert dieses das Stereo-Kamerasystem. Die LED-Infrarotblitze werden synchron zugeschaltet, sobald das natürliche Licht nicht mehr ausreicht, um Aufnahmen mit geringer Bewegungsunschärfe zu machen. Dies betrifft vor allem den Nachtbetrieb, bei dem statistisch gesehen weniger Vorfälle auftreten. Diese Systemkonfiguration kommt zudem dem nötigen

Thermomanagement entgegen, da die größte Verlustwärme durch die Prozessierung der Videodaten und die Beleuchtung durch die LED-Infrarotblitze in den kälteren Nachtstunden anfällt.

Die größte Herausforderung in diesem Arbeitspaket war die ressourceneffiziente Entwicklung der Bildverarbeitungs-Algorithmen in Hochsprache sowie die Echtzeit-Integrierbarkeit der entwickelten (Mess-)Algorithmen auf der Niedrigenergie-Architektur (Processing-Modul). Da eine FPGA Umsetzung aufgrund erheblicher Vorteile bei der Umsetzungsgeschwindigkeit erst nach der finalen Festlegung der Algorithmen sinnvoll war, fand die algorithmische Verarbeitung ausschließlich auf einem externen Verarbeitungsrechner statt. Die Prozesskette zur Ermittlung der Fahrzeuggeschwindigkeit ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



Abb. 10: Prozesskette der Bildverarbeitung zur Geschwindigkeitsermittlung: Rohbild, Optischer Fluss, Disparitätenschätzung, kombinierte Ansicht des optischen Flusses mit Disparitätenschätzung, 3D-Tracking.

Das System besitzt die Fähigkeit zur Selbstkalibration, indem es aus den Fluchtpunktschätzungen der jeweiligen Imager in Kombination mit den Homographieschätzungen der beiden Imager zueinander die extrinsischen Parameter schätzen kann, was die Einsatzfähigkeit im Alltag deutlich erhöht.

In der Labormusterphase wurde die komplette Verarbeitungskette zur Geschwindigkeitsermittlung abgebildet und verifiziert. Eine weitere Validierung des Algorithmus erfolgte außerhalb des Forschungsprojektes. In der Demonstratorphase wendete sich die Bildverarbeitung einer weiteren großen Herausforderung in der Verkehrssicherheit zu: Der Erkennung von bewegten Objekten, speziell Fahrzeugen und deren Zuordnung zu Typenklassen (Klassifizierung). Diese algorithmischen Herausforderungen wurden mit identischer Hardware gelöst.

II.1.2.4 Labormuster AP F: Benutzerschnittstelle

Zur Umsetzung der Benutzerschnittstelle wurde unter dem C# WPF Framework ein Client implementiert, der aufgabenangepasst die wichtigsten Funktionen zur Statusanzeige der einzelnen Hardwarekomponenten, zur Anzeige von Live-Videostreams, zur Visualisierung von Vorfällen und zur Parametrisierung der OLPOMETS-Blitze zur Verfügung stellte. Über eine Schnittstelle zu einer Referenz-Messanlage wurden zur Evaluierung der Messungen die Referenzgeschwindigkeiten an die GUI übertragen und u.a. im Livebild angezeigt. Ferner wurden einige Konzepte, z.B. zum Kennzeichnen einzelner Spuren im Live-Bild implementiert.



Abb. 11: OLPOMETS-Benutzerschnittstelle (GUI) mit Statusanzeige der Hardware-Komponenten.

Für die Schnittstelle zwischen Systemsoftware und Bedienprogramm (HMI) wurde ein geeignetes Konzept identifiziert und umgesetzt. Die Anbindung an die Systemsoftware erfolgte über das neu entwickelte Kommunikations-Framework DORA (Distributed Objects Realtime Architecture). Die Anbindung des OLPOMETS-HMI an das DORA-Framework erfolgte serverseitig. Dazu wurde unter C++ ein universales Softwaremodul erstellt, das serverseitig sämtliche DORA-Nachrichten empfangen und als JSON-codierte Nachrichten über eine Websocket-Schnittstelle an den HMI-Client weiterleiten konnte. Auf Clientseite bestand wiederum die Möglichkeit, nur die für den Client interessanten DORA-Nachrichten zu abonnieren und dies dem Server wiederum im Format von JSON-Nachrichten mitzuteilen. Das serverseitige C++-Modul wandelte dann nur die abonnierten Nachrichten um und leitete diese als JSON-Nachrichten an den Client weiter.

Auf Serverseite liefen mehrere Module, die über DORA-Nachrichten mit dem Schnittstellenmodul kommunizierten:

- `flash_control`: Fragt periodisch den Status der Blitzeinheiten ab und übermittelt diese an das HMI, nimmt Konfigurationsparameter (z.B. Intensitäten der Strings) vom HMI entgegen und leitet diese an die Blitzeinheiten weiter
- `power_status`: Fragt periodisch den Status der Energieeinheiten ab und leitet diesen an das HMI weiter
- `incident_machine`: Generiert DORA-Nachrichten mit den Informationen zu aktuellen Vorfällen. Die Nachrichten enthalten u.a. Verweise, wo sich auf dem Server entsprechende Bilddateien befinden

Des Weiteren wurden Nachrichten zur Kamerakonfiguration (Framerate, Belichtungszeit) weitergeleitet und dargestellt.

Die Umsetzung des Condition Monitoring wurde realisiert, indem einzelne Komponenten im Fehlerfall Statusmeldungen innerhalb des DORA-Frameworks erzeugten, die vom Server empfangen, ausgewertet und als Nachrichten an die verbundenen Clients weitergeleitet wurden. Des Weiteren bestand die Möglichkeit, ausgewählte Parameter fortlaufend zu überwachen (z.B. Batteriespannung). Dies wurde durch die Module `flash_control` und `power_status` umgesetzt.

Auf Funktionen zur Unterstützung der Kalibrierung konnte auf Client-Seite verzichtet werden, da das System komplett selbstkalibrierend umgesetzt wurde.

II.1.3 Ergebnisse der Demonstratorphase

II.1.3.1 Demonstrator AP A: Gesamtkonzept, Integration, Demonstrator

Das finale Demonstratorgehäuse des Messsystems, welches für den Einsatz im Feld ausgelegt und für die Zielhardware optimiert wurde, wurde Anfang 2015 fertig gestellt, da zu diesem Zeitpunkt alle Spezifikationen der Zielhardware vorlagen. Zusammen mit der bereits 2014 fertig gestellten semi-mobilen Anhängerrealisierung entstand eine einsatzfähige (semi-)mobile und autarke Messplattform zur Verkehrsüberwachung.



Abb. 12: OLPOMETS-Messsystem im Demonstratorgehäuse mit geschlossener und offener Ausführung.

Spezifikationen des semi-mobilen OLPOMETS-Demonstrator-Anhängers:

- Mast (ausfahrbar)
 - Messsystem (4m Höhe)
 - Elektrischer 2-Achsen-Positionierer
 - Solar-Panel für optimale Effizienz
- Spannungsversorgung
 - Akkus (16x 75Ah)
 - Solar-Panels (8x 0,5m² je 100W)
 - Controller
 - Solar-Regler (8x 200W)
 - Netzteile (8x 480W)
- Transportsicherung
- Zulassung zum Straßenbetrieb



Abb. 13: Semi-mobiler OLPOMETS-Demonstrator-Anhänger zur Aufnahme des Messsystems mit Energieversorgung inkl. Solarzellen zur Erhöhung der Betriebslaufzeit.

II.1.3.2 Demonstrator AP B: Modulare Niedrigenergie Plattform

In der Demonstratorphase wurde insbesondere an der praktischen Umsetzung und Erprobung der im Rahmen des Projektes erstellten 12MP-Kamera-Anwendung basierend auf der Niedrigenergie-Plattform gearbeitet. Insbesondere folgende Punkte wurden bearbeitet:

- a) Umsetzung der in den Mikrocontrollern enthaltenen Firmware für die Kommunikation zwischen den Leiterplatten
- b) Umsetzung eines Interprozesskommunikationsgateways zur Ansteuerung der Mikrocontrollerkette
- c) Umsetzung der CANON-Mount Ansteuerung in den Mikrocontrollern
- d) Das Betriebssystem wurde auf den Stand Linux 3.19 gemäß dem Stand bei Xilinx angehoben
- e) Die notwendigen Berechnungsformeln zur Ansteuerung des Sensors sind in Form einer Library umgesetzt und eingebunden
- f) Eine zusätzliche Datenreduzierung zur Verringerung der benötigten Datenbandbreite wurde ergänzt
- g) Zur höheren Dynamik im Bild (überstrahlte Kennzeichen oder andere Reflektoren an Fahrzeugen) wurde ein spezielles Verfahren zum Abknicken der Kennlinie im Sensor eingefügt
- h) Das Inprozess-Streaming-Interface für effiziente Übertragung wurde integriert
- i) Das PTP-Zeitsynchronisationsprotokoll wurde integriert und die Synchronisation der Stereokameras getestet

Es wurden mehrere Kamera-Plattformen aufgebaut. Zwei der Kamerasysteme waren bereits in den Aufbau (OLPOMETS-Demonstrator) in Hildesheim zusammen mit den Infrarot-Blitzen integriert worden. Im Rahmen des Projektes blieb es bei der separaten Verwendung von zwei Kameraplattformen, da eine Integration auf eine Plattform einen erheblichen Aufwand bedeuten würde und ein Projektrisiko dargestellt hätte. Entgegen der Planung zum Ende der Labormusterphase wurde auf den Einsatz einer separaten Synchronisationsleitung verzichtet und nach positiv verlaufenden Tests auf eine Synchronisation über Netzwerk mittels PTP-Protokoll gewechselt. Die Umsetzung der Software für die stromsparende embedded Plattform Zynq hatte aber deutlich mehr Herausforderungen dargestellt als ursprünglich geplant war. Gerade der Wechsel auf eine ARM-Architektur erforderte einen erhöhten Aufwand auch bei Standard-Themen wie PTP und DMA-Prozessen. Hier waren die Unterschiede in Bezug auf Verbreitungsgrad und technische Aspekte besonders auffällig gewesen. Trotz dieser zusätzlichen Aufwände konnte die Kamera erfolgreich in Betrieb genommen werden.

II.1.3.3 Demonstrator AP C: Intelligenter Sensorfusionskopf

In der Demonstratorphase wurde sich auf die Bereitstellung der Klassifikationsleistung konzentriert. Ziel der Klassifikation war es, zwischen Fahrzeugen verschiedener Klassen zu unterscheiden. Die Klassifikation konnte allerdings nur anhand äußerer Merkmale von Fahrzeugen vorgenommen werden. In einem ersten Schritt wurde eine Liste mit klassifikationsrelevanten Merkmalen aufgestellt und eine gemeinsame Schnittmenge mit den durch den Sensorfusionskopf messbaren Merkmalen gebildet. Darunter fielen zum Beispiel Fahrzeugdimensionen (Breite, Höhe, Länge) und Formfaktoren. Anschließend wurden einige Tausend Testdaten aufgezeichnet und die Fahrzeuge von Hand referenziert. Um die Merkmale mit dem Sensorfusionskopf zu erfassen, wurden Algorithmen entwickelt. Diese nutzten vorwiegend die durch das Stereosystem erzeugte 3D-Punktwolke. Mit den erzeugten Referenzdaten und den extrahier-

ten Merkmalen wurde ein Tree-Classifer trainiert und das Ergebnis als Klassifizierer in die Verarbeitungskette hinzugefügt.

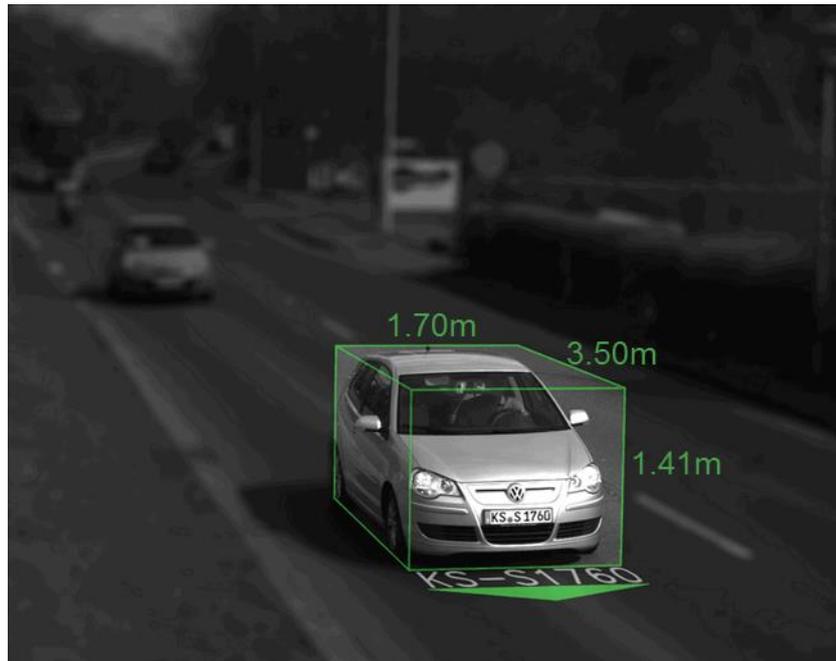


Abb. 14: 3D-Vermessung eines Fahrzeuges mit automatischer Hintergrundmaskierung.

II.1.3.4 Demonstrator AP F: Benutzerschnittstelle

Mit zunehmender Funktionalität entstand bei der Implementierung der grafischen Benutzerschnittstelle als Rich Client in C# ein großer Mengen- und Komplexitätszuwachs des Quellcodes. Da aus Anwendersicht zusätzlich vermehrt der Wunsch nach der Bereitstellung einer Web-GUI zur Bedienung der Systeme bestand, wurde das Konzept noch einmal angepasst. Die Umsetzung des HMI erfolgte nun als Web-Applikation mit modernen Architekturansätzen wie Model-View-Viewmodel, Zwei-Wege-Datenbindung und Responsive Webdesign.

Die Anbindung an den Server über eine Websocket-Schnittstelle blieb bestehen und wurde für bestimmte Aufgaben durch eine REST-Schnittstelle ergänzt. Die Umsetzung der neuen Architektur erfolgte unter Verwendung des JavaScript Frameworks AngularJS, wobei für das Design der Oberfläche das Bootstrap Framework von Twitter verwendet wurde. Dieses unterstützte unter anderem Responsive Webdesign. Die Umsetzung des HMI erfolgte als SinglePage-Anwendung, so dass die Anmutung der Oberfläche der einer eigenständigen Applikation entsprach.

Im finalen Entwicklungsstand wurden Seiten zur Anzeige von Messungen und Live-Videostreams vorgesehen. Dazu kam ein Downloadbereich für Vorfälle und eine Statusanzeige für Blitze und Energieversorgungsmodule. Für die Blitze kann zusätzlich die Intensität über die GUI konfiguriert werden.



PowerStatusData

Module	power3	power5	power1	power4	power6	power2	power8	power7
serialNumber	999-999/12345	999-999/12345	999-999/12345	999-999/12345	999-999/12345	999-999/12345	999-999/12345	999-999/12345
ipAddress	192.168.2.203	192.168.2.205	192.168.2.201	192.168.2.204	192.168.2.206	192.168.2.202	192.168.2.208	192.168.2.207
deviceId	OLPO_PWR							
voltagePV	48.1	48.17	48.2	48.07	48.19	48.25	48.15	48.16
voltageAccu1	13.72	14.22	13.71	13.71	14.2	13.73	14.21	14.2
voltageAccu2	13.72	14.21	13.71	13.72	14.2	13.73	14.2	14.2
voltageCharger	13.79	14.38	13.79	13.79	14.38	13.78	14.38	14.38
currentPV	0.49	2.49	0.16	0.41	2.32	0.16	2.07	2.07
currentAccu1	1	4	0.53	0.99	4.51	0.38	2.86	3.29
currentAccu2	1.17	3.69	0.51	0.92	4.4	0.41	3.17	3.28
currentCharger	0.43	1.98	0.2	0.4	1.84	0.15	1.65	1.62

Abb. 15: Anzeige der Statusinformationen der OLPOMETS-Energieversorgung.

LedFlashStatusData

moduleID	flash2	flash1
ipAdress	192.168.2.232	192.168.2.231
deviceId	OLPO_FL A	OLPO_FL A
serialNumber	20141218	20141218
operatingHours	0	0
temperature0	25.18	25.37
temperature1	26.06	26.25
arrayCount	5	5
arrayLEDCount	8	8
statusMsg		

LedFlashConfigData

- moduleID = flash1
- maxFlashDuration = 2000
- stringCount = 5
- intensity0 =
- intensity1 =
- intensity2 =
- intensity3 =
- intensity4 =

send LEDFlashConfigData

LedFlashConfigData

- moduleID = flash2
- maxFlashDuration = 2000
- stringCount = 5
- intensity0 =
- intensity1 =
- intensity2 =
- intensity3 =
- intensity4 =

send LEDFlashConfigData

Abb. 16: Anzeige von Statusinformationen und Konfiguration der OLPOMETS-Demonstratorblitze.

II.1.4 Ergebnisse der Testphase

Erste Feldtests des Gesamtsystems zur Geschwindigkeitsmessung und Klassifikation von Fahrzeugen wurden in Hildesheim bereits im Vorfeld der eigentlichen Testphase (01.05.2015-30.04.2016) sowohl an einspurigen als auch an zweispurigen Messplätzen durchgeführt.

Die Grundfunktionalitäten konnten dort bereits bestätigt werden, Optimierungen und Fehlerbeseitigungen sowie weitere Tests folgten in der eigentlichen Testphase ab dem 01.05.2015.



Abb. 17: Test des OLPOMETS-Demonstrators an einer 4-spurigen Bundesstraße.

Im November 2015 fand ein Treffen der Projektpartner mit einem gemeinsamen Feldtest des Gesamtsystems in Hildesheim statt.

Ziel des Tests war die Inbetriebnahme der OLPOMETS-Demonstratorblitze, welche während des Projektes OLPOMETS entwickelt wurden, und Aussagen über die optische Leistungsfähigkeit der Blitze zu bekommen.

Die optische Leistung der OLPOMETS-Demonstratorblitze wurde anhand von Bildaufnahmen beurteilt; als Bildaufnehmer dienten eine Serienkaufkamera (Referenz-Kamera) als auch die Eigenentwicklung aus dem OLPOMETS-Projekt (Zynq-Kamera). Die Beurteilung der optischen Leistung des OLPOMETS-Demonstratorblitzes erfolgt nicht als absolute Messung, sondern gegenüber einem Zukaufblitz (Referenzblitz).

Zur Maximierung der Aussagekraft des Feldtests wurden nachfolgende Testaufbauten realisiert:

1. „Stationärer Testaufbau“:
Test der Blitze aus dem TraffiTower 2.0 zur Aufnahme des fließenden Straßenverkehrs
 - a) Die mittlere Einbauhöhe der Blitze betrug 2,40m
 - b) Der Abstand des TT2.0 zur Straße betrug 2m. Der Eindrehwinkel des TT2.0 zur Straße beträgt 12°
2. „Mobiler Testaufbau“:
Test der Blitze auf dem Firmenparkplatz der Jenoptik Robot GmbH in Hildesheim
 - a. Die Aufbauhöhe der Blitze betrug 2,00m auf einem Stativ.
 - b. Der seitliche Abstand der Messsysteme zur virtuellen Straße betrug analog zum stationären Testaufbau 2,00m; die Eindrehwinkel ergaben sich entsprechend

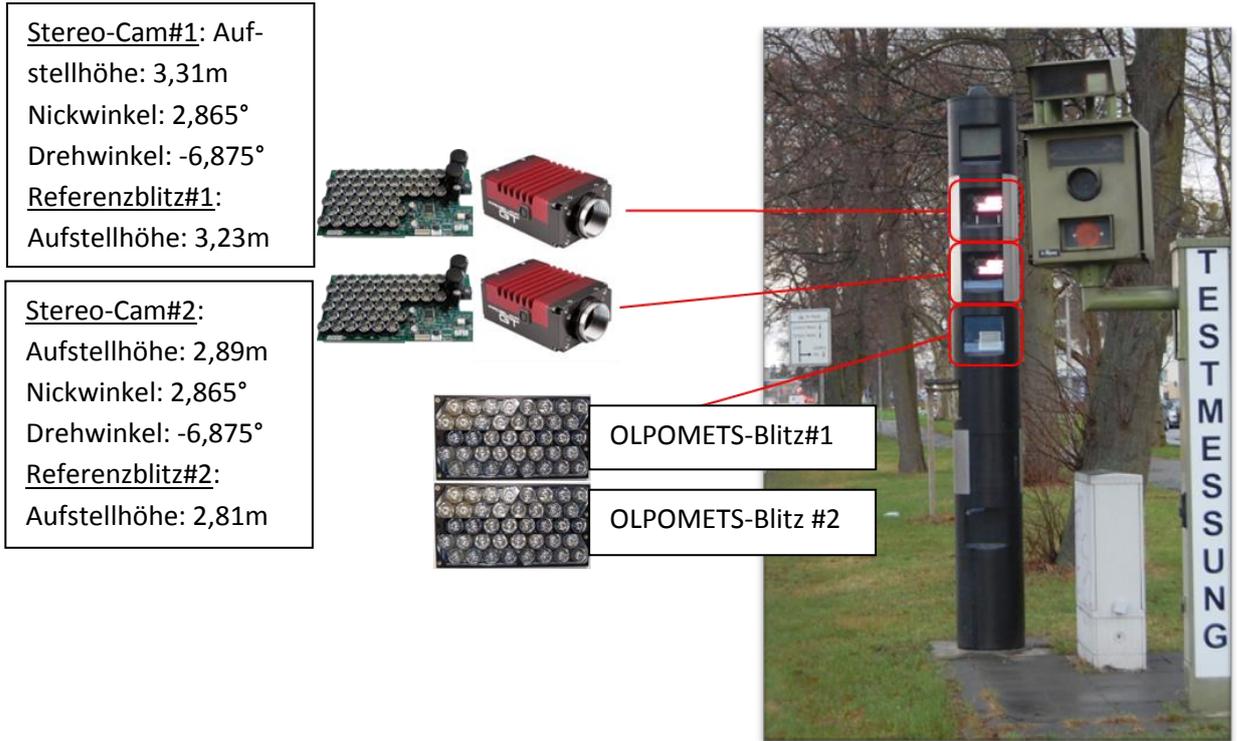


Abb. 18: Stationärer Testsaufbau am Messplatz Hildesheim-Lerchenkamp. Die OLPOMETS-Demonstratorblitze wurden mittig im vierten Mess-Segment von unten (anstatt des Tracking-Radars) des TT2.0 auf 2,4m Höhe zum Straßenniveau (angrenzende Gosse) verbaut. Der mittlere Abstand der Blitze zur Gosse betrug 2m.



Abb. 19: Mobiler Testsaufbau auf dem Firmenparkplatz der Jenoptik Robot GmbH in Hildesheim.

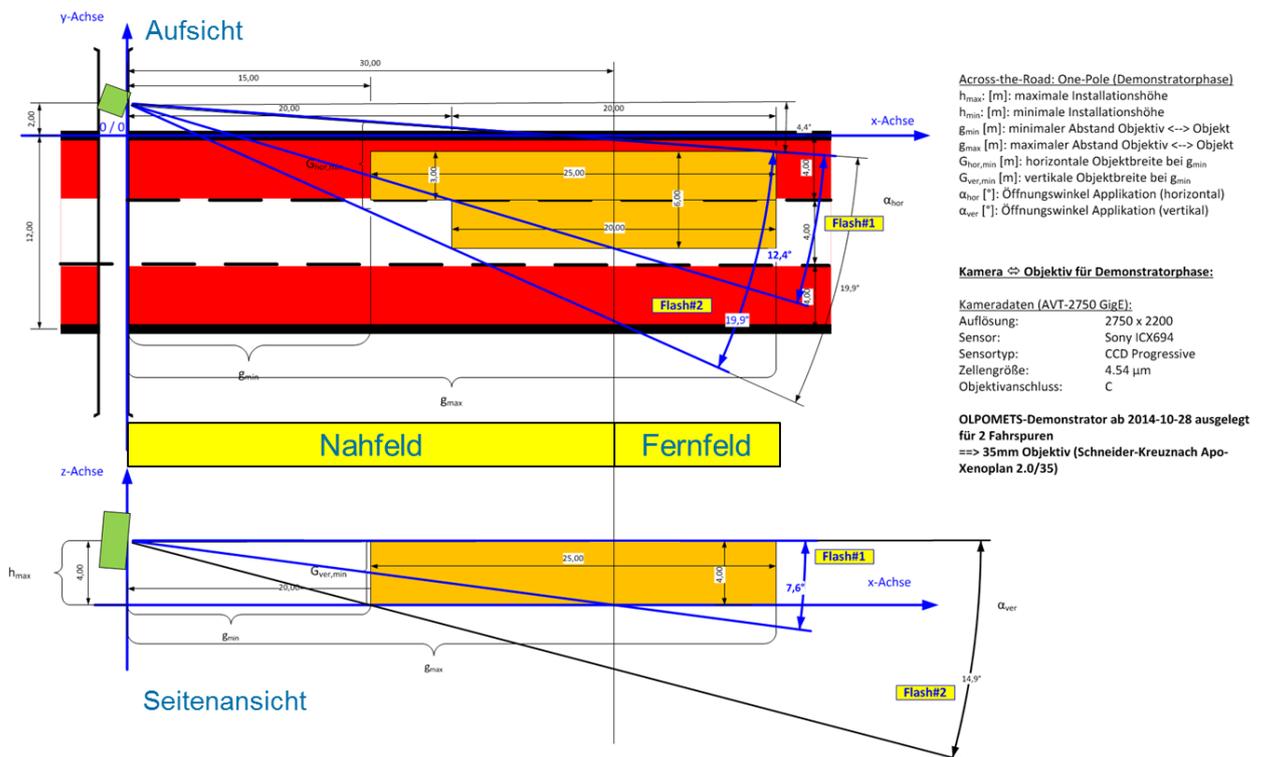


Abb. 20: Messszenario sowohl für den stationären als auch mobilen Testaufbau.



Abb. 21: Test des OLPOMETS-Demonstrators am Messplatz Hildesheim-Lerchenkamp bei ankommendem Verkehr (links); Vergleichende Messungen zwischen Referenzkomponenten und dem OLPOMETS-Demonstrator auf dem Firmenparkplatz der Jenoptik Robot GmbH in Hildesheim (rechts)

II.1.4.1 Ergebnisse der Ausleuchtungsmessungen zwischen dem Referenzblitz und dem OLPOMETS-Demonstratorblitz

II.1.4.1.1 Testmessungen mit der Referenz-Kamera bei dem stationären Testaufbau

Bilder, die mit Hilfe des Referenzblitzes ausgeleuchtet wurden, wirkten unbearbeitet heller. Besonders war dies an einigen Bilddetails, wie dem Nummernschild oder dem Halteverbotsschild im Hintergrund zu erkennen. Bei einer Entfernung von 15 m waren die Nummernschilder sowohl bei Beleuchtung mit den Referenzblitzen als auch bei Beleuchtung mit den OLPOMETS-Demonstratorblitzen erkennbar.

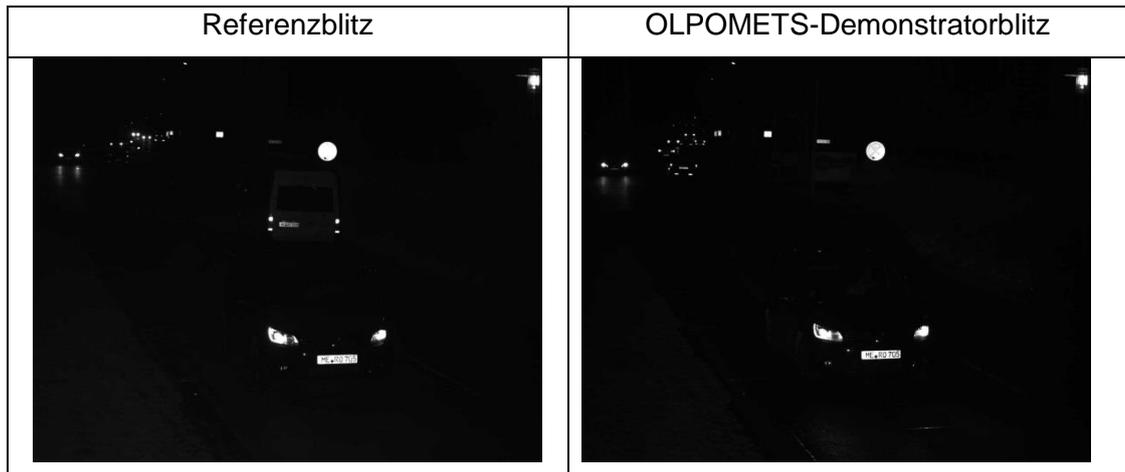


Abb. 22: Vergleichende Messungen zwischen dem Referenzblitz und dem OLPOMETS-Demonstratorblitz mit der Referenzkamera (Rohbilder).

Nach Aufhellen der Bilder zeigte sich, dass bei Verwendung der OLPOMETS-Demonstratorblitze eine bessere Fahrer- bzw. Detailerkennung gegeben ist. Dies ließ darauf schließen, dass sich die Lichtverteilung der OLPOMETS-Demonstratorblitze besser zur Verkehrsüberwachung eignet, da das Licht konzentrierter auf die Fahrspuren gebündelt wird.

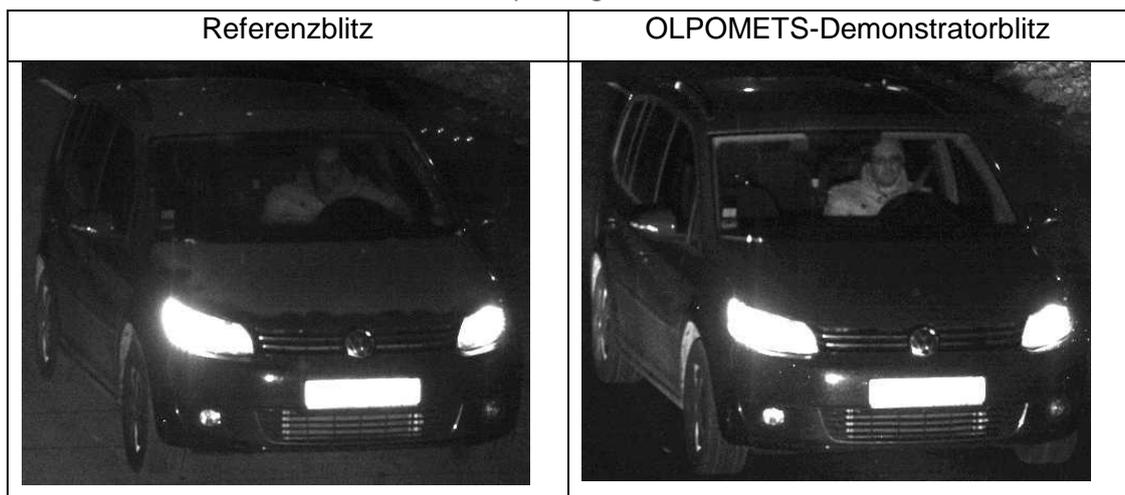


Abb. 23: Vergleichende Messungen zwischen dem Referenzblitz und dem OLPOMETS-Demonstratorblitz mit der Referenzkamera.

Dies wurde dadurch bekräftigt, dass bei den PKW-Aufnahmen in einer Entfernung von 25 m die Nummernschilder bei den Referenzblitzen noch lesbar waren, während sie bei Verwendung der OLPOMETS-Demonstratorblitze bereits überstrahlt waren.

II.1.4.1.2 Testmessungen mit der Zynq-Kamera bei dem stationären Testaufbau

Analog zu den obigen Messungen mit der Referenz-Kamera waren die Bilder mit der Referenzbeleuchtung im Gesamten heller als die Bilder mit der OLPOMETS-Beleuchtung. Wurden die Bilder nachträglich aufgehellt, so ergab sich wieder eine bessere Fahrererkennung.

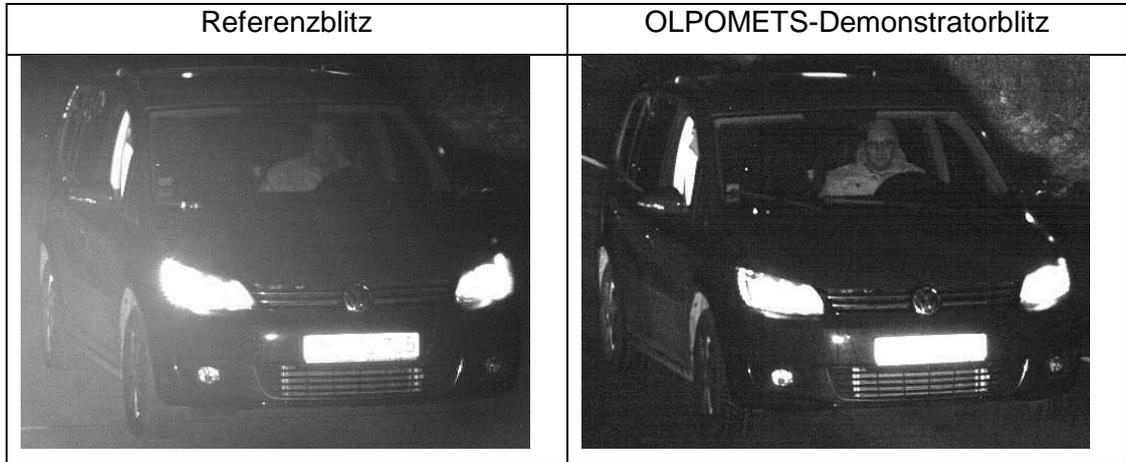


Abb. 24: Vergleichende Messungen zwischen dem Referenzblitz und dem OLPOMETS-Demonstratorblitz mit der Zynq-Kamera.

II.1.4.2 Ergebnisse der vergleichenden Messungen der Bildqualität zwischen der Referenz-Kamera und der Zynq-Kamera

II.1.4.2.1 Bildfehler: Smear- und Blooming-Effekte

Ein grundlegender Vorteil bei Kameras basierend auf CMOS-Technologie ist, dass es auf Grund der individuellen Auslesung und Digitalisierung der einzelnen Pixel zu weniger Überstrahlungseffekten der Pixel kommt. Dies war auch bei den getesteten Kameras zu beobachten; so wies die CCD-basierte Referenz-Kamera Smear-Effekte auf (weißer senkrechter Streifen unter dem Scheinwerfer). Blooming-Effekte konnten hingegen sowohl bei der Referenz- als auch bei der Zynq-Kamera festgestellt werden. Doch auch dieser Effekt war bei der CCD-Kamera stärker ausgeprägt.

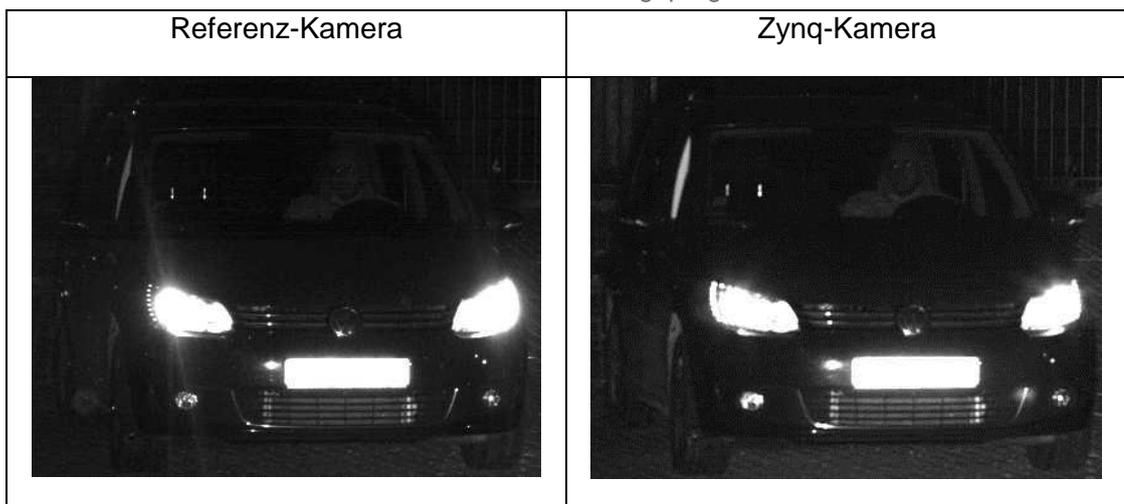


Abb. 25: Vergleichende Messungen der Bildqualität zwischen der Referenz-Kamera und der Zynq-Kamera in Hinblick auf Bildfehler.

II.1.4.2.2 Klassifizierung von LKW

Ein geplanter Anwendungsfall für die entwickelte Kamera war ein Mautsystem. Hierbei musste zur Klassifizierung das Profil der LKW erkennbar sein.

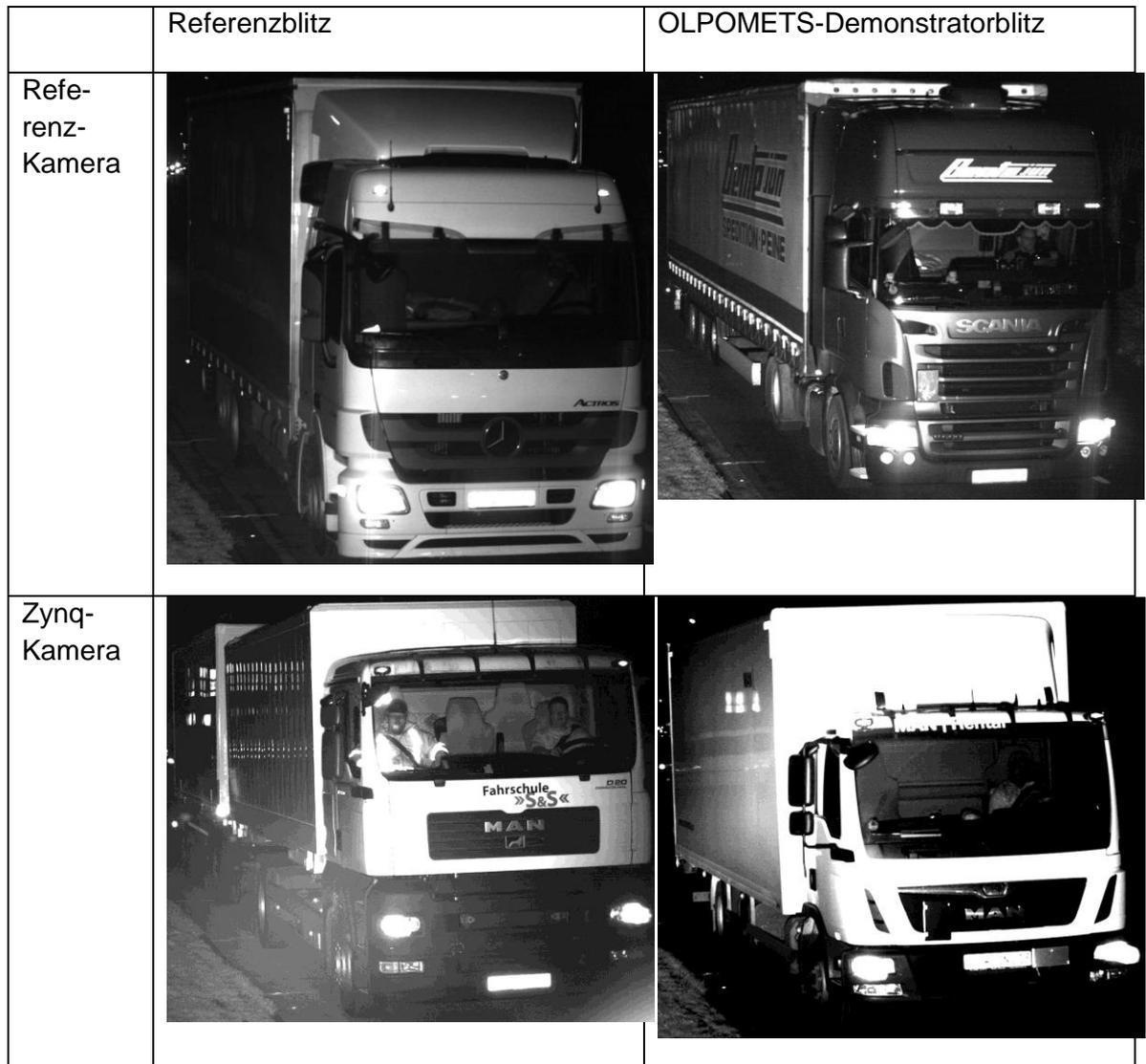


Abb. 26: Vergleichende Messungen der Bildqualität zwischen der Referenz-Kamera und der Zynq-Kamera in Hinblick auf Klassifizierung (LKW).

Unabhängig vom verwendeten Blitz und unabhängig von der verwendeten Kamera waren nach Aufhellung der Bilder das Profil der LKW und die Anzahl der Achsen erkennbar.

II.1.4.2.3 Bildhelligkeit

Alle Bilder, die mit der Referenz-Kamera aufgenommen wurden, waren zunächst erst einmal etwas heller als die dazugehörigen Bilder, die mit der Zynq-Kamera aufgenommen wurden. Dies war insofern verwunderlich, da es sich bei dem CCD-Chip der Referenz-Kamera um einen 1"-Chip handelte (Diagonale: 16 mm), wohingegen der CMOS-Chip der Zynq-Kamera ein 4/3"-Chip war (Diagonale: 23,5 mm) und somit eigentlich lichtstärker sein sollte. Dieser erhebliche Größenunterschied sollte auch die generell kleinere aktive Fläche pro

Pixel, die sich durch die On-Chip-Ausleseelektronik des CMOS-Chips ergab, aufwiegen.

Eine Analyse zeigte allerdings, dass das rauschbedingte Offset hierbei keinen großen Einfluss hatte. Bezogen auf die maximal mögliche Helligkeit, ergab sich bei der Zynq-Kamera ein Offset von 1,1 %. Bei der Referenz-Kamera war das Offset mit 1,2 % nur geringfügig größer. Aus diesem Grund war anzunehmen, dass die Empfindlichkeit des CCD-Chips im IR-Bereich größer ist als die Empfindlichkeit des CMOS-Chips.

Betrachtete man jedoch Details in einem aufgehellten Bild, so zeigten sich bei der Referenz-Kamera linienförmige Muster, die das Bild aufhellten ohne Bildinhalte beizutragen. Diese Streifenmuster waren vermutlich bedingt durch das zeilenweise Auslesen der Pixel. Bei der Zynq-Kamera traten diese Effekte nicht auf.

	Referenzblitz	OLPOMETS-Demonstratorblitz
Referenz-Kamera		
Zynq-Kamera		

Abb. 27: Vergleichende Messungen der Bildqualität zwischen der Referenz-Kamera und der Zynq-Kamera in Hinblick auf Bildhelligkeit.

II.1.4.3 Demonstration des OLPOMETS-Gesamtsystems auf der Abschlussveranstaltung am 14.04.2016 in Berlin

Im Rahmen der OLPOMETS-Abschlussveranstaltung am 14. April 2016 erfolgte eine Demonstration des OLPOMETS-Gesamtsystems auf dem Gelände des Fraunhofer-Instituts für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM) in Berlin.



Abb. 28: Testaufbau bei der Demonstration des Gesamtsystems auf der Abschlussveranstaltung OLPOMETS am 14.4.2016 in Berlin.

Der fotodokumentierte Testaufbau zeigt die Anwendbarkeit des semi-mobilen OLPOMETS-Demonstrators als mobiles und autarkes Messsystem.

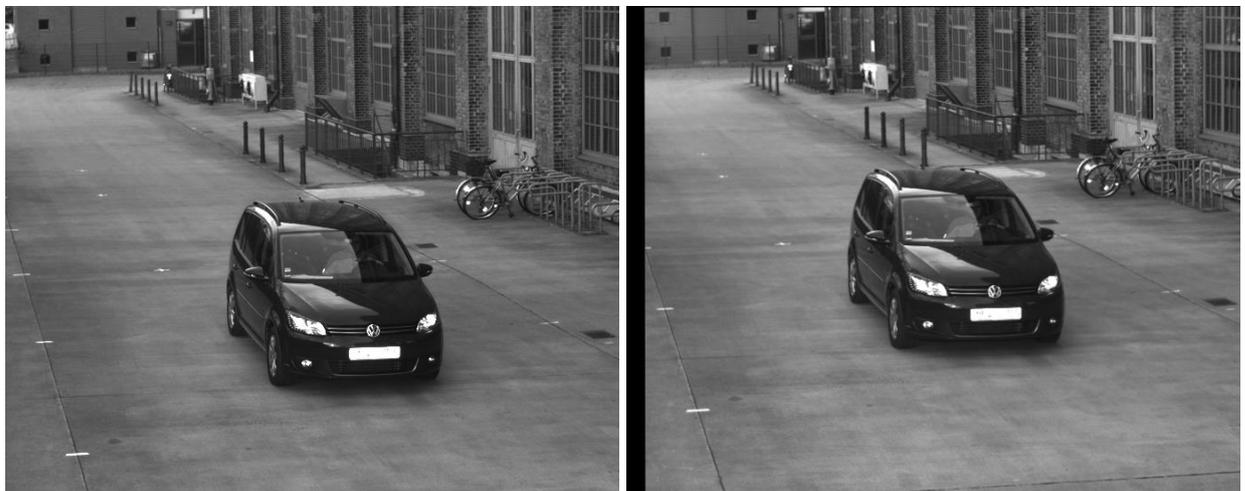


Abb. 29: Aufnahmen der beiden Stereo-Kameras (oben und unten) bei der Demonstration auf der Abschlussveranstaltung OLPOMETS am 14.4.2016 in Berlin.

Die Aufnahmen der Stereo-Kameras zeigten sehr gut den Einsatz der LED-IR-Blitze bei retroreflektierenden Objekten (z.B. Fahrzeugkennzeichen oder Speichenreflektoren der Fahrräder)

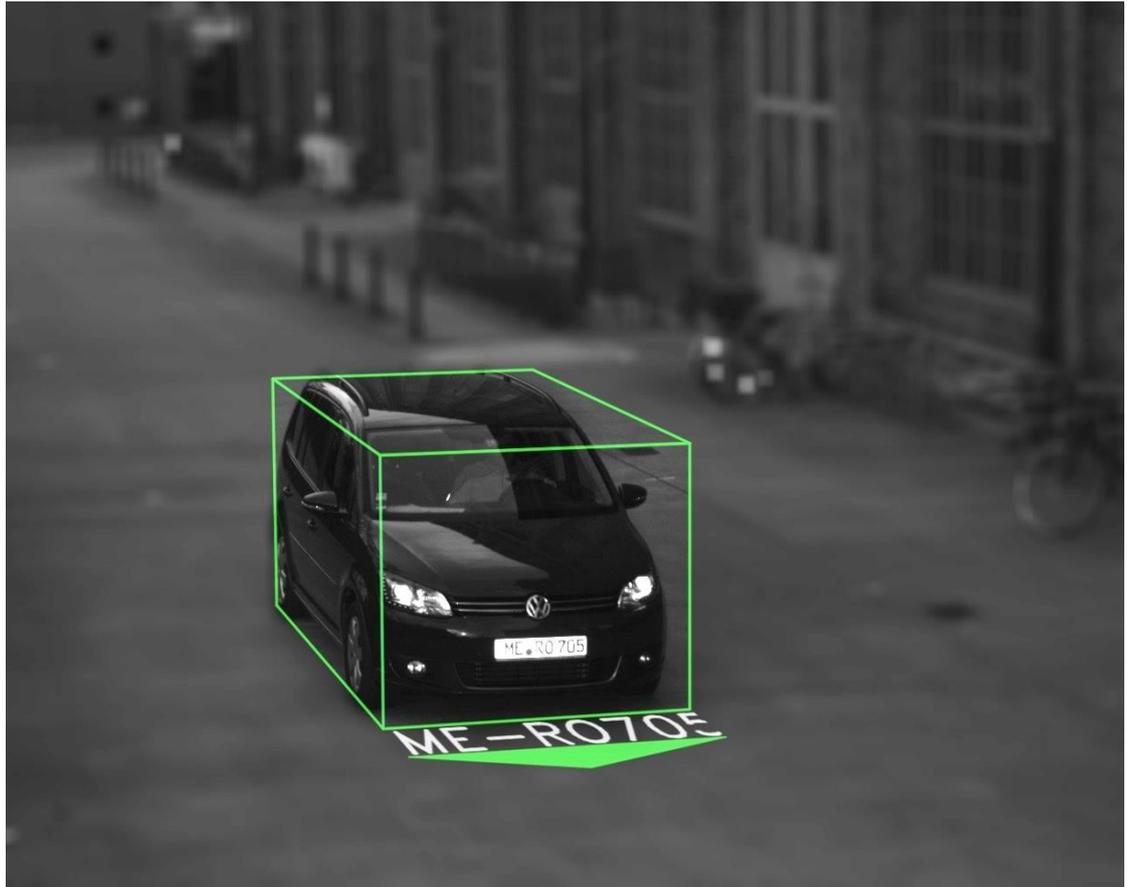


Abb. 30: 3D-Vermessung des Fahrzeuges als Vorstufe zur Klassifikation

Die 3D-Vermessung des Fahrzeuges bildete die Vorstufe zur Klassifizierung der Fahrzeuge in Fahrzeuggruppen (z.B. PKW, LKW <7,5t, LKW >7,5t, ...). Damit wurde die Grundlage für ein produktnahes Leistungsmerkmal im Rahmen des F+E-Projektes OLPOMETS erarbeitet.

II.2 Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der zahlenmäßige Nachweis wurde separat übermittelt.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Im Teilvorhaben der Jenoptik Robot GmbH wurde photonische Messtechnik unter Nutzung autarker photonischer Energieversorgung entwickelt. Um lange Nutzungszeiten für semi-mobile Verkehrsüberwachungssysteme sicherzustellen, erforschte die Jenoptik Robot GmbH dafür eine neuartige Niedrigenergieplattform, welche die Grundlage für die ebenfalls neuartige Sensortechnologie (Sensorfusion) bildete. Mit diesem Forschungsvorhaben hat die Jenoptik Robot GmbH ihren Beitrag zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit der optischen Industrie am Standort Deutschland geleistet.

Aufgrund der technischen und marktbezogenen Risiken konnte das Projekt nicht allein, sondern nur im Verbund mit der Unterstützung öffentlicher Mittel realisiert werden. Die interdisziplinäre Zusammensetzung des Förderverbundes hat dazu beigetragen, die Risiken des Projektes zu beherrschen und das Projekt zu einem positiven Abschluss im Sinne der Ziele des Projektantrages zu führen.

II.4 Nutzen und Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplan

Die technischen Hauptziele des Projektes waren:

- Modulare Niedrigenergie Plattform mit dem Referenzprodukt des intelligenten Kamerakopfes auf modularer Bauweise
- Intelligente Sensorfusion (Algorithmik) zweier bildgebender Sensoren (Stereoskopie) sowie einem Radarsensor mit dem Ziel der Detektion und Klassifikation von Fahrzeugen

Sowohl die Hardware als auch die Algorithmen wurden unter der Vorgabe der Ressourceneffizienz entwickelt. Primäres Ziel war der Einsatz in mobilen und autarken Systemen. Ein niedriger Energiebedarf erhöht nicht nur die Laufzeit von mobilen Systemen, sondern führt ebenfalls zu geringeren Verlustleistungen und somit zu einer geringeren Gesamterwärmung des Systems. Dieser Punkt kommt auch stationären Systemen im Bereich der Verkehrssicherheit zu Nutzen. Sowohl mobile als auch stationäre Systeme sind als Outdoor-Applikationen den Umwelteinflüssen ausgesetzt. Bei den Witterungseinflüssen führen insbesondere hohe Temperaturen zu Grenzen des Systems. Niedrigenergiekomponenten und -module sorgen für Stabilität und Kosteneinsparungen für aufwendige Kühlung (z.B. durch Klimaanlage).

Bereits während der Projektlaufzeit wurde mit Industrialisierungen von Demonstratoren des Forschungsprojektes OLPOMETS begonnen:

- Industrialisierung der Niedrigenergiekomponente „Intelligenter Kamerakopf“ (Beginn Entwicklungsprojekt: 15.05.2015)
- Industrialisierung des „LED-IR-Blitzes“ (Beginn Entwicklungsprojekt: 05.10.2015)
- Entwicklung zur Serientauglichkeit der „Algorithmen zur Detektion und Klassifikation“ (Beginn Kundenprojekt: 02.05.2016)

II.5 Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Die Darlegung der Erkenntnisse Dritter erfolgt im Rahmen des Schlussberichtes des Arbeitspakets I - Plattformübergreifende Forschung vom Fraunhofer IOF.

II.6 Veröffentlichungen des Ergebnisses

Siehe Anlage zum Abschlussbericht „Liste der Veröffentlichungen im Rahmen des F+E-Vorhabens“.

III. Glossar

Begriff / Abkürzung Erklärung

CPU	Central Processing Unit
DMA	Direct Memory Access
DORA	Distributed Objects Realtime Architecture (Interprozesskommunikationsnetzwerk der Firma Jenoptik Robot)
GSM	Global System for Mobile Communications
FKZ	Förderkennzeichen
Fraunhofer IOF	Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik, Jena
Fraunhofer IZM	Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration, Berlin
FPGA	Field Programmable Gate Array
GPS	Global Positioning System
GUI	Graphical User Interface
HMI	Human Machine Interface
ITS	Intelligent Transportation Systems
JERO	Jenoptik Robot GmbH
LAN	Local Area Network
LTE	Long Term Evolution
PTP	Precision Time Protocol
SD-Card	Secure Digital Memory Card
TT 2.0	TraffiTower 2.0 (Modulare Säule zur Verkehrsüberwachung)
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
WLAN	Wireless Local Area Network
WPF	Windows Presentation Framework